

T.C.  
HARRAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BÖLGEMİZDEKİ MEVCUT BETONARME BİNALARIN PERFORMANS  
DEĞERLENDİRMESİ

Emrah KILIÇ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA  
2024

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
3. MATERYAL ve YÖNTEM .....	11
3.1. Yapıların Genel Bilgileri.....	11
3.2. Hassan Yöntemi.....	12
3.2.1. Kolon indeksi (CI).....	13
3.2.2. Duvar indeksi (WI).....	13
3.2.3. Öncelik indeksi (PI).....	14
3.3. Hassan Yönteminin Örnek Projeye Uygulanması .....	16
3.4. P 25 Hızlı Değerlendirme Yöntemi .....	18
3.4.1. Yapı bilgilerinin toplanması ve kritik katın tespit edilmesi .....	19
3.4.2. Enkesit alanı indeksi ve bileşkesinin elde edilmesi .....	20
3.4.3. Atalet momenti indeksi ve bileşkesinin elde edilmesi .....	22
3.4.4. $P_0$ – taşıyıcı sistem puanı.....	23
3.4.5. $P_2$ - kısa kolon puanı .....	24
3.4.6. $P_3$ - yumuşak kat ve zayıf kat puanı.....	25
3.4.7. $P_4$ - çıkmalar ve çerçeve süreksizliği puanı .....	27
3.4.8. $P_5$ - çarpışma puanı .....	28
3.4.9. $P_6$ - sivilaşma potansiyeli puanı .....	30
3.4.10. $P_7$ – toprak hareketleri puanı .....	30
3.4.11. $\alpha$ – düzeltme çarpanı .....	31
3.4.12. $\beta$ – düzeltme çarpanı.....	32
3.4.13. P - sonuç puanı .....	32
3.5. P 25 Hızlı Değerlendirme Yönteminin Örnek Projeye Uygulanması .....	33
3.5.1. Örnek projeye ait enkesit alanı indeksi ve bileşkesinin belirlenmesi.....	34
3.5.2. Örnek projeye ait atalet momenti indeksi ve bileşkesinin elde edilmesi .....	36
3.5.3. Örnek projeye ait taşıyıcı sistem puanının ( $P_0$ ) belirlenmesi .....	38
3.5.4. Örnek projeye ait temel yapısal puanının ( $P_1$ ) belirlenmesi.....	38
3.5.5. Örnek projeye ait kısa kolon puanının ( $P_2$ ) belirlenmesi .....	40
3.5.6. Örnek projeye ait yumuşak kat ve zayıf kat puanının ( $P_3$ ) belirlenmesi .....	40
3.5.7. Örnek projeye ait çıkmalar ve çerçeve süreksizliği puanının ( $P_4$ ) belirlenmesi.....	43
3.5.8. Yapının çarpışma puanının ( $P_5$ ) belirlenmesi.....	43
3.5.9. Örnek projeye ait sivilaşma potansiyeli puanının ( $P_6$ ) belirlenmesi .....	44
3.5.10. Örnek projeye ait toprak hareketleri puanının ( $P_7$ ) belirlenmesi .....	44
3.5.11. Yapının $\alpha$ – düzeltme çarpanının elde edilmesi .....	44
3.5.12. Örnek projeye ait $\beta$ – düzeltme çarpanının elde edilmesi.....	45
3.5.13. Örnek projeye ait performans puanının ( $P_{25}$ ) elde edilmesi .....	45
3.6. TBDY-2018'e Göre Mevcut Yapıların Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri ile Performans Analizi.....	46
3.6.1. Giriş .....	46
3.6.2. Yapının spektral ivme-spektral deplasman eğrisinin belirlenmesi.....	47
3.6.2.1. Yapı hedef performansının tespit edilmesi .....	47
3.6.2.2. Yapının yer aldığı deprem tasarım sınıfına göre deprem etkisinin belirlenmesi .....	48
3.6.3. Yapının kapasite eğrisinin elde edilmesi.....	49

