

**T.C.  
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YAPISAL DÜZENSİZLİKLERİN BİNA DEPREM DAVRANIŞI  
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MOHAMED OMAR HIRABE**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. ELİF BORU**

**Mart 2025**

T.C.  
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YAPISAL DÜZENSİZLİKLERİN BİNA DEPREM DAVRANIŞI  
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MOHAMED OMAR HIRABE

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 26/03/2025 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Doç.Dr. Hakan ÖZTÜRK	BAŞARILI
Üye: Dr. Öğr. Üyesi. Gökhan DOK	BAŞARILI
Üye: Doç. Dr. Elif BORU	BAŞARILI

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim

MOHAMED OMAR HIRABE

26/03/2025

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca bilgisi, tecrübesi, sürekli desteği ve değerli yönlendirmesiyle bana her zaman yol gösteren, en zor zamanlarımda beni teşvik eden ve hayatım boyunca faydalanacağım maratonun başlangıç çizgisine götüren ve öncülük eden tez danışmanım Doç. Dr. Elif Boru'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Eğitimim süresince bana sağlanan YTB (Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı) bursu için teşekkür ederim. Bu burs, eğitimimin maddi yükünü hafifletmekle kalmayıp, aynı zamanda akademik ve kişisel gelişimime odaklanmam için bana büyük bir fırsat sundu. YTB'nin bana duyduğu güven ve yaptığı yatırıma minnettarım ve bu desteği, çalışmalarımda mükemmeliyet göstererek ve topluma ve çevreme olumlu katkılar sunarak onurlandırmayı hedefleyeceğim.

Uzun yıllar boyunca çalışmalarım sırasında bana gösterdikleri sevgi, destek ve teşvik için anneme ve ablama en kalbi teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
KISALTMALAR .....	v
SİMGELER .....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	xi
ABSTRACT .....	xii

## BÖLÜM 1.

GİRİŞ .....	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsam .....	4
1.2. Literatür Araştırması .....	5

## BÖLÜM 2.

TBDY-2018'E GÖRE YAPISAL DÜZENSİZLİKLER.....	9
2.1. Plandaki düzensizlik durumları .....	9
2.1.1. Burulma Düzensizliği (A1).....	10
2.1.2. Döşeme Süreksizlikliği (A2).....	11
2.1.3. Planda çıkıntılar bulunması (A3).....	12
2.2. TBDY-2018'e göre Düşeyde Düzensizlikler .....	12
2.2.1. Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (B1) .....	12
2.2.2. Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (B2).....	13
2.2.3. Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanların Süreksizliği (B3).....	13

## BÖLÜM 3.

TBDY-2018'E GÖRE BİNALARIN DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ.....	15
3.1. TBDY-2018'e göre Deprem Etkileri.....	15
3.1.1. Deprem yer hareket düzeyleri .....	15

3.2. Deprem yer hareketi spektrumları.....	16
3.2.1. Deprem yer hareketi spektrumları.....	16
3.2.2. Yerel zemin etki katsayıları .....	17
3.2.3. TBDY-2018'e göre yatay ve düşey elastik tasarım spektrumları.....	18
3.3. Bina Performans Düzeyleri .....	19
3.3.1. Kesintisiz kullanım (KK) performans düzeyi .....	20
3.3.2. Sınırlı Hasar (SH) performans düzeyi.....	20
3.3.3. Kontrollü Hasar (KH) performans düzeyi .....	20
3.3.4. Göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyi .....	20
3.4. Doğrusal Olmayan Davranışın Modellenmesi .....	21
3.4.1. Yığılı plastik mafsal modeli .....	21
3.4.2. Yayılı plastik davranış modeli .....	23
3.5. Doğrusal Olmayan Analiz için Yapısal Elemanların Modellenmesi .....	23
3.5.1. Kolon ve Kiriş elemanların Modellenmesi .....	23
3.6. Etkin Kesit Rijitliklerinin Hesaplanması.....	24
3.7. Malzeme Davranışı .....	25
3.7.1. Sargılı ve sargısız beton modelleri.....	25
3.7.2. Çelik malzeme modeli .....	27
3.8. TBDY-2018'e göre Doğrusal Olmayan Analiz.....	28
3.8.1. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz.....	29
3.8.2. Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi.....	30
3.9. Mevcut Betonarme Binanın TBDY-2018'e Göre Deprem Performans Analizi .....	30
3.9.1. Bina bilgi düzeyleri.....	30
3.9.2. Plastik dönme ve şekil değiştirme taleplerinin hesaplanması.....	31
3.9.3. Mevcut betonarme binaların performans kontrolü.....	32
3.9.3.1. Sınırlı hasar performans düzeyi .....	32
3.9.3.2. Kontrollü hasar performans düzeyi.....	33
3.9.3.3. Göçmenin önlenmesi performans düzeyi.....	34

## **BÖLÜM 4.**

### **MEVCUT 7 KATLI BETONARME BİNANIN DEPREM ETKİSİNDE**

<b>DİNAMİK ANALİZİ .....</b>	<b>35</b>
4.1. Binanın mevcut bilgileri.....	35
4.1.1. Kullanılan malzemeler ve özellikleri .....	38
4.1.2. Deprem tasarım parametreleri.....	38
4.2. Bina Düzensizlik Kontrolü.....	41
4.2.1. Zayıf kat düzensizliği (B1) kontrolü.....	41
4.2.2. Yumuşak kat düzensizliği (B2) kontrolü .....	42
4.3. Deprem Etkisinde Binanın Dinamik Analizi .....	43
4.3.1. Doğrusal olmayan analiz için malzeme tanımlanması.....	44
4.3.2. Eleman kesitlerinin tanımlanması .....	46
4.3.2.1. Kiriş kesitlerinin tanımlanması .....	46
4.3.2.2. Kolon kesitlerinin tanımlanması .....	48
4.3.2.3. Perde kesitlerinin tanımlanması .....	50
4.3.3. Plastik mafsal özelliklerinin SAP2000'de tanımlanması .....	51
4.3.3.1. Kirişlerin plastik mafsal özelliklerinin tanımlanması .....	51
4.3.3.2. Kolonların plastik mafsal özelliklerinin tanımlanması .....	54

4.3.4. Etkin kesit rijitliği .....	60
4.3.5. Deprem kayıtlarının seçilmesi .....	63

## **BÖLÜM 5.**

<b>BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>68</b>
5.1. Yapısal Elemanların Hasar Değerlendirme Sonuçları .....	68
5.1.1. Kolon elemanların hasar değerlendirme sonuçları.....	70
5.1.2. Kiriş elemanların hasar değerlendirme sonuçları.....	73
5.1.3. Perde elemanlarının hasar değerlendirme sonuçları .....	74
5.2. Yer değiştirme ve görelı kat ötelenmeleri kontrolü.....	75
5.2.1. Görelı kat ötelemeleri kontrolü .....	80
5.3. Taban Kesme Kuvveti .....	83

## **BÖLÜM 6.**

<b>SONUÇLAR .....</b>	<b>85</b>
-----------------------	-----------

<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>88</b>
------------------------	-----------

## **KISALTMALAR**

ACI	: Amerikan Beton Enstitüsü'nün (American Concrete Institute)
DD-1	: 50 yılda aşılama olasılığı 2% olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-2	: 50 yılda aşılama olasılığı 10% olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-3	: 50 yılda aşılama olasılığı 50% olan deprem yer hareket düzeyi
DD-4	: 50 yılda aşılama olasılığı 68% olan deprem yer hareket düzeyi
ŞGDT	: Şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım yaklaşımı
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)

## SİMGELER

$A_e$	: Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanı[m <sup>2</sup> ]
$A_g$	: Her hangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusunda paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanların toplamı[m <sup>2</sup> ]
$A_e$	: Herhangi bir katta, gözüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanı [m <sup>2</sup> ]
$d_b$	: Boyuna donatı çapı [m]
$\Delta_i$	: Binanın i'inci katındaki maksimum azatılmış görel kat ötelemesi[m]
$\epsilon_c^{(GÖ)}$	: Göçmenin Önlenmesi performansı düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\epsilon_c^{(KH)}$	: Konrollü Hasar performansı düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\epsilon_c^{(SH)}$	: Sınırlı Hasar performansı düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\epsilon_s^{(GÖ)}$	: Göçmenin Önlenmesi performansı düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekildeğiştirme sınırı
$\epsilon_s^{(KH)}$	: Konrollü performansı düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekildeğiştirme sınırı
$\epsilon_s^{(SH)}$	: Sınırlı Hasar performansı, izin verilen donatı çeliği birim şekildeğiştirme sınırı
$F_1$	: Bir (1.0) saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
$f_c$	: Gerinimine karşılık gelen basınç beton gerilme [Mpa]
$f_{cc}$	: Sargılı beton dayanımı [Mpa]
$F_S$	: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
$L_p$	: Plastik mafsal boyu [m]
$L_s$	: Kesme açıklığı [m]
$M_y$	: Etkin Akma moment [kN-m]
$\eta_{bi}$	: i'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
$\eta_{ci}$	: i'inci katta tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı

$\eta_{ki}$	: i'inci katta tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı
$S_{ae(T)}$	: Yatay elastik spektral ivme [g]
$S_1$	: 1 saniye periyot için tasarım harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
$S_{D1}$	: 1 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
$S_S$	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
$T$	: Doğal titreşim periyodu [s]
$T_A$	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
$T_B$	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
$\phi_u$	: Göçme öncesi eğriliği [ $m^{-1}$ ]
$\phi_y$	: Akma eğriliği [ $m^{-1}$ ]



## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1 : Deprem hareket düzeyleri.....	15
Tablo 3.2 : Yerel zemin için kısa periyot katsayısı.....	17
Tablo 3.3 : Yerel zemin için 1. saniye periyot katsayısı .....	17
Tablo 3.4 : Bina bilgi düzeyleri.....	31
Tablo 4.1: Kiriş boyut ve donatı detayları .....	35
Tablo 4.2: Kolon ve perdelerin boyut ve donatı detayları .....	36
Tablo 4.3: Kullanılan malzemeler ve özellikleri.....	38
Tablo 4.4: Modelin periyot ve frekans sonuçları .....	39
Tablo 4.5: Binanın zayıf kat düzensizliği kontrol sonuçları .....	42
Tablo 4.6: Yumuşak kat düzensizliği (Ey-%5).....	42
Tablo 4.7: Dönme açısı mafsallık özelliği standardı.....	53
Tablo 4.8: S1.600x350 kolon kesit boyutları ve moment eğrilik değerleri .....	61
Tablo 4.9: B200x500 kiriş kesit boyutları ve moment eğrilik değerleri.....	62
Tablo 4.10: İvme kaydının detayları .....	64
Tablo 5.1 : 25H1 ve 25H2-Nolu kolon hasar durumu .....	70
Tablo 5.2 : Düzensiz bina görelî kat ötelenmesi kontrolü .....	80
Tablo 5.3 : Düzenli bina görelî kat ötelenmesi kontrolü.....	81
Tablo 5.4 : Taban kesme kuvveti sonuçları .....	83

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 : Elbistan 06.02.2023 depremi Hatay'da hasarlı binalar (Ayso et al., 2024). .....	2
Şekil 1.2 : Zemin kat mekanizması hasarı, Elbistan depremi (06.02.2023)(Ayso et al., 2024). ....	2
Şekil 1.3 : Kahramanmaraş'ta hasar gören binalar a) Zeyif kay ve b) yumuşak kat (AFAD, 2023). ....	2
Şekil 1.4 : Malatya'da bir binanın (a) Yumuşak kat (b) Kiriş-kolon birleşimindeki tasarım hatası nedeniyle çökmesi (AFAD, 2023). ....	3
Şekil 1.5 : Yumuşak kat mekanizmasına bağlı bina hasarı 2011, Kütahya-Simav depremi, (Yılmaz & Avşar, 2013). ....	3
Şekil 1.6 : Zayıf kat düzensizliği nedeniyle oluşan deprem hasarları(Kaushik & Jain, 2007). ....	3
Şekil 1.7 : Deprem öncesi ve sonrası zayıf kat hasarı, İskenderun/Hatay(Yuzbasi, 2024) ....	4
Şekil 1.8 : Zayıf kat nedeniyle yıkılmış bina, 06.02.2023 Pazarcık depremi (Yuzbasi, 2024). ....	4
Şekil 2.1 : TBDY-2018'e göre bina düzensizlikleri .....	9
Şekil 2.1 : Burulma düzensizliği (TBDY, 2018) .....	10
Şekil 2.2 : Burulma düzensizliği (TBDY, 2018). ....	11
Şekil 2.3 : Döşeme süreksizliği durumlar (TBDY, 2018) .....	11
Şekil 2.4 : Planda çıkıntı bulunması düzensizliği (TBDY, 2018).....	12
Şekil 2.5 : Düşey eleman süreksizliği (TBDY, 2018) .....	14
Şekil 3.1 : Yatay elastik tasarım ivme spektrumu.....	18
Şekil 3.2 : TBDY-2018 düşey elastik tasarım spektrumu.....	19
Şekil 3.3 : TBDY-2018'e göre performans düzeyleri.....	21
Şekil 3.4 : Kiriş ve kolon elemanlarının idealize edilmiş modelleri (Sağlam, 2023). 22	
Şekil 3.5 : Sargı etkisi ile değişen beton gerilme-şekil değiştirme davranış modeli (Sağlam, 2023). ....	26
Şekil 3.6 : TBDY-2018'e göre Mander beton modeli .....	26
Şekil 3.7 : Donatı gerilme-şekildeğiştirme grafiği (TBDY-2018).....	28
Tablo 4.1: Kiriş boyut ve donatı detayları .....	35
Tablo 4.2: Kolon ve perdelerin boyut ve donatı detayları .....	36
Tablo 4.3: Kullanılan malzemeler ve özellikleri.....	38
Tablo 4.4: Modelin periyot ve frekans sonuçları .....	39
Tablo 4.5: Binanın zayıf kat düzensizliği kontrol sonuçları .....	42
Tablo 4.6: Yumuşak kat düzensizliği (Ey-%5).....	42
Tablo 4.7: Dönme açısı mafsallık özelliği standardı.....	53
Tablo 4.8: S1.600x350 kolon kesit boyutları ve moment eğrilik değerleri .....	61
Tablo 4.9: B200x500 kiriş kesit boyutları ve moment eğrilik değerleri.....	62
Tablo 4.10: İvme kaydının detayları .....	64
Şekil 5.1 : Yapısal olarak düzensiz binada oluşan mafsallar .....	69

Şekil 5.2 : Yapısal olarak düzenli binada oluşan mafsallar .....	69
Şekil 5.3 : 25H2-Nolu (Kolon 25cm×40cm) kolonunun plastik mafsal sonuçları ....	70
Şekil 5.4 : K-G deprem yönü için kolonların hasar dağılımı .....	72
Şekil 5.5 : D-B deprem yönü için kolonların hasar dağılımı .....	72
Şekil 5.6 : K-G deprem yönü için kirişlerin hasar dağılımı. ....	73
Şekil 5.7 : D-B deprem yönü için kirişlerin hasar dağılımı. ....	74
Şekil 5.8 : K-G deprem yönü için perdelerin hasar dağılımları. ....	74
Şekil 5.9 : D-B deprem yönü için perdelerin hasar dağılımları. ....	75
Şekil 5.10 : Düzenli ve düzensiz binalar için maksimum tepe deplasmanı .....	76
Şekil 5.11 : Düzenli ve düzensiz binalar için U2 maksimum tepe deplasmanı .....	76
Şekil 5.12 : Düzenli ve düzensiz binalar için U2 maksimum tepe deplasmanı .....	76
Şekil 5.13 : Düzenli ve düzensiz binalar için U2 maksimum tepe deplasmanı .....	77
Şekil 5.14 : K-G deprem etkisinde X yönündeki maksimum yer değiştirmeler .....	78
Şekil 5.15 : K-G deprem etkisinde Y yönündeki maksimum yer değiştirmeler .....	78
Şekil 5.16 : D-B(Düzenli ve düzensiz model) maksimum yer değiştirme U1 yönü..	79
Şekil 5.17 : D-B (Düzenli ve düzensiz model) maksimum yer değiştirme U2 yönü.	79
Şekil 5.18 : K-G için görel kat ötelenmeleri için düzenli ve düzensiz modelleri ....	81
Şekil 5.19 : K-G için görel kat ötelenmeleri için düzenli ve düzensiz modelleri ...	82
Şekil 5.20 : D-B için görel kat ötelenmeleri için düzenli ve düzensiz modelleri ....	82
Şekil 5.21 : D-B için görel kat ötelenmeleri için düzenli ve düzensiz modelleri ...	83
Şekil 5.22 : Taban kesme kuvveti[kN] .....	84

# YAPISAL DÜZENSİZLİKLERİN BİNA DEPREM DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

## ÖZET

Depremler, tektonik plakaların hareketinden kaynaklanır. Türkiye, Alp-Himalaya deprem kuşağında yer alması nedeniyle birçok fay hattı boyunca önemli sismik risklerle karşı karşıyadır. Hatalı tasarımlar, düşük kaliteli malzemeler ve yetersiz işçilik gibi inşaat uygulamaları, yapıların hasar görmesine ve can kayıplarına yol açmıştır. 6 Şubat 2023'te Pazarcık ve Elbistan'da (7.7 ve 7.6 büyüklüğünde) meydana gelen depremler, konut ve tarihi yapılara büyük zarar vermiştir. Mevcut binaların çoğu, malzeme eksiklikleri, yapısal düzensizlikler, zayıf zemin kapasitesi ve yanlış yapı tasarımı gibi faktörler nedeniyle ciddi şekilde etkilenmiştir.

Yapısal düzensizliklerin bina deprem davranışı üzerindeki etkilerinin belirlenmesinin önemi bir kez daha ön plana çıkmıştır. Bu çalışmada, yapısal düzensizliği olan deprem geçirmiş betonarme bir binanın deprem performansı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018'e göre değerlendirilmiştir. Bu kapsamda Kahramanmaraş'ta Z+7 kattan oluşan yumuşak kat ve rijitlik düzensizlikleri olan betonarme bir bina incelenmiştir. İncelemenin ilk aşamasında bina mevcut projesindeki hali ile ikinci aşamada ise yapısal düzensizlikler kaldırılarak analiz edilmiştir. Yapısal düzensizliklerin deprem performansına etkisi karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Binanın bilgisayar simülasyon modeli ve analizleri Sap2000 programı ile mevcut tasarım projesinden alınan kesit ve donatı detayları kullanılarak yapılmıştır. Kesit kapasitelerini ve doğrusal olmayan davranış özelliklerini tanımlamak için TBDY-2018 kullanılmıştır. Deprem performansının belirlenmesi aşamasında binaya en yakın istasyondan alınan ivme kayıtları kullanılarak Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz yapılmıştır. Kolon ve kirişlerin sismik performansı, yer değiştirmeler, kat ötelemeleri ve taban kesme kuvveti verileri kullanılarak kontrol edilmiştir. Analizler sonucunda, düzensiz binadaki kolonlar için hasar dağılımı %22 göçme performansı olarak bulunurken, düzenli binadaki kolonlar için hasar dağılımı %4 göçme performansında bulunmuştur. Ayrıca, maksimum tepe noktası yer değiştirmesi düzensiz bina için 42.9 cm ve düzenli bina için 22.94 cm olarak bulunmuştur. Düzensiz bina, düzenli binaya göre %35.59 daha uzun bir periyot ve %87.35 daha yüksek yer değiştirme göstermektedir, bu da sismik kuvvetler altında daha fazla esneklik ve daha yavaş salınımlar olduğunu göstermektedir. Düzenli bina %22.8 daha fazla taban kesme kuvvetine maruz kalmıştır; kesme kuvveti büyüklüğündeki farklılıklar, yapısal düzensizlikler nedeniyle yer değiştirme ve kuvvet dağılımındaki farklı tepkileri yansıtmaktadır.

Anahtar Kelimeler; Yumuşak kat düzensizliği, Zayıf kat düzensizliği, Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz, bina deprem performansı]

# **INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF STRUCTURAL IRREGULARITIES ON SEISMIC BEHAVIOR OF BUILDINGS**

## **ABSTRACT**

Earthquakes occur due to the movement of tectonic plates, and Turkey faces huge seismic risks because it lies on the Alpine-Himalayan earthquake belt, which is home to many fault lines. Construction practices such as faulty designs, low-quality materials and poor workmanship have led to damage to structures and loss of life. On February 6, 2023, Turkey experienced devastating earthquakes in Pazarcik and Elbistan, registering magnitudes of 7.7 and 7.6, respectively, causing widespread destruction of residential and historical buildings. Many existing structures were severely impacted due to issues such as material deficiencies, structural irregularities, weak soil conditions, and inadequate structural elements.

The objective of this thesis is to determine the effects of structural irregularities on the seismic behavior of buildings. In this study, the earthquake performance of an earthquake-prone reinforced concrete building with structural irregularities is evaluated according to the Turkish Building Earthquake Code (TBEC) 2018. In this context, a reinforced concrete building with soft storey and stiffness irregularities consisting of Z+7 storeys in Kahramanmaraş is analyzed. In the first stage of the investigation, the building was analyzed as it is in the existing project and in the second stage, the structural irregularities were removed. The effect of structural irregularities on earthquake performance is presented comparatively.

The computer simulation model and analyses of the building were carried out with the Sap2000 program using the section and reinforcement details taken from the existing design project. TBEC-2018 was used to define the section capacities and nonlinear behavior characteristics. In the determination of earthquake performance, Time history Nonlinear Analysis was performed using acceleration records taken from the nearest station to the building. The seismic performance of the columns and beams was checked using displacements, storey drifts and base shear force data. The analysis results revealed that the damage distribution in the columns of the irregular building was 22% collapse damage, while the damage in the columns of the regular building was only 3%. Furthermore, the maximum displacements were found to be 42.9 cm for the irregular building and 22.94 cm for the regular building. The irregular building exhibits a 35.59% longer period and 87.35% higher displacement than the regular building, indicating greater flexibility and slower oscillations under seismic forces. The regular building experienced 22.8% more base shear force than the irregular building, with differences in shear force magnitude reflecting varied responses in displacement and force distribution due to structural irregularities.

Keywords: Soft story irregularity, Weak story irregularity, Nonlinear Time history Analysis, building earthquake performance



## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Türkiye, sismik aktivitenin ağırlıklı olarak tektonik hareketlerden kaynaklandığı Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır. Çok sayıda fayın varlığı nedeniyle Türkiye tektonik açıdan oldukça aktiftir. Türkiye son 30 yılda can kaybına ve çevresel hasarlara neden olan büyüklüğü 7 Mw'den büyük 5 büyük depremle karşılaşmıştır. Bu depremler; 17 Ağustos 1999 Gölcük (İzmit) 7.6 Mw, 12 Kasım 1999 Düzce (Bolu) 7.1Mw, 23 Ekim 2011 Erciş (Van) 7.7, 6 Şubat 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) 7.7 ve 6 Şubat 2023 Elbistan (Kahramanmaraş). 06 Şubat 2023 tarihinde Pazarcık ve Elbistan ilçelerinde meydana gelen 7.7 ve 7.6 büyüklüğündeki depremler güney illerini etkilemiştir. Bu depremler sırasında binalarda önemli hasarlar meydana gelmiş ve can kayıpları yaşanmıştır. Bu depremler konutlarda ve tarihi binalarda büyük hasara yol açarak, birçok yapı depremin yüksek şiddeti nedeniyle çökmüştür. Afet Acil Durum Yöntemi Başkanlığı (AFAD), Kahramanmaraş depremlerinde onbir ilin etkilendiğini, bu illerin Adana, Adıyaman, Diyarbakır, Elâzığ, Gaziantep, Hatay, Kilis, Kahramanmaraş Malatya Şanlıurfa ve Osmaniye olduğunu ve binlerce kişinin hayatını kaybettiğini, on binlerce kişinin de yaralandığını bildirmiştir (Aslan, 2024).

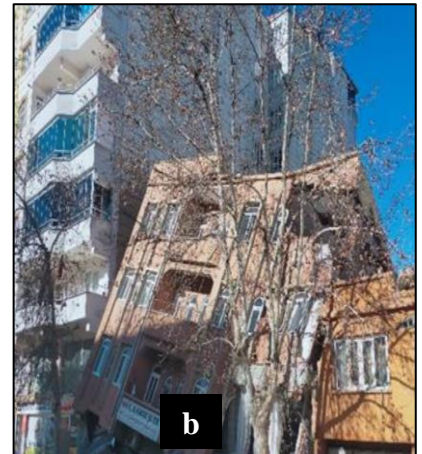
Mevcut binaların çoğunun sismik ivmelerden ciddi ölçüde etkilendiği rapor edilmiştir. Hasarların düşük malzeme dayanımı, uygun bakım (beton kürü) yapılmaması, özellikle etriyelerde uygun işçilik eksikliği, yetersiz zemin taşıma kapasitesi, yetersiz temel derinliği, yapı elemanlarında yetersiz kesit ve donatı, bitişik binalarda farklı kat seviyeleri, yumuşak kat düzensizliği, zayıf kat düzensizliği ve kısa kolon etkisinden kaynaklandığı özetlenebilir (Ayso et al., 2024). 06 Şubat Pazarcık ve Elbistan gibi çeşitli depremlerde bina düzensizlikleri nedeniyle yıkılan birçok betonarme bina olmuştur (Şekil 1.1-1.8).



Şekil 1.1 : Elbistan 06.02.2023 depremi Hatay'da hasarlı binalar (Ayso et al., 2024).



Şekil 1.2 : Zemin kat mekanizması hasarı, Elbistan depremi (06.02.2023 (Ayso et al., 2024).



Şekil 1.3 : Kahramanmaraş'ta hasar gören binalar a) Zeyif kay ve b) yumuşak kat (AFAD, 2023).



(a)

(b)

Şekil 1.4 : Malatya'da bir binanın (a) Yumuşak kat (b) Kiriş-kolon birleşimindeki tasarım hatası nedeniyle çökmesi (AFAD, 2023).



Şekil 1.5 : Yumuşak kat mekanizmasına bağlı bina hasarı 2011, Kütahya-Simav depremi, (Yılmaz & Avşar, 2013).



Şekil 1.6 : Zayıf kat düzensizliği nedeniyle oluşan deprem hasarları(Kaushik & Jain, 2007).



Şekil 1.7 : Deprem öncesi ve sonrası zayıf kat hasarı, İskenderun/Hatay(Yuzbasi, 2024)



Şekil 1.8 : Zayıf kat nedeniyle yıkılmış bina, 06.02.2023 Pazarlık depremi (Yuzbasi, 2024).

Pazarlık ve Elbistan depremlerinde, birçok düzensiz binanın yetersiz rijitlik nedeniyle ağır hasar gördüğünü tespit edilmiştir. Sahada gözlemlenen hasar ve göçmeleri daha iyi yorumlayabilmek için, hasar görmüş düzensiz binaların sismik davranışlarının ve Türkiye'deki sismik tasarım kodlarının gelişiminin incelenmesi gerekmektedir.

### 1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsam

Bu tezde, yapısal düzensizliklerin bina deprem davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, yapısal düzensizliği olan deprem geçirmiş betonarme bir binanın deprem dinamik davranış TBDY 2018'e göre incelenmiştir. Bu kapsamda Kahramanmaraş'ta Z+7 kattan oluşan yumuşak kat ve rijitlik düzensizliği olan betonarme bir bina incelenmiştir. Binanın hem mevcut düzensiz modeli hem de düşeyde düzensizlikleri kaldırılarak analiz edilmiştir. Yapısal düzensizliklerin deprem performansına etkisi karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Deprem altındaki dinamik davranışı incelemek için binaya en yakın deprem kaydı kullanılarak Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz yapılmıştır. Her iki bina modeli için kolonların,

kirişlerin ve perde duvarların sismik performan değerlendirilmesi, taban kesme kuvveti, bina tepe noktası yer değiştirmeleri ve kat görelî ötelemeleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçlarının, düşeyde düzensiz binaların doğrusal olmayan analiz yöntemleriyle TBDY 2018'e göre değerlendirilmesi alanında çalışan araştırmacılar için yol gösterici olması amaçlanmaktadır.

## 1.2. Literatür Araştırması

Bu başlıkta yapısal olarak düzensiz binaların sismik davranışı ve performansı alanında yapılmış çalışmalar incelenmiş ve özetlenmiştir.

Ibrahim ve Mohamed çalışmalarında, yumuşak kat düzensizliği olan konut tipi 10 katlı (G+9) eşit açıklıklı ve eşit açıklıklı olmayan iki tip binanın doğrusal olmayan davranışını zaman tanım alanında analiz ile karşılaştırmıştır. Binalar yumuşak zemin sahalarında kaydedilen bir dizi deprem yer hareketine maruz bırakılmıştır. Çalışma sonucunda, yumuşak kat etkisinin doğal periyot üzerindeki etkisi, taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi ve her bina için yer değiştirme ve ivmenin zamanla değişimi sunulmuştur (Ibrahim & Mohamad, 2024).

Şeymus yüksek lisans tez çalışmasında, yumuşak kat düzensizliğinin betonarme bina hasarı üzerindeki etkisini olasılık odaklı incelemiştir. Çalışma, doğrusal olmayan artımsal dinamik ve statik pushover analizleri kullanılarak, kapasite eğrileri, performans davranışı, görelî kat ötelemelerini ve sismik kırılma eğrilerini içermektedir (Şeymus Tektaş, 2024).

Esra, 8, 6 ve 4 katlı binalara odaklanarak orta katlı betonarme binalarda yumuşak kat düzensizliğini araştırmıştır. Analizde, her biri kat 2.8 m kat yüksekliğine sahipken, zemin kat yüksekliği 3,5 m, 4,5 m ve 5.5 m olarak değiştirilerek yumuşak kat durumları modellenmiştir. Tüm katlar olarak Çalışma taban kesme kuvvetinin kat yüksekliği ile ters orantılı olduğu ve en düşük taban kesme kuvvetinin yumuşak katlı binalarda hesaplandığını ortaya koymaktadır. Kat sayısının artmasıyla birlikte çatı kayma oranının da yükseldiği ve 4 katlı binaların, 6 ve 8 katlı binalara kıyasla daha fazla etkilendiği belirlenmiştir(Esra, 2018).

düşey düzensizliklere sahip binaların sismik riskini değerlendirmek için yeni bir sismik hasar görülebilirlik endeksi önermiştir. Düşey kütle ve rijitlik düzensizlikleri olan binalara odaklanmış, yer değiştirme ve öteleme dahil olmak üzere yapısal

parametrelere dayalı kırılabilirliği ölçmek için bir bina modellenmiştirlerdir. Çalışmaları, düşey düzensizliğe sahip binaların sismik olaylar sırasında sergileyebileceği yapısal zayıflıklara ilişkin değerli bilgiler sağlamıştır (Bhosale et al., 2018).

Kırac ve çalışma arkadaşları, Ankara ve Eskişehir'de bulunan mevcut düzensiz betonarme binaların sismik davranışını incelemiştir. Hesaplamalar, Hem düşey hem de plan düzensizliği olan farklı binalar hesaplanmıştır. Çalışmada, bu düzensizliklerin kesme davranışı, yer değiştirme ve kat ötelenmesi değerlerini olumsuz yönde etkilediği belirtilmiştir (Kırac et al., 2011).

Akash ve Sinha, Hindistan'daki düşeyde düzensiz betonarme çerçeveli binaların sismik performansını, taban izolasyonlu sisteme odaklanarak araştırmıştır. Araştırma, fay tipleri ve titreşimli yer hareketleri altında bu binalar üzerindeki sismik etkileri tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Çalışma, IS-1893'e uygun olarak tasarlanan, kurşun kauçuk izolasyonlu mesnet özelliklerini içeren G+5 normal katlı binanın, rijitlik düzensizliği, kütle düzensizliği ve düşey geometrik düzensizlik durumlarını incelemektedir. Sonuçlar analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır (Akash & Sinha, 2024).

Budthapa ve arkadaşları, çift bodrumlu otel kullanım amaçlı iki betonarme bina modelini incelemiştir. ETABS v 18 kullanılarak, eşdeğer statik ve tepki spektrumu analizleri yapılmış, bina periyodları, maksimum kat yer değiştirmeleri, kat kayması ve taban kesme kuvveti değerleri belirlenmiştir. Uygun kütle dağılımının, yapı performansını önemli ölçüde etkilediği ve düzensiz çerçeve tasarımlarının hasarı arttırdığı vurgulanmıştır (Budthapa et al., n.d.).

Pala ve Tekin, 1940 El Centro deprem kayıtlarını kullanarak, zayıf kat düzensizliğine sahip bitişik binaların deprem davranışını incelemiştir. Binalar arasında minimum 7 cm'lik bir açıklığın yeterli olduğunu ve artan mesafenin maksimum taban kesme kuvveti değerini azalttığını bulmuşlardır (Pala & Tekin, 2017).