3.6.3.1. Yapının bilgi düzeyi ve malzeme özelliklerinin belirlenmesi .....	49
3.6.3.2. Betonarme yapı elemanlarında plastik mafsal tanımlanması .....	54
3.6.3.3. Yapının numerik modelinin oluşturulması .....	59
3.6.3.4. TBDY-2018'e göre doğrusal olmayan analiz yöntemleri ve sabit tek modlu itme analizi ile yapının kapasitesinin belirlenmesi .....	61
3.6.4. Betonarme yapıların talep-kapasite eğrilerinin sabit tek modlu itme yöntemi kullanılarak karşılaştırılması .....	63
3.6.5. Yapı elemanlarında meydana gelen toplam kesit eğriliklerinin belirlenmesi.....	68
3.6.6. Betonarme yapı elemanlarında izin verilen şekil değiştirme sınırları ve iç kuvvet sınırları .....	69
3.6.7. Betonarme yapı elemanlarının hasar durumlarının belirlenmesi .....	74
3.6.8. Betonarme yapının, hedeflenen performans düzeyini sağlayıp sağlamadığının kontrol edilmesi.....	74
3.6.8.1. Mevcut yapılarda sınırlı hasar (SH) performans düzeyi.....	74
3.6.8.2. Mevcut yapılarda kontrollü hasar (KH) performans düzeyi.....	75
3.6.8.3. Mevcut yapılarda göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyi.....	75
3.6.8.4. Mevcut yapılarda göçme durumu.....	76
3.7. TBDY-2018'e Göre Örnek Yapının Doğrusal Olmayan Performansının Belirlenmesi .....	76
3.7.1. P1 Yapısına ait talep eğrisinin belirlenmesi.....	76
3.7.1.1. P1 yapısının hedef performansının belirlenmesi.....	76
3.7.1.2. P1 yapısına ait deprem etkisinin belirlenmesi.....	78
3.7.2. P1 yapısının kapasite eğrisinin belirlenmesi .....	80
3.7.2.1. Yapının bilgi düzeyi ve malzeme dayanımları .....	80
3.7.2.2. Plastik mafsal değerlerinin tanımlanması .....	81
3.7.2.3. P1 yapısına ait numerik modelin oluşturulması .....	82
3.7.2.4. Sabit tek modlu itme yöntemi kullanılarak X eksenine doğrultusunda yapının kapasite eğrilerinin belirlenmesi.....	84
3.7.3. Yapının X eksenine doğrultusundaki talep – kapasite eğrilerinin karşılaştırılması .....	86
3.7.4. TBDY-2018'e göre yapı elemanlarında izin verilen şekil değiştirme sınırları ve iç kuvvet sınırları.....	87
3.7.5. Yapı performans düzeyinin belirlenmesi .....	92
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA .....	94
4.1. Tüm Binalar için Hassan İndeks Yöntemi ile Elde Edilen Sonuçlar .....	94
4.2. Tüm Binalar için P25 Metodu ile Elde Edilen Sonuçlar.....	95
4.3. Tüm Binalar için TBDY-2018'e Göre Elde Edilen Sonuçlar.....	95
4.4. Tüm Binalar için Elde Edilen Sonuçların Birbirleriyle Karşılaştırılması .....	96
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	99
KAYNAKLAR.....	101

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### BÖLGEMİZDEKİ MEVCUT BETONARME BİNALARIN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Emrah KILIÇ

Harran Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi M. Fethi GÜLLÜ

Yıl: 2024, Sayfa: 104

Ülkemizin deprem kuşağında yer alması, yeni yapılacak yapıların depreme dayanıklı inşa edilmesini gerekli kıldığı kadar mevcut yapıların da depreme dayanıklı hale getirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle büyük bir ekonomik değere sahip mevcut yapı stoklarının deprem performanslarının belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Ancak büyük yapı stoklarının günümüz gelişmiş analiz yöntemleriyle değerlendirilmesi uzun bir zaman dilimini gerekli kılmakta ve büyük bir iş yükü doğurmaktadır. Bu nedenle, büyük yapı stoklarının daha pratik yöntemlerle teşkil ettikleri risk durumlarına göre sınıflandırılması önem arz etmektedir. Yapıların daha pratik bir şekilde değerlendirilmesi amacıyla literatürde yapılan çalışmalar sonucunda birçok hızlı değerlendirme yöntemi geliştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında, literatürde yer alan bu hızlı değerlendirme yöntemlerinden Hassan indeks yöntemi ve P25 hızlı değerlendirme yöntemi kullanılarak Şanlıurfa ilinin Haliliye ilçesinde DBYBHY-2007 ye uygun olarak imal edilmiş 26 adet betonarme yapının risk durumu değerlendirilmiş ve TBDY-2018 esasları doğrultusunda yapılara uygulanan doğrusal olmayan itme analizlerinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Uygulanan İtme analizleri sonucunda yapıların %88.46'sının risk teşkil etmediği belirlenir iken Hassan indeksi yöntemiyle yapılan değerlendirmeler sonucunda yapıların %46.15'i riskli olarak tespit edilirken, P25 hızlı değerlendirme yöntemine göre ise incelenen yapıların %76.92 oranında risk teşkil etmediği görülmüştür.

**ANAHTAR KELİMELER:** Performans analizi, Statik itme analizi, TBDY-2018, Hassan indeks, P25 hızlı değerlendirme yöntemi

## ABSTRACT

MSc Thesis

### PERFORMANCE EVALUATION OF EXISTING REINFORCED CONCRETE BUILDINGS IN OUR REGION

Emrah KILIÇ

Harran University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. M. Fethi GÜLLÜ

Year: 2024, Page: 104

Our country's location in an earthquake zone necessitates the earthquake-resistant construction of new buildings and the earthquake-resistant construction of existing buildings. For this reason, it is of great importance to determine the earthquake performance of existing building stocks, which have a great economic value. However, evaluating large building stocks with today's advanced analysis methods requires a long time and creates a large workload. Therefore, it is essential to classify large building stocks according to their risk status with more practical methods. Many rapid assessment methods have been developed as a result of studies in the literature to assess buildings more practically. Within the scope of this study, the risk status of 26 reinforced concrete structures constructed in Haliliye district of Şanlıurfa province in accordance with DBYBHY-2007 was evaluated by using the Hassan index method and P25 rapid assessment method among these rapid assessment methods in the literature and compared with the results obtained from nonlinear pushover analysis applied to the structures in accordance with TBDY-2018 principles. While 88.46% of the structures were determined not to pose a risk as a result of the applied pushover analysis, 46.15% of the structures were determined to be risky as a result of the evaluations made with the Hassan index method, and 76.92% of the structures examined according to the P25 rapid evaluation method.