Garcia ve Cardenas çalışmalarında, Mexico City'nin güncel Sismik Tasarım Yönetmeliği'ne (NTCS-2017) ve eski yönetmeliğine, (NTCS-1976) göre tasarlanan zayıf kat düzensizliğine sahip alçak ve orta katlı betonarme binaların deprem performansını karşılaştırmıştır. Binalar yumuşak zemin sahalarında 19 Eylül 2017 (Mw = 7.1) Puebla-Morelos Depremi'nde kaydedilen bir dizi yer hareketine tabi tutulmuştur. İnceleme sonucunda, zayıf kat düzensizliği olan betonarme binaların

maksimum görelî kat ötelemesi dağılımını değiştirdiği ve mekanizma oluşumunu geciktirdiği ortaya koyulmuştur (Ruiz-García & Cárdenas, 2021).

Van Thuat, süreksiz kolonlara sahip düzensiz binaların sismik davranışını incelemiştir. 7, 8 ve 15 katlı binaların, sismik davranışını değerlendirmek amacıyla 29 farklı deprem kaydı kullanılarak analiz edilmiştir. Araştırma sonuçlarında, düzensiz binaların sismik etki altındaki performansları detaylı olarak incelenmiştir (Van Thuat, 2013).

Uyan ve Erdem, Uyan ve çalışma arkadaşları, TBY-2018'e göre yumuşak kat düzensizliğine sahip mevcut 3, 5 ve 7 katlı betonarme binaları incelemiştir. Sismik performans davranışlarını belirlemek için tek modlu Pushover Analizi kullanılmış ve bu düzensiz binaların performans düzeyleri karşılaştırılmıştır (UYAN & ERDEM, 2021).

Khanal ve arkadaşları (2019), Nepal gibi sismik olarak aktif bölgelerdeki mevcut yapıları, özellikle 2015 Nepal Depremi'nden sonra gözlenen yumuşak kat hasarlarını dikkate alarak incelemiştir. ETABS bilgisayar programı kullanılarak farklı kat yüksekliğine sahip beş karkas çerçeve modelinde lineer statik ve dinamik analizler gerçekteşirilmiştir. Modeller, Japon, Türk ve IS standartlarına göre rijitlik ve ötelenme oranı açısından değerlendirilmiştir. Bulgular, Japon ve Türk standartlarının yumuşak kat hasarlarını statik ve dinamik analizlerde farklı şekillerde ele aldığını, IS standardının ise tutarlı kaldığını ortaya koymuştur. Ayrıca, yapı rijitliğini artıran perde duvarların eklenmesinin, yumuşak kat kaynaklı çökme riskini azalttığı belirtilmiştir (Khanal et al., 2019).

Bhatt ve arkadaşları (2017), rijitlik düzensizliğine sahip betonarme 6 katlı, dolgu duvarlı çerçeveler, Gorkha-2015 depremi altında ETABS 2000 yazılımı ile lineer zaman tanım alanında analiz yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Her biri farklı kat yüksekliğini yumuşak kat bulunan sekiz çerçeve modellenmiştir. Düzenli çerçeve, burulma etkileri dikkate alınarak IS 1893:2002'ye göre tasarlanmıştır. Taban/kat kesme kuvveti, kat yer değiştirmesi, katlar arası ötelenme ve periyot gibi parametreler, düzenli çerçeve ile karşılaştırılmıştır. Rijitlik düzensizliğinin sismik talebi önemli ölçüde artırdığı, analitik modellemede dolgu duvarlarının çerçevelerin yatay direncini önemli ölçüde arttırdığı vurgulanmıştır (Bhatt et al., 2017).

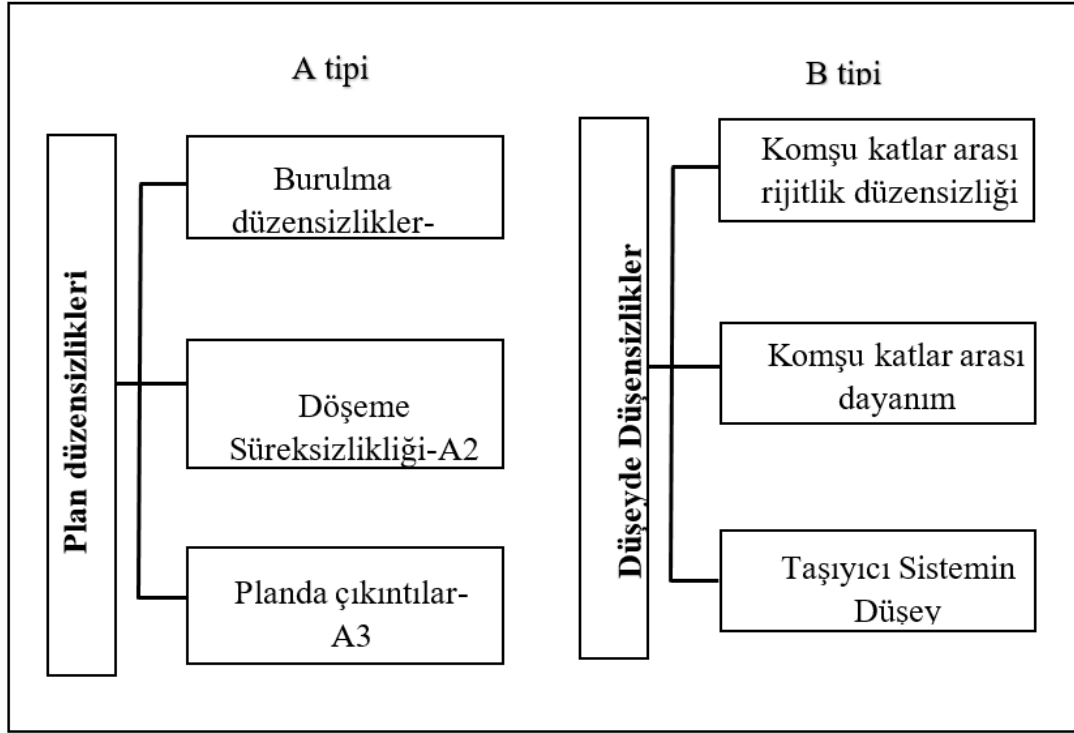
Literatürde, dünya genelinde meydana gelen farklı deprem etkileri göz önüne alınarak incelenen düşeyde düzensiz yapılara ait çalışmalar bulunmaktadır. Bu tez

alışmasında, düşey yapısal düzensizliği olan deprem geçirmiş betonarme 7 katlı bina dinamik davranışı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)'e göre incelenmiştir. Bina, Kahramanmaraş, Dulkadiroğlu İlçesi'nde, yer almaktadır. İncelemenin ilk aşamasında bina mevcut projesindeki hali ile ikinci aşamada ise düzensizlikler kaldırılarak analiz edilmiştir. Yapısal düzensizliklerin deprem performansına etkisi karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Deprem performansının belirlenmesi aşamasında binaya en yakın istasyondan alınan ivme kaydı ile Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz kullanılmıştır. Analizden elde edilen kolon ve kirişlerin sismik performansları, bina tepe yerdeğiştirmeleri, kat görelİ ötelemeleri ve taban kesme kuvveti parametreleri karşılaştırılmıştır.



## BÖLÜM 2. TBDY-2018'E GÖRE YAPISAL DÜZENSİZLİKLER

Bina düzensizlikleri binanın geometrisi, kütle dağılımı, rijitliği, dayanımı ve taşıyıcı eleman yerleşiminden kaynaklı olabilir. TBDY-2018'de düzensiz binalar A ve B tipi olmak üzere iki ayrı kategoride sınıflandırılmıştır (Şekil 2.1).



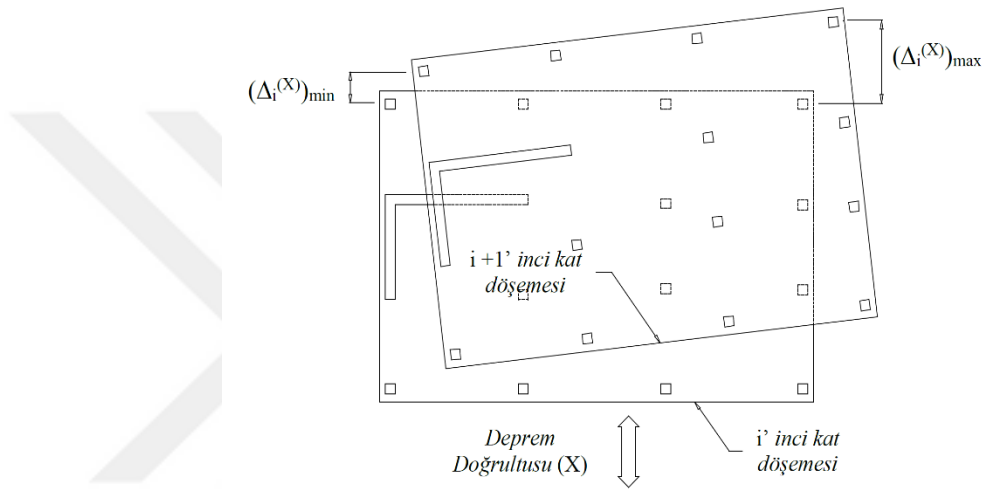
Şekil 2.1 : TBDY-2018'e göre bina düzensizlikleri

### 2.1. Plandaki düzensizlik durumları

Plandaki düzensizlikler burulma düzensizlikleri (A1), döşeme süreksizlikleri (A2) ve planda çıkıntılarının varlığı (A3) olarak belirtilmektedir.

### 2.1.1. Burulma Düzensizliği (A1)

TBDY-2018'de belirtilen burulma düzensizliği, maksimum görelî kat yer değiştirmesinin aynı katta aynı doğrultudaki ortalama yer değiştirmeye oranını gösteren burulma düzensizliği katsayısının ( $\eta_{bi}$ ) X ve Y deprem doğrultusundan herhangi biri için 1,2'yi aşması durumunda ortaya çıkar (Şekil 2.2). Burulma düzensizliği, deprem sırasında binanın performansını önemli ölçüde etkileyebileceğinden sismik tasarımda kritik öneme sahiptir.

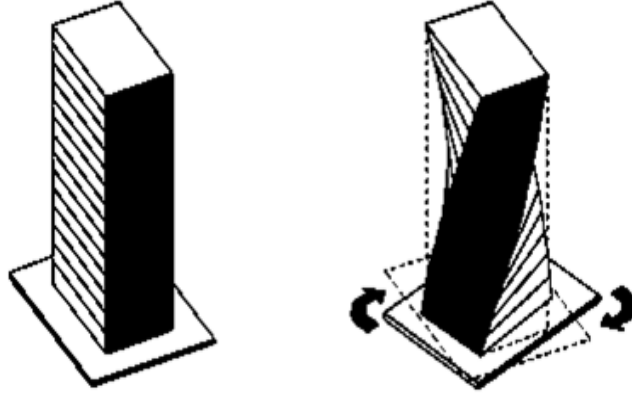


Döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalışmaları durumunda  
 $(\Delta_i^{(X)})_{ort} = 1/2 [(\Delta_i^{(X)})_{max} + (\Delta_i^{(X)})_{min}]$   
Burulma düzensizliği katsayısı:  $\eta_{bi} = (\Delta_i^{(X)})_{max} / (\Delta_i^{(X)})_{ort}$   
Burulma düzensizliği durumu:  $\eta_{bi} > 1.2$

Şekil 2.1 : Burulma düzensizliği (TBDY, 2018)

Binanın rijitlik merkezinin, (binanın şekil değiştirmeye karşı en dirençli olduğu nokta) kütle merkezi (binanın kütesinin yoğunlaştığı nokta) ile aynı doğrultuda olmaması nedeniyle meydana gelir (Şekil 2.2). Burulma düzensizliği katsayısı TBDY-2018'e göre Denklem 2.1 ile hesaplanır;

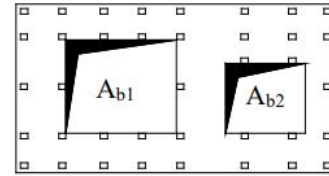
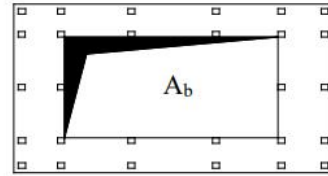
$$\eta_{bi} = \frac{(\Delta_i)_{max}}{(\Delta_i)_{ort}} > 1.2 \quad (2.1)$$



Şekil 2.2 : Burulma düzensizliği (TBDY, 2018).

### 2.1.2. Döşeme Süreksizlikliği (A2)

Döşemeler ve düşey elemanlar, uygun yük dağılımını sağlamak amacıyla düzlem içi rijitlikler ve uygun modelleme kullanılarak, deprem kuvvetlerini optimum aktaracak şekilde tasarlanmalıdır. TBDY-2018'e göre döşeme düzensizlik durumları Şekil 2.4'te açıklanmıştır.



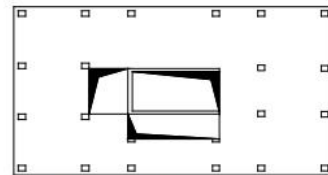
$$A_b = A_{b1} + A_{b2}$$

**A2 türü düzensizlik durumu - I**

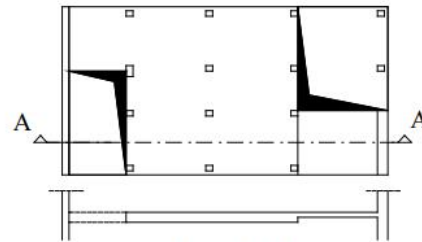
$$A_b / A > 1/3$$

$A_b$  : Boşluk alanları toplamı

$A$  : Brüt kat alanı



**A2 türü düzensizlik durumu - II**



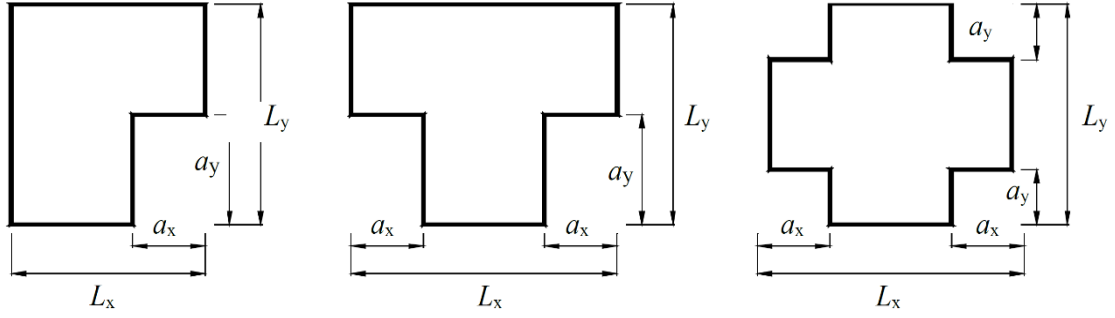
Kesit A-A

**A2 türü düzensizlik durumu - II ve III**

Şekil 2.3 : Döşeme süreksizliği durumları (TBDY, 2018)

### 2.1.3. Planda çıkıntılar bulunması (A3)

A3, Planda Çıkıntı Düzensizliği'nde, birbirine dik kat planlarının çıkıntı yapan boyutlarının, toplam kat boyutlarının %20'sini aşması olarak tanımlanmaktadır. Çıkıntıların plan boyutunun yüzde 20'sinden az olması gerekmektedir (Şekil 2.5).



**A3 türü düzensizlik durumu:**

$$a_x > 0.2 L_x \text{ ve aynı zamanda } a_y > 0.2 L_y$$

Şekil 2.4 : Planda çıkıntı bulunması düzensizliği (TBDY, 2018)

## 2.2. TBDY-2018'e göre Düşeyde Düzensizlikler

TBDY-2018'e göre düşey düzensizlikler üç tiptir; i) Komşu katlar arası dayanım düzensizlikleri ii) Komşu katlar arası rijitlik düzensizlikleri ve iii) Taşıyıcı sistem düşey eleman süreksizlikleri (TBDY-2018).

### 2.2.1. Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (B1)

Türkiye'de, kolon fazlalıkları olan komşu katlar, beton ve tuğla duvarlı alanlardan oluşan dayanım düzensizliği (zayıf kat) yaygın deprem hasar türlerindedir. Dayanım düzensizliği olan binalar, daha az rijitlik ve dayanıma sahip olmaları nedeniyle yer hareketleri karşısında daha dayanıksızdır. Deprem Mühendisliği teknolojisinin gelişmesine rağmen, zayıf katlı binalar hala inşa edilmektedir ve birçok şehir çok katlı betonarme binaların temel katında park alanları oluşturmayı hedeflemektedir. TBDY-2018'e göre zayıf kat, herhangi bir kattaki etkin kesme alanının, bir üst katın etkin kesme alanına oranı olan dayanım düzensizliği katsayısı ( $\eta_{ci}$ ) ile hesaplanır (Denklem 2.2);

$$\eta_{ci} = \frac{(\Sigma A_e)_i}{(\Sigma A_e)_i + 1} < 0.8 \quad (2.2)$$

Yukarıda verilen bağıntıda  $\Sigma A_e$  Denklem 2.3 ile elde edilir;

$$(\Sigma A_e)_i = (\Sigma A_w)_i + (\Sigma A_g)_i + 0.15(\Sigma A_k)_i \quad (2.3)$$

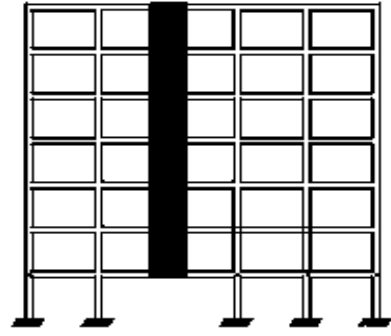
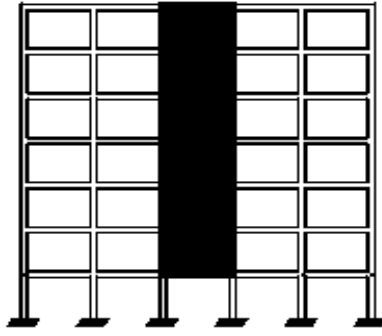
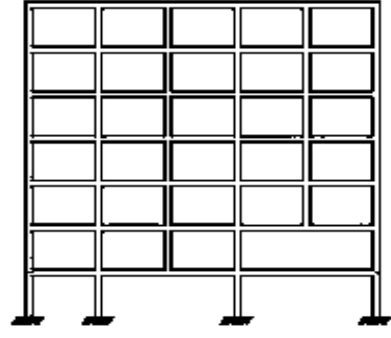
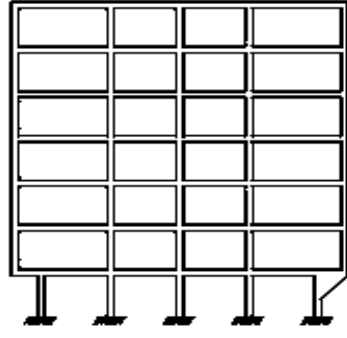
### 2.2.2. Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (B2)

Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği, bir yapının farklı katlarında rijitlik farklarının olması durumudur. Bu durum, genellikle farklı katlardaki yapı elemanlarının (kolonlar, kirişler, döşemeler) farklı dayanım ve deformasyon özelliklerine sahip olmasından kaynaklanır. Eğer bir kat diğer katlara göre daha az rijit ise, o katın daha fazla deplasman yapması muhtemeldir. Bu tür rijitlik düzensizlikleri, özellikle depremler sırasında yapının dinamik davranışını olumsuz etkileyebilir ve yapı güvenliğini tehlikeye atabilir. Betonarme bir binanın komşu katlar arası rijitlik düzensizliğini (yumuşak kat) kontrol etmek için yumuşak kat düzensizliği katsayısı ( $n_{ki}$ ) hesaplanmalıdır. Bu katsayı, bir binada belirli bir kattaki ortalama görel kat ötelemesi oranının, bir üst veya alt kattaki görel kat ötelemesi oranı kullanılarak hesaplanır (Denklem 2.4). Hesaplanan katsayı ( $n_{ki}$ ) 2'den büyük ise yumuşak kat düzensizliği olduğu söylenir.

$$\eta_{ki} = (\Delta i / h_i)_{ort} / (\Delta i - 1/h_i - 1)_{ort} > 2.0 \quad (2.4)$$

### 2.2.3. Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanların Süreksizliği (B3)

Yapının taşıyıcı sistemindeki düşey elemanların (kolonlar, perdeler, vb.) düzensiz veya kesintili bir şekilde yerleştirilmesi durumunu ifade eder. Bu durum, yapının farklı katlarında taşıyıcı elemanların eksik ya da süreksiz olmasından kaynaklanabilir. Düşey elemanların süreksizliği, özellikle deprem gibi dinamik yükler altında, yapının stabilitesini olumsuz yönde etkileyebilir. Taşıyıcı elemanlar arasındaki bu tür süreksizlikler, yapıların düzgün bir şekilde yük taşımasını zorlaştırır ve yapısal güvenliği tehlikeye atabilir (Özdemir & Karataş, 2024).



Şekil 2.5 : Düşey eleman süreksizliği (TBDY, 2018)

## BÖLÜM 3. TBDY-2018'E GÖRE BİNALARIN DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

### 3.1. TBDY-2018'e göre Deprem Etkileri

AFAD 2019 yılı itibari ile Türkiye için ayrıntılı deprem tehlikesi verilerini sağlayan, güncel deprem tehlike haritalarını yayınlamıştır. Türkiye deprem tehlike haritaları ([www.tdth.afad.gov.tr](http://www.tdth.afad.gov.tr)) herhangi bir coğrafi konuma göre spektrum parametrelerine kolay bir şekilde ulaşılmasını sağlamaktadır. Deprem riski dört farklı yer hareketi seviyesine göre sınıflandırılmıştır. Güncellenen haritalar, maksimum ivmeleri dikkate alarak sismik uyarımlar altında bina tasarımı için güvenilir sismolojik verileri sağlar.

#### 3.1.1. Deprem yer hareket düzeyleri

TBDY- (2018)'e göre deprem tasarımı için kullanılan dört yer hareketi vardır. Bunlar DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4'tür. Yer hareketlerinin detayları Tablo 3.1 'de açıklanmıştır.

Tablo 3.1 : Deprem hareket düzeyleri

Deprem Yer Hareketi Düzeyleri	Aşılama Olasılığı (50 yıl içinde)	Tekrarlanma Periyodu	Deprem Yer Hareketi Doğası
DD-1	2%	2475 yıl	Çok seyrek
DD-2	10%	475 yıl	seyrek
DD-3	50%	72 yıl	Sık
DD-4	68% (30 Yıl içinde aşılama olasılığı 50%)	43 yıl	Çok sık

TBDY-2018 Performansa Göre Değerlendirme ve Tasarım bölümü ile önceki deprem yönetmeliğinde bulunan mevcut binaların değerlendirilmesi yaklaşımından farklı olarak farklı deprem seviyeleri için hesaplama ve tasarım yapılması imkanı sağlamıştır.

### 3.2. Deprem yer hareketi spektrumları

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) kapsamında, DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 olmak üzere dört farklı tasarım deprem yer hareketi spektrumu kullanılmaktadır. Bu spektrumlar, farklı büyüklükteki depremler altında yapıların davranışını değerlendirmek için oluşturulmuştur. Deprem yer hareketi spektrumları, özellikle deprem mühendisliğinde, farklı frekanslardaki sismik dalgaların bir yapıyı nasıl etkilediğini analiz etmek amacıyla kullanılır. Genellikle ivme cinsinden ifade edilen bu spektrumlar, bir yapının farklı doğal periyotlara sahip modlarında depreme karşı göstereceği maksimum tepkileri (ivme, hız veya yer değiştirme) grafiksel olarak sunar. Bu spektrumlar sayesinde, yapının belirli bir doğal periyoda karşılık gelen deprem etkileri öngörülebilir ve bu bilgiler, yapıların güvenli ve dayanıklı bir şekilde tasarlanmasında kritik rol oynar.

#### 3.2.1. Deprem yer hareketi spektrumları

Spektral ivme tasarım katsayıları, DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 yer hareketi seviyelerini incelemek için yerel zemin tipi, faya yakınlık ve sismik süre gibi faktörleri bir araya getirmektedir. Bu tehlike haritalarından türetilen spektral katsayılar, farklı dönüş periyotları için spektral ivmeyi tanımlamak için kullanılır. Yerel zemin etki katsayıları, sismik dalgaları arttırabilen veya sönmüleyebilen zemin tipindeki değişiklikleri dikkate almak için kullanılmaktadır. Türkiye Deprem Tehlike Haritası'nda tanımlanan,  $S_s$  kısa periyot harita spektral ivme katsayısını,  $S_1$  ise bir saniye periyod için tasarım spektral ivme katsayısını ifade etmektedir. Deprem yer hareketi spektrumları tanımlanırken, yapılardaki tipik enerji dağılımını yansıtan standart sönmü oranının %5 olduğu varsayılmaktadır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nin spektral katsayıları Denk. 3.1-3.2'deki gibi hesaplanır;

$$S_{DS}=S_s \times F_s \quad (3.1)$$

$$S_{D1}=S_1 \times F_1 \quad (3.2)$$

Burada,  $F_1$  bir saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı ve  $F_s$  kısa periyot için yerel zemin etki katsayısıdır.

### 3.2.2. Yerel zemin etki katsayıları

TBDY -2018 Tablo 16.1, en üst 30 m'lik katmanındaki ortalama kayma dalgası hızı ( $V_{s30}$ ), standart penetrasyon darbe sayısı ( $N_{60}$ )<sub>30</sub> veya drenajsız kesme dayanımına ( $C_u$ )<sub>30</sub> göre zemini altı sınıfa ayırmaktadır. Bu zemin çeşitleri; ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE'dir. Tablo 3.2 ve 3.3'de zemin ve etki katsayıları gösterilmektedir.

Tablo 3.2 : Yerel zemin için kısa periyot katsayısı

Yerel zemin düzeyi	Yerel zemin için kısa periyot harita spektral ivme katsayısı					
	$SS \leq 0.25$	$SS \leq 0.5$	$SS \leq 0.75$	$SS \leq 1$	$SS \leq 1.25$	$SS \leq 1.5$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZB	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZC	1.6	1.4	1.2	1	1	1
ZE	2.4	1.2	1.3	1	0.9	0.9
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır					

Tablo 3.3 : Yerel zemin için 1. saniye periyot katsayısı

Yerel zemin düzeyi	Yerel zemin için 1. saniye periyot katsayısı					
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 = 0.5$	$S_1 = 0.6$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
ZD	2.4	2.2	2	1.9	1.5	1.8
ZE	2.4	1.7	1.3	2.4	2.4	2.2
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır					

### 3.2.3. TBDY-2018'e göre yatay ve dikey elastik tasarım spektrumları

Doğrusal elastik spektral ivmeleri  $S_{ae}(T)$ , yerçekimi ivmesi cinsinden AFAD'dan alınan spektral ivme katsayıları kullanılarak belirlenir. Yatay elastik tasarım spektrumu (Şekil 3.1), her bölgede farklı olan ve yatay deprem etkisini temsil eden dört farklı fonksiyonla hesaplanır (Denk. 3.3-3.6);

$$S_{ae}(T) = \left(0.4 + 0.6 \times \frac{T_A}{T_B}\right) S_{DS} \quad , \quad 0 \leq T \leq T_A \quad (3.3)$$

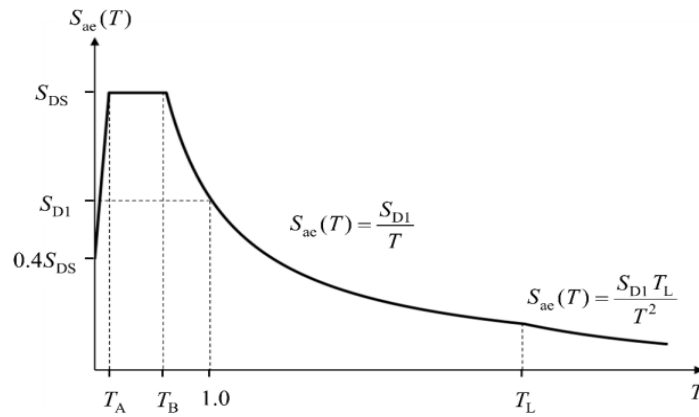
$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad , \quad T_A \leq T \leq T_B \quad (3.4)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad , \quad T_B \leq T \leq T_L \quad (3.5)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad , \quad T_L < T \quad (3.6)$$

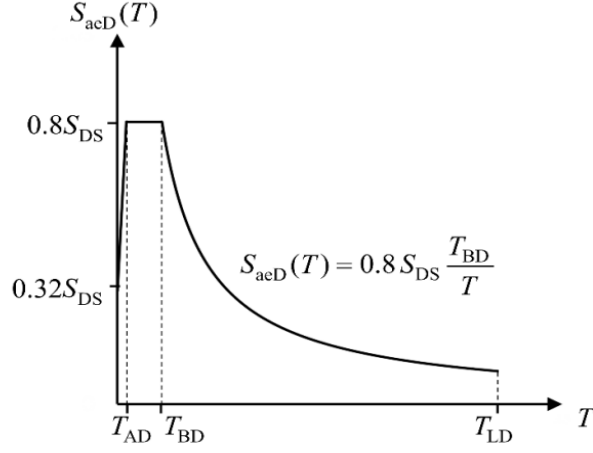
$T_A$  ve  $T_B$ , yatay elastik tasarım ivme spektrumunun köşe periyotlarıdır ve Denklem 3.7 ile hesaplanır;

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad \text{ve} \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.7)$$



Şekil 3.1 : Yatay elastik tasarım ivme spektrumu

Ayrıca düşey elastik tasarım spektrumu Şekil 3.3'te gösterilmiştir, Denklem 3.8-3.10 kullanılarak elde edilir.



Şekil 3.2 : TBDY-2018 düşey elastik tasarım spektrumu

$$S_{ae}(T) = \left( 0.32 + 0.48 \frac{T}{T_{AD}} \right) S_{DS} \quad 0 \leq T \leq T_{AD} \quad (3.8)$$

$$S_{aeD}(T) = 0.8S_{DS} \quad T_B \leq T \leq T_B \quad (3.9)$$

$$S_{ae}(T) = 0.8S_{DS} \frac{T_{BD}}{T} \quad T_{BD} \leq T \leq T_{LD} \quad (3.10)$$

Düşey elastik tasarım spektrumunda  $T_A$  ve  $T_B$  düşey tepki spektrumunun köşe periyotlarıdır ve bu parametreler Denklem 3.11 ile hesaplanır;

$$T_{AD} = \frac{T_A}{3} \quad , \quad T_{BD} = \frac{T_A}{3} \quad T_{LD} = \frac{T_L}{3} \quad (3.11)$$

### 3.3. Bina Performans Düzeyleri

Bina performans düzeyleri, bir yapının deprem gibi dinamik yükler altında gösterdiği davranışı tanımlamak için kullanılan çeşitli seviyelerdir. Bu düzeyler, yapının güvenliği, işlevselliği ve konforu açısından ne kadar dayanıklı olduğunu belirler (Şekil 3.3).

### **3.3.1. Kesintisiz kullanım (KK) performans düzeyi**

Bu düzeydeki binalar, deprem sonrası hiçbir kesinti olmadan faaliyetlerini sürdürebilmelidir. Yani, bina depremden sonra hemen kullanılabilir olmalı ve herhangi bir onarıma ihtiyaç duymamalıdır.

### **3.3.2. Sınırlı Hasar (SH) performans düzeyi**

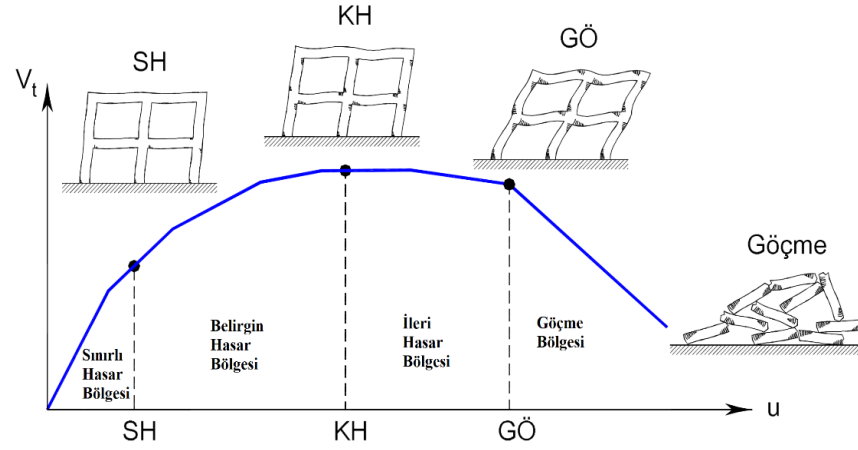
Sınırlı hasar düzeyindeki binalar, deprem sırasında ciddi yapısal bir çökme yaşamazlar. Bina, temel yapısal elemanlarında hasar alabilir, ancak bu hasar yapının genel güvenliğini tehdit etmez.

### **3.3.3. Kontrollü Hasar (KH) performans düzeyi**

Bu performans düzeyinde, yapısal güvenliğin korunarak, hasarın kontrollü bir şekilde gerçekleşmesi ve can güvenliğinin sağlanması hedeflenir. Binanın büyük hasar alması beklenmekle birlikte, çökme riski oluşmaz ve insanlar güvenli bir şekilde tahliye edilebilir.

### **3.3.4. Göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyi**

Bu performans düzeyinde ise binanın deprem sırasında yapısal güvenliğini sağlayarak çökme riskinin ortadan kaldırılması hedeflenir. Bu seviyede, bina büyük bir yapısal hasar alabilir, ancak asıl hedef bina çökmesinin engellenmesi ve can güvenliğinin korunmasıdır.



Şekil 3.3 : TBDY-2018'e göre performans düzeyleri

### 3.4. Doğrusal Olmayan Davranışın Modellenmesi

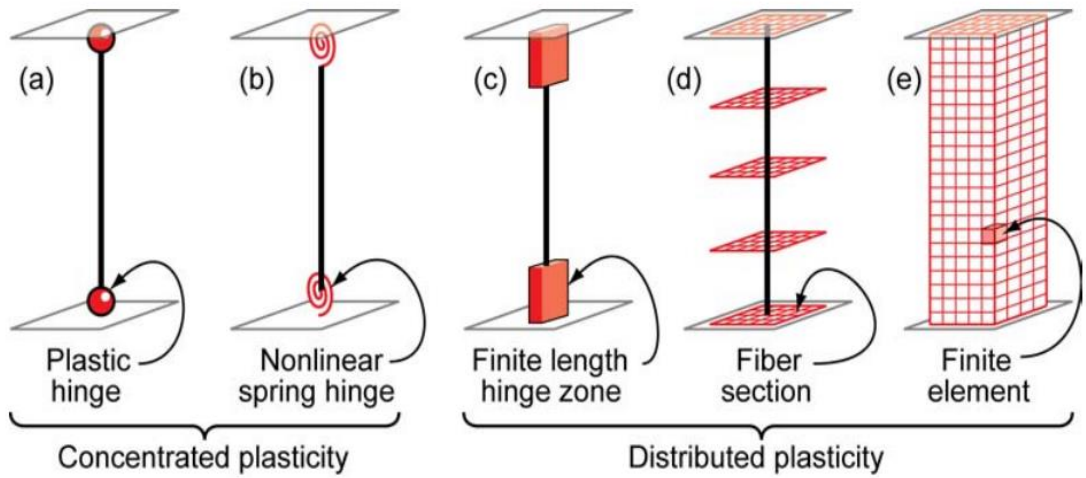
Yapıların modellenmesinde doğrusal olmayan davranış plastik mafsallar kullanılarak temsil edilir. Plastik mafsallar, elemanların plastik şekil değiştirmelerini temsil eder ve tanımlanırken betonarme kesitlerin moment-egrilik ilişkisinden faydalanılır. Bu ilişkide kesit sünekliği, moment düzeylerine göre kesit rijitliğindeki değişim, malzeme modeline bağlı olarak kabuk ve çekirdek betonda ezilme olup olmadığı, sargılı beton etkisi, eğilme donatısının kopması veya pekleşmesi gibi faktörler incelenebilir. Deprem yönetmeliğinde yığılı ve yayılı plastik davranış modellemesine imkan tanınmaktadır (Türker, 2012).

#### 3.4.1. Yığılı plastik mafsallı model

Yığılı plastik davranış modeli, kolon ve kiriş elemanların plastik şekil değiştirmelerinin düzgün yayılı olduğu varsayımına dayanır. Bu modelde, plastik deformasyonlar elastik elemanın uç noktalarında toplanır ve moment-dönme ilişkileri dikkate alınır. Yığılı plastik mafsallı modelinde, plastik mafsallar kesit yüksekliğinin yarısı uzunluğunda ( $L_p = 0.5h$ ) otomatik olarak tanımlanır ve plastik şekil değiştirmelerin, bu uzunluk boyunca belirli bir bölgede toplandığı varsayılır. TBDY 2018'e göre, yığılı plastik mafsallar, plastik şekil değiştirme bölgesinin ortasında yer alır ve çubuk elemanların uçlarından  $L_p/2$  mesafede yerleştirilir (*IdeYAPI Bilgi Modellemesi*, n.d.).

Betonarme moment çerçevelerinde, yığılı plastisite modelleri basit olmalarına rağmen kiriş ve kolonların elastik olmayan davranışını başarılı bir şekilde yansıtır. Beton

ezilmesi, donatı burkulması, çelik akması gibi doğrusal olmayan etkiler de modellenebilir. Ancak, dezavantaj olarak moment-dönme eğrilerinin tanımlanması ve plastik mafsallık uzunluğuna dikkat edilmesi gereklidir. Kiriş ve kolon elemanlarının idealize edilmiş elastik olmayan modelleri, plastisite gelişiminin eleman uzunluğu boyunca dağıtılma şekliyle öne çıkmakta ve iki ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar, yoğunlaştırılmış (veya topaklanmış) ve dağıtılmış plastisite modelleri (Grossi et al., 2020). Birinci grup modeller, sırasıyla Şekil 3.4a,b'te özetlendiği gibi, rijit-plastik bir mafsallık veya histeretik özelliklere sahip elastik olmayan bir yay aracılığıyla bir moment-dönme kuralı kullanılarak elemanların ucundaki elastik olmayan davranışı yoğunlaştırır. İkinci grup modeller öncekilere göre giderek daha karmaşık hale gelmektedir. Şekil 3.4c'te gösterilen sonlu uzunluk mafsallık modelinde, plastikleşme formülasyonu elemanın ucundaki sonlu bir mafsallık bölgesi boyunca moment-eğrilik kanunu kullanılarak atanır. Şekil 3.4'de gösterilen lif kesit modelinde ise, plastikleşme elemanın tüm uzunluğu boyunca sayısal entegrasyon ile dağıtılır ve kesit malzemeleri için doğrusal olmayan aksel gerilme-gerinim histeretik kanunları tanımlanır. Son olarak Şekil 3.4'te gösterilen en karmaşık modelde, doğrusal olmayan yapısal özelliklere sahip sonlu elemanlar aracılığıyla tüm eleman boyunca sürekli bir ayrıştırma uygulanır, bu da zor bir parametre kalibrasyonu ve yüksek hesaplama çabaları gerektirir (Deierlein, Reinhorn, et al., 2010).



Şekil 3.4 : Kiriş ve kolon elemanlarının idealize edilmiş modelleri (Sağlam, 2023).

### **3.4.2. Yayılı plastik davranış modeli**

Yayılı plastik davranış modeli, malzemelerin plastik deformasyonlarını modelendirmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu model, yapı elemanlarının gerçek davranışına daha yakın bir yaklaşım sağlar (İRİZ, 2019). Fiber modellemesi ile eleman kesiti boyunca gerilme-şekil değiştirme dağılımı elde edilir ve beton ile çelik malzemeler küçük hücrelere ayrılarak modellenir. Yayılı plastik modelde, eleman boyunca herhangi bir yerde plastik mafsallık oluşabilir ve doğrusal olmayan davranış liflerdeki gerilme ve şekil değiştirmelerle ifade edilir (İRİZ, 2019). Fiber modelleme, yığılı plastik modellemeye göre daha gelişmiş bir tekniktir, ancak analiz süresini uzatır ve modelleme zorlukları içerir. Bu nedenle, genellikle perde elemanların modellemesinde kullanılsa da kolon ve kiriş elemanlarında da uygulanabilir.

### **3.5. Doğrusal Olmayan Analiz için Yapısal Elemanların Modellenmesi**

Bina taşıyıcı sistemlerinin depreme dayanıklı tasarımı ve değerlendirilmesi ile ilgili önemli prensipleri açıklamaktadır. Taşıyıcı sistemler daima üç boyutlu olarak modellenmelidir, yani binanın tüm yapısal bileşenleri hem yatay hem de dikey doğrultularda tam bir modellemeden geçmelidir. Deprem etkileri, birbirine dik yön doğrultuda her zaman dikkate alınmalıdır; yani bina X ve Y doğrultusunda oluşabilecek deprem etkilerine karşı analiz edilmelidir. Sönüm oranı ise, sistemin enerji dağıtma kapasitesini gösterir ve aksi belirtilmedikçe %5 olarak alınmalıdır.

Ayrıca, ikinci mertebe etkileri denilen, eksenel kuvvetlerin taşıyıcı sistemdeki şekil değiştirmelere bağlı olarak oluşturduğu ek kuvvetler de göz önüne alınmalıdır. Bu, depremin bina üzerinde yarattığı ek yüklerin ve deformasyonların etkilerini daha doğru bir şekilde analiz etmek için önemlidir.

#### **3.5.1. Kolon ve Kiriş elemanların Modellenmesi**

Kolon ve Kiriş elemanların yapı modellerinde nasıl temsil edileceğini ve depreme dayanıklı tasarımda nasıl ele alınacağını açıklamaktadır. Beton bina çerçevelerin (kolonlar, kirişler ve perdeler) elemanları olarak modellenir ve doğrusal olmayan davranışları iki şekilde ele alınabilir: i) Yığılı plastik davranış modeli i) Yayılı plastik davranış modeli (Egi, 2021) .

Bumodelleri, pratikte genellikle yeterli kabul edilir ve bu model elemanların uçlarında plastik şekildeğiştirme bölgelerinin oluşmasını temel alır.

‘Düşey eleman (Kolon) ve yatay eleman (kiriş) birleştiği düğüm noktalarında 6 serbestlik derecesi dikkate alınmalıdır, yani bu noktalar hem dönme hem de yer değıştirme serbestliklerine sahiptir’ (Kurt, 2018). Ancak, döşemeler rijit diyafram olarak modellenirse, rijit harekete karşı gelen bu serbestlikler kaldırılır. Plastik mafsallar, kiriş ve kolonların birleşim noktalarının hemen dışında, elemanların uçlarına yerleştirilebilir

Kiriş ve kolonların uçlarındaki plastik mafsallar arasında kalan bölge ise doğrusal eleman olarak modellenir ve bu elemanların etkin kesit rijitlikleri yönetmelikte belirtilen esaslara göre belirlenir. Bu yaklaşım, yapı elemanlarının doğrusal ve doğrusal olmayan davranışlarını doğru bir şekilde modellemeye yardımcı olur, böylece deprem sırasında yapıların performansı daha iyi tahmin edilebilir.

### 3.6. Etkin Kesit Rijitliklerinin Hesaplanması

Etkin rijitlik, uygulanan yüklemenin ve bileşenin detaylandırılmasının bir fonksiyonudur. Betonarme bileşenler farklı yükleme koşulları (örn. çekme, basınç, eğilme) ve farklı yükleme oranları (darbe, kısa süreli, uzun süreli) altında farklı davranır. Yığılı plastik davranışa göre modellenen kolonların, kirişlerin ve perdelerin etkin kesit rijitliği Denklem 3.12'de gösterildiği gibi hesaplanabilir.

$$(EI_e) = \frac{M_y L_s}{\theta_y 3} \quad (3.12)$$

$M_y$  akma momenti ve  $\theta_y$  çubuk elemanın ucundaki plastik mafsalların ortalama akma dönmesidir.  $M_y$  akma momenti ve  $\theta_y$  çubuk elemanın ucundaki plastik mafsalların ortalama akma dönmeleridir. Akma dönmesi Denklem 3.11'de verilen şekilde hesaplanabilmektedir. Kesitteki momentin kesme kuvvetine oranı olan kesme açıklığı  $L_s$  olarak tanımlanmaktadır. Kolon ve kirişlerin açıklığının yaklaşık yarısı ve perde duvarlar için her katın tabanından perdenin tepesine kadar olan mesafenin yarısıdır.

Plastik mafsalin akma dönmesi ( $\theta_y$ ), TBDY-2018 yönteminde belirtildiği gibi, Denklem (3.13)'ile hesaplanır.

$$\theta_y = \frac{\Phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta \left( 1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\Phi_u d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \quad (3.13)$$

Plastik mafsal kesitindeki etkin akma eğriliği formülündeki  $h$ ,  $d_b$ ,  $F_{ce}$  ve  $F_{ye}$  donatı çeliğinin ortalama çapını, betonun basınç dayanımını ve donatının akma dayanımını belirtmektedir. Kirişler ve kolonlar için  $\eta=1$  ve perdeler için  $\eta=0.5$ 'tir.

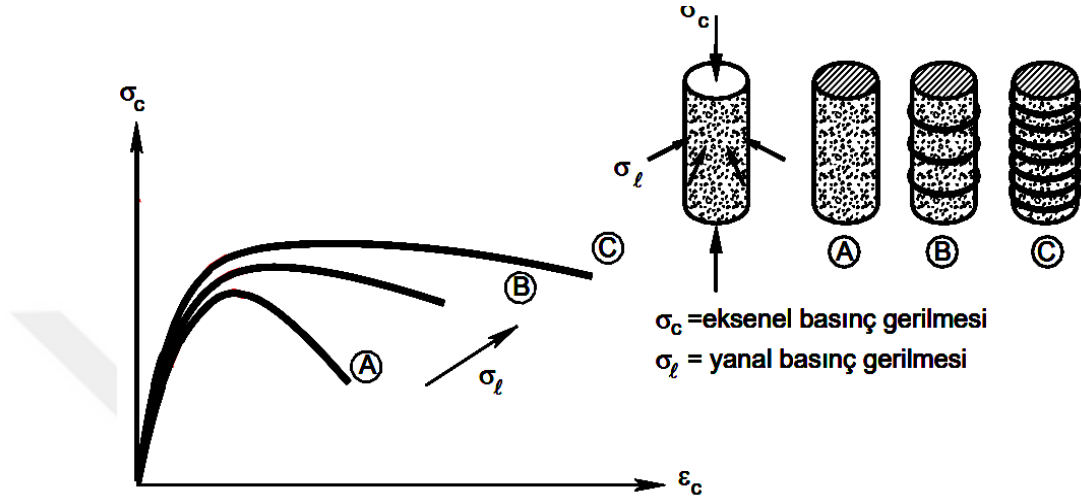
### 3.7. Malzeme Davranışı

Yapıların yer değiştirme kapasitesi, özellikle sismik aktiviteye tepki olarak, performansları için çok önemlidir. Süneklik, bir yapının önemli yer değiştirmeler yoluyla enerjiyi hasar görmeden sönmüleme yeteneği, sünek tasarımla geliştirilir. Gerinim sertleşmesi ve gerinim yumuşaması gibi malzeme davranışlarının anlaşılması, sismik olaylar sırasında yapıların tepkisinin doğru bir şekilde tahmin edilmesi için gereklidir. Fiber takviyeli polimer ve şekil hafızalı alaşımlar gibi gelişmiş malzemeler, sünekliği ve enerji dağılımını daha da artırarak yapısal esnekliği ve kullanım ömrü boyunca performansını iyileştirebilir.

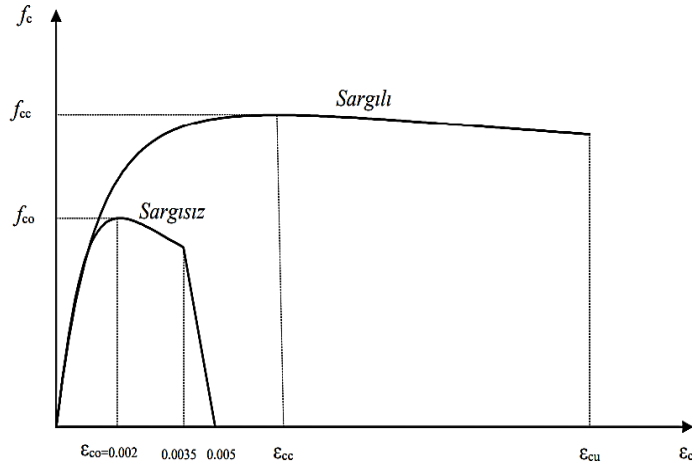
#### 3.7.1. Sargılı ve sargısız beton modelleri

Sargısız beton, sadece betonun kendi dayanımıyla yük taşıyan yapıyı ifade eder. Bu tür betonlarda, betonun taşıma kapasitesi tek başına kullanılmaktadır ve genellikle donatı (çelik) eklenerek güçlendirilmiş olur. Ancak, betonun düşük çekme dayanımı ve gerilmeye karşı zayıf davranışları nedeniyle, sargısız beton yapılar daha az dayanıklı olabilir. Bu tür yapılar, genellikle daha düşük gerilme oluşan durumlar için kullanılır. Sargılı beton, çelik donatılar veya başka türdeki sargı malzemeleri (çoğunlukla çelik kılıf veya kompozit malzemeler) kullanılarak güçlendirilmiş betondur. Beton, çekme dayanımına karşı oldukça zayıf olduğu için, bu tür sargılar, betonun çekme gerilmelerine karşı daha dirençli olmasını sağlar. Sargı, betonun etrafına bir kuvvet uygulayarak, dışarıdan gelen baskı altında betonun çatlamasını engeller. Bu yöntem, özellikle deprem gibi dinamik yüklerin olduğu bölgelerde önemli avantajlar sağlar. Deneysel araştırmalar, sargılı betonun gerilme-şekil değiştirme davranışı üzerindeki etkisini kapsamlı bir

şekilde incelemiştir. Priestley, Mander ve Park, Şekil 3.5'teki gibi betonun gerilme-şekil değiştirme davranışını açıklayan Mander modeline önemli katkılarda bulunmuşlardır (Mander et al., 1988).



Şekil 3.5 : Sargı etkisi ile değişen beton gerilme-şekil değiştirme davranış modeli (Sağlam, 2023).



Şekil 3.6 : TB DY-2018'e göre Mander beton modeli

$$F_c = \frac{F_{cc} X_e}{r - 1 - x^r} \quad (3.14)$$

Denklem 3.13'te verilen x ve r değerleri Denk. 3.15-3.17 kullanılarak belirlenir;

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad (3.15)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (3.16)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{c0}[1 + 5(\tau_c - 1)] \quad (3.17)$$

TBDY-2018'e göre elastisite modülü MPa cinsinden, Denklem 3.18 ile elde edilir;

$$E_{cc} = 5000\sqrt{f_{co}} \quad (3.18)$$

Sargılı ve sargısız beton dayanımı arasındaki ilişki Denklem 3.19-20'de verilmiştir.

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \quad \text{ve} \quad \lambda_c = 2.254 + \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_e}{f_{co}} - 2 \times \frac{f_e}{f_{co}} \times 1.254} \quad (3.19)$$

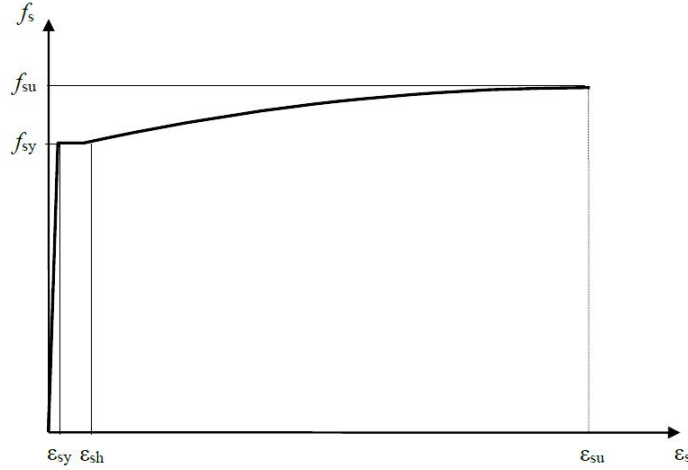
$f_{cc}$  =Sargılı beton,  $\lambda_c=1$  olacaktır  $f_{co}$ =Sargısız betonun basınç dayanım ve  $f_e$ = etkili Sargılıma basıncı. Denk. (3.20)'deki iki dik doğrultunun değerlerinin ortalaması olarak

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad ; \quad f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (3.20)$$

### 3.7.2. Çelik malzeme modeli

Çeliğin gerilme-şekil değiştirme grafiği donatıların çekme etkisi altındaki davranışını göstermektedir. Çelik gerilme-şekil değiştirme eğrisi üç bölüme ayrılabilir: doğrusal bir elastik bölge, kalıcı deformasyonların başlangıcını işaret eden bir akma ve önemli gerilmenin meydana geldiği bir plastik deformasyon bölgesi (Şekil 3.7). Çelik başlangıçta gerilme ve şekildeğiştirmenin orantılı olduğu doğrusal bir elastik davranış sergiler, ardından plastik deformasyonun başlangıcını gösteren bir akma noktası oluşur. Bu sünek davranış, özellikle betonun zayıf olduğu gerilmelerde gerilmelerin yeniden dağıtılması

için çok önemlidir. Çeliğin basınç ve çekme mukavemetleri benzer olsa da, basınç altında burkulma gibi stabilite sorunları yaşayabilir. Betonarmede, beton basınç kuvvetlerini ve çelik çekme kuvvetlerini karşılar.



Şekil 3.7 : Donatı gerilme-şekildeğiştirme grafiği (TBDY-2018)

Donatı gerilme-şekil değiştirme ilişkileri Denk.3.19-3.21'de verildiği gibi hesaplanabilir (Şekil 3.7).

$$f_s = E_S \varepsilon_S \quad ; \quad \varepsilon_S \leq \varepsilon_{Sy} \quad (3.19)$$

$$f_s = f_{sy} \quad ; \quad \varepsilon_{Sy} < \varepsilon_S \leq \varepsilon_{Sh} \quad (3.20)$$

$$f_s = f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_S)^2}{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})^2} \quad ; \quad \varepsilon_{sh} < \varepsilon_S \leq \varepsilon_{su} \quad (3.21)$$

### 3.8. TBDY-2018'e göre Doğrusal Olmayan Analiz

Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin amacı, özellikle mevcut veya güçlendirilmiş binaların sismik etkiler altındaki yapısal performansını değerlendirmek için, hem sünek davranışla ilişkili plastik gerilme ve plastik dönme taleplerini hem de gevrek hasar modlarını yöneten iç kuvvet taleplerini tahmin etmektir. Doğrusal olmayan yöntemler,

bir yapının deprem etkisiyle oluşan kuvvetlere nasıl tepki verdiğini simüle etmeyi, elastik olmayan davranışı ve hasar mekanizmalarını belirlemeyi amaçlamaktadır. Plastik deformasyon ve iç kuvvetler için hesaplanan talep değerleri daha sonra yapısal elemanların yer değiştirme kapasiteleri ve iç kuvvet dirençleri ile karşılaştırılır. Bu karşılaştırma, hem kesit düzeyinde ( tek tek elemanlar) hem de genel bina düzeyinde yapısal performansın ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanır.

Doğrusal olmayan analizde, performans değerlendirilmesi iki yöntem kullanılarak etkin bir şekilde gerçekleştirilebilir: İtme Analizi ve Zaman tanım Analizi. Bu çalışmada, deprem etkisi altında performans davranışını incelemek için Zaman tanım Analizi seçilmiştir.

### **3.8.1. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz**

Zaman tanım alanında, dinamik bir yük altındaki yapının tepkisinin her saniye analiz edilmesine Zaman Tanım Alanında Analiz (ZTAA) denir. ZTAA, belirli bir zaman fonksiyonu ile değişebilen yükleme altında yapısal dinamik tepkinin doğrusal veya doğrusal olmayan değerlendirmesini sağlar. ZTAA'nın kullanım amacı, mühendislerin yapının depremler, rüzgar fırtınaları veya endüstriyel titreşimler gibi dinamik yüklere maruz kaldığında tepkiyi doğru bir şekilde değerlendirmesine olanak tanımaktır.

ZTAA'da hesaplama yapmak için genellikle sonlu elemanlar yöntemi, doğrudan entegrasyon ve mod süperpozisyonu yöntemleri kullanılır. Doğrudan entegrasyon, doğrudan kullanılan denklemin herhangi bir dönüşüme uğramadan orijinal haliyle kullanılması anlamına gelir. Bu yöntemde sınır koşulları sadece zaman adımı olarak adlandırılan belirli zaman aralıklarında sağlanır ve üzüm sistemin rijitlik matrisinin zamana bağlı değerimini dikkate alır. Önceden seçilmiş iki yöndeki ivme kayıtları yapıya eř zamanlı olarak uygulanır. İvme kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi sırasında seçilen tasarım spektrumu bu yöntemde çok önemlidir (Deierlein, Andrei M. Reinhorn, et al., 2010). TBDY-2018'e göre ZTAA yönteminde;

- ✓ Yeni binalar için; bir deprem için seçilen maksimum istasyon sayısı 3 iken, kullanılacak minimum kayıt sayısı 11'dir.
- ✓ Düşey yükler için hesaplama yöntemi elastik olmayan statik analiz gerektirir ve elde edilen değerler düşey analiz için başlangıç değerleri olarak kullanılır.

Viskoz sönümlenme matrisi, yapıda doğrusal davranış sergileyen elemanların dinamik enerji kaybını göstermek için hareket denklemlerinde kullanılır.

### **3.8.2. Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi**

Bina yapısal analizi için deprem kayıtlarının seçimi, deprem büyüklüklerine, fay mesafelerine, kaynak mekanizmalarına ve yerel zemin koşullarına göre belirlenmektedir. Geçmiş deprem kayıtları mevcutsa, öncelikle bunlar kullanılmalıdır. Değilse, simüle edilmiş yer hareketi kayıtları kullanılabilir (TBDY, 2018).

Analiz için seçilen deprem kayıtları, deprem ölçeklendirme yöntemi kullanılarak doğrusal olmayan zaman tanım analizinde kullanılabilir.

TBDY-2018'e göre deprem yer hareketi genlikleri ölçeklendirilirken,  $0.2T_p$  ve  $1.5T_p$  periyotları arasında bir veya iki boyutlu hesaplamalar için seçilen tüm kayıtların ortalama spektrumları, aynı periyot aralığındaki tasarım spektrumunun genliklerinden daha küçük olmamalıdır (TBDY, 2018).

Her bir deprem kaydı setinin yatay bileşenlerinin karelerinin toplamının karekökü, bileşik yatay spektrumu hesaplamak için kullanılacaktır. Seçilen deprem yer hareketi bileşenlerinin bileşik spektrumları, bileşik spektrumların ortalama genlikleri ile tasarım spektrumu arasında 1,3'lük bir orana sahip olmalıdır (Balta, 2020).

## **3.9. Mevcut Betonarme Binanın TBDY-2018'e Göre Deprem Performans Analizi**

Mevcut binaları TBDY-2018'e göre analiz ederken, bina ile ilgili tüm bilgilerin toplanması gerekmektedir. Mevcut binaların doğrusal olmayan yöntemler kullanılarak analizi, yönetmeliğin 15. Bölümü'nde verilen yöntemler kullanılarak yapılabilmektedir.

### **3.9.1. Bina bilgi düzeyleri**

TBDY-2018 mevcut binaların deprem performansını değerlendirirken kullanılan bilgi düzeylerini belirler. Bilgi düzeyleri, mevcut yapıların deprem güvenliğini değerlendirirken sahip olunan verilerin doğruluğu, eksikliği veya ayrıntılı olması durumuna göre sınıflandırılır. Mevcut binalarda, yapıların performanslarını doğru bir şekilde değerlendirebilmek için farklı bilgi düzeyleri kullanılır. Bu düzeyler, yapıların

deprem davranışının tahmin edilmesinde önemli bir rol oynar. Mevcut Bina Bilgi Düzeyleri TBDY-2018'de iki ana gruba ayrılmaktadır (Tablo 3.4). Sınırlı bilgi düzeyi, yalnızca bina kullanım sınıfı (BKS) 3 için kullanılabilir ve taşıyıcı sistem bilgileri bina ölçüleriyle belirlenir. Diğer tüm binalarda kapsamlı bilgi düzeyi kullanılmalıdır.

Tablo 3.4 : Bina bilgi düzeyleri

Bilgi düzeyleri	Bilgi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Kapsamlı	1

### 3.9.2. Plastik dönme ve şekildeğiştirme taleplerinin hesaplanması

Mevcut binaların deprem performansı Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT) yaklaşımı ile değerlendirilirken, izin verilen şekildeğiştirme ve plastik dönme sınırları TBDY-2018'in 5.8. Bölümü'ne göre belirlenmektedir. Yönetmelikte, binaların performans seviyelerini sınıflandırırken her bir yapı elemanı için üç performans seviyesi tanımlanmaktadır. Bunlar, sınırlı hasar düzeyi (SH) kontrolü hasar düzeyi (KH) ve göçmenin önlenmesi hasar düzeyidir (GÖ). Mevcut binaların performansını doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemleri kullanarak değerlendirmek için, binanın yapısal elemanları için plastik dönme ve birim şekildeğiştirme seviyelerini hesaplamak gerekmektedir.

Yığılı plastik davranış modeli uygulanan elemanların göçme performans seviyesi plastik dönme sınırları TBDY 5.8.1.2'e göre Göçmenin Önlenmesi (GÖ) performans seviyesi için plastik dönme sınırları hesaplamaları limit değerleri  $\theta^{(Gö)}$  Denklem 3.22'de verilmiştir.

$$\theta_p^{(Gö)} = \frac{2}{3} \left[ (\phi_u - \phi_y) L_p \left( 1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_p \right] \quad (3.22)$$

Kontrollü ve sınırlı hasar performans düzeylerinin dönme açısı sınırlarının hesabı Denk. 3.23 ve 3.24'te verilmiştir.

$$\varepsilon_c^{(KH)} = 0.75\varepsilon_c^{G\ddot{o}} ; \varepsilon_s^{(KH)} = 0.75\varepsilon_s^{G\ddot{o}} ; \theta^{(KH)} = 0.75 \times \theta^{(G\ddot{o})} \quad (3.23)$$

$$\varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025 ; \varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075 ; \theta^{(KH)} = 0 ; \quad (3.24)$$

### 3.9.3. Mevcut betonarme binaların performans kontrolü

Mevcut binaların performansı, TBDY 2018 15.5 ve 15.6'ya uygun olarak doğrusal veya doğrusal olmayan hesaplama yöntemleri kullanılarak değerlendirilir. Bu hesaplar yapıldıktan sonra, TBDY 2018 15.7'ye göre elemanların performansı belirlenir. Performans belirlenirken, kolon, kiriş ve perde gibi tüm yapı elemanlarının birim şekildeğiştirme veya plastik dönme talepleri, TBDY 15.7.1.3'te belirtilen sınırlarla karşılaştırılır. Bu karşılaştırma sonucunda her elemanın performansı belirlenir.

Elemanların hasar durumu, kritik kesitlerinin ulaştığı hasar seviyelerine göre farklı bölgelerde sınıflandırılır. Kritik kesitlerinde SH düzeyine geçemeyen elemanlar 'Sınırlı Hasar Bölgesi'nde', SH ile KH arasında kalanlar 'Belirgin Hasar Bölgesi'nde', KH ile GÖ arasında olanlar 'İleri Hasar Bölgesi'nde', GÖ'yü aşan elemanlar ise 'Göçme Hasar Bölgesi'nde yer alır (TBDY, 2018)

#### 3.9.3.1. Sınırlı hasar performans düzeyi

Mevcut betonarme binaların Sınırlı Hasar (SH) performans düzeyine ulaşabilmesi için belirli şartların eksiksiz olarak sağlanması gereklidir.

- Bir deprem doğrultusunda Mevcut veya yeni binaların performansının değerlendirilmesi sırasında, sınırlı Hasar bölgesine %20'ye geçmesine izin verilmektedir (Durmaz, 2023).
- Bir deprem doğrultusunda Mevcut veya yeni binalar Kirişlerin performansının değerlendirilmesi sırasında, Belirgin Hasar bölgesine %20'ye geçmesine izin verilmektedir(TBDY, 2018). Bu sınırı aşmayan elemanlar dışındaki tüm yapısal elemanların Sınırlı Hasar (SH) bölgesinde kalması gerekmektedir. Bu koşul, yapı genelinde hasarın sınırlı tutulmasını ve elemanların büyük çoğunluğunun deprem

etkilerine karşı daha düşük hasar seviyelerinde kalmasını sağlamak amacıyla belirlenmiştir. Böylece, deprem performansı açısından güvenli bir yapı davranışı elde edilmiş olur.

Bir binanın üst ve alt bölümlerindeki Önemli Hasar sınır değerleri, yapısal güvenliği sağlamak ve kritik elemanların düşey elemanlar tarafından aşırı yüklenmesini önlemek için %30'dan az olmalıdır.

### **3.9.3.2. Kontrollü hasar performans düzeyi**

Türk Bina Deprem Yönetmeliği'nin (TBDY) 15bölümünde göre değerlendirilir. Bu, sismik olaylar sırasında binanın bir tür hasar görebileceği (yapısal elemanlarda çatlaklar veya deformasyonlar gibi), ancak hasarın binanın veya bina sakinlerinin genel güvenliğini tehlikeye atmayacak şekilde kontrol edildiği bir performans seviyesini ifade eder. Özünde, bina tamamen hasarsız kalmasa da, yine de hizmet verebilir olmalı ve insanlar için tehlike oluşturmamalıdır.

- Mevcut betonarme binaların her hangi bir katında uygulanan deprem doğrultusuna göre yapılan hesaplamalar sonucunda, kirişlerin en fazla %35'inin İleri Hasar (İH) bölgesine geçmesine izin verilmektedir. Bu sınırlama, yapının deprem sırasında maruz kalacağı yükler karşısında dayanıklılığını artırmak ve genel hasar seviyesini kontrol altında tutmak amacıyla belirlenmiştir. Böylece, yapısal elemanların büyük bir kısmının daha düşük hasar seviyelerinde kalması sağlanarak, binanın genel güvenliği ve performansı korunur.
- İleri Hasar Bölgesindeki (İHB)betonarme binaların düşey elemanları toplam kesme kuvvetinin %20'sinden daha azına katkıda bulunmalıdır (Şahin, 2019). Başka bir deyişle, herhangi bir katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların taşıdığı kesme kuvvetinin, tüm düşey elemanların toplam kesme kuvvetinin %20'sinden az olması gerekmektedir. Bu kriter, yapısal dayanıklılığı artırmak ve deprem sırasında hasar seviyelerini kontrol altında tutmak için önem taşımaktadır. Böylece, yapının genel performansı ve güvenliği sağlanmış olur.
- Mevcut betonarme binaların en üst katında, uygulanan deprem doğrultusu için İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların taşıdığı kesme kuvvetinin toplamı, o kattaki tüm düşey elemanların kesme kuvvetlerinin toplamına oranla %40'tan az olmalıdır.