**KEY WORDS:** Performance analysis, Pushover analysis, TSC 2018, Hassan index, P25 rapid assessment method

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden desteğini esirgemeyen, bilgi ve birikimiyle bana yol gösteren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi M. Fethi GÜLLÜ 'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tezim sırasında finansal destek sağlayan Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi'ne (HÜBAP) katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Daima yanımda duran, beni destekleyen ebeveynlerim olmalarından gurur duyduğum çok kıymetli Annem ve Babama sonsuz teşekkür ve şükranlarımı arz ederim.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. 1992 Erzincan depremi sonrasında toplanan verilerin değerlendirilmesi (Gulkan ve Sozen, 1999).....	15
Şekil 3.2. P1 projesine ait zemin kat mimari ve statik projeleri .....	16
Şekil 3.3. Yapının koordinat düzlemine yerleştirilmesi ve a, b kenarlarının belirlenmesi.....	19
Şekil 3.4. Dolgu duvarın ortasında boşluk bulunma durumu .....	20
Şekil 3.5. Dolgu duvarın kenarında boşluk bulunma durumu.....	20
Şekil 3.6. Kısa kolon durumu.....	25
Şekil 3.7. farklı kat yüksekliğinin yapı davranışı üzerindeki etkisi (Ercan ve ark., 2016).....	27
Şekil 3.8. Yapıda oluşturulan çıkmalar sonucu oluşan çerçeve süreksizliği (Bal ve Özdemir, 2006) .....	28
Şekil 3.9. Bitişik nizamlı yapılarda çarpışma durumları (Kaya, 2017) .....	29
Şekil 3.10. $\beta$ – katsayısının değişimi.....	32
Şekil 3.11. P1 projesine ait (a) zemin kat ve (b) 1. normal katın mimari planı.....	33
Şekil 3.12. P1 projesine ait (a) zemin kat ve (b) 1. normal katın statik planı.....	34
Şekil 3.13. Sargısız ve sargılı betonun gerilme – şekil değiştirme davranışı (TBDY, 2018).....	55
Şekil 3.14. TBDY (2018)'de hesaplarda göz önünde bulundurulan detayları .....	56
Şekil 3.15. Donatı çeliğinin gerilme – şekil değiştirme davranışı (TBDY, 2018) .....	57
Şekil 3.16. Betonarme kolonlar için eksenel kuvvet – moment etkileşim diyagramı (Jamal, 2022) .....	58
Şekil 3.17. Betonarme kolonlar için moment – eğrilik diyagramı (Foroughi ve ark., 2020).....	58
Şekil 3.18. Betonarme bir kiriş için moment – eğrilik ilişkisi ve idealleştirmesi .....	59
Şekil 3.19. Betonarme yapıların kapasite eğrisi (Arslan ve ark., 2008) .....	63
Şekil 3.20. Hakim birinci modun doğal titreşim periyodu $T_1 > T_B$ olması durumunda doğrusal olmayan spektral yer değiştirme – spektral ivme grafiği (TBDY, 2018).....	65
Şekil 3.21. Hakim birinci modun doğal titreşim periyodu $T_1 \leq T_B$ olması durumunda doğrusal olmayan spektral yer değiştirme – spektral ivme grafiği (TBDY, 2018).....	66
Şekil 3.22. Hakim birinci modun doğal titreşim periyodu $T_1 \leq T_B$ olması durumunda doğrusal olmayan spektral yer değiştirme – spektral ivme grafiği (TBDY, 2018).....	66
Şekil 3.23. Yapı elemanları için hasar sınırları ve hasar bölgeleri (TBDY, 2018).....	70
Şekil 3.24. P1 yapısına ait yatay elastik tasarım ivme spektrumu.....	79
Şekil 3.25. P1 yapısına ait spektral ivme – eğrilik ilişkisi.....	80
Şekil 3.26. P1 yapısına ait (a) zemin kat kalıp planı; (b) üç boyutlu nümerik modeli .....	82
Şekil 3.27. P1 yapısının X eksenli doğrultusunda elde edilen kapasite eğrisi .....	85
Şekil 3.28. P1 yapısının X eksenli doğrultusunda modal sözde-ivme – modal yer değiştirme eksen takımından meydana gelen kapasite eğrisi .....	86
Şekil 3.29. P1 yapısına ait X eksenli doğrultusunda doğrusal elastik spektral ivme – doğrusal elastik spektral yer değiştirme grafiği .....	87
Şekil 3.30. Betonarme kolonun en kesit boyutları ve donatı yerleşim detayı .....	88
Şekil 3.31. Betonarme kiriş en kesit boyutları ve donatı yerleşim detayı .....	90
Şekil 3.32. Betonarme kolon elemanına ait moment – eğrilik diyagramları (XTRACT).....	90
Şekil 3.33. Betonarme kiriş elemanına ait (a)-pozitif; (b)-negatif yönünde elde edilen moment – eğrilik diyagramları (XTRACT) .....	91
Şekil 4.1. Yapılan tez çalışması sonucunda elde edilen verilerin değerlendirilmesi.....	94
Şekil 4.2. Yapılara ait P25 performans sonuç puanlarının karşılaştırılması .....	95
Şekil 4.3. Çalışma kapsamında incelenen yapıların hasar dağılımları .....	97