Bu şart, üst katlardaki yapı elemanlarının deprem yüklerine karşı dayanıklılığını artırmak ve genel yapısal güvenliği sağlamak amacıyla belirlenmiştir. Böylece, yapının performansı ve güvenilirliği artırılmış olur.

- Söylenen maddelerin dışında kalan tüm taşıyıcı elemanları (Kolon ve kiriş ) Sınırlı Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesinde bulunması gerekmektedir (Sahib Al-Saedi, 2023). Bu şart, yapının genel güvenliğini ve deprem performansını sağlamak için kritik öneme sahiptir. Böylece, yapısal elemanların hasar seviyeleri kontrol altında tutularak, binanın dayanıklılığı artırılmış olur.

### **3.9.3.3. Göçmenin önlenmesi performans düzeyi**

Betornarme binaların Göçmenin Önlenmesi (GÖ) performans düzeyine ulaşabilmesi için, belirli koşulların eksiksiz olarak sağlanması gerekmektedir. Bu koşullar, yapısal elemanların dayanıklılığı, deformasyon kapasiteleri ve genel yapı güvenliği açısından kritik öneme sahiptir. Bu şartların karşılanması, deprem anında yapının güvenli bir şekilde davranmasını ve göçme riskinin minimize edilmesini sağlamak için önemlidir.

Mevcut betonarme binaların herhangi bir katında, uygulanan deprem doğrultusuna göre yapılan hesaplamalar sonucunda, Kirişlerin en fazla %20'sinin Göçme Bölgesi (GÖ) bölgesine geçmesine izin verilmektedir (Aksoylu, 2020). Bu sınır, yapının deprem sırasında maruz kalacağı yükler karşısında güvenliğini sağlamak ve yapısal bütünlüğü korumak amacıyla belirlenmiştir. Böylece, binanın genel performansı artırılarak, aşırı hasar ve göçme riskleri minimize edilmiş olur. Belirgin Hasar Sınırı, hem üst hem de alt bölümlerde sınırı aşan kesme kuvvetlerinin oranı %30'un altında olacak şekilde her katta sağlanmalıdır

## BÖLÜM 4. MEVCUT 7 KATLI BETONARME BİNANIN DEPREM ETKİSİNDE DİNAMİK ANALİZİ

### 4.1. Binanın mevcut bilgileri

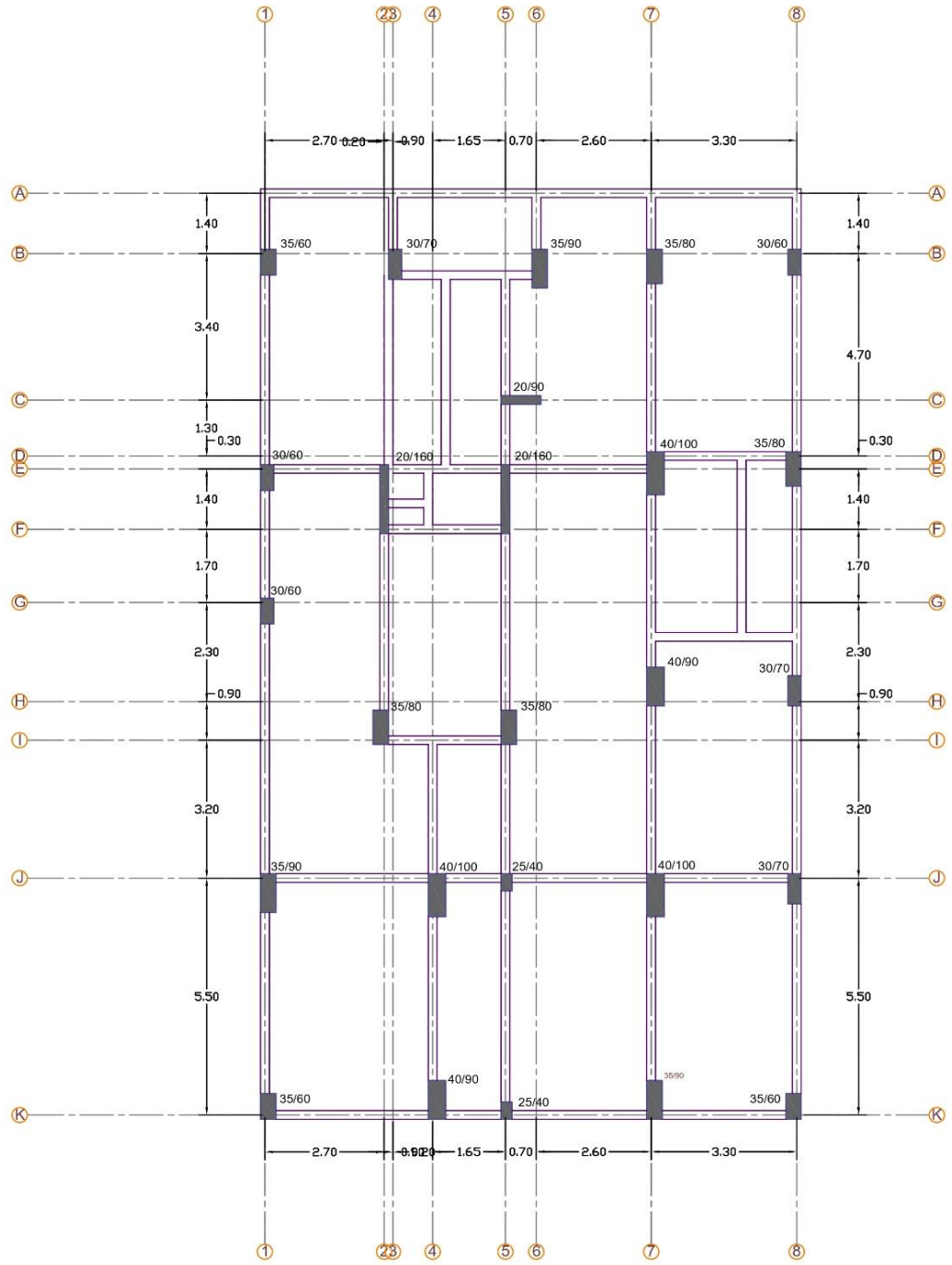
Çalışma kapsamında, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depreminde yıkılmış olan 7 katlı düzensiz betonarme bir bina incelenmiştir. Bina, Kahramanmaraş ili, Dulkadiroğlu ilçesinde, yer almaktadır. Binanın uzunluğu X yönünde 12.5 m, Y yönünde 24 m olmak üzere toplam alanı 300 m<sup>2</sup>'dir. Bina 7 kat artı kat aralığı (asma kat) ve zemin kattan oluşmaktadır. Merdiven ve asansör için kullanılan 34m<sup>2</sup>'lik bir boşluk bulunmaktadır. Bina konut olarak tasarlanmıştır ve konut olarak kullanılmaktadır. Bina yapısal elemanları, örneğin kirişlerin boyutları ve donatı detayları Tablo 4.1'de verilmiştir. Kolon boyutları ise katlara göre değişmektedir (Tablo 4.2). Tüm katlardaki döşeme kalınlığı 15 cm'dir. Binada merdiven yanında bulunan her katta iki adet perde bulunmaktadır. Binanın kat planları Şekil 4.1'de gösterilmiş olup, ilgili tüm çizimler eklerde yer almaktadır.

Tablo 4.1: Kiriş boyut ve donatı detayları

Kiriş Açıklaması	Boyutlar (mm)	Donatı Detayları
B500×200	250×600	6φ12
B600×200	250×500	6φ12

Tablo 4.2: Kolon ve perdelerin boyut ve donatı detayları

Kolon Açıklaması	Boyutlar (mm)	Donatı Detayları
S1.350×600	350×600	10φ16
S2.300×700	300×700	10φ16
S3.350×900	350×900	12φ18
S4.350×800	350×800	14φ16
S5.300×600	300×600	10φ16
S6.200×900	200×900	4φ16
S7.400×1000	400×1000	16φ18
S8.400×900	400×900	14φ18
S10.250×400	250×400	6φ14
S11.300×600	300×600	8φ16
S12.300×600	300×600	6φ16
S13.300×800	300×800	10φ18
S14.250×600	250×600	8φ16
S15.300×850	300×850	10φ16
S16.250×600	250×600	6φ16
S17.300×700	300×700	10φ16
S18.300×650	300×650	8φ16
S19.300×900	300×900	10φ16
S20.250×500	250×500	6φ16
S20.250×800	250×800	10φ16
S21.250×700	250×700	8φ16
S22.250×600	250×600	4φ16
	Perdeler	
PZ01	200×1600	8φ18



Şekil 4.1 : Binanın zemin kat planı.

#### 4.1.1. Kullanılan malzemeler ve özellikleri

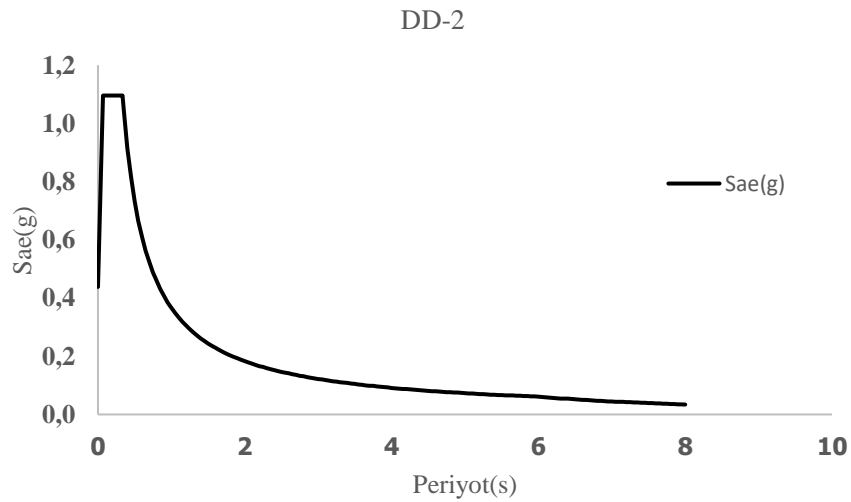
Bu binada kullanılan beton dayanımı kolonlar için C25 ve kirişler için C20, çelik Sınıfı ise B420C yapısal donatıdır. Malzeme detayları Tablo 4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3: Kullanılan malzemeler ve özellikleri

Beton Basınç Dayanımı ( $f_{ck}$ )	25Mpa
Beton Elastisite Modülü ( $E_c$ )	25000MPa
Beton Malzeme Güvenlik Katsayısı ( $\gamma_{mc}$ )	1
Donatı Çeliği Akma Dayanımı ( $f_{yk}$ )	420Mpa
Donatı Çeliği Elastisite Modülü ( $E_s$ )	200000MPa

#### 4.1.2. Deprem tasarım parametreleri

Bina Kahramanmaraş ili, Dulkadiroğlu ilçesi'nde yer almaktadır. Analizde kullanılan deprem parametreleri binanın konumuna dayanmaktadır. Sismik veriler AFAD tarafından hazırlanan 'Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması'ndan elde edilmiştir. DD-2 için binanın konumuna göre yatay elastik tasarım spektrumu elde edilmiştir (Şekil 4.2).



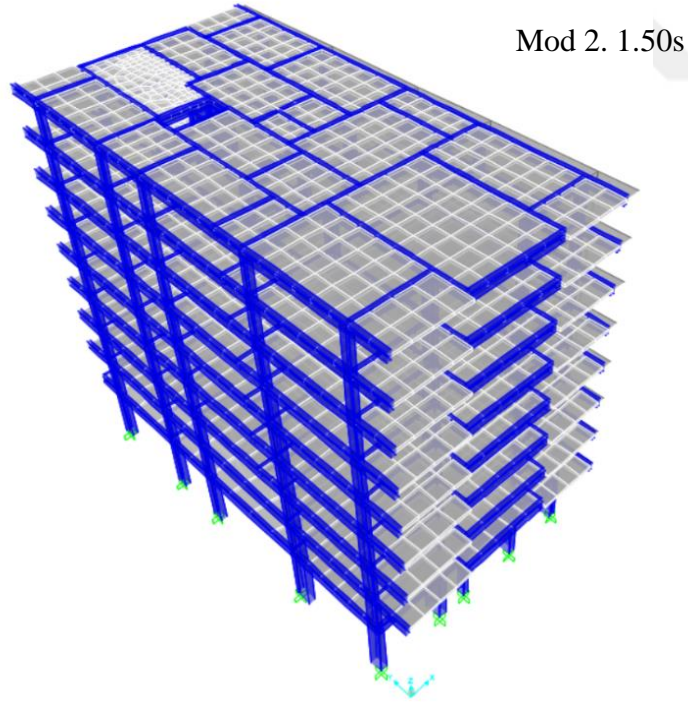
$$S_{DS} = S_s \times F_s = 0.913 \times 1.200 = 1.096$$

$$S_{D1} = S_1 \times F_1 = 0.244 \times 1.500 = 0.366$$

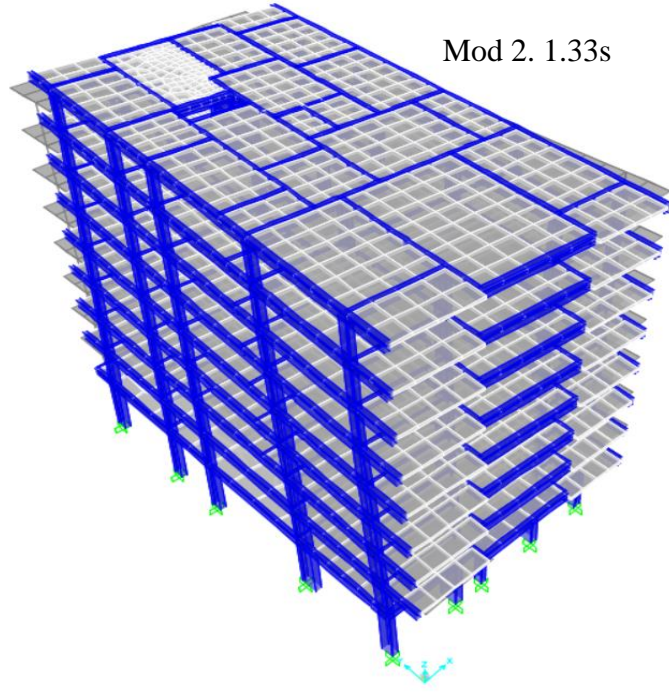
İlk üç mod için mod şekilleri Şekil 4.3-4.6'da gösterilmiştir. 1. mod için periyot 1,50 s, 2. mod için periyot 1,33 s, 3. mod için ise 1.10 s'dir. Kütle katılımı 1. modda %71 ve 2. modda ise %81'dir. 7. moddaki kütle katılımı X yönünde %96'ya ulaşmıştır, kütle katılımı yeterlidir.

Tablo 4.4: Modelin periyot ve frekans sonuçları

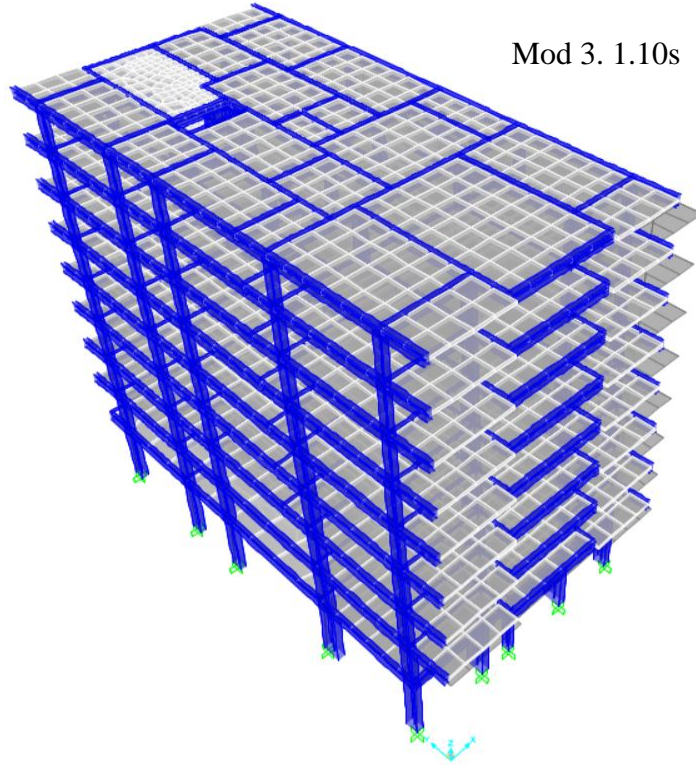
	Adım numarası	Periyot(s)	Frekans(Hz)
Mod	1	1.50	0.66
Mod	2	1.33	0.75
Mod	3	1.10	0.90
Mod	4	0.52	1.91
Mod	5	0.46	2.20
Mod	6	0.36	2.80
Mod	7	0.30	3.32



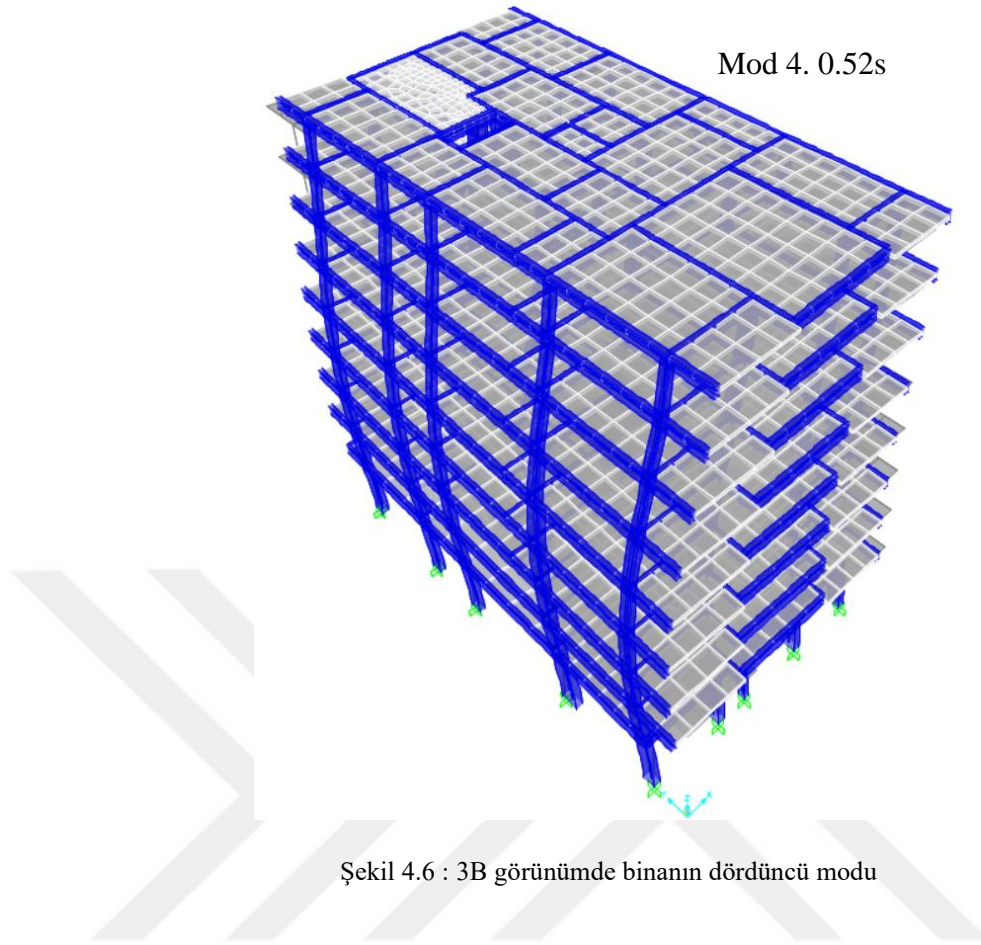
Şekil 4.3 : 3B görünümünde binanın ilk modu



Şekil 4.4 : 3B görünümünde binanın ikinci modu



Şekil 4.5 : 3B görünümde binanın üçüncü modu



## 4.2. Bina Düzensizlik Kontrolü

Mevcut binanın düzensizliğini değerlendirmek için, deprem etkisindeki performansını incelemeye önce eşdeğer deprem yükü analizi yapılmış ve bina düzensizlik durumu belirlenmiştir.

### 4.2.1. Zayıf kat düzensizliği (B1) kontrolü

TBDY-2018 kapsamında yapısal düzensizlikler açısından değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda, birinci katta zayıf kat (B1 türü) düzensizliği tespit edilmiştir. Tüm katlara ait zayıf kat düzensizliği kontrol sonuçları Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5: Binanın zayıf kat düzensizliği kontrol sonuçları

Kat No	Yükseklik	Kolon Alan	Perde Alan	Duvar Alanı	Kesme Alanı	Düzensizlik	
	hi[m]	$\Sigma A_w[m^2]$	$\Sigma A_g[m^2]$	$\Sigma A_k[m^2]$	$\Sigma A_{ei}[m^2]$		
7.Kat	2.4	2.225	0.64	9.166	4.2399	0	Yok
6.Kat	2.4	2.35	0.64	9.166	4.3649	0.9713	Yok
5.Kat	2.4	2.675	0.64	9.166	4.6899	0.9307	Yok
4.Kat	2.4	2.925	0.64	9.166	4.9399	0.9493	Yok
3.Kat	2.4	3.07	0.64	9.166	5.0849	0.9714	Yok
2.Kat	2.4	3.755	0.64	9.226	5.7789	0.8799	Yok
1.Kat	2.4	4.035	0.64	9.276	6.0664	0.9526	Yok
Asma	2.4	4.425	0.64	2.76	5.479	1.1072	Yok
Zemin	3.4	6.230	0.64	8.086	8.0829	0.6778	Var

#### 4.2.2. Yumuşak kat düzensizliği (B2) kontrolü

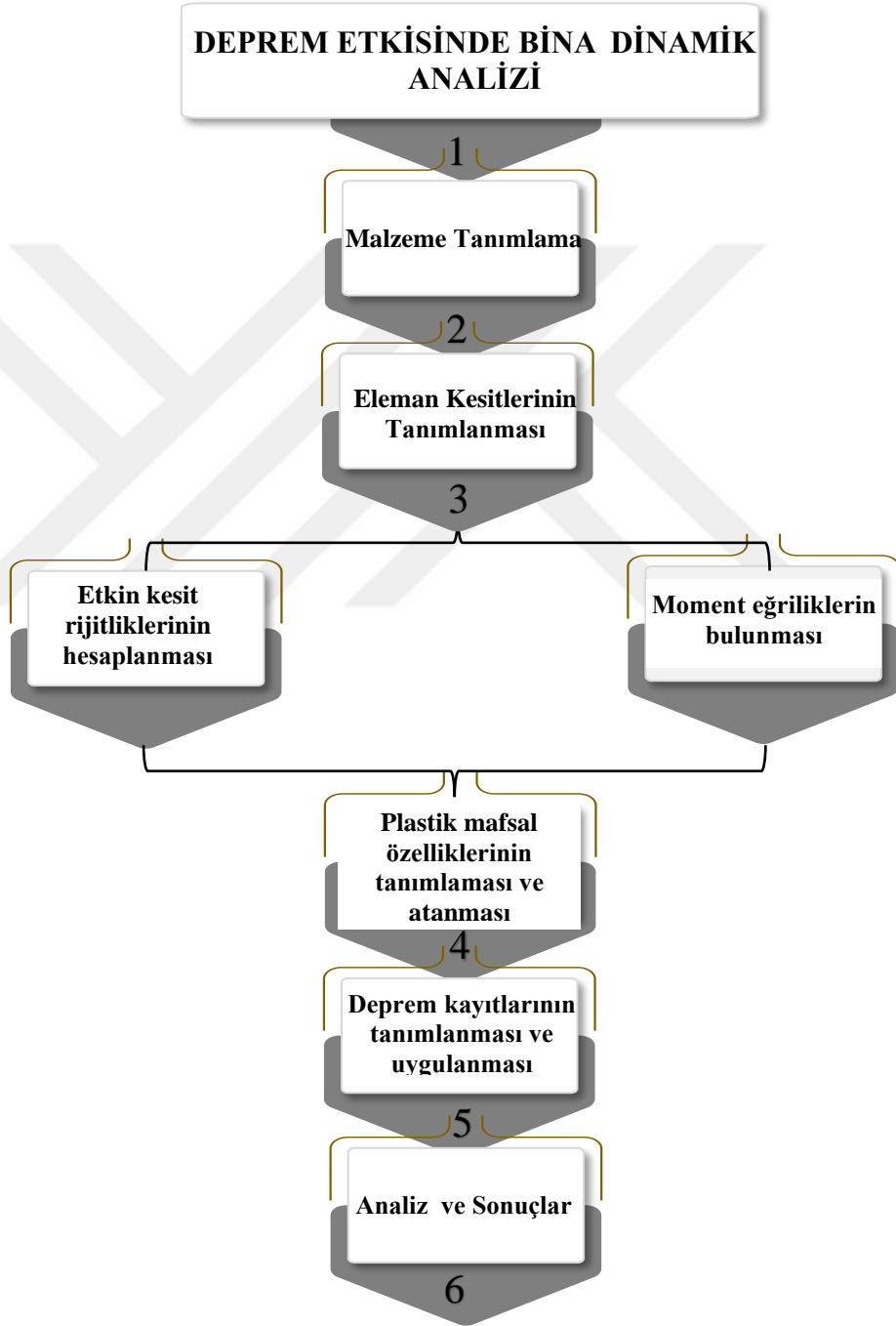
Binanın yumuşak kat düzensizliği deprem yönermeliğine uygun şekilde hesaplanmış ve hesap sonuçlarına göre, asma katta yumuşak kat (B2) düzensizliği tespit edilmiştir. Tüm katlara ait zayıf kat düzensizliği (B2) kontrol sonuçları Tablo 4.6'da sunulmuştur.

Tablo 4.6: Yumuşak kat düzensizliği (Ey-%5)

Kat	hi(min) mm	$\Delta_i$ (orta)m	$\Delta_i/h_i$	$h_{ki}(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_i-1/h_i+1)$	$h_{ki}(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_i-1/h_i+1)$	Düzensizlik
7	2.4	0.002711	0.00113	-	0.84	Yok
6	2.4	0.003238	0.001349	1.19	0.71	Yok
5	2.4	0.004572	0.001905	1.41	0.37	Yok
4	2.4	0.012294	0.005123	2.69	1.00	Yok
3	2.4	0.012249	0.005104	1.00	1.07	Yok
2	2.4	0.011409	0.004754	0.93	1.30	Yok
1	2.4	0.008755	0.003648	0.77	1.49	Yok
Asma	2.4	0.005882	0.002451	0.67	2.19	Var
Zemin	3.4	0.003806	0.001119	0.46	-	Yok

### 4.3. Deprem Etkisinde Binanın Dinamik Analizi

Yapısal düzensizliklerin bina deprem davranışı üzerindeki etkilerinin incelendiği bu çalışmada, Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanında Analiz SAP2000 paket programı kullanarak uygulanmıştır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen analiz adımları aşağıdaki diyagramda özetlenmiştir.



### 4.3.1. Doğrusal olmayan analiz için malzeme tanımlanması

Bina modellemesinde C25 beton için basınç dayanımı 25MPa, elastisite modülü ise 30000 MPa olarak kullanılmıştır. Beton modeli SAP2000 programında ilgili veriler kullanılarak tanımlanmıştır Şekil (4.7).

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box in SAP2000. The material is named 'C25' and is of type 'Concrete' with an 'Isotropic' symmetry. The Modulus of Elasticity (E) is set to 25000000. The Poisson's ratio (U) is 0.2. The Coeff of Thermal Expansion (A) is 9.900E-06. The Shear Modulus (G) is 10416667. The Weight and Mass section shows a Weight per Unit Volume of 25 and a Mass per Unit Volume of 2.5493. The Units are set to 'KN, m, C'. Under 'Other Properties For Concrete Materials', the Specified and Expected Concrete Compressive Strength (fc) are both 25000. The 'Lightweight Concrete' checkbox is unchecked. The 'Advanced Material Property Data' section includes buttons for 'Uniaxial Nonlinear Data...', 'Material Damping Properties...', 'Coupled Nonlinear Data...', and 'Time Dependent Properties...'. The 'OK' button is highlighted.

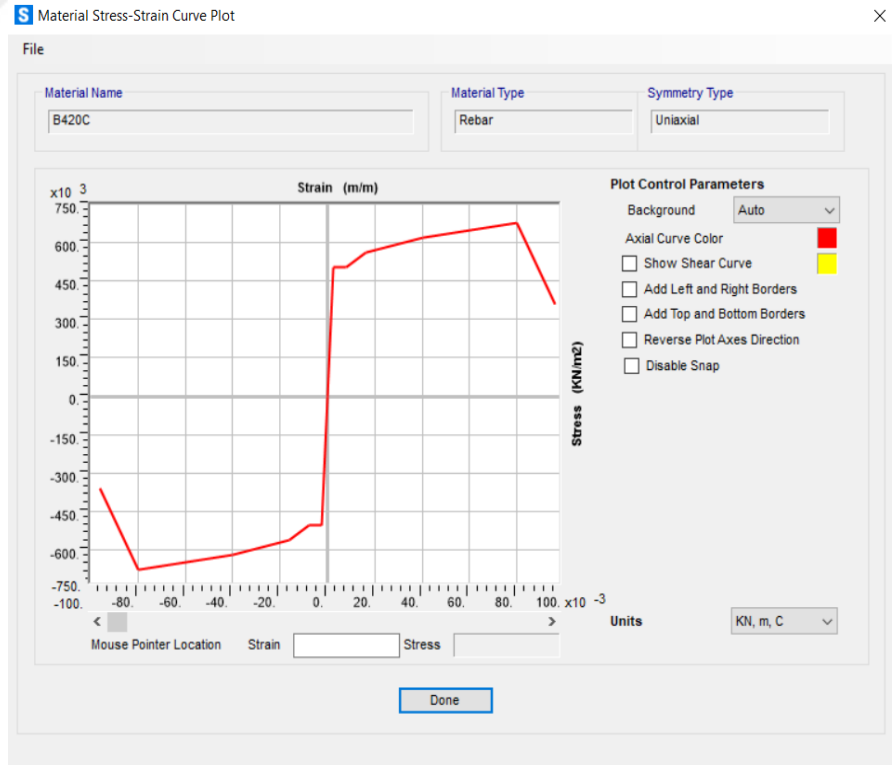
Şekil 4.7 : SAP2000'de kullanılan C25 betonun malzeme özellikleri

Çelik donatılar için projede belirtilen 420 MPa akma dayanımına sahip B420C kullanılmıştır. Şekil 4.8-4.9'da donatıların Sap2000 programında tanımlanma detayları verilmiştir.