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Yapıların genel bilgileri.....	12
Çizelge 3.2. Beş farklı deprem için Hassan indeksi sonuçları (Gulkan ve Sozen, 1999).....	15
Çizelge 3.3. Kolon kesit alanları .....	17
Çizelge 3.4. Dolgu duvar kesit alanları .....	17
Çizelge 3.5. Elastisite modülleri oranı (Kaya, 2017) .....	21
Çizelge 3.6. Yapısal düzensizlik katsayıları(Bal ve ark., 2007) .....	24
Çizelge 3.7. Kısa kolon değerleri (Bal ve ark., 2007) .....	25
Çizelge 3.8. Çıkmalar ve çerçeve süreksizliği puanı (Bal ve ark., 2007).....	28
Çizelge 3.9. P <sub>5</sub> Çarpışma puanı çizelgesi (Bal ve ark., 2007) .....	29
Çizelge 3.10. Sıvılaşma potansiyeli puanı (Bal ve ark., 2007).....	30
Çizelge 3.11. Toprak hareketleri puanı (Bal ve ark., 2007).....	31
Çizelge 3.12. P <sub>i</sub> puanlarının ağırlık oranı katsayıları (Bal ve ark., 2007).....	32
Çizelge 3.13. P1 projesine ait kolon en kesit alanları.....	35
Çizelge 3.14. P1 projesine için X ve Y doğrultularında duvar en kesit alanları .....	35
Çizelge 3.15. P1 projesine ait kolonların atalet momentleri.....	36
Çizelge 3.16. P1 projesine için X ve Y doğrultularında duvar atalet momentleri .....	37
Çizelge 3.17. P1 binası için yapısal düzensizlik katsayıları .....	39
Çizelge 3.18. Kritik katın bir üstündeki kat için kolon en kesit alanları .....	40
Çizelge 3.19. Kritik katın bir üstündeki kat için X ve Y doğrultularında duvar en kesit alanları.....	41
Çizelge 3.20. Kritik katın bir üstündeki kata ait kolonların atalet momentleri.....	42
Çizelge 3.21. Kritik katın bir üstündeki kat için X ve Y doğrultularında duvar atalet momentleri .....	42
Çizelge 3.22. P1 yapısına ait P <sub>i</sub> puanlarına ait ağırlık oranı katsayıları ve çarpımları .....	45
Çizelge 3.23. TBDY (2018)'de mevcut yerinde dökme betonarme, çelik ve ön üretilmiş bina türü yapılar için hedef performans düzeyleri ve değerlendirme yaklaşımları. ....	48
Çizelge 3.24. Bilgi düzeyi katsayıları (TBDY, 2018).....	54
Çizelge 3.25. Betonarme elemanlarda kullanılacak donatıların karakteristik özellikleri (TBDY, 2018) .....	57
Çizelge 3.26. Betonarme Sistemler için Etkin Kesit Rijitlik katsayıları (TBDY, 2018).....	60
Çizelge 3.27. Hareketli Yük Kütle Katılım Katsayısı (TBDY, 2018).....	61
Çizelge 3.28. Deprem tasarım sınıfları (TBDY, 2018).....	77
Çizelge 3.29. Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları (TBDY, 2018).....	78
Çizelge 3.30. Bina yükseklik sınıfları (TBDY, 2018) .....	84
Çizelge 3.31. P1 yapısının tepe yer değiştirme talebi U <sub>nxi</sub> elde edilmesi .....	87
Çizelge 3.32. Yayılı plastik mafsal için şekil değiştirme sınırları .....	89
Çizelge 3.33. Yapı elemanlarının akma ve kopma noktalarına ait moment – eğrilik değerleri .....	90
Çizelge 3.34. Betonarme kolon elemanına ait hasar sınırları .....	91
Çizelge 3.35. Betonarme kiriş elemanına ait hasar sınırları .....	91
Çizelge 3.36. X doğrultusunda eleman hasarları ve kat performans düzeyi.....	92
Çizelge 3.37. Y doğrultusunda eleman hasarları ve kat performans düzeyi.....	93
Çizelge 4.1. Yapıların temel bilgileri ve performans düzeyleri .....	96
Çizelge 4.2. İncelenen yapıların performans puanları ve risk durumları.....	98

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

$A_0$	Efektif ivme katsayısı
$A_c$	Zemin katta yer alan kolonların kesit alanı
$A_e$	Yapının efektif taban alanı
$A_{ef,x}$	X doğrultusunda etkili en kesit alanı
$A_{ef,y}$	Y doğrultusunda etkili en kesit alanı
$A_f$	Kritik kat üstünde yer alan döşeme alanları toplamı
$A_{mw}$	Sistemde belli bir doğrultuda yer alan ve betonarme taşıyıcı elemanlar ile sınırlanan boşluğu tam dolduran dolgu duvarların kesit alanları toplamı
ATC	Applied Technology Council
$A_{wc}$	Sistemde belli bir doğrultuda yer alan betonarme perdelerin kesit alanları toplamı
BKS	Bina kullanım sınıfı
$C_A$	Enkesit alan indeksi bileşkesi
$C_{AX}$	X doğrultusunda enkesit alan indeksi
$C_{AY}$	Y doğrultusunda enkesit alan indeksi
CI	Kolon indeksi
$C_I$	Atalet momenti indeksi bileşkesi
$C_{Ix}$	X doğrultusunda atalet momenti indeksi
$C_{Iy}$	Y doğrultusunda atalet momenti indeksi
$C_R$	Spektral yer değiştirme oranı
DTS	Deprem tasarım sınıfı
$f_i$	Yapısal düzensizlik katsayıları
$g$	Yer çekim ivmesi
$G$	Ölü yük
GÖ	Göçmenin önlenmesi
H	Yapının toplam yüksekliği
$h_0$	Yükseklik katsayısı
$h_i$	Kat yüksekliği
I	Bina önem katsayıları
$I_c$	Kolonların atalet momentleri
$I_{ef,x}$	X doğrultusunda etkili atalet momenti
$I_{ef,y}$	Y doğrultusunda etkili atalet momenti
$I_s$	Perde duvar atalet momentleri
$I_w$	Dolgu duvar atalet momentleri
KH	Kontrollü hasar
n	Hareketli yük katsayısı
P	Yapının sonuç puanı
PI	Öncelik indeksi
$P_i$	Yapıların farklı göçme durumlarına karşılık gelen risk puanları
$P_w$	Yapının ağırlıklı ortalama puanı
Q	Hareketli yük
S	Kar yükü

$S_a$	Spektral ivme
$S_d$	Spektral yer değiştirme
SH	Sınırlı hasar
şGDT	şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım
t	Topografik konum katsayısı
T	Yapı periyodu
$T_1$	Dikkate alınan deprem doğrultusuna hakim birinci modun doğal titreşim periyodu
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
W	Toplam düşey yük
WI	Duvar indeksi
YASS	Yer altı su seviyesi
$\alpha_{se}$	Sargı donatısı etkinlik katsayısı
$\Phi_p$	Plastik eğrilik
$\rho_{sh}$	Hacimsel enine donatı oranı



## 1. GİRİŞ

Depremler her ne kadar yer yüzünde meydana gelen doğal olaylar olsa da mevcut yapı stoklarının deprem kuvvetlerine karşı dayanıklı inşa edilmemiş olması insan yaşamında büyük can ve mal kayıplarının meydana gelmesine neden olan afetlere dönüşmektedir. Bu bağlamda tarihe baktığımızda dünyada büyük can ve mal kayıplarının yaşanmasına neden olan depremler meydana gelmiştir. Öyle ki, 1268 yılında Kilikya'da (Adana ve çevresi) meydana gelen depremde 60000, 1731 yılında Pekin'de meydana gelen depremde 100000, aynı yıl Hindistan'da meydana gelen depremde 180000 ve 1737'de Hindistan'da meydana gelen depremde ise 300000 kişi hayatını kaybetmiştir (Davison, 1912). Geçmişte yaşanan en büyük deprem felaketi ise 1556 da Çin'in Şansı eyaletinde meydana gelmiş ve 830000 kişinin hayatına mal olmuştur (Butler ve ark., 1979). Bu felaketler son yüzyılda da büyük can kayıplarına sebep olmuştur. Son yüzyıla baktığımızda ise deprem felaketi 1908'de İtalya'da meydana gelen Messina depreminde yaklaşık 100000 (Davison, 1912; Pino ve ark., 2009), Japonya'da 1923'te meydana gelen depremde 99000 (Eldemir, 2019) ve çinin kuzey doğusunda 1976'da meydana gelen depremde ise 650000'den fazla (Butler ve ark., 1979) insanın hayatına mal olmuştur.

Alp-Himalaya fay hattı üzerinde yer alan Anadolu'da deprem felaketlerine birçok kez maruz kalmıştır. Sadece cumhuriyet tarihine baktığımızda dahi onlarca kez ülkemiz büyük depremlere maruz kalmıştır. Bu depremlerden en çok can kaybına neden olanlara baktığımızda, 1939'da Erzincan'da meydana gelen 7.9 büyüklüğündeki depremde 32968 (Eldemir, 2019) vatandaşımız hayatını kaybetmiştir. 1999'da 17 Ağustos Gölcük ve 12 Kasım Düzce'de meydana gelen 7.6 ve 7.1 büyüklüğündeki depremlerde ise, Meclis araştırma komisyonu tarafından 2010 yılında yayımlanan rapora göre 18373 vatandaşımız hayatını kaybetmiştir. Kuşkusuz cumhuriyet tarihinin bugüne kadar meydana gelen en büyük doğal afeti olan 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde ise 50000'i aşkın vatandaşımız hayatını kaybetmiştir. Bu felaketler göz önüne alındığında yapıların deprem kuvvetlerine karşı dayanıklı inşa edilmesi ve mevcut yapı stoklarının depreme dayanıklı hale getirilmesi kuşkusuz büyük önem arz etmektedir.