**S** Material Property Data ×

<b>Material Name</b> B420C	<b>Material Type</b> Rebar	<b>Symmetry Type</b> Uniaxial
<b>Modulus of Elasticity</b> E1 2.000E+08	<b>Weight and Mass</b> Weight per Unit Volume 76.9729 Mass per Unit Volume 7.849	<b>Units</b> KN, m, C
<b>Poisson</b> U12 0.	<b>Other Properties For Rebar Materials</b> Minimum Yield Stress, Fy 420000. Minimum Tensile Stress, Fu 504000. Expected Yield Stress, Fye 520000. Expected Tensile Stress, Fue 680000.	
<b>Coeff of Thermal Expansion</b> A1 1.170E-05	<b>Advanced Material Property Data</b> Uniaxial Nonlinear Data... Coupled Nonlinear Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties...	
<b>Shear Modulus</b> G12 0.	OK Cancel	

Şekil 4.8 : SAP2000'de kullanılan B420C malzeme özellikleri



Şekil 4.9 : B420C için gerilme-gerinim eğrisi

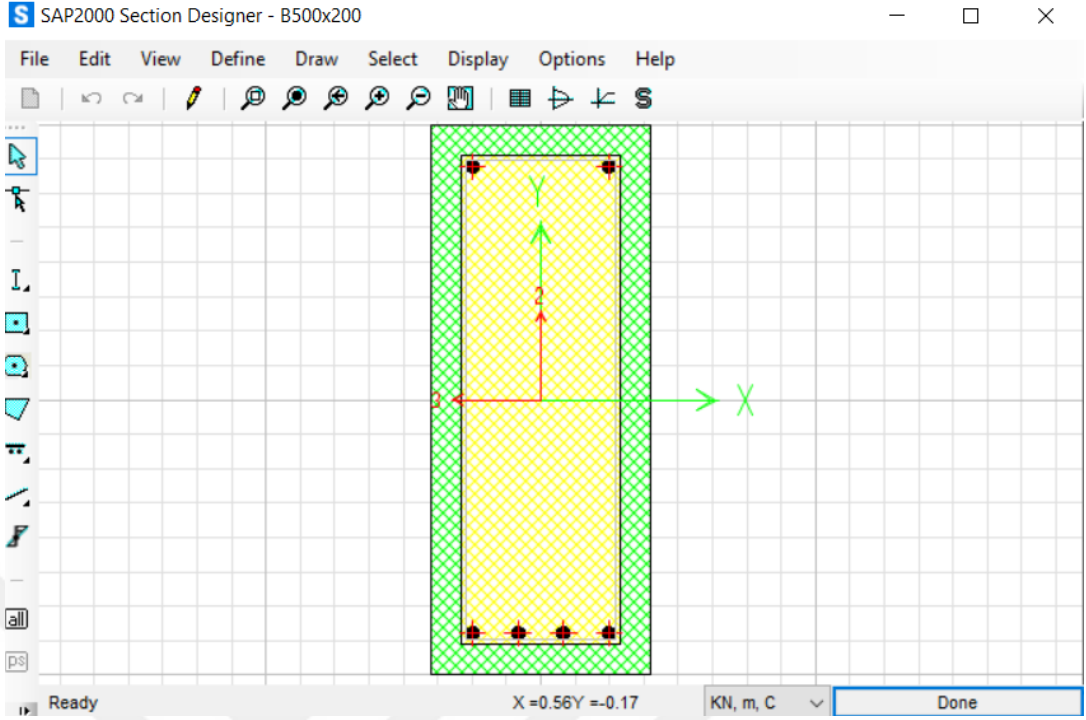
### **4.3.2. Eleman kesitlerinin tanımlanması**

Doğrusal olmayan analizlerde, yapının gerçek davranışını görebilmemiz için yapı elemanlarının mevcut kesit detaylarının tanımlanması gerekmektedir. Bu tür analizlerde, modellenen yapıların eleman kesitlerinin geometrik özellikleri, "Define" menüsünden "Frame Section - Section Designer" arayüzü ile programa tanımlanmaktadır. 'Section Designer', doğrusal olmayan mafsalsal ve PMM, M mafsalsal davranışı gibi eleman özelliklerinin ve doğrusal olmayan davranışların değerlendirilmesi için kullanılabilir. Section Designer, isteğe bağlı geometriye sahip, standart olmayan veya kompozit kesitlerin oluşturulmasını sağlar ve bunlar daha sonra yapısal bir modele dahil edilebilir. Kesitler birden fazla malzeme ve kullanıcı tanımlı bir inşaat donatısı düzeni içerebilmektedir. Section Designer arayüzü kullanılarak perde, kolon ve kiriş kesitlerinde kesit boyutuna ve donatı miktarına bağlı olarak moment-eğrilik ilişkileri ve akma bölgeleri elde edilebilmektedir. Her bir eleman kesiti için donatı miktarı hesaplanır, optimize edilir ve programa tanımlanır. Ayrıca donatı ve malzeme modeli, malzemelerin elastik davranışı sonlarındaki eğrilik ve şekil değiştirme değerlerini hesaplamak için kullanılır. Malzemelerin doğrusal olmayan davranışa geçerken davranışlarının doğru bir şekilde temsil edilmesini sağlar.

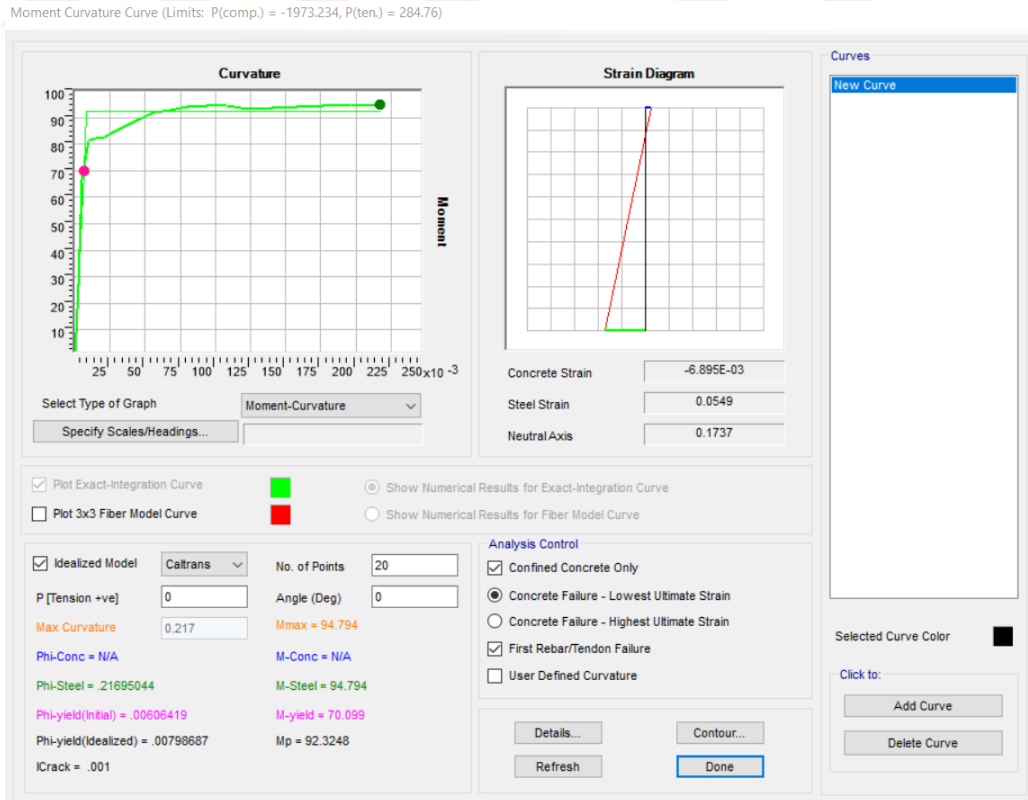
SAP2000'de yapısal elemanlar çubuk elemanlar olarak modellenir. Eksenel kuvvet olmadığı varsayılan kirişler için sadece moment-eğrilik ilişkisine ihtiyaç vardır. Ancak, kolonlar ve kesme elemanları için, eksenel kuvvetler nedeniyle hem akma yüzeyleri hem de moment-eğrilik ilişkileri gerekmektedir. Bunlara SAP2000'de "Section Designer" kullanılarak ulaşılabilir.

#### **4.3.2.1. Kiriş kesitlerinin tanımlanması**

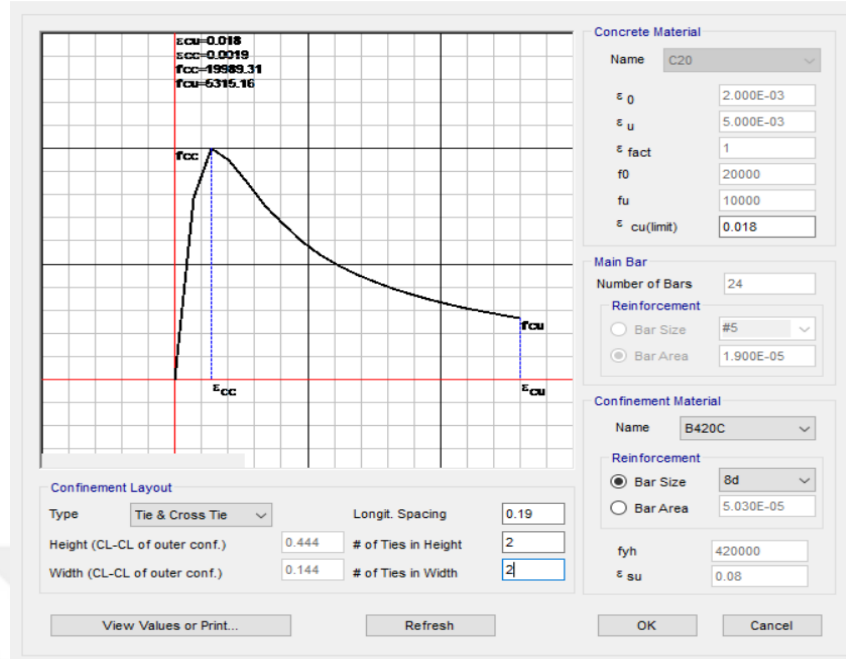
Kirişlerin moment-eğrilik diyagramlarını elde etmek için, kiriş boyutları ve donatı detayları girilerek Section Designer'da tanımlanmıştır. Boyutları 200x500mm olan kiriş modellemesi, moment-eğrilik sonuçları ve Mander sargılı beton davranışı Şekil 4.10-4.12'de sunulmuştur.



Şekil 4.10 : B500×200 kirişlerin Section designer’da modellenmesi



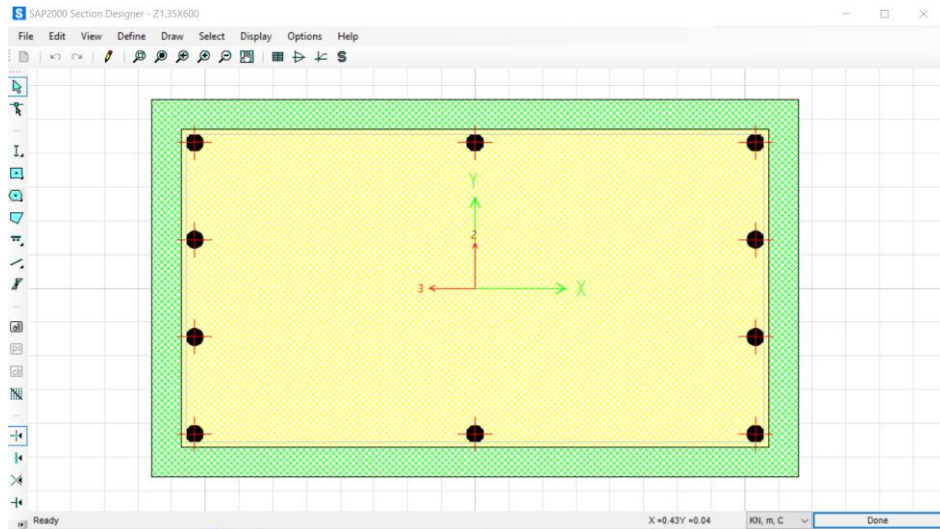
Şekil 4.11 : B500×20 kirişlerin moment-egrilik davranışı



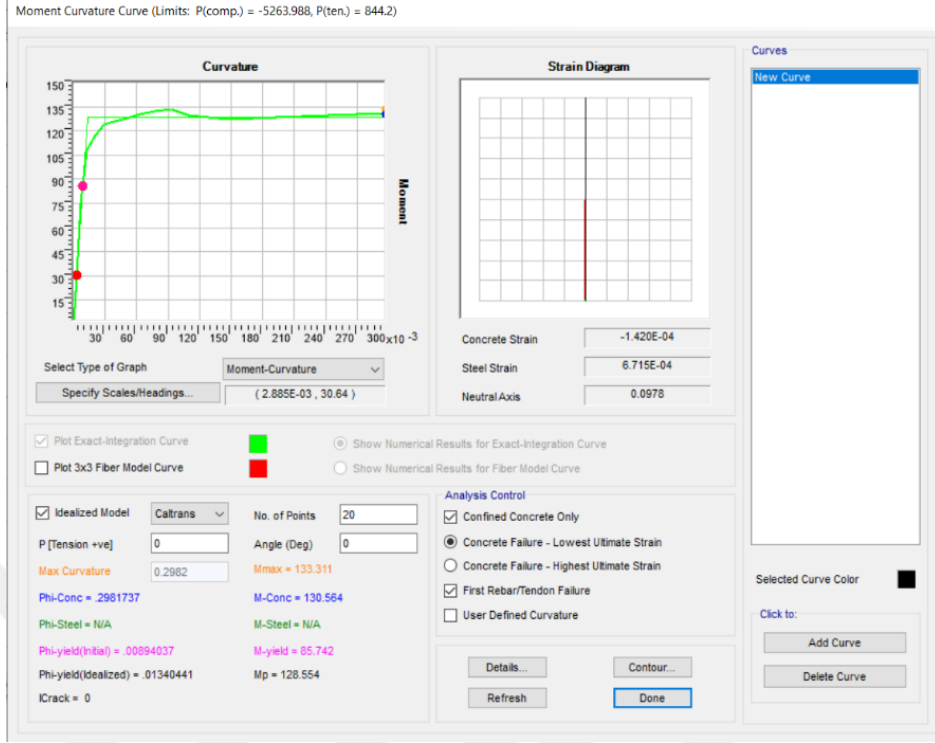
Şekil 4.12 : B200×500 kirişlerin sargılı beton tanımlaması

#### 4.3.2.2. Kolon kesitlerinin tanımlanması

Section Designer kullanılarak tasarlanan S1.600×350m'luk kolon temsili olarak sunulmuştur (Şekil 4.13). Malzeme tanımlanmasında Mander beton modeli kullanılmıştır. Akma yüzeyi ve moment-eğrilik sonuçları ile beton modeli Şekil 4.13-4.15'te gösterildiği gibi idealize edilerek elde edilmiştir.

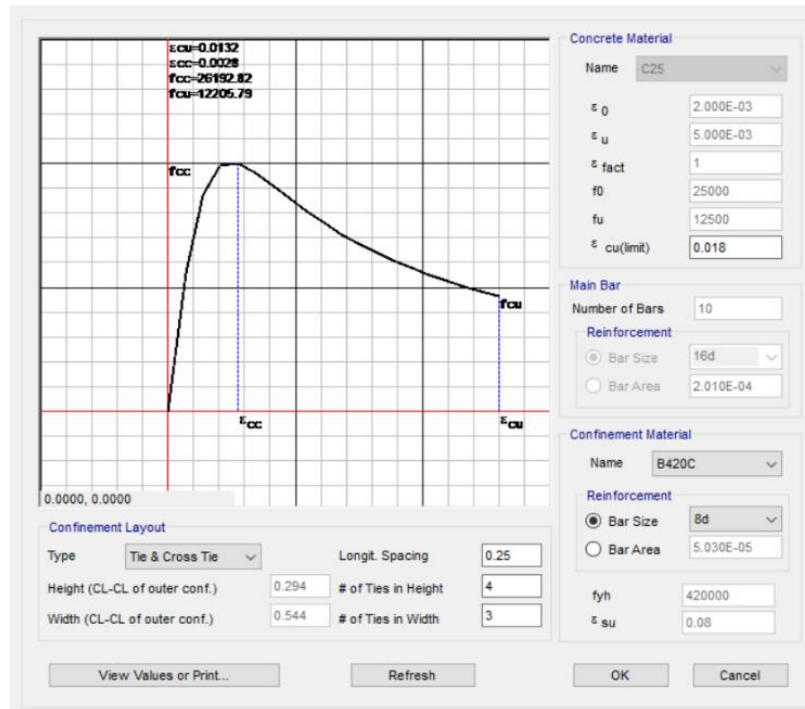


Şekil 4.13 : S600×350 kolonu Section designer'da modellenmesi



Şekil 4.14 : S1.600×350 kolon moment-eğrilik davranışı

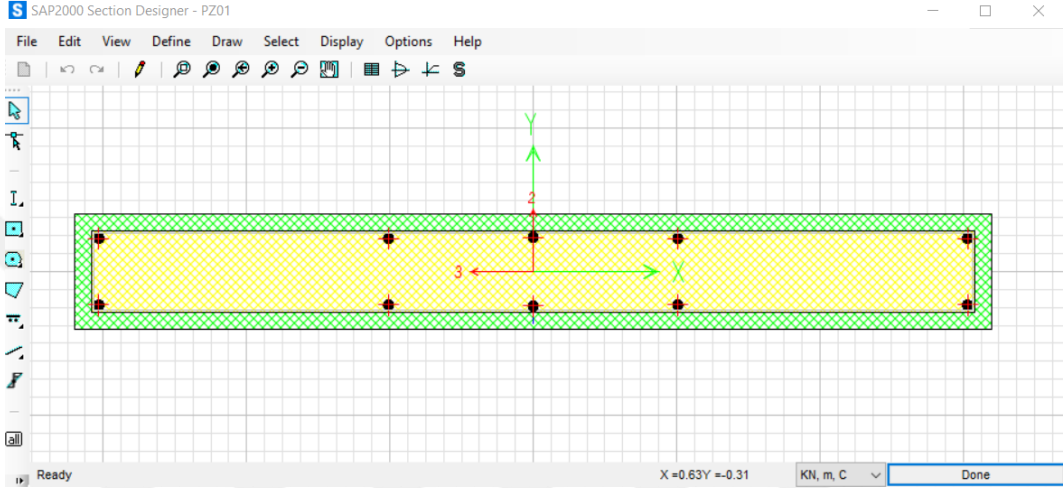
Concrete Model - Mander-Confined(R)



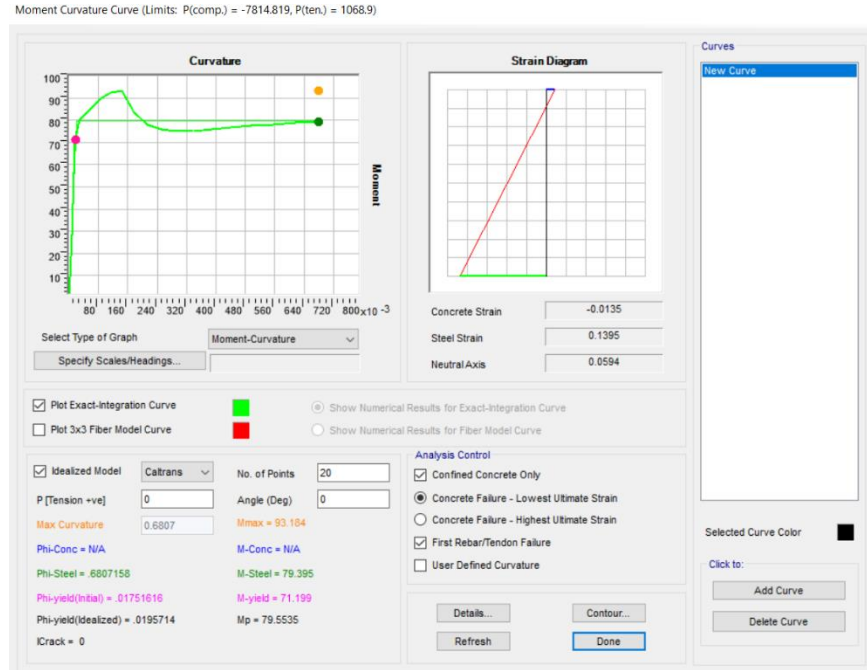
Şekil 4.15 : S1.600×350 sargılı beton davranışı

### 4.3.2.3. Perde kesitlerinin tanımlanması

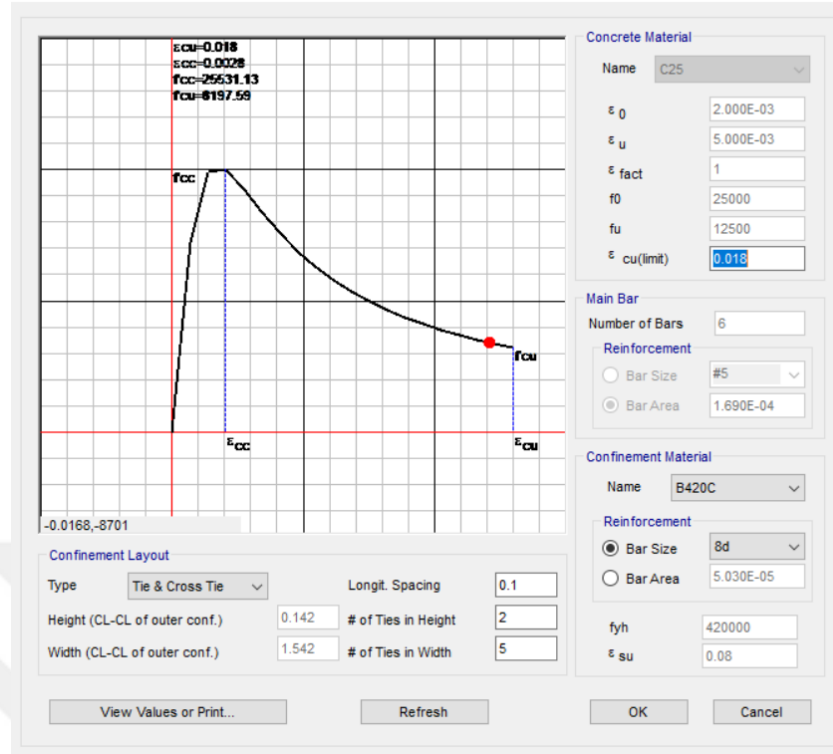
200×1600mm boyutlarındaki perde elemanlar Section Designer menüsünde tanımlanmıştır (Şekil 4.16). Akma yüzeyi ve moment-eğrilik sonuçları Şekil 4.16-4.18 gösterildiği gibi idealize edilerek elde edilmiştir.



Şekil 4.16 : PZ01 perde (200mm0x1600mm) boyutlu perdelerin Section designer'da modellenmesi



Şekil 4.17 : PZ01 perdelerin moment-eğrilik davranışı.



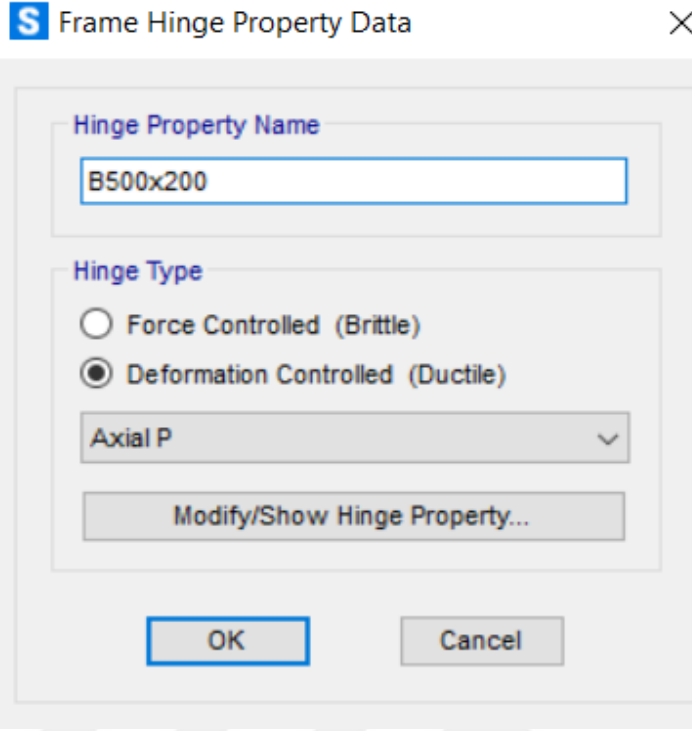
Şekil 4.18 : PZ01 perdlerin sargılı beton davranışı

### 4.3.3. Plastik mafsal özelliklerinin SAP2000'de tanımlanması

Doğrusal olmayan analiz yaparken, plastik mafsal özelliklerinin tanımlanması gereklidir. SAP2000'de yığılı plastik mafsal özellikleri manuel olarak veya varsayılan 'Defaults' ASCE yöntem kullanılarak tanımlanabilir. Bu tezde, plastik mafsal özelliklerini tanımlamak için TBDY-2018 yönetmeliği seçilmiştir. TBDY-2018, SAP2000'de plastik mafsal özelliklerinin otomatik tanımlanması mevcut olmadığından, bu özellikler TBDY-2018 yönetmeliği tarafından verilen yönergelere göre manuel olarak tanımlanmıştır.

#### 4.3.3.1. Kirişlerin plastik mafsal özelliklerinin tanımlanması

SAP2000'de plastik mafsal özelliklerini tanımlamak için, Define menüsünden Plastic hinge property kullanılmıştır. Kirişler için plastik mafsal özellikleri tipik olarak momente (M3) dayalı olarak seçilir ve eksenel kuvvet (P) dikkate alınmaz. Tüm kiriş elemanlar için benzer mafsal ataması yapılmıştır. 200x500mm'lik kiriş için plastik mafsal özellikleri Şekil 4.19'da gösterilmiştir.



Şekil 4.19 : Kirişlerin B200×500 mafsal tanımlaması

Plastik mafsal özelliği için standart hesaplama Tablo 4.10'a göre belirlenmektedir. "Scaling for For and Disp " Kesit Momenti ve Kesit Tasarımcısındaki moment-eğrilik analizinden elde edilen maksimum akma ve kopma moment ( $M_p/M_u$ ) değeri girilmiştir. Bu akma momenti değeri, kiriş kesitinin akma noktasına ulaştığı gerilme seviyesini belirtir. Dönme değerleri Denklem 4.3'e göre hesaplanmıştır. Bu değerler, önemli bir deformasyon meydana gelmeden önce kirişin tam kapasitesine ulaşmasını sağlayarak kirişin yük altındaki davranışının gerçekçi bir şekilde simüle edilmesine olanak tanımaktadır.

$$\theta^p = (\phi_u - \phi_y) L_p \quad (4.3)$$

$$L_p = 0.5h = 0.25$$

$$\phi_u = 0.217, \text{ moment-eğrilik grafiğinden}$$

$$\phi_y = 0.00798, \text{ moment-eğrilik grafiğinden}$$

$$\theta^p = (0.217 - 0.00798) \times 0.25 = 0.05251$$

$$M_p = 92.3248 \text{ kN-m, Moment-eğrilik grafiğinden}$$

Mu= 70.0993, Moment-eğrilik grafiğinden

Mp/Mu=1.317

TBDY-2018 Bölüm 5.8 kapsamında kirişler için performans kriterleri, izin verilebilir dönme sınırları B200×500 kirişi kullanılarak detaylandırılmıştır (Şekil 4.20). Moment-eğrilik grafiğinden elde edilen akma ve kopma momenti, akma ve göçme öncesi eğriliği değerleri performans kriterlerini belirlemek için kullanılmıştır.

Tablo 4.7: Dönme açısı mafsali özelliği standardı

1	0
Mp/Mu	$\theta^p$
0.2	$\theta^p$
0.2	$\theta^p+0.01$

**Point** | **Moment/SF** | **Rotation/SF**

E-	-0.2	-0.0559
D-	-0.2	-0.0459
C-	-1.3691	-0.0459
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1.31	0.0459
D	0.2	0.0459
E	0.2	0.0559

**Type**

Moment - Rotation

Moment - Curvature

Hinge Length:

Relative Length

**Hysteresis Type And Parameters**

Hysteresis Type: **Isotropic**

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

**Load Carrying Capacity Beyond Point E**

Drops To Zero

Is Extrapolated

**Scaling for Moment and Rotation**

Use Yield Moment

Use Yield Rotation (Steel Objects Only)

Moment SF: Positive: 92.3, Negative:

Rotation SF: Positive: 1., Negative:

**Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)**

Immediate Occupancy: Positive: 3.000E-3, Negative:

Life Safety: Positive: 0.012, Negative:

Collapse Prevention: Positive: 0.015, Negative:

Show Acceptance Criteria on Plot

OK Cancel

Şekil 4.20 : B200x500 mafsali özelliği tanımlama

Tanımlanan plastik mafsalı atamak için B200x500 olarak etiketlenen mafsal 0.05 ve 0.95 relative to the clear length değerleri manuel olarak girilmiştir. Atanan plastik mafsal özellikleri Şekil 4.21’de gösterilmektedir.

**S** Assign Frame Hinges

Frame Hinge Assignment Data

Hinge Property	Location Type	Relative Distance	Absolute Distance m
Z1.35X600	Relative To Clear Length	0.95	
Z1.35X600	Relative To Clear Length	0.05	
Z1.35X600	Relative To Clear Length	0.95	

Buttons: Add Hinge..., Modify Hinge..., Delete Hinge

Current Hinge Information  
 Type: User Defined  
 DOF: Interacting P-M2-M3

Options

Add Specified Hinge Assigns to Existing Hinge Assigns  
 Replace Existing Hinge Assigns with Specified Hinge Assigns

Existing Hinge Assignments on Currently Selected Frame Objects  
 Number of Selected Frame Objects: 95  
 Total Number of Hinges on All Selected Frame Objects: 190  
 All 190 existing hinge assignments will be removed when the above hinge assignment is applied

Fill Form with Hinges on Selected Frame Object

Buttons: OK, Close, Apply

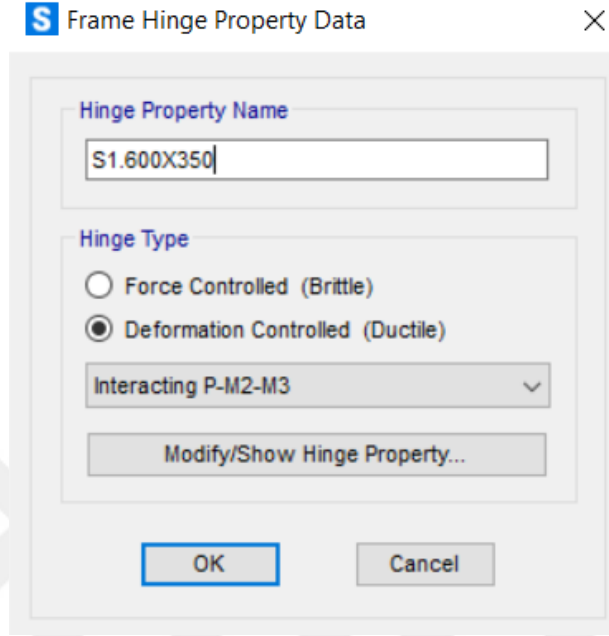
Şekil 4.21 : B200x500 kirişleri mafsal özelliği atanma

#### 4.3.3.2. Kolonların plastik mafsal özelliklerinin tanımlanması

SAP2000'de plastik mafsal, büyük deformasyonlar altında kolon ve perde gibi yapısal elemanların doğrusal elastik olmayan davranışını modellemek için kullanılan bir yöntemdir. Plastik mafsal bir elemanın maksimum moment kapasitesine ulaştıktan sonra momentte bir artışın olmadan dönmeye devam ettiği, elastik davranıştan plastik davranışa geçişini simüle eder. SAP2000'de bir plastik mafsal atamak için, kullanıcı ilk olarak eleman için bir moment-eğrilik sonuçlarını içeren plastik mafsal özelliğini tanımlamalıdır.

Kolonların plastik mafsal özelliklerini tanımlamak için önce 'Define' seçmiştir, sonra 'Frame Hinge Property Definition' seçilmiştir ve Şekil 4.22’de gösterildiği gibi 'Interacting P-M2-M3' ve 'Deformation Control' seçilmiştir. Kolonlar için P eksenel

kuvveti, M2 ve M3 ise eğilme momentlerini temsil eder. Perde duvarlar için plastik mafsallık özelliklerini tanımlamak için de benzer yöntem kullanılır.



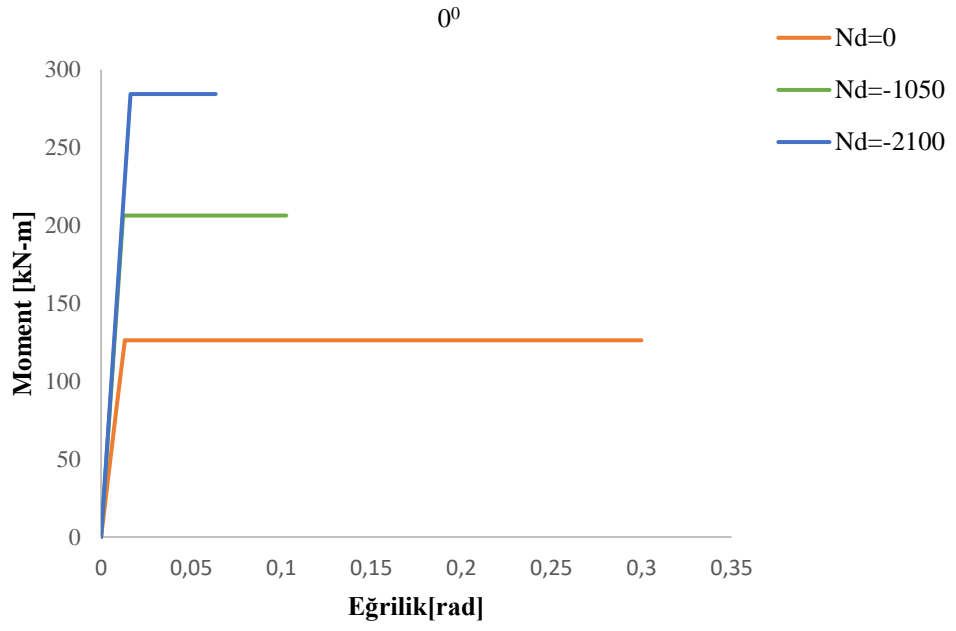
Şekil 4.22 : Kolon S1.600×350 mafsallık özelliklerinin tanımlanması

Plastik Mafsallık özelliği seçildikten sonra Şekil 4.28'de gösterildiği plastik mafsallık verileri girilerek, "Hinge spection type" kısmı "Moment-Rotation" olarak seçildi ve rotation scale factor (SF) 1 olarak girildi. Kolon asimetrik olduğu için "moment rotation dependence is double symmterical M2-M3" olarak seçilmiştir "Axial force for the moment-rotation curve" Kolon kesiti için aksenal yük TBDY 2018'e göre Şekil 4.22-4.25'te denklemleri kullanılarak manuel olarak hesaplanmış ve değerler " Axial force for the moment-rotation curve " kısmına girilmiştir Şekil 4.27.