Yapıların depreme dayanıklı inşa edilmesini sağlamak amacıyla, yapı güvenliğini sağlayacak asgari sınırlar yönetmelikler ile belirtilmektedir. Bu doğrultuda ülkemizde ilk defa 1939 Erzincan depreminden sonra İtalya'dan alınan "zelzele muntikalarında yapılacak inşaata ait İtalyan yapı talimatnamesi" 1940 yılında yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmeliklerin yetersiz kalması ve yapıların daha güvenli inşa edilmesine olanak tanıyan yeni bilimsel ve teknolojik gelişmeler yönetmeliklerin güncellenmesini gerekli kılmıştır. Bu doğrultuda Amerika Birleşik Devletleri'nde meydana gelen depremler sonrasında mevcut yapı stoklarının deprem kuvvetleri karşısındaki performanslarının şekil değiştirmeye göre değerlendirilmesi fikri Applied Technology Council (ATC) tarafından 1996'da ilk defa ortaya konulmuş ve bu doğrultuda yapılan çalışmalar sonucunda ATC 40 standardı hazırlanmıştır (Jamal, 2022). Ülkemizde ise 1999 yılında yaşanan depremler sonucunda kuvvet esaslı yapı tasarımının yetersizliği anlaşılmış ve şekil değiştirmeye göre değerlendirme konusunda çalışmalar başlamıştır. Bu çalışmalar sonucunda şekil değiştirmeye göre değerlendirme, deprem yönetmeliğinde yapılan değişiklikler sonucunda 2007 yılında yayımlanan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007)'de ilk defa yer almıştır. Daha sonra deprem yönetmeliğinde yapılan kapsamlı değişiklikler sonucunda Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)'de ayrı bir bölümde ele alınmış ve yüksek binalar, mevcut binalar ile bazı şartları sağlayamayan diğer binaların değerlendirilmesi ve tasarımında zorunlu kılınmıştır.

Kuvvet esaslı yöntemlere kıyasla, şekil değiştirmeye göre değerlendirme yapı davranışını daha gerçekçi ifade etmektedir. Ancak, şekil değiştirmeye göre tasarım zaman almakta ve büyük bir iş yükünü beraberinde getirmektedir. Şekil değiştirme yöntemlerinin bu dezavantajları büyük yapı stoklarının hızlı bir şekilde şekil değiştirmeye göre değerlendirilmesini günümüz şartlarında imkânsız kılmaktadır. Bu nedenle mevcut yapı stoklarının deprem kuvvetlerine karşı taşıdıkları risk durumuna göre hızlı bir şekilde sıralanması/sınıflandırılması önem kazanmıştır. Bu doğrultuda son yıllarda çok sayıda çalışma yapılmış ve onlarca hızlı değerlendirme yöntemi geliştirilmiştir.

Yapılan bu çalışma kapsamında, literatürde yer alan hızlı değerlendirme yöntemlerinden Ahmet F. Hassan ve Mete A. Sözen tarafından 1997'de geliştirilen

Hassan İndeks yöntemi (Hassan ve Sözen, 1997), ile İhsan Engin Bal tarafından doktora tezi sürecinde geliştirilen ve daha sonra revize edilen P 25 hızlı değerlendirme yöntemi (Bal, 2005; Bal ve ark., 2007) kullanılarak Şanlıurfa ilinin Haliliye ilçesinde DBYBHY-2007 deprem yönetmeliğine göre inşa edilmiş mevcut yapıların risk durumları değerlendirilmiştir. Mevcut durumları hızlı değerlendirme yöntemleriyle belirlenen ve risk durumlarına göre sınıflandırılan bu yapıların TBDY-2018'e göre doğrusal olmaya performans analizleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar birbiriyle kıyaslanmıştır.



## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bal ve ark. (2007), yaptıkları çalışma kapsamında İhsan Engin Bal tarafından daha önce önerilen P25 yöntemini kullanarak geçmişte yaşanan depremlerde hafif, orta ve ağır şekilde hasara uğramış 311 betonarme yapının performansını incelemişlerdir. Yaptıkları inceleme sonucunda P25 yönteminin riskli yapıları yüksek doğruluk oranıyla tespit ettiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca çalışma kapsamında yöntemde yer alan ayrıntılı değerlendirme bandının sınırlarının genişliğine ve bu bant aralığının ekonomik etkilerine değinilmiştir.

Tüysüz (2007), yaptığı çalışma kapsamında İhsan Engin Bal tarafından geliştirilen P25 hızlı değerlendirme yöntemi kullanılarak iki farklı betonarme yapının performansını değerlendirmiştir. Aynı yapılara uygulanan kuvvet bazlı doğrusal analizlerden elde ettiği sonuçları P25 hızlı değerlendirme yönteminden elde ettiği sonuçlar ile kıyaslamıştır. Yaptığı değerlendirme sonucunda P25 yönteminden elde edilen sonuçların yapının performansı hakkında iyi sonuç verdiğini belirtmiştir.

Keyik (2019) yaptığı çalışmada, DBYBHY-2007'ye göre inşa edilmiş dört katlı betonarme bir bina için TBDY-2018 ve ASCE41-17'ye göre doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizleri gerçekleştirilerek elde edilen performans sonuçları birbiriyle kıyaslamıştır. Analiz sonucunda TBDY-2018'e göre elde edilen tepe deplasman değerleri ASCE41-17'ye göre %35 daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Ancak, yönetmeliklere göre elde edilen taban kesme kuvvetlerinin birbirine yakın olduğunu belirtmiştir.

Uçar (2019) yaptığı çalışmasında, İstanbul ili Kadıköy ilçesinde inşa edilmesi planlanan çerçeve ve çerçeve + perdelerden oluşan dokuz katlı bir betonarme hastane binasını TBDY-2018'e uygun olarak tasarlamıştır. Tasarımı yapılan hastane binası farklı bina önem katsayıları (I) dikkate alınarak hem DBYBHY-2007'ye göre hem de TBDY-2018'e göre hem doğrusal olmayan itme analizi hem de doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yöntemleri kullanılarak yapının performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen değerler dikkate

alındığında yapı TBDY-2018'e göre hedef performans değerini sağlar iken, DBYBHY-2007'ye göre bina önem katsayıları (I) 1 alınarak gerçekleştirilen analizlerde yapı hedef performans düzeyini sağlayamamıştır. Aynı zamanda Uçar (2019) itme analizi sonuçlarının zaman tanım alanında analiz yöntemine göre yapının doğrusal olmayan davranışını yansıtmada yetersiz kaldığını ve itme analizlerinden elde edilen sonuçların zaman tanım alanında analiz yöntemine göre güvenilir olmadığı ifade etmiştir.

Eldemir (2019) tarafından yapılan çalışma kapsamında, 4,5 ve 6 katlı betonarme yapıların tasarımı DBYBHY-2007'ye göre yapılmıştır. Tasarlanan binalar, DBYBHY-2007 ve TBDY-2018'e göre ayrı ayrı doğrusal olmayan statik itme analizi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilerek her iki yönetmeliğe göre performansları belirlenmiştir. Her iki yönetmeliğe göre çatlamış kesit rijitliklerinin farklılık göstermesi sebebiyle, yapılan analizlerde DBYBHY-2007'ye göre daha büyük periyot değerleri elde etmiştir. Aynı zamanda bu rijitlik farklılıkları yapıların kapasite eğrilerinin eğimleri üzerinde de farklılıklara sebep olduğu tespit etmiştir. Aynı zamanda her iki yönetmeliğe göre yapılan itme analizlerinde tepe deplasmanları aynı tutulduğunda, TBDY-2018'e göre eleman hasar oranlarının daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. Eldemir (2019) her iki yönetmeliğe göre yaptığı analizlerden elde ettiği sonuçların birbirine göre farklılıklar gösterdiği ve TBDY-2018'e göre tasarlanan yapıların deprem kuvvetleri karşısında daha iyi performans sergilediği sonucuna varmıştır.

Demir (2020), çalışmalarında İstanbul ili Küçükçekmece ilçesinde yer alan yedi katlı betonarme taşıyıcı sisteme sahip bir konut tipi yapının performansı doğrusal olmayan tek modlu itme analizleriyle belirlemiştir. Yaptığı analizler sonucunda, binanın hedef performansı olan kontrolü hasar performans düzeyini sağladığı tespit etmiştir.

Sarı (2020), Yaptığı çalışmada, betonarme çerçeve elemanlarından meydana gelen konut türü bir yapının deprem kuvvetleri altında performansı TBDY-2018 ve DBYBHY-2007 deprem yönetmeliklerine göre elde etmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarını önce kirişler bazında ve kolonlar bazında ayrı ayrı daha sonra tüm kiriş ve kolonlar dikkate alınarak her iki yönetmeliğe göre sonuçları birbirleriyle kıyaslamıştır.

Bu analizler sonucunda öncelikle sadece kirişler dikkate alınarak yapılan değerlendirmelerde, bina her iki yönetmeliğe göre hedef performans düzeyini sağlamıştır. Ancak sadece kolonlar dikkate alınarak veya tüm çerçeve elemanları dikkate alınarak yapılan değerlendirmelerde, bina her iki yönetmelik için Y doğrultusunda hedef performans düzeyini sağlar iken, X deprem doğrultusunda göçme durumuna geçerek hedef performans düzeyini sağlayamamıştır. Yapılan çalışmalarda her iki deprem yönetmeliğinin de X doğrultusunda hedef performans düzeyini sağlayamamasının sebebini binada oluşan kesme kuvvetlerinin belli katlarda yönetmeliklerde yer alan kesme kuvveti sınırlarını aşmasından kaynaklandığını tespit etmiştir. Analizler sonucunda, yapının genel performansının değerlendirilmesinde her iki yönetmeliğin birbiriyle uyumlu sonuç verdiği tespit etmiştir.