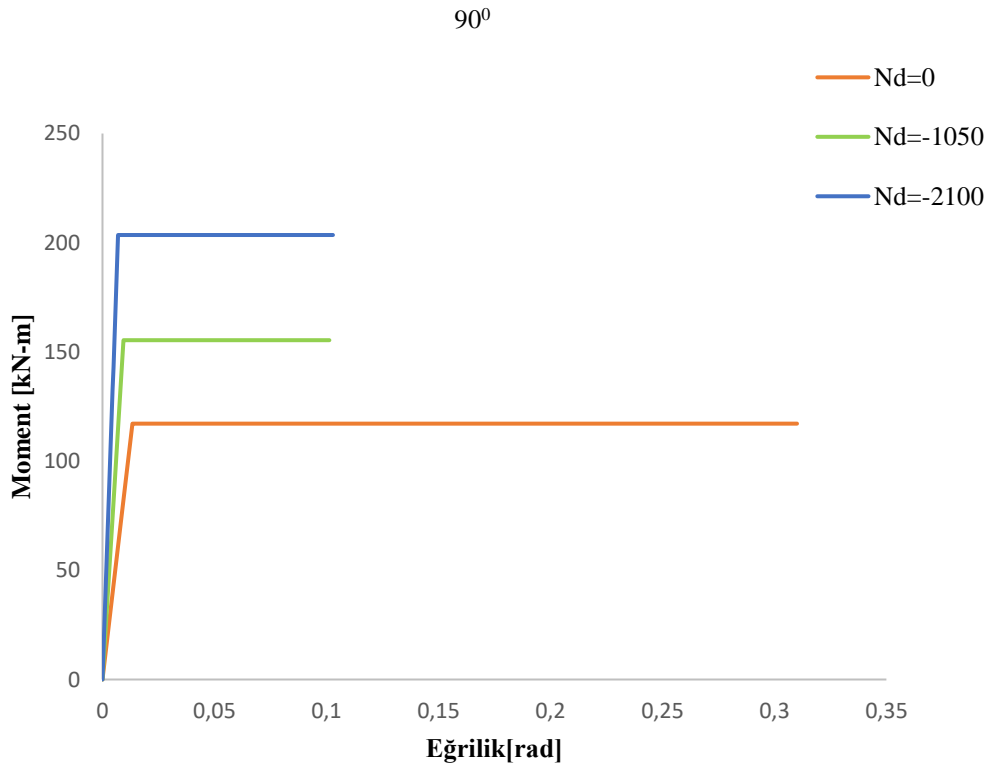
$$N_d = 0, \quad (4.4)$$

$$N_d = 0.2A_cF_{ck} , \quad (4.5)$$

$$N_d = 0.4A_cF_{ck} , \quad (4.6)$$



Şekil 4.23 : S1.350×600 kesitli kolonun aksenal kuvveti  $0^{\circ}$



Şekil 4.24 : S1.350×600 kolonun aksenal kuvveti  $90^{\circ}$

Edit

This Number of Axial Force Values Is Specified

Number of Axial Forces

Axial Force Data

	Axial Force
1	-2100.
2	-1050.
3	0.

KN, m, C

Order Rows

OK

Cancel

Şekil 4.25 : S1.600×350 için eksenel yük tanımı

Hinge Specification Type

Moment - Rotation

Moment - Curvature

Hinge Length

Relative Length

Scale Factor for Rotation (SF)

SF is Yield Rotation per ASCE 41-13 Eqn. 9-2 (Steel Objects Only)

User SF

Load Carrying Capacity Beyond Point E

Drops To Zero  Is Extrapolated

Symmetry Condition

Moment Rotation Dependence is Circular

Moment Rotation Dependence is Doubly Symmetric about M2 and M3

Moment Rotation Dependence has No Symmetry

Requirements for Specified Symmetry Condition

- Specify curves at angles of 0° and 90°.
- If desired, specify additional intermediate curves where: 0° < curve angle < 90°.

Axial Forces for Moment Rotation Curves

Number of Axial Forces

Modify/Show Axial Force Values...

Curve Angles for Moment Rotation Curves

Number of Angles

Modify/Show Angles...

Modify/Show Moment Rotation Curve Data...

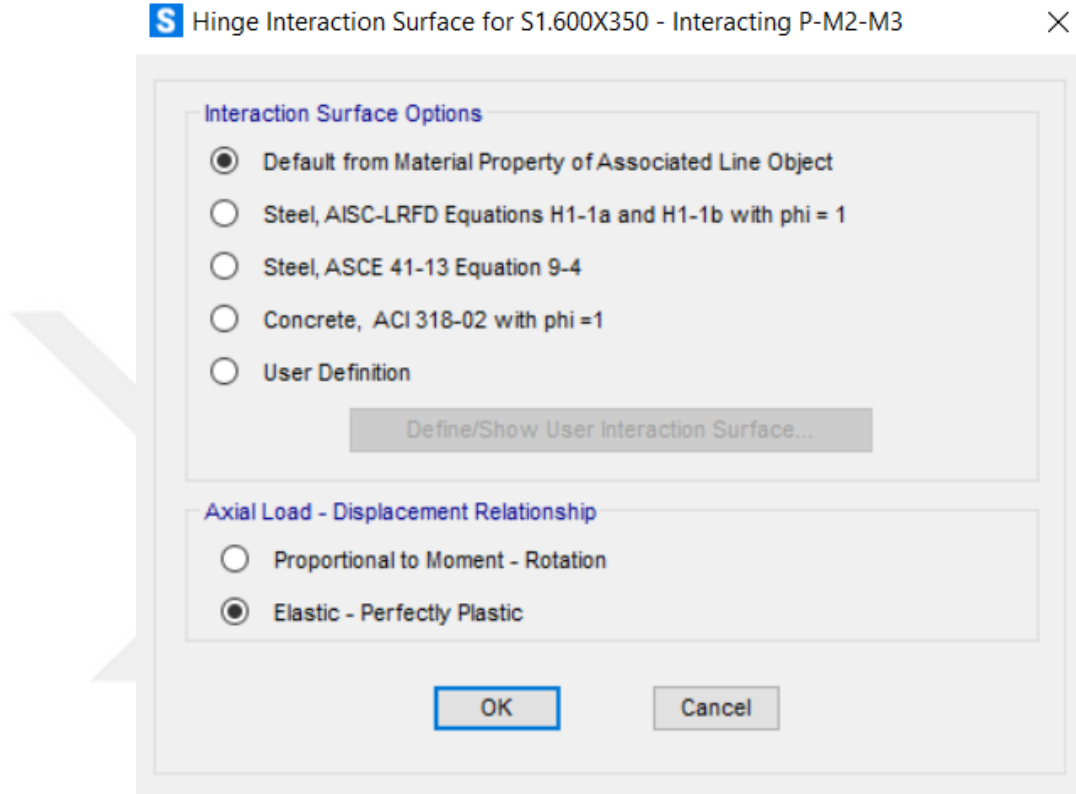
Modify/Show P-M2-M3 Interaction Surface Data...

OK

Cancel

Şekil 4.26 : Kolon S1.600m×350 ‘P-M2-M3 Frame hinge property’ tanımlama

Şekil 4.27'de gösterildiği gibi "Surface interface data" malzeme özelliklerine göre varsayılan değerler anlamına gelen 'Default from Material Property of Associated Line Object' seçeneği seçilmiştir. Akma yüzeylerinin etkileşimi, malzeme özelliklerine göre programda varsayılan olarak otomatik olarak hesaplamaktadır.



Şekil 4.27 : Kolon S1.600×350 'Hinge interaction surface' tanımı

Şekil 4.28'de gösterildiği gibi, kolon elemanı moment-dönme verileri kirişlere benzer şekilde tanımlanır. "Moment rotation data for selected curve " verileri kiriş ile benzer şekilde hesaplanmış ve  $0^0$  ve  $90^0$  dikkate alınarak hesaplanmıştır. Moment-eğrilik verileri ekler bölümünde verilmiştir.

Edit

Select Curve  
 Axial Force: -2100. Angle: 0. Curve #1

Units: KN, m, C

Moment Rotation Data for Selected Curve

Point	Moment/Yield Mom	Rotation/SF
A	0.	0.
B	1.	0.
C	1.	9.000E-03
D	0.2	9.000E-03
E	0.2	0.019

Copy Curve Data Paste Curve Data

Acceptance Criteria (Plastic Deformation / SF)

Immediate Occupancy: 0.  
 Life Safety: 6.975E-03  
 Collapse Prevention: 9.300E-03

Show Acceptance Points on Current Curve

3D View  
 Plan: 315 Elevation: 35 Aperture: 0  
 Axial Force: -2100

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

Moment Rotation Information  
 Symmetry Condition: Double  
 Number of Axial Force Values: 3  
 Number of Angles: 2  
 Total Number of Curves: 6

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 4.28 : S1.600×350 kolonu için moment-dönme verileri

S1.600x350 kolon elemanı için "Hinge Property" verileri tanımlandıktan sonra, "Assign Hinge" sekmesi aracılığıyla çerçeve kolona atanmıştır. Tanımlanan plastik mafsalı atamak için Kolon S1.600×350 olarak etiketlenen mafsalı seçin ve 0.05 ve 0.95 "relative to the clear length" değerlerini manuel olarak girilmiştir. Atanan plastik mafsala özellikleri Şekil 4.39'da gösterilmektedir.

S Assign Frame Hinges

Frame Hinge Assignment Data

Hinge Property	Location Type	Relative Distance	Absolute Distance m
Z1.600x350	Relative To Clear Length	0.05	
Z1.600x350	Relative To Clear Length	0.95	
Z1.600x350	Relative To Clear Length	0.05	

Add Hinge...  
Modify Hinge...  
Delete Hinge

Current Hinge Information  
Type: User Defined  
DOF: Interacting P-M2-M3

Options

Add Specified Hinge Assigns to Existing Hinge Assigns  
 Replace Existing Hinge Assigns with Specified Hinge Assigns

Existing Hinge Assignments on Currently Selected Frame Objects  
Number of Selected Frame Objects: 0  
Total Number of Hinges on All Selected Frame Objects: 0

Fill Form with Hinges on Selected Frame Object

OK Close Apply

Şekil 4.29 : S1.600×350 kolonu “Frame hinge property” kolon mafsalı atama

#### 4.3.4. Etkin kesit rijitliği

Etkin kesit rijitliği, özellikle inşaat mühendisliği alanında kullanılan bir terimdir. Yapının çeşitli yükler altındaki rijitliğini değerlendirmede önemli bir parametredir. Rijitlik, bir yapının belirli bir kuvvet veya moment uygulandığında ne kadar az deforme olduğunu ifade eder; yani rijit bir kesit, daha az eğilir veya burkulur. Bu çalışmada olduğu gibi yığılı plastik mafsal için yapısal eleman modellemesinde etkin kesit rijitliğinin hesaplanması gerekmektedir. TBDY-2018'e göre etkin kesit rijitliği Denklem 4.5 ve 4.6 kullanılarak hesaplanabilir.

$$(EI_e) = \frac{M_y L_s}{\theta_y} \quad (4.5)$$

$$\theta_y = \frac{\Phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta \left( 1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\Phi_u d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \quad (4.6)$$

Denklem 4.5'e göre  $M_y$ , elemanın akma momentidir,  $L_s$ , kesme açıklığının uzunluğudur, kolon ve kirişler için  $L_s$  uzunluğun yarısı kadar alınabilir.  $\theta_y$  elemanın akma dönmesidir ve Denklem 4.6'ya göre hesaplanır.

Etkin kesit rijitliği çarpanının etkisinin nasıl belirleneceğine örnek olarak, birinci katta bulunan bir kolon (600x350) seçilmiştir. Etkili kesit rijitliği çarpanını belirlemek için yapılan hesaplama adımları aşağıda verilmiştir. Tablo 4.8'de kolon S1.600x350 kesit boyutları ve moment eğrilik değerleri verilmiştir.

Tablo 4.8: S1.600x350 kolon kesit boyutları ve moment eğrilik değerleri

Kolon	b(m)	h(m)	db(m)	Ls(m)	I(m <sup>4</sup> )	My(kN-m)	$\Phi_y$ (m <sup>-1</sup> )
600x350	0.35	0.6	0.016	1.7	0.00630	166.6	0.007987

$$\theta_y = \frac{0.0132 \times 1.7}{3} + 0.0015 \times 1 \left( 1 + 1.5 \frac{0.6}{1.7} \right) + \frac{0.0132 \times 0.016 \times 420}{8\sqrt{25}} = 0.01199$$

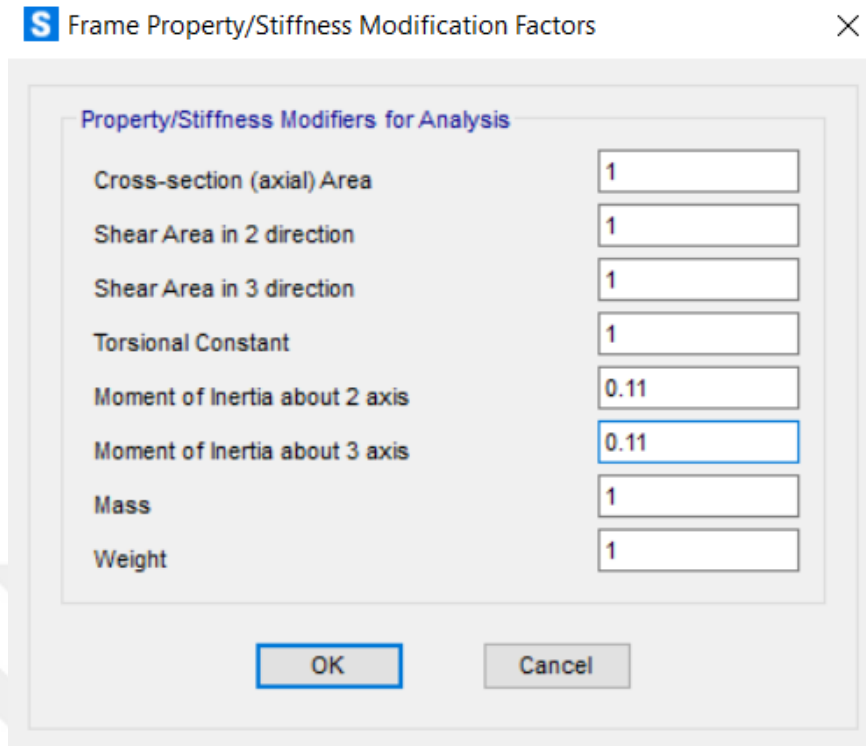
$$(EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y} = \frac{126.288}{0.01199} \times \frac{1.7}{3} = 5967 \text{ kNm}^2$$

$$(EI)_0 = E \cdot I = 25000000 \times \frac{(0.8 \times 0.35^3)}{12} = 53593.75 \text{ kNm}^2$$

$$\text{Rijitlik çarpanı} = \frac{(EI)_0}{(EI)_e} = \frac{5967 \text{ kNm}^2}{53593.75 \text{ kNm}^2} = 0.11$$

$$\text{Rijitlik çarpanı} = 0.111$$

Diğer tüm kolonların etkin kesit rijitlikleri aynı hesap adımları kullanılarak hesaplanmıştır. Etkin rijitlik çarpanı hesaplandıktan sonra Sap2000'de tüm kesitler için tanımlanmıştır (Şekil 4.30).



Şekil 4.30 : S1.600×350 kolonu için Sap2000'de etkin kesit rijitliği tanımlanması

Kiriş elemanlardan (B200×500) örnek hesaplama için seçilmiştir. Etkin kesit rijitliği çarpanını belirlemek için hesaplama adımları aşağıda verilmiştir. Tablo 4.9'da kiriş kesit boyutları ve moment eğrilik değerleri verilmiştir.

Tablo 4.9: B200×500 kiriş kesit boyutları ve moment eğrilik değerleri

Kiriş	b(m)	h(m)	db(m)	Ls(m)	I(m <sup>4</sup> )	My(kN-m)	Φy(m <sup>-1</sup> )
500×200	0.2	0.5	0.012	1.75	0.00208	92	0.00786

$$\theta_y = \frac{0.00786 \times 1.75}{3} + 0.0015 \times 1 \left( 1 + 1.5 \frac{0.5}{1.75} \right) + \frac{0.00786 \times 0.012 \times 420}{8\sqrt{22.3}} = 0.0067$$

$$(EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y} = \frac{92}{0.0067} \times \frac{1.75}{3} = 7254 \text{ Nm}^2$$

$$(EI)_0 = E \cdot I = 22360670 \times \frac{(0.2 \times 0.5^3)}{12} = 46584.729 \text{ kNm}^2$$

$$\text{Rijitlik çarpanı} = \frac{(EI)_0}{(EI)_e} = \frac{5967 \text{ kNm}^2}{53593.75 \text{ kNm}^2} = 0.1454$$

Diğer tüm kirişler için aynı hesap adımları kullanılarak hesaplanan etkin kesit rijitliği çarpanları tüm kiriş kesitlerine Sap2000'de tanımlanmıştır (Şekil 4.31).

Property/Stiffness Modifiers for Analysis	
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.14
Moment of Inertia about 3 axis	0.14
Mass	1
Weight	1

OK Cancel

Şekil 4.31 : B200×500 kirişi için Sap2000'de etkin kesit rijitliği tanımlanması

#### 4.3.5. Deprem kayıtlarının seçilmesi

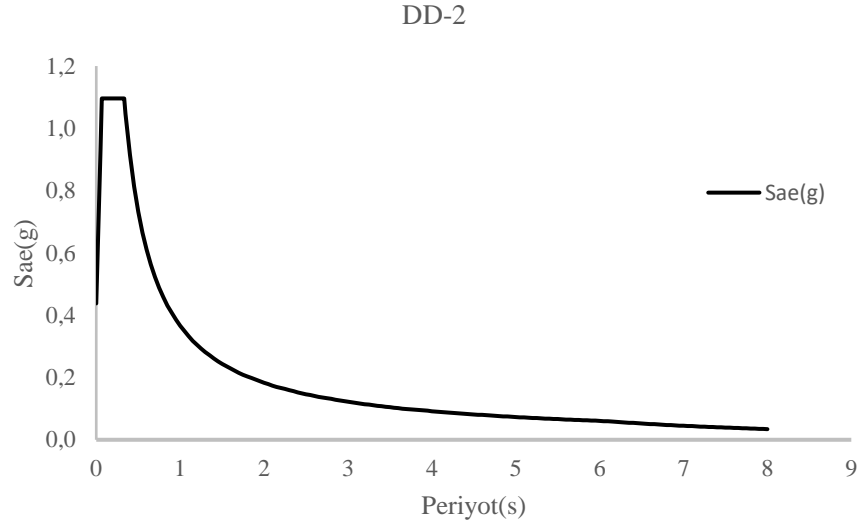
Bu tez çalışmasında, 6 Şubat 2023 tarihinde Elbistan ve Pazarcık depremleri sırasında Kahramanmaraş'ta yıkılan binanın davranışını incelemek için Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanında kullanılmıştır. Depremler sırasında binanın sismik tepkisi belirlemek için, Pazarcık depreminin binaya en yakın istasyondan alınan deprem ivme kayıtları dikkate alınmıştır. Analizde binaya en yakın kayıt istasyonu (1,98 km mesafe) olan Dulkadiroğlu'ndan (istasyon kodu 4625) alınan ivme değerleri kullanılmıştır. Pazarcık depremi Dulkadiroğlu istasyonu (kod 4625), K-G ve D-B yönleri için maksimum yer ivmeleri (PGA) sırasıyla 447 cm/s<sup>2</sup> ve 466 cm/s<sup>2</sup>'dir. Deprem süresi 105 saniye ve kayma dalgası hızı (V<sub>s30</sub>) 345 m/s olarak ölçülmüştür. Deprem verilerinden elde edilen kayma

dalgası değerlerine göre ZD yer hareketi düzeyindedir. İvme kaydının detayları Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10: İvme kaydının detayları

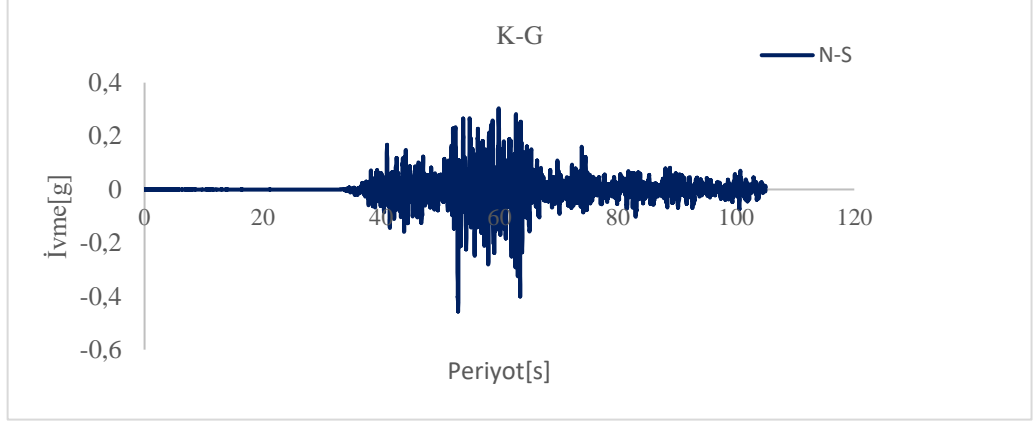
İstasyon kodu	Deprem	Tarih	İlçe	PGA (cm/s <sup>2</sup> )	PGA (cm/s <sup>2</sup> )	Mw
4625	Pazarcık	06.02.2023	Dulkadiroğlu	447	466	7.7

Binanın zemin tipi mevcut geoteknik raporda belirtildiği şekilde ZD olarak tanımlanmıştır. DD-2 için yatay tepki spektrumu kullanılmış (Şekil 4.32) ve Pazarcık depreminden elde edilen deprem ivme kaydı verileriyle eşleştirilmiştir.

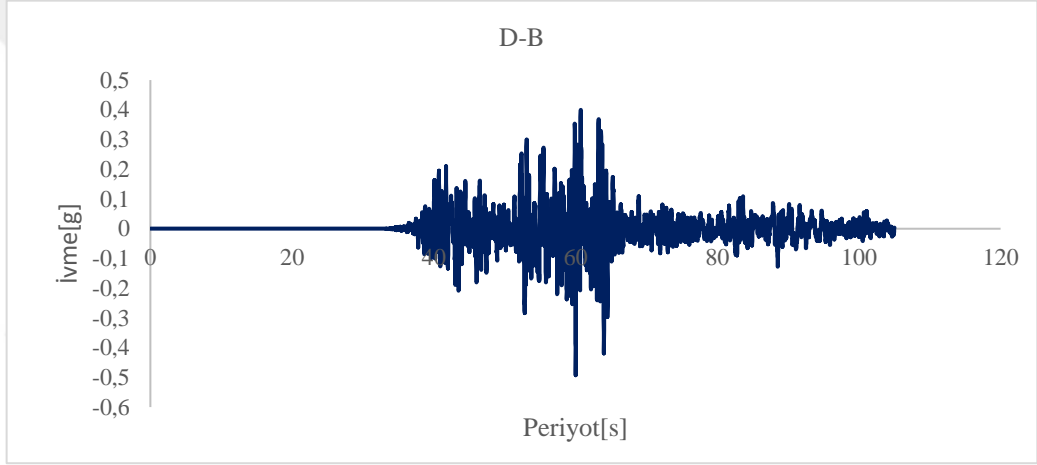


Şekil 4.32 : DD-2 yatay tasarım tepki spektrumu

Pazarcık depreminin büyüklüğü Mw 7.7'dir ve bu deprem için 381 ivme kaydı mevcuttur. Pazarcık depreminin ön değerlendirme sonuçlarına göre kaydedilen maksimum ivme 4614 kodlu istasyonda 2178.71 cm/s<sup>2</sup>'dir. Pazarcık deprem kaydı 4625, sismik uyarımlar sırasında etkilenen en yakın kayıt olduğu için seçilmiştir. Her iki yönde (K-G ve D-B) de kaydedilen maksimum ivme, D-B, 466 cm/s<sup>2</sup>'dir. Kuzey Güney (K-G) ve Doğu Batı (D-B) için seçilen deprem kayıtları Şekil 4.33 ve 4.34'te gösterilmiştir.

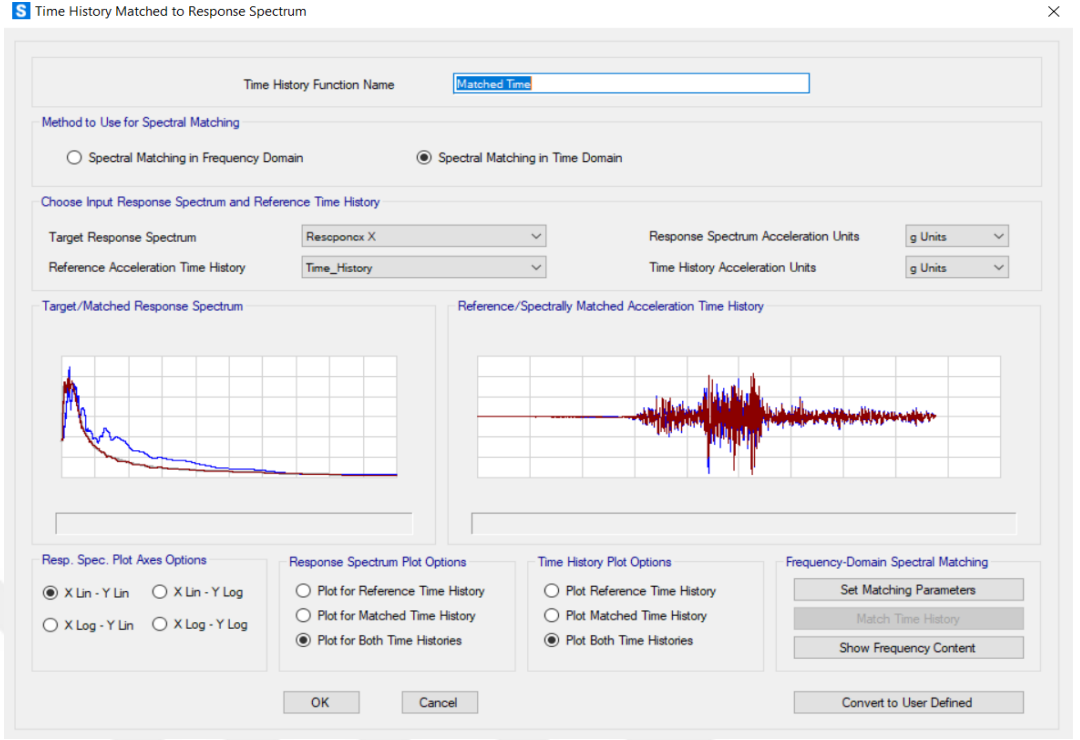


Şekil 4.33 : Pazarcık depremi (06.02.2023) N-S 4625 numaralı istasyondan alınan ivme kayıtları



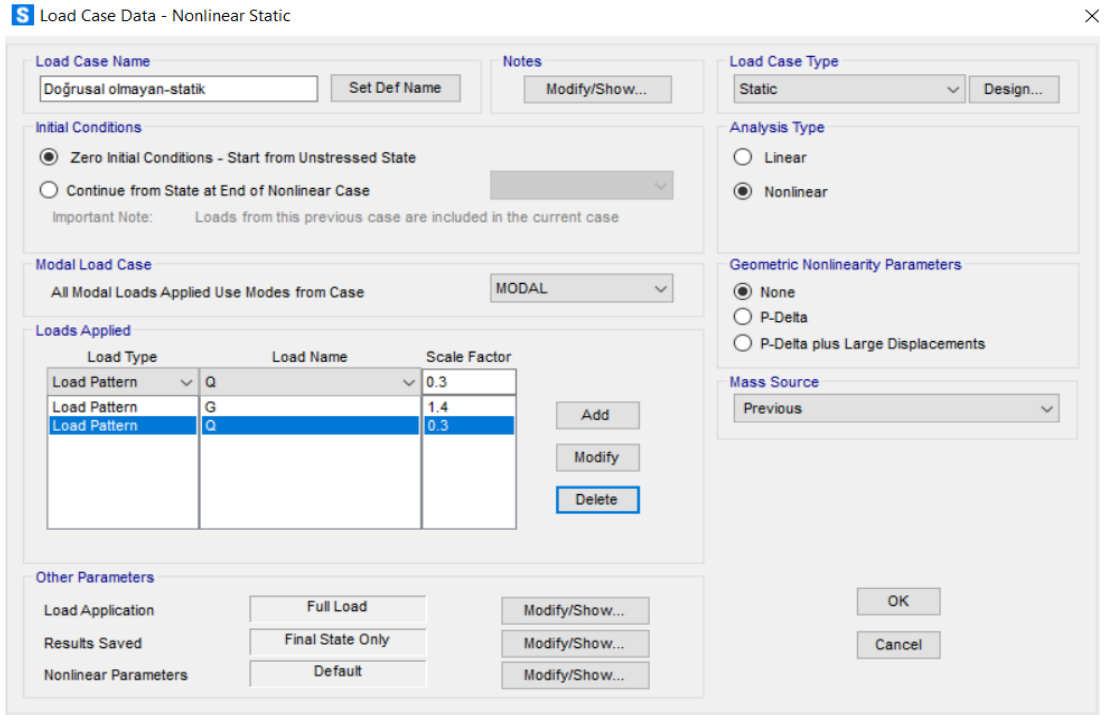
Şekil 4.34 : Pazarcık depremi (06.02.2023) E-W 4625 numaralı istasyondan alınan ivme kayıtları

Deprem kayıtları ve yatay tepki spektrumu Sap2000’de tanımlandıktan sonra, deprem kaydı DD-2 için yatay elastik tasarım spektrumu ile eşleştirilmiştir (Şekil 4.35). Bu eşleşme, binanın yer hareketleri açısından hasar düzeyinin araştırılmasına hizmet eder.



Şekil 4.35 : Deprem kayıtlarının Sap2000'de tanımlanması

Tüm tanımlamaların ardından girilen veriler Sap2000'de 'Yük Durumu' olarak da ayarlanmıştır (Şekil 4.36).



Şekil 4.36 : Doğrusal olmayan statik yük tanımlaması

Statik yük doğrusal olmayan bir şekilde tanımlandıktan sonra, Zaman Tanım Alanında Analiz 'Direct Integration Method' seçilmiş ve Newmark katsayıları doğrusal olmayan analizde kullanılmıştır. Sönüm oranı %5 olarak kullanılmıştır (Şekil 4. 37).

Load Case Name: Time\_HistoryX

Load Case Type: Time History

Initial Conditions:  Continue from State at End of Nonlinear Case

Modal Load Case: MODAL

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	Matched Tim	9.81
Accel	U2	Matched Time	9.81

Number of Output Time Steps: 10500

Output Time Step Size: 0.01

Damping: Proportional

Time Integration: Newmark

Nonlinear Parameters: Default

Şekil 4.37 : SAP2000’de Zaman tanım alanında analiz tanımlaması

## **BÖLÜM 5. BULGULAR VE TARTIŞMA**

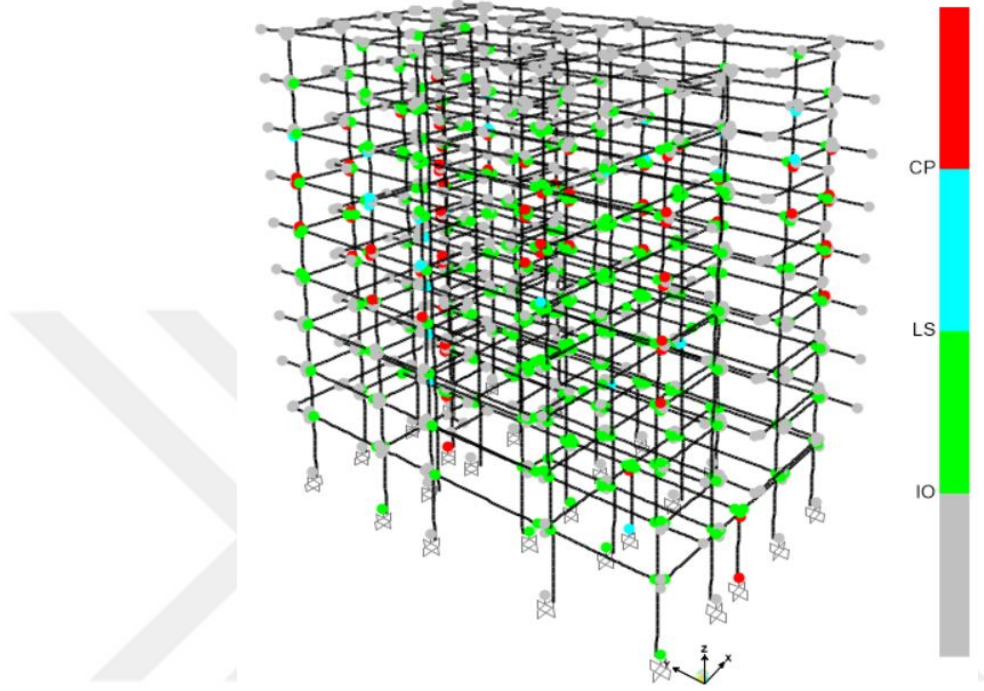
Tez çalışması kapsamında, 06.02.2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş depreminde yıkılmış, yapısal olarak düzensizlikleri olan bir bina incelenmiştir. İncelemede doğrusal olmayan modelleme ve analiz gerçekleştirilmiştir. Sismik etkiler altında, düzensizliklerin bina üzerindeki etkisini incelemek için binaya en yakın deprem ivme kaydı seçilmiştir. İlk olarak, düşeyde düzensiz olan mevcut bina, seçilen ivme kayıtları uygulanarak analiz edilmiştir. İkinci aşamada, yapısal düzensizlikler kaldırılmış ve bina yeniden analiz edilmiştir. Binanın mevcut halinde, yumuşak kat ve zayıf kat düzensizlikleri tespit edilmiştir. Yapıyı düzenli bir binaya dönüştürmek için şu adımlar atılmıştır: (i) Yumuşak kat sorunu, katlar arasındaki yükseklik farklılıkları ortadan kaldırılarak ele alınmış, bu da tek tip rijitliği elde edilmesini sağlamıştır. (ii) Zayıf kat düzensizliğini çözmek için, yapısal olarak zayıf olarak tanımlanan katlara ilave duvarlar eklenmiştir. Böylece yapısal düzensizliklerin bina sismik davranışı üzerindeki etkisi gösterilmiştir.

### **5.1. Yapısal Elemanların Hasar Değerlendirme Sonuçları**

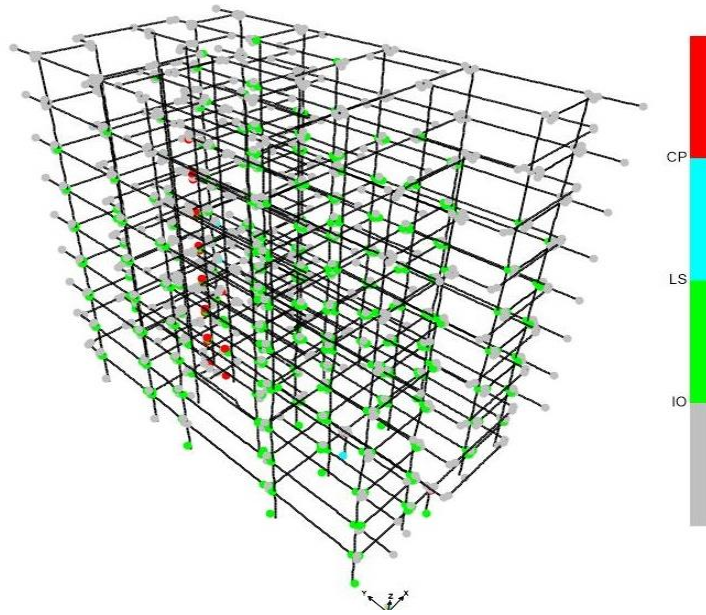
Düzenli ve düzensiz binaların dinamik davranışları incelenerek performans düzeyleri belirlenmiş ve sonuçlar sunulmuştur. Yapılar, TBDY-2018'de belirtilen plastik dönme sınırlarına göre yığılı plastik davranış modeli kullanılarak modellenmiştir. Taşıyıcı elemanın performans düzeyi, her bir hasar durumu için plastik dönme değerleri yönetmeliğe göre hesaplanan, izin verilen sınırlarla karşılaştırılmasıyla belirlenmiştir.

SAP2000 analiz sonuçlarına göre, hem düzenli hem de düzensiz modeller için yapıda oluşan plastik mafsal yerleri Şekil 5.1 ve 5.2'de gösterilmektedir. Analiz sonuçlarına göre, düzensiz binadaki kolonların hasar dağılımı %22'dir, bu da düzensiz modeldeki çok fazla kolonun göçme bölgesinde olduğu anlamına gelmektedir. Buna karşılık, düzenli bina için hasar dağılımı %4'tür, yalnız 8 adet kolonun göçme bölgesinde olduğu belirlenmiştir. Kirişler için, düzensiz binadaki maksimum hasar dağılımı belirgin hasar bölgesinde %38

ve ileri hasar bölgesinde %1'dir. Düzenli bina modelinde ise kirişlerin maksimum hasar seviyesi belirgin hasar bölgesinde %26'dır. Bu sonuç, düzenli bina modelinde sadece kirişlerin önemli hasar bölgesinde olduğunu ve güçlendirme gerektirdiğini göstermektedir.



Şekil 5.1 : Yapısal olarak düzensiz binada oluşan mafsallar

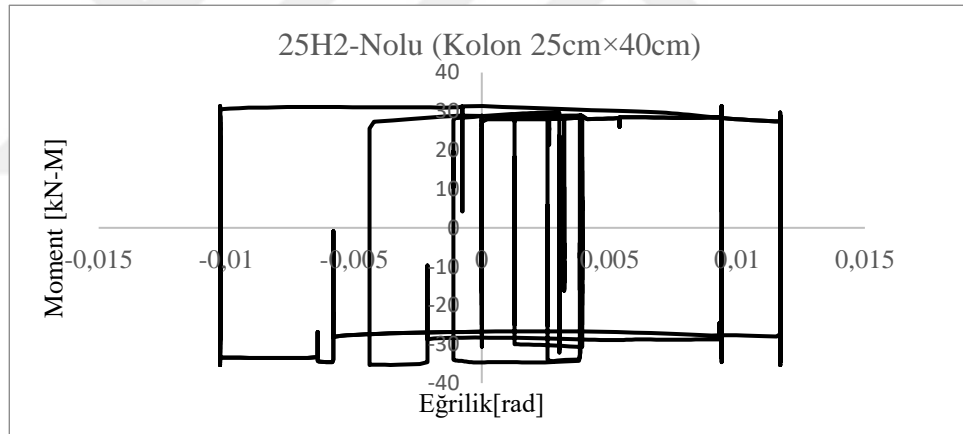


Şekil 5.2 : Yapısal olarak düzenli binada oluşan mafsallar

Her iki modelde düşey elemanlar TBDY-2018'e göre göçme bölgesinde yer almaktadır. Yapılan analizde düzensiz binadaki hasar dağılımının, düzenli binaya göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, bu deprem için tasarım aşamasında düzenli modelin kullanılması durumunda, binadaki hasar gören 8 kolonun güçlendirilmesi ile bu deprem etkisine dayanabileceği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, düzensiz bina deprem etkisinde, düzenli binaya kıyasla kolonlarında daha fazla hasar görmektedir.

### 5.1.1. Kolon elemanların hasar değerlendirme sonuçları

Kolonlardaki hasar düzeylerini değerlendirmek için her bir kolonun uç bölgelerindeki plastik dönmeler hesaplanmıştır. Sap2000'de her bir kolonun iki ucunda belirlenmiş plastik dönme açıları TBDY-2018'e göre hesaplanan sınır değerlere göre değerlendirilmiştir. Düzensiz binadaki, bir kolon için sayısal analizden elde edilen plastik mafsal detayları Şekil 5.3'te, hasar durum değerlendirmesi ise Tablo 5.1'de sunulmuştur.



Şekil 5.3 : 25H2-Nolu (Kolon 25cm×40cm) kolonunun plastik mafsal sonuçları

Tablo 5.1 : 25H1 ve 25H2-Nolu kolon hasar durumu

Kolon Boyut	Mafsal	R2 (Rad)	R3 (Rad)	Kesit Hasar Durumu	Eleman Hasar Durumu
25×40	25H1	0.003249	0.007988	BHB	BHB BHB
25×40	25H2	0.00252	0.011691	BHB	BHB

TBDY-2018'e göre, performans kriterlerini belirlemek için yapı elemanının (kolon-kesit) maksimum aksenal kuvvet alınarak kolonlar için 'Acceptance criteria' hesaplamıştır Moment-eğrilik grafiğinden elde edilen sonuçlar, akma momenti, kopma momenti, göçme öncesi eğrilik [ $m^{-1}$ ] ve akma eğriliğidir. 250x400 kolonu izin verilebilen plastik sınırlarını belirlemek için TBDY-2018 kapsamında Denklem 5.1 ve 5.2 kullanılmış ve hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

$$\theta_p^{(G\ddot{o})} = \frac{2}{3} \left[ (\phi_u - \phi_y) L_p \left( 1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_p \right] \quad (5.1)$$

$$\theta_p^{(G\ddot{o})} = \frac{2}{3} \left[ (0.1315 - 0.022) 0.2 \left( 1 - 0.5 \frac{0.2}{1.7} \right) + 4.5 \times 0.1315 \times 0.016 \right] = 0.0201$$

Kontrolü Hasar dönme sınırları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

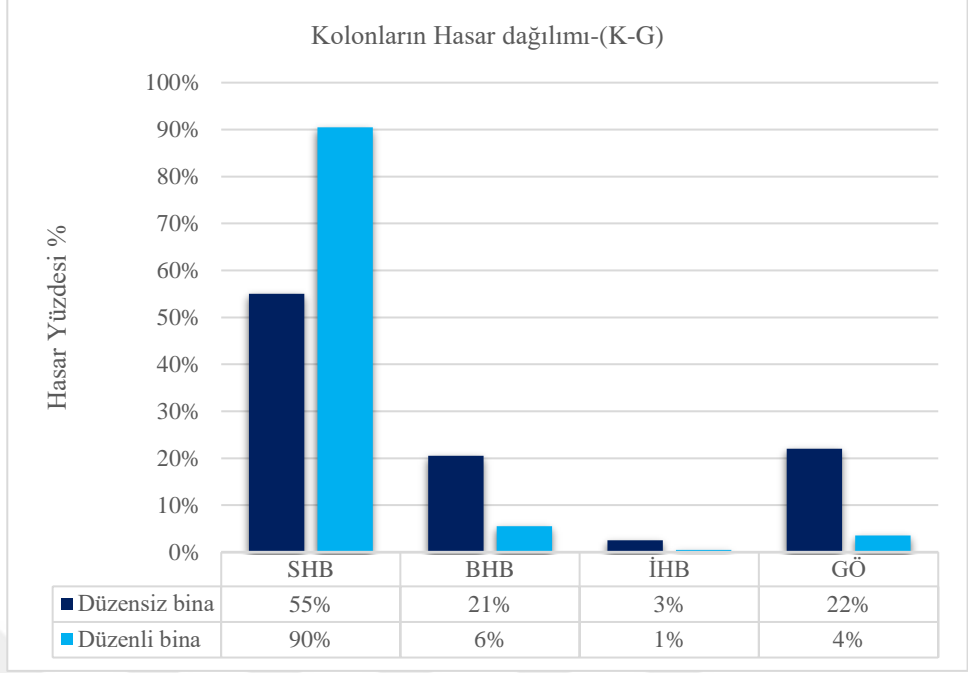
$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(G\ddot{o})}, \quad 0.75 \times 0.015 \quad (5.2)$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \times 0.015$$

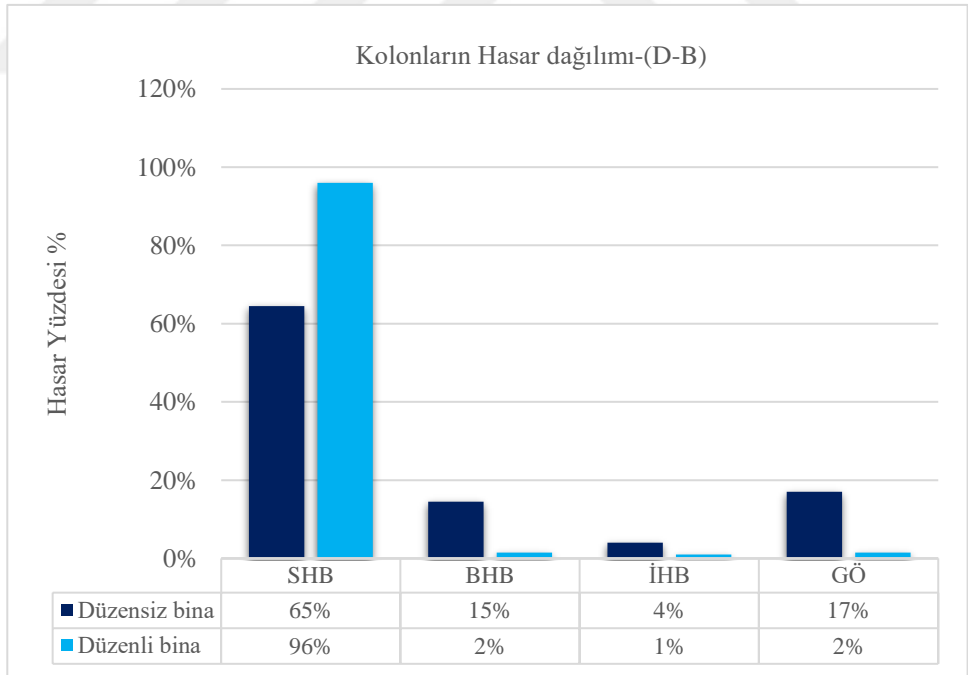
$$\theta^{(SH)} = 0$$

Sayısal analize göre, Pazarcık depremi etkisinde düzensiz binadaki kolonların K-G doğrultusundaki hasar durumları; %55 SHB, %21 BHB, %3 İHB ve %22 GÖ'dür. D-B doğrultularında ise; %65 SHB, %15 BHB, %4 İHB ve %17 GÖ'dür.

Düzenli binanın ise Pazarcık depremi etkisinde kolonlarının K-G doğrultusundaki hasar durumları; %90 SHB, %6 BHB, %1 İHB ve %4 GÖ'dür. D-B yönünde ise; %96 SHB, %2 BHB, %1 İHB ve %2 GÖ'dür. Kolon hasar dağılımları Şekil 5.4 ve 5.5'te gösterilmiştir.



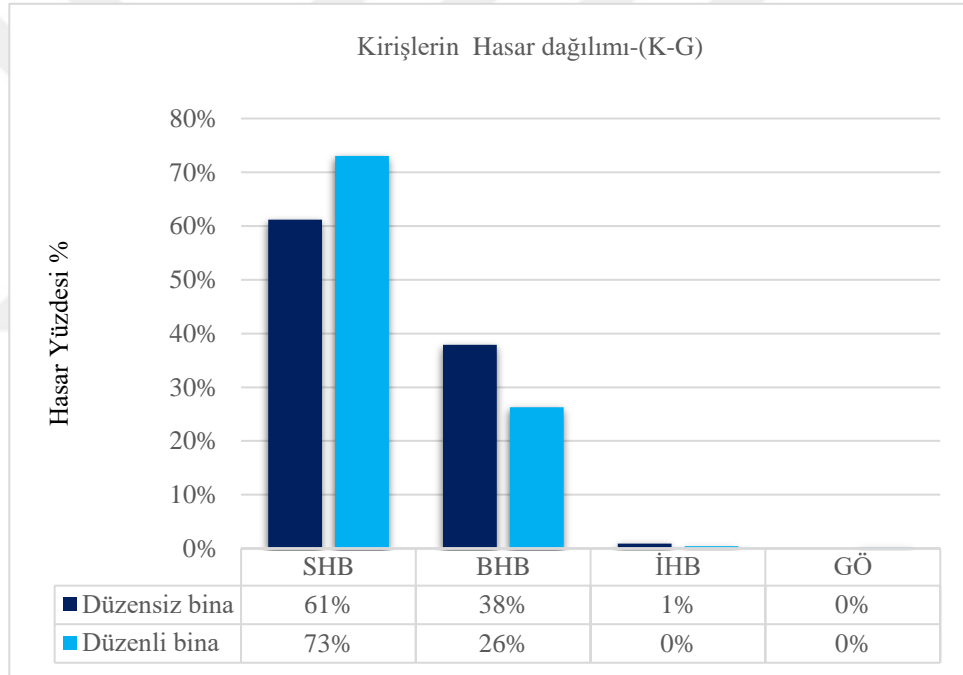
Şekil 5.4 : K-G deprem yönü için kolonların hasar dağılımı



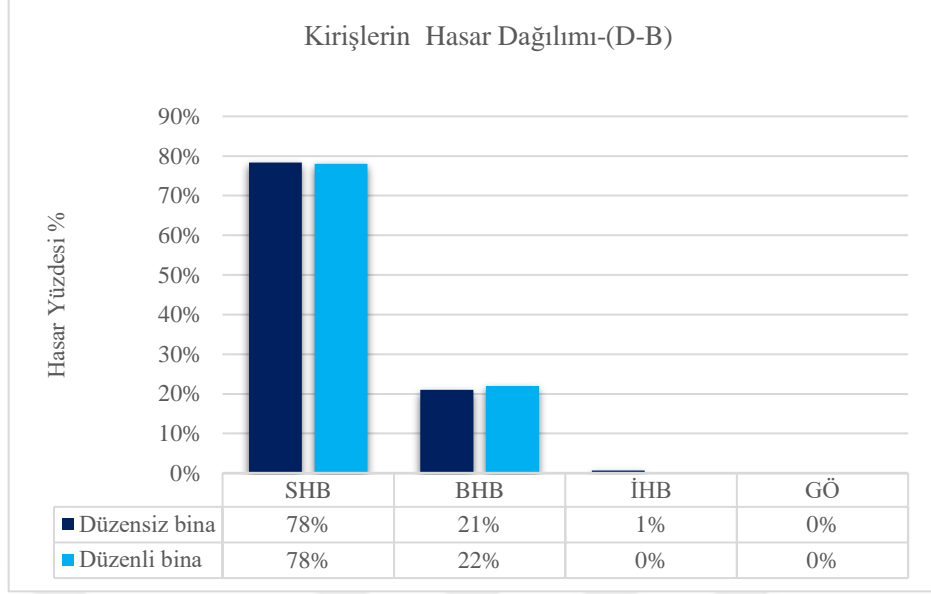
Şekil 5.5 : D-B deprem yönü için kolonların hasar dağılımı

### 5.1.2. Kiriş elemanların hasar değerlendirme sonuçları

Kirişlerin hasar durumları değerlendirildiğinde düzenli binanın K-G yönü için hasar dağılım sonuçları; belirgin hasar bölgesinde %26 ve sınırlı hasar bölgesinde %73, D-B yönü için hasar dağılım sonuçları; belirgin hasar bölgesinde %22 ve sınırlı hasar bölgesinde %78'dir. Diğer taraftan, düzensiz binanın K-G yönü için hasar dağılım sonuçları; belirgin hasar bölgesinde %38, ileri hasar bölgesinde %1 ve sınırlı hasar bölgesinde %61 iken, D-B yönünde; Kontrollü hasar bölgesinde %21, ileri hasar bölgesinde %1 ve sınırlı hasar bölgesinde %78'dir. Düzenli ve düzensiz binada kirişler için hasar durumu kontrollü hasar olarak belirlenmiştir. K-G ve D-B doğrultularındaki modellerin hasar dağılım sonuçları grafiksel olarak Şekil 5.6 ve 5.7'de gösterilmiştir.



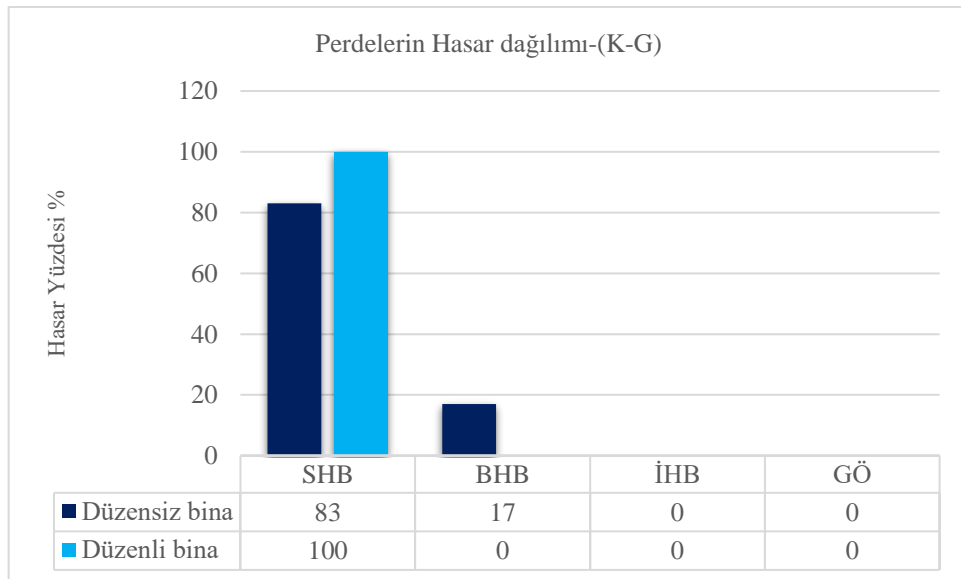
Şekil 5.6 : K-G deprem yönü için kirişlerin hasar dağılımı.



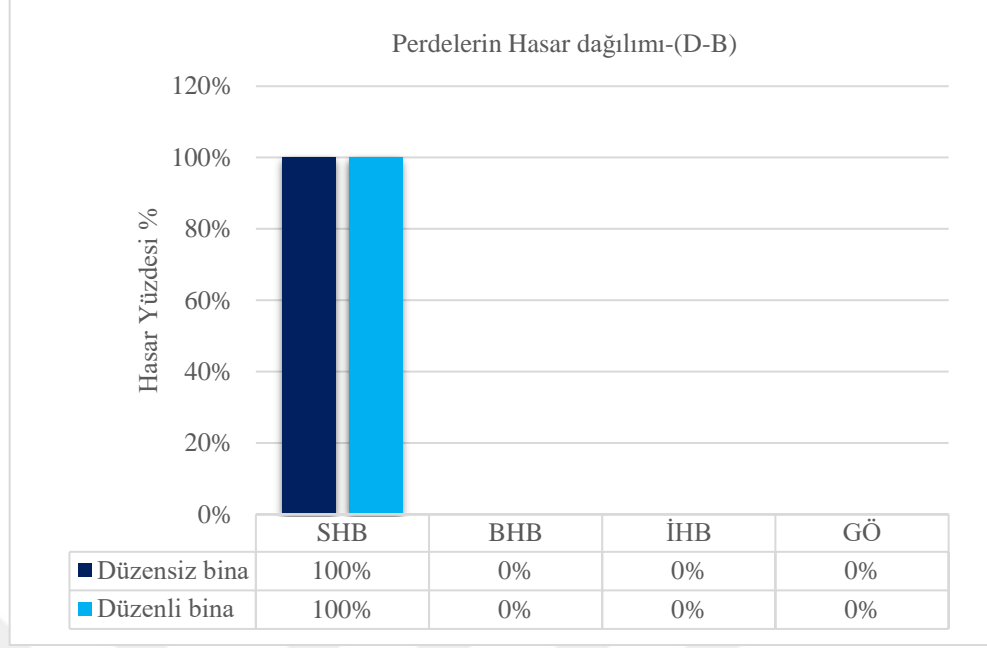
Şekil 5.7 : D-B deprem yönü için kirişlerin hasar dağılımı.

### 5.1.3. Perde elemanlarının hasar değerlendirme sonuçları

İncelenen binada her katta iki perde duvar bulunmaktadır. Perde duvarların hasar dağılımları düzenli ve düzensiz binalar için değerlendirilmiş ve her iki modelin de K-G ve DB yönlerinde sınırlı hasar bölgesinde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.8 ve 5.9) Düzensiz binada %83 SHB gösterirken, düzenli binada %100 SHB göstermiştir. Bu sonuçlara dayanarak, perde duvarların TBDY-2018 uyarınca diğer yapı elemanlarına kıyasla daha güvenli olduğu görülmüştür.



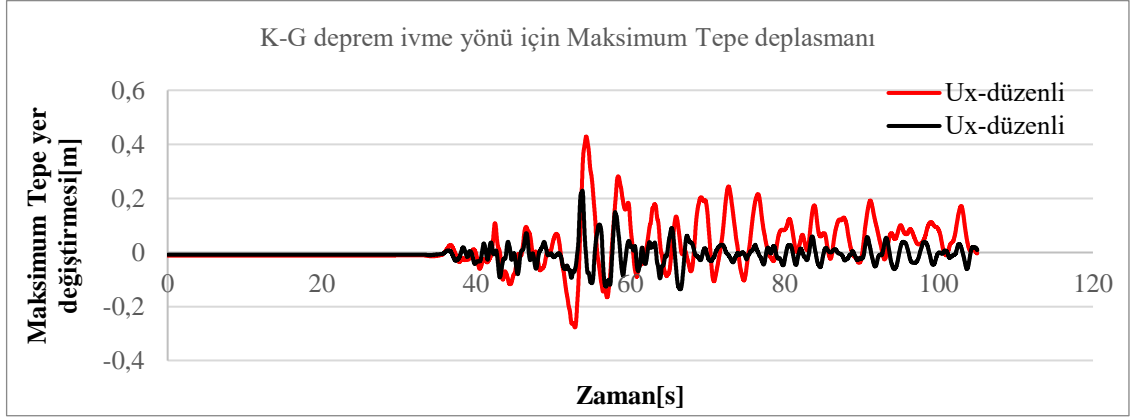
Şekil 5.8 : K-G deprem yönü için perdelerin hasar dağılımları.



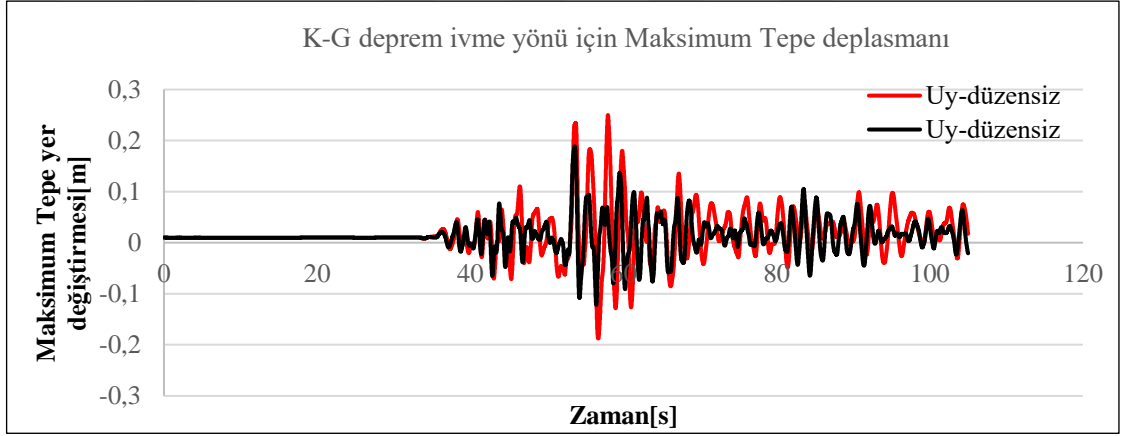
Şekil 5.9 : D-B deprem yönü için perdelerin hasar dağılımları.

## 5.2. Yer değiştirme ve görelî kat ötelenmeleri kontrolü

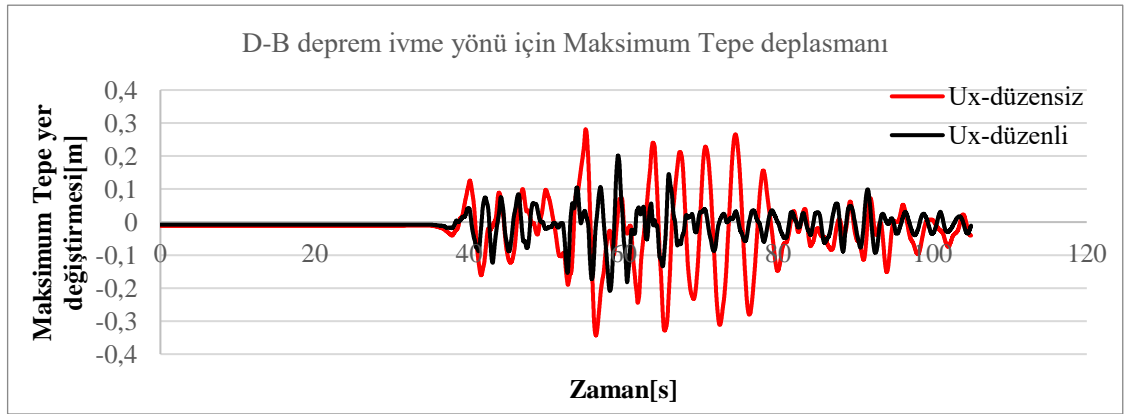
Maksimum yer değiştirmeler, mühendislerin sismik hareketten kaynaklanan yapısal hasarları anlamasına ve önlemesine yardımcı olur. Bu çalışmada, maksimum tepe deplasmanı hem düzenli hem de düzensiz bina için hesaplanmıştır. Düzensiz bina için K-G sismik yönünde maksimum tepe deplasmanı 0.429 m olarak belirlenirken, düzenli bina için K-G sismik yönünde 0.2294m olarak belirlenmiştir Ayrıca, D-B deprem yönünde, düzensiz bina için maksimum tepe yer değiştirmesi 0.2809m iken, düzenli bina için 0.201m'dir. Deprem altında hem düzenli hem de düzensiz binalar için K-G ve D-B yönlerinin her ikisi için de zamana bağılı oluşan en büyük yer değiştirme Şekil 5.10 ve 5.11'de gösterilmiştir.



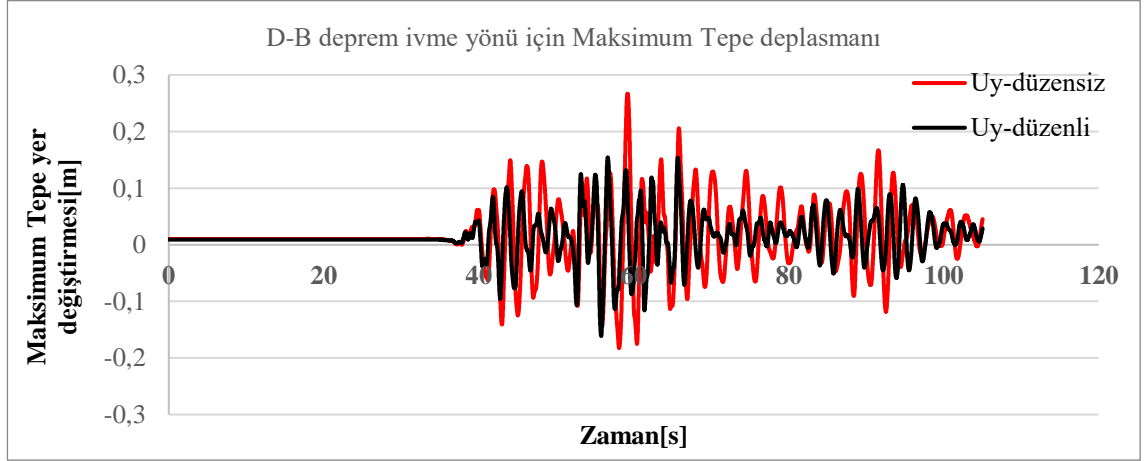
Şekil 5.10 : Düzenli ve düzensiz binalar için maksimum tepe deplasmanı



Şekil 5.11 : Düzenli ve düzensiz binalar için U2 maksimum tepe deplasmanı

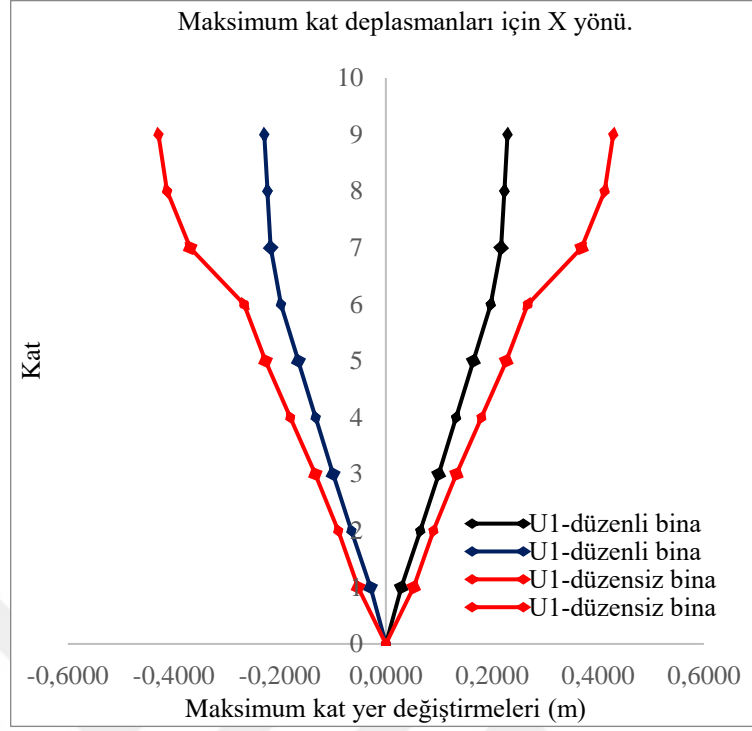


Şekil 5.12 : Düzenli ve düzensiz binalar için U2 maksimum tepe deplasmanı

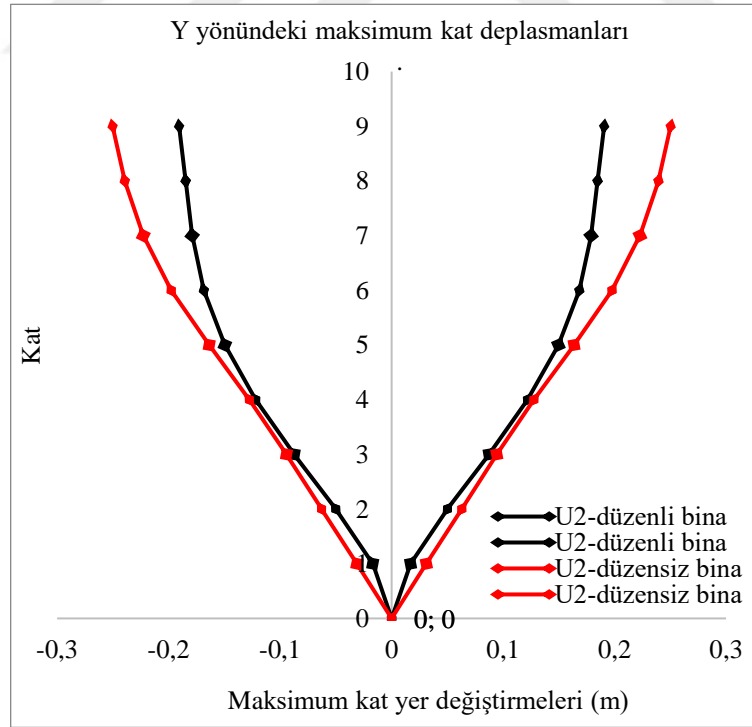


Şekil 5.13 : Düzenli ve düzensiz binalar için U2 maksimum tepe deplasmanı

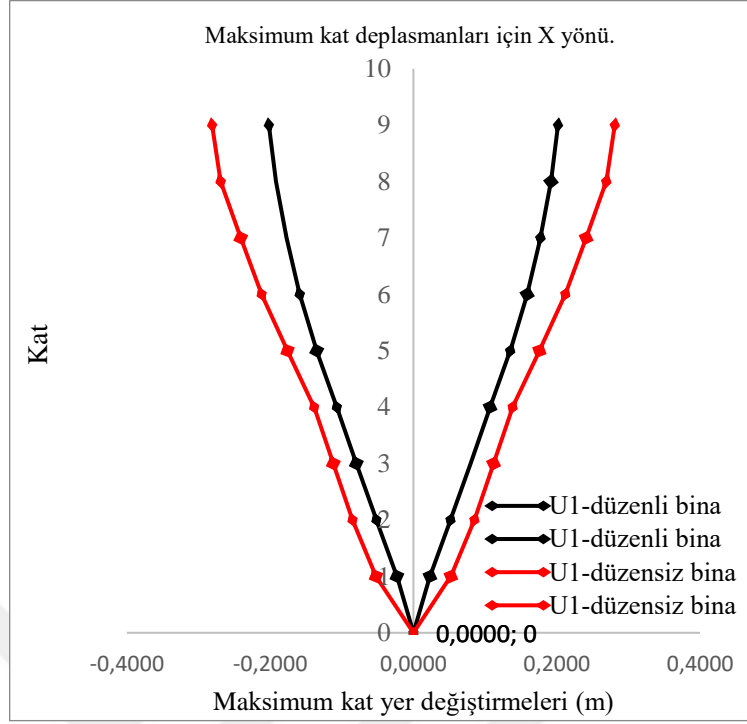
Sismik analiz sonuçlarına göre, düzensiz binanın düzenli binaya kıyasla daha yüksek maksimum yer değiştirme yaptığı anlaşılmaktadır. K-G deprem etkisinde, düzensiz bina X yönünde 0.429 m maksimum yer değiştirme yaparken, düzenli bina 0,22 m yerdeğiştirme yapmaktadır. Y yönünde ise, düzensiz bina 0.25m'ye ulaşırken, düzenli bina için bu değer 0.1906 m'dir. D-B deprem yönde düzensiz bina X yönünde 0.281 m maksimum yer değiştirme yaparken, düzenli bina 0.203m yer değiştirme yapmaktadır. Y yönünde, düzensiz bina 0.285 m'lik bir yer değiştirme göstermiştir; bu değer, düzenli bina için 0,166 m'dir. Elde edilen sonuçlar düzensiz binanın sismik etki altında düzenli binaya göre daha büyük yer değiştirme yaptığını ve bunun sebeple yapısal hasar riskinin artırabileceğini göstermektedir. Şekil 5.12-515'teki grafikler bu maksimum yer değiştirme değerlerini grafiksel olarak temsil etmekte ve düzenli ve düzensiz bina modelleri arasındaki farkları daha da vurgulamaktadır. Bu yer değiştirme özelliklerinin anlaşılması, özellikle depreme riskli bölgelerde bina tasarımının optimize edilmesi ve güvenliğin sağlanması açısından kritik öneme sahiptir.



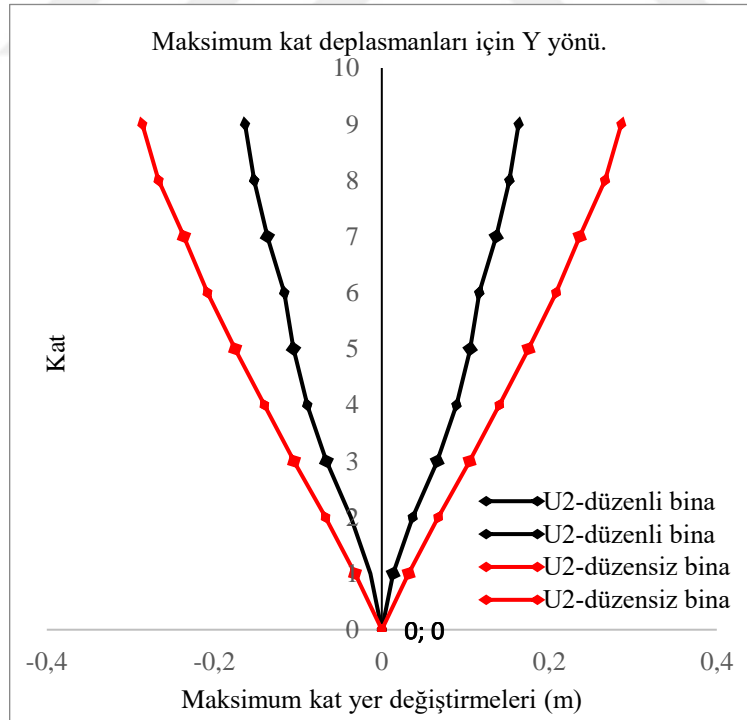
Şekil 5.14 : K-G deprem etkisinde X yönündeki maksimum yer değiştirmeler



Şekil 5.15 : K-G deprem etkisinde Y yönündeki maksimum yer değiştirmeler



Şekil 5.16 : D-B(Düzenli ve düzensiz model) maksimum yer değiştirme U1 yönü.



Şekil 5.17 : D-B (Düzenli ve düzensiz model) maksimum yer değiştirme U2 yönü.

### 5.2.1. Göreli kat ötelemeleri kontrolü

Binaların yer değiştirme açısından performansını değerlendirmek ve güvenli sınırlar içinde davranmasını sağlamak için katlar arası ötelemelerin kontrol edilmesi gerekmektedir. Düzenli ve düzensiz binaların katlar arası ötelemeleri, TBDY-2018'e göre Denklem 5.2 kullanılarak değerlendirilmiştir. Şekil 5.18 ila 5.21'de gösterildiği gibi sayısal grafikler halinde sunulmuştur.

$$\lambda \frac{\delta_{\text{Max}}^{(X)}}{h_j} \leq 0.008 \quad (5.2)$$

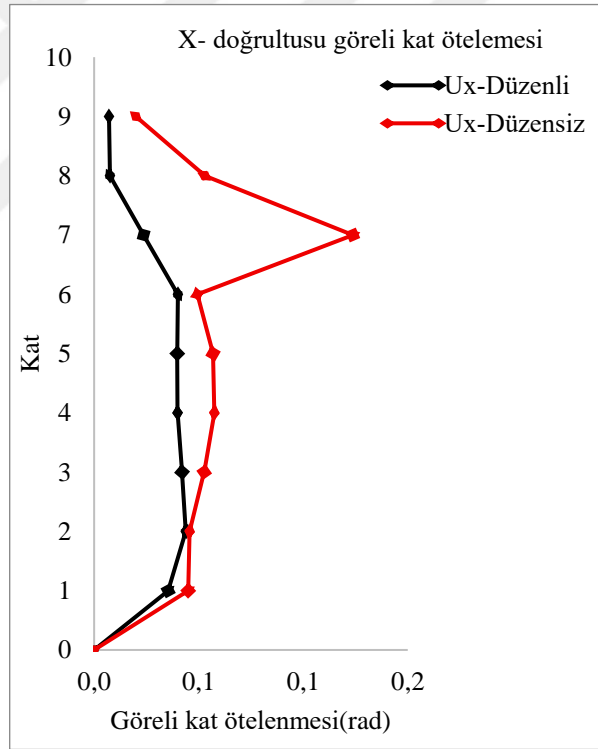
Değerlendirme sonuçlarına göre, hem düzenli hem de düzensiz binada Denklem 5.3'te belirtilen katlar arası ötelenme sınırları aşılmıştır (Tablo 5.2 ve 5.3). Bu durum, her iki binanın yapısal performansının ilgili standartlar tarafından tanımlanan güvenli aralığın dışında kaldığını göstermektedir.

Tablo 5.2 : Düzensiz bina göreli kat ötelenmesi kontrolü

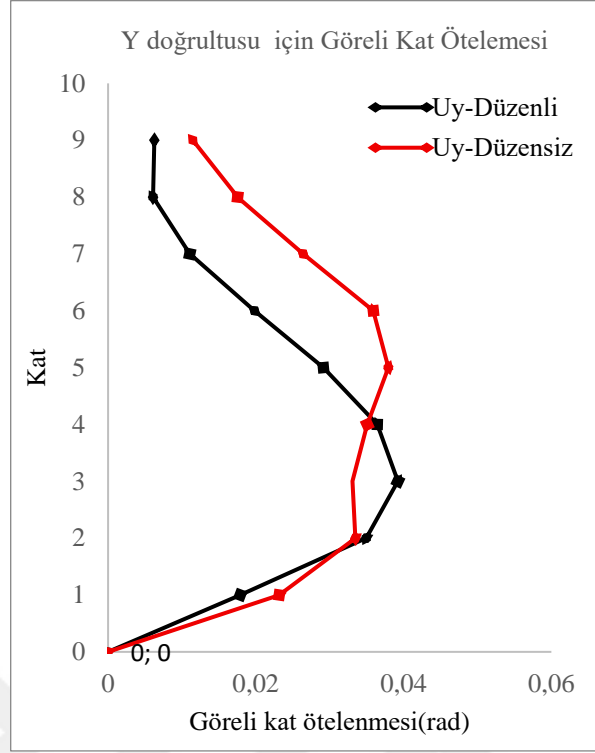
Kat	hi(m)	di(max) m	$\Delta_i$ (min)	$\delta_{\text{etkin}}$	( $\delta/h$ )	$\lambda(\delta/h)$			
7	2.4	0.428973	0.016	0.124994	0.052081	0.020	>	0.008	×
6	2.4	0.412548	0.04	0.330518	0.137716	0.053	>	0.008	×
5	2.4	0.369116	0.10	0.773039	0.3221	0.124	>	0.008	×
4	2.4	0.267534	0.04	0.308532	0.128555	0.049	>	0.008	×
3	2.4	0.226991	0.05	0.355395	0.148081	0.057	>	0.008	×
2	2.4	0.18029	0.05	0.359489	0.149787	0.058	>	0.008	×
1	2.4	0.133051	0.04	0.328973	0.137072	0.053	>	0.008	×
A	2.4	0.089822	0.04	0.285253	0.118856	0.046	>	0.008	×
Z	3.4	0.052338	0.05	0.398292	0.117145	0.045	>	0.008	×

Tablo 5.3 : Düzenli bina görel kat ötelenmesi kontrolü

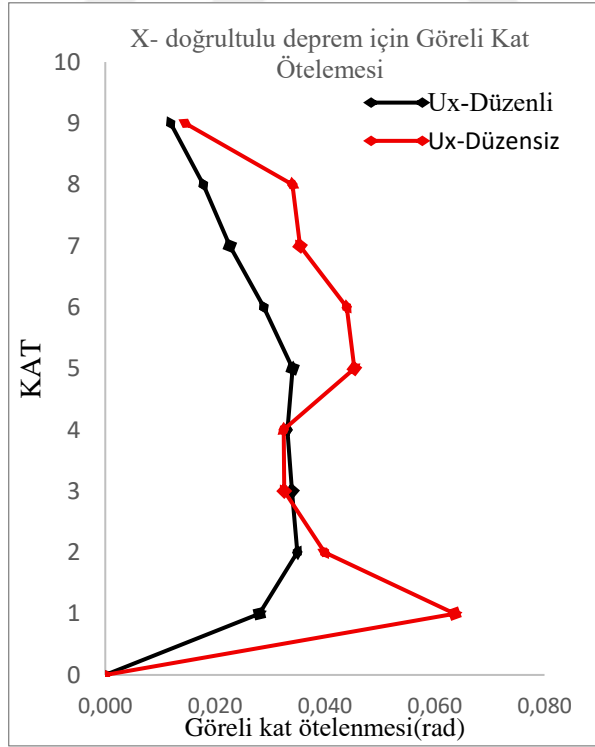
Kat	hi(m)	di(max) m	$\Delta i$ (min)	$\delta_{etkin}$	$(\delta/h)$	$\lambda(\delta/h)$			
7	2.4	0.190633	0.01	0.039799	0.016583	0.006278	>	0.008	✓
6	2.4	0.184675	0.01	0.038604	0.016085	0.00609	>	0.008	✓
5	2.4	0.178896	0.01	0.070113	0.029214	0.01106	>	0.008	✗
4	2.4	0.1684	0.02	0.125684	0.052368	0.019827	>	0.008	✗
3	2.4	0.149585	0.03	0.184749	0.076979	0.029144	>	0.008	✗
2	2.4	0.121928	0.03	0.231021	0.096259	0.036444	>	0.008	✗
1	2.4	0.087344	0.04	0.24869	0.103621	0.039231	>	0.008	✗
A	2.4	0.050115	0.03	0.221382	0.092242	0.034923	>	0.008	✗
Z	3.4	0.016974	0.02	0.113386	0.047244	0.017887	>	0.008	✗



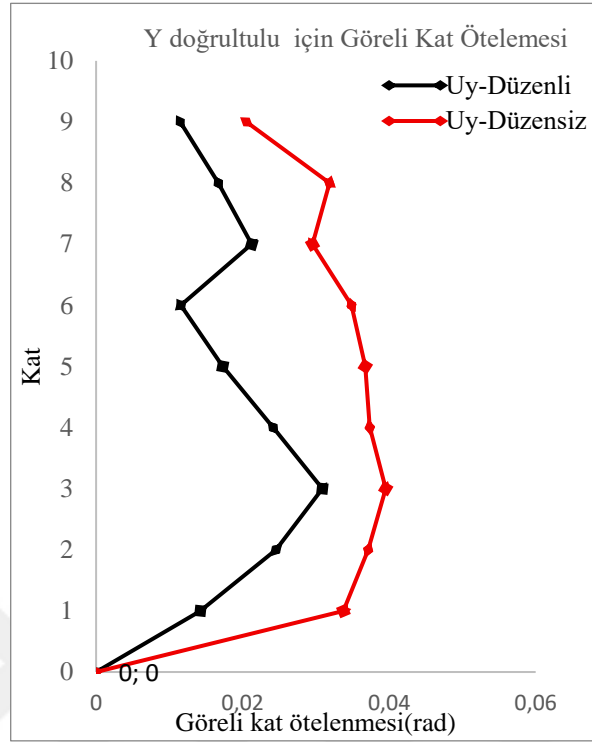
Şekil 5.18 : K-G için görel kat ötelenmeleri için düzenli ve düzensiz modelleri



Şekil 5.19 : K-G için görelî kat ötelenmeleri için düzenli ve düzensiz modelleri



Şekil 5.20 : D-B için görelî kat ötelenmeleri için düzenli ve düzensiz modelleri



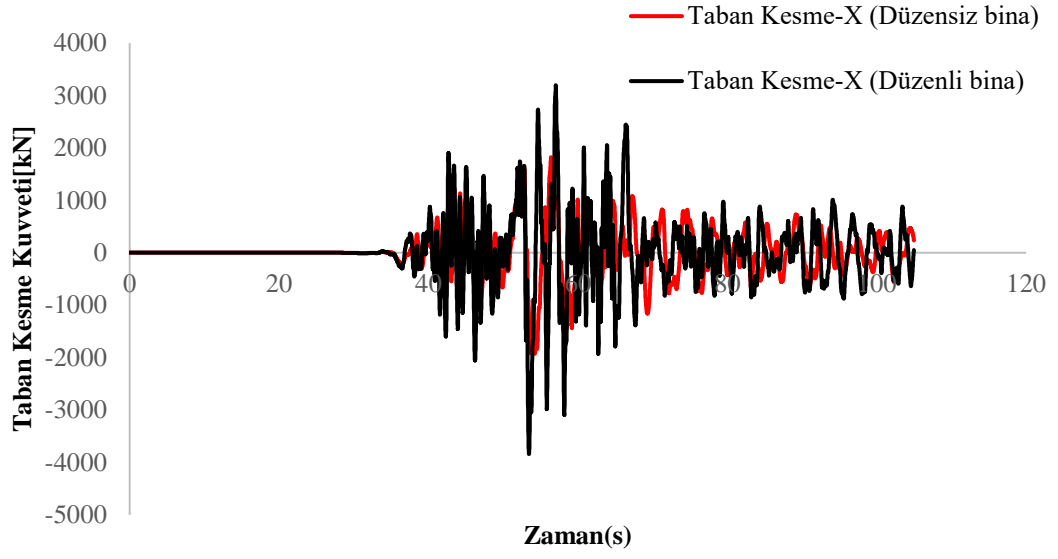
Şekil 5.21 : D-B için görelî kat ötelenmeleri için düzenli ve düzensiz modelleri

### 5.3. Taban Kesme Kuvveti

Taban kesme kuvveti değerleri karşılaştırıldığında maksimum taban kesme kuvveti, D-B yönündeki deprem etkisinde Y yönünde 5129 kN ile düzenli binada tespit edilmiştir. Düzensiz binada ise, D-B yönündeki deprem etkisinde Y yönünde 4176 kN maksimum taban kesme kuvveti oluşmuştur. Düzenli bina, düzensiz binaya kıyasla %22.8 daha fazla taban kesme kuvvetine maruz kalmaktadır. Zaman Tanıma Alanında Analiz sonuçlarına göre, X ve Y yönlerindeki hem düzenli hem de düzensiz binalar için taban kesme kuvveti sonuçları Şekil 5.22’de ve Tablo 5.3’te sunulmuştur.

Tablo 5.4 : Taban kesme kuvveti sonuçları

Bina tipi	Depremin yönü	Taban kesme X [kN]		Taban kesme Y [kN]	
		Maksimum	Minimum	Maksimum	minimum
Düzensiz bina	K-G	1819	-1925	2503	-1878
	DB	2237	-2041	4117	-4176
Düzenli bina	K-G	3194	-3839	4378	-5129
	DB	3557	-3209	4976	-4410



Şekil 5.22 : Taban kesme kuvveti[kN]

## BÖLÜM 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 06.02.2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş Depreminde yıkılmış yapısal olarak düzensiz bir binanın deprem etkisindeki davranışı incelenmiştir. İlk aşamada, bina Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018, Bölüm 3.6'ya göre planda ve düşeyde düzensizlik kontrolleri yapılmıştır. Analiz sonucunda binada zayıf ve yumuşak kat düzensizliklerinin bulunduğu belirlenmiştir. Bu düzensizliklerin binanın deprem davranışına etkisini belirleyebilmek için bina ilk olarak mevcut projedeki haliyle analiz edilmiştir.

İkinci aşamada, bina düzensizlikleri kaldırılarak düzenli bir bina modeli oluşturulmuştur. Kahramanmaraş Depremi'nde binaya en yakın istasyona ait deprem ivme kayıtları kullanılarak Zaman Tanım Alanında Analizler gerçekleştirilmiştir. Yapısal model, mevcut tasarım projesinde belirtilen kesit ve donatı detayları kullanılarak oluşturulmuş, hem kesit kapasiteleri hem de doğrusal olmayan davranış özellikleri TBDY-2018'e göre tanımlanmıştır. Yapısal performans tasarım depremi ZD zemin sınıfı ile değerlendirilmiştir. TBDY 2018'e göre yığılı plastik mafsal modeli ile elemanların plastik dönme sınır değerleri hesaplanmıştır. Sayısal analizden elde edilen sonuçlara göre, periyot düzenli ve düzensiz binada sırasıyla 3.23s ve 2.37s'dir. Düzensiz bina, düzenli binadan %36 daha uzun bir periyoda sahip olduğu yani düzensiz binanın daha esnek olduğu ve sismik kuvvetler altında daha yavaş salınımlar sergilediğini belirlenmiştir. Daha kısa periyoda sahip olan düzenlinin bina deprem etkisinde daha hızlı ve daha kısa salınımlar gösterdiği belirlenmiştir.

Binaların maksimum yer değiştirmesi değerlendirildiğinde, düzensiz bina için, K-G yönündeki deprem etkisinde maksimum yer değiştirme  $U_1 = 0.429\text{m}$  olarak bulunmuştur. Buna karşılık, D-B yönünde düzenli bina için maksimum yer değiştirmesi 0.229 m olmuştur. Düzensiz bina, düzenli binaya göre %87.3 daha fazla yer değiştirme göstermiştir. Düzensiz binanın daha büyük yer değiştirmesi, yapması, daha esnek

olmasının göstergesidir. Yer değiştirmedeki fark, bu iki binanın sismik enerjiyi sönümleme ve dağıtma şeklindeki farkı vurgulamaktadır.

Taban kesme kuvveti değerleri karşılaştırıldığında maksimum taban kesme kuvveti, D-B yönündeki deprem etkisinde 5129 kN ile düzenli binada tespit edilmiştir. Düzensiz binada ise, D-B yönündeki deprem etkisinde 4176 kN maksimum taban kesme kuvveti oluşmuştur. Düzenli bina, düzensiz binaya kıyasla %22.8 daha fazla taban kesme kuvvetine maruz kalmaktadır. Banayı düzenli hale getirirken eklenen duvarlar dolayısıyla bina kütlelerinin artmasından kaynaklanmaktadır. Kesme kuvveti büyüklüğündeki bu farklılık, her iki binanın da benzer yüklere maruz kalmasına rağmen, yapısal düzensizliklerin yerdeğiştirme ve kuvvet dağılımı açısından önemli ölçüde farklı tepkilere neden olduğunu göstermektedir.

Deprem etkisinde her iki binanın kolon, kiriş ve perde duvarlarındaki hasar dağılımı değerlendirilmiştir. Değerlendirmeye göre düzensiz binadaki kolonlarda düzenli binaya kıyasla daha yüksek hasar oluşmuştur. K-G yönünde, düzensiz binada kolonların %55'i SHB, %21'i BHB, %3'ü İHB ve %22'si GÖ hasar bölgesinde iken, düzenli binada %90'ı SHB, %6'sı BHB, %1'i İHB ve %4'ü GÖ hasar bölgesindedir. D-B yönünde, düzensiz binada kolonların hasar bölgesi oranları %65 SHB, %15 BHB, %4 İHB ve %17 GÖ iken, düzenli binada; %96 SHB, %2 BHB, %1 İHB ve %2 GÖ olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuç düzenli bina kolonlarının %84.65 daha az hasar aldığını göstermektedir.

K-G deprem yönünde kiriş elemanların hasar bölgesi oranları düzensiz binada %61 SHB, %38 BHB, %1 İHB ve %0 GÖ olarak bulunurken, düzenli binada %73 SHB, %26 BHB, %0 İHB ve %0 GÖ olarak bulunmuştur. D-B yönünde ise, düzensiz binada %78 SHB, %21 BHB, %1 İHB ve %0 GÖ olarak bulunurken, düzenli binada %78 SHB, %22 BHB, %0 İHB ve %0 GÖ olarak bulunmuştur. Düzenli ve düzensiz binada kiriş hasarındaki fark kolonlara göre daha az olmakla beraber, düzenli binada kirişler daha iyi performans göstermiştir. Perde duvarlar, düzenli bina her iki yönde de %100 SHB göstermiş ve önemli bir hasar meydana gelmemiştir. Bununla birlikte, düzensiz bina K-G yönünde %83 SHB ve D-B yönünde ise %100 SHB göstererek minimum hasar oluşmuştur. Bu, düzenli binadaki perde duvarların iyi performans gösterdiğini, ancak düzensiz binanın biraz daha iyi tutarlılık sağladığını göstermektedir.

Bu çalışmada, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) kapsamında, düşey düzensizliklerin binaların dinamik davranışı üzerindeki etkisini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Hem düzenli hem de düzensiz modellerin, yönetmelikte belirtilen performans kriterlerini aştığı görülmüştür. Düzensiz modelin performans kriterleri izin verilen tasarım sınırlarını aşmıştır. Düzensizlikler kaldırıldıktan sonra, düzenli modelde performans kriterlerini iyileşse de gerekli performansı sağlamamıştır. Bu durum, tasarım hatasından ya da depremin tasarım depreminden daha büyük olmasından kaynaklanabileceğini düşündürmektedir. Her iki model de TBDY-2018'e göre gerekli performans standartlarını karşılayamamıştır; bu da bina güvenliğinde hem tasarım hem de sismik olaylara ilişkin hususların ele alınmasının önemini vurgulamaktadır.



## KAYNAKLAR

- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD). (2023, 28 Şubat). 06.02.2023 Kahramanmaraş Depremleri Ön Değerlendirme Arazi Raporu (Sürüm 1). [https://deprem.afad.gov.tr/assets/pdf/Arazi\\_Onrapor\\_28022023\\_surum1\\_revize.pdf](https://deprem.afad.gov.tr/assets/pdf/Arazi_Onrapor_28022023_surum1_revize.pdf).
- Akash, & Sinha, A. K. (2024). Nonlinear time history seismic performance of a base isolated vertically irregular reinforced concrete framed buildings for the near-pulsing ground vibrations. *Asian Journal of Civil Engineering*, 25(7), 5179-5195.
- Aksoylu, T. (2020), *40 katlı asimetric betonarme bir binanın deprem performansının zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile belirlenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aslan, A. (2024), *2023 Maraş Depreminde görev alan sağlık çalışanlarının travma sonrası stres ve psikolojik dayanıklılık açısından değerlendirilmesi: Kırıkkale ili örneği / Evaluation of health workers who worked in the 2023 Maraş Earthquake in terms of post-traumatic stress and psychological resistance: The case of Kırıkkale province*, (Yüksek Lisans Tezi), Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Ayso, E., Köz, İ., Doğanalp, S., Aslan, M., Tuşat, E., Kahveci, M., & Taşpınar, C. (2025). Assessing the impact of the 2023 Kahramanmaraş and Hatay earthquakes on cadastre and property data using GPS and GIS. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 23(3), 945-963, <https://doi.org/10.1007/s10518-024-01956-3>.
- Balta, H. (2020), *Betonarme binaların burulma düzensizliği dikkate alınarak doğrusal olmayan davranışlarının incelenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Bhosale, A., Davis, R., & Sarkar, P. (2018). New seismic vulnerability index for vertically irregular buildings. *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering*, 4(3), 04018022, <https://doi.org/10.1061/AJRUA6.0000973>.
- Budthapa, U., Suwal, R., & Khawas, A. (2023). Seismic Performance of RC Multistory Building with Vertical Mass Irregularity.
- Deierlein, G. G., Reinhorn, A. M., & Willford, M. R. (2010). Nonlinear structural analysis for seismic design. *NEHRP seismic design technical brief*, 4, 1-36.

- Durmaz, F. (2023), *30 Ekim 2020 İzmir Seferihisar Depreminde hasar alan betonarme binaların analitik olarak incelenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Egi, E. (2021), *Statik İtme Analizi Yöntemiyle Betonarme Yapılarda Çeşitli Taşıyıcı Sistem Tasarımlarının Performanslarının Değerlendirilmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Esra Z.Ş. (2018), *Betonarme yapılarda yumuşak kat etkilerinin doğrusal elastik olmayan analizle belirlenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmaniye.
- Grossi, E., Zerbin, M., & Aprile, A. (2020), Advanced techniques for pilotis RC frames seismic retrofit: Performance comparison for a strategic building case study. *Buildings*, 10(9), 149.
- Ibrahim, T. S., & Mohamad, H. J. (2024). Effects of soft story locations on the nonlinear time history analysis of multistory reinforced concrete buildings. *Civ. Environ. Eng*, 20, 544-554, <https://doi.org/10.2478/cee-2024-0041>.
- IdeYAPI Bilgi Modellemesi. (n.d.). *Plastik mafsal modeli (5.3.1)*. <https://help.idecad.com.tr/idecad/plastik-mafsal-modeli-5-3-1>.
- İriz, P. (2019), *Prefabrik betonarme çerçeve tipi yapıların sismik performans faktörlerinin belirlenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Kaushik, H. B., & Jain, S. K. (2007). Impact of great December 26, 2004 Sumatra earthquake and tsunami on structures in Port Blair. *Journal of performance of constructed facilities*, 21(2), 128-142, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3828\(2007\)21:2\(128\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3828(2007)21:2(128)).
- Khanal, N., Singh, S. K., & Wagley, S. (2019). Seismic consideration of soft story in RC frame buildings using various national codes. *Int J Civ Eng Technol*, 10(9), 343-352.
- Kirac, N., Dogan, M., & Ozbasaran, H. (2011). Failure of weak-storey during earthquakes. *Engineering Failure Analysis*, 18(2), 572-581, <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2010.09.021>
- Kurt, Z. (2018), *Ankastre ve sürtünmeli sarkaç mesnetli binaların dinamik davranışlarının Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre belirlenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Mahmoud, S., Genidy, M., & Tahooun, H. (2017). Time-history analysis of reinforced concrete frame buildings with soft storeys. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 42, 1201-1217, <https://doi.org/10.1007/s13369-016-2366-1>.
- Mander, J. B., Priestley, M. J. N., & Park, R. (1988). Observed stress-strain behavior of confined concrete. *Journal of structural engineering*, 114(8), 1827-1849, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1988\)114:8\(1827\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1988)114:8(1827)).

- Oyguç, R. A., & Toros, Ç. (2022). ÇOKLU DEPREM SERİLERİNİN DÜZENSİZ YAPILARIN SİSMİK DAVRANIŞINA ETKİLERİ. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 27(2), 857-876, <https://doi.org/10.17482/uumfd.1061487>.
- Özdemir, I., & Karataş, N. (2024). Deprem Anında Yapıların Hasar Almasına Etki Eden Mimari Ölçekli Faktörler ve Yunusent Sitesi Örnelemi. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 6(1), 1–29. <https://doi.org/10.46464/tdad.1290795>
- Pala, M., & Tekin, Ö. F. (2017). Depreme Maruz Zayıf Kat Düzensizliğine Sahip Bitişik Nizam Binaların Çarpışma Analizi. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 5(1), 23-33.
- Ruiz-García, J., & Cárdenas, Y. (2021). Seismic performance assessment of weak first-storey RC buildings designed with old and new seismic provisions for Mexico City. *Engineering Structures*, 232, 111803, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111803>.
- Sağlam, A. B. (2023), *Betonarme yüksek bir yapının Türkiye bina deprem yönetmeliğine göre tasarımı ve performans analizi*, (Yüksek Lisans Tezi), Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Sahıb A.Z. N. (2023), *FRP ile güçlendirilmiş 7 katlı mevcut betonarme binanın TBDY 2018 kapsamında performansının değerlendirilmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şahin, Y. (2019), *Mevcut bir betonarme binanın 2019 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre zaman tanım alanında analizinin yapılarak performansının belirlenmesi ve çelik güçlendirme önerileri*, (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şeymus T. (2024), *Yumuşak katlı betonarme binaların sismik kırılabilirliklerinin incelenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), Munzur Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tunceli.
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD). (2018). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)*. [https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/2309/files/TBDY\\_2018.pdf](https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/2309/files/TBDY_2018.pdf).
- Türker, K. (2011). TÜRKİYE DEPREM YÖNETMELİĞİNDEKİ STATİK ESASLI PERFORMANS BELİRLEME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 13(2), 22-36, <https://doi.org/10.46740/alku.1013881>.
- Van Thuat, D. (2013). Story strength demands of irregular frame buildings under strong earthquakes. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 22(9), 687-699, <https://doi.org/10.1002/tal.713>.
- Yılmaz, N., & Avşar, Ö. (2013). Structural damages of the May 19, 2011, Kütahya–Simav earthquake in Turkey. *Natural hazards*, 69, 981-1001, <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0747-2>.

Yuzbasi, J. (2024). Post-Earthquake Damage assessment: Field observations and recent developments with recommendations from the Kahramanmaraş earthquakes in Türkiye on February 6th, 2023 (Pazarcık M7. 8 and Elbistan M7. 6). *Journal of Earthquake Engineering*, 1-26, <https://doi.org/10.1080/13632469.2024.2353864>.