Karapınar (2020), yaptığı çalışmada mevcut betonarme bir binanın doğrusal olmayan davranışı esasında, deprem performansı TBDY-2018'e göre gerçekleştirilen zaman tanım alanında analiz yöntemiyle belirlemiştir. Gerçekleştirilen doğrusal olmayan analizler sonucunda TBDY-2018'e göre yapının hedef performans düzeyi olan kontrollü hasar performans düzeyinin sağlanamadığı tespit edilmiştir. Yapıda hem belirli çerçeve elemanların hem de çekirdek perdelerin yetersiz olduklarını belirlemiştir. Bu nedenle, binanın güçlendirilmesi amacıyla hem yetersiz çerçeve elemanlarının kesitleri büyütülmüş hem de özellikle binanın plan da merkez bölgesine yeni betonarme perdeler eklenerek yapının güçlendirme planı oluşturmuştur. Yeni plana göre oluşturulan numerik modelin, tekrar doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizleri yapılarak güçlendirme sonrası performansı belirlenmiştir. Güçlendirme sonrasında yapının kontrollü hasar performans düzeyini sağladığı tespit edilmiştir.

Yeşilçayır (2021), yaptığı çalışma kapsamında Afyonkarahisar ilimizde yer alan ve yıkım kararı alınmış 19 adet farklı yapının performansı P25 hızlı değerlendirme yöntemiyle değerlendirmiştir. Yaptığı değerlendirme neticesinde yıkım kararı alınmış bu 19 yapıdan 12'sinin göçme durumunda olduğunu, 2 yapının detaylı inceleme durumunda olduğu ve 5 adedinin ise güvenli bölgede çıktığını ifade etmiştir. Elde ettiği sonuçlar doğrultusunda P25 hızlı değerlendirme yönteminin daha fazla yapıya uygulanarak geliştirilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Körükçü (2021),Yaptığı çalışmada tam olarak hangi tarihte inşa edildiği bilinmeyen eski bir yapının deprem kuvvetleri altında performansı doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yöntemiyle belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda yapının TBDY-2018’de ön görülen hedef performans durumunu sağlayamadığı tespit edilmiştir. Yapının düşey taşıyıcı elemanlarının bazılarının kesitleri mantolama yöntemiyle büyütülerek ve yapıya yeni betonarme perdeler eklenerek TBDY-2018’e göre yapının güçlendirme modeli oluşturulmuş ve yeniden yapılan analizler sonucunda güçlendirme sonrasında elde edilen modelin hedef performans değerini sağladığı tespit edilmiştir. Yapının güçlendirme maliyetleri ile yeniden inşa edilme maliyetleri hesaplanmış ve yapının güçlendirme maliyetinin yeniden inşa maliyetinin %57’si gibi büyük bir değer çıkması sebebiyle yapının yeniden inşasının en uygun çözüm olduğuna karar vermiştir.

Çobanoğlu (2021), yaptığı çalışmada DBYBHY-2007’ye uygun olarak mersin ili Mezitli ilçesinde inşa edilmiş 30 katlı bir betonarme yapının numerik modeli oluşturularak TBDY-2018 koşulları doğrultusunda performans analizi gerçekleştirmiştir. Bu kapsamda yönetmeliklerde yer alan farklılıkları irdeleyerek incelemiştir. Zaman tanım alanında analiz yöntemi uygulanarak performansı değerlendirilen yapının TBDY-2018’de yer alan şartları taşıdığını tespit etmiştir.

Yıldız (2021), TBDY-2018 koşullarını dikkate alınarak mevcut 44 katlı bir yapının performansını zaman tanım alanında analiz yöntemiyle irdelemiştir. Yıldız (2021), TBDY-2018’e göre belirlenen hedef performans düzeyinin yapıya uygulanan analizler sonucunda sağladığını ifade etmiştir.

Karal (2021), yaptığı çalışmada aynı kat planına sahip faklı kat ve yükseklikte altı adet mevcut yapının deprem performansını TBDY-2018 esasları doğrultusunda irdelemiştir. İncelenen bu yapılara güçlendirme yapılmış ve güçlendirilen yapılar da doğrusal olmayan analizlere tabi tutularak performansları belirlenmiştir. Yapıların güçlendirme öncesi ve sonrası performansları kıyaslamış ve yapılara uygulanan güçlendirmelerin yapı performansını olumlu etkilediğini ifade etmiştir.

Taş (2021), yaptığı çalışma kapsamında TBDY-2018 dikkate alarak 3, 5, 7 ve 10 katlı betonarme yapı modellemiş ve bu yapılara itme analizi uygulayarak yapıların performans durumlarını irdelemiştir. Yaptığı çalışmada incelediği tüm modellerde kontrollü hasar bölgesine geçen elemanlar tespit etmiş ve tüm yapıların TBDY-2018’de belirtilen şartlar doğrultusunda hedef performans düzeyi olan kontrollü hasar performans düzeyini sağladıklarını ifade etmiştir.

Ulutaş ve Sari (2021), yaptığı çalışma kapsamında mevcut bir betonarme yapının performansını DBYBHY-2007 ve TBDY-2018’e göre incelemiştir. Uyguladığı performans analizleri sonucunda her iki yönetmeliğe göre doğal titreşim periyotları, kesit şekil değiştirme üst sınırları, taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasarlar, hedef yer değiştirme istemleri ve katların performans düzeylerinde farklılıklar tespit etmiştir.

Küçükaslan ve Altan (2021), yaptığı çalışma kapsamında 1975 yönetmeliği esaslarına göre inşa edilen ve 1999 Marmara depreminde aldığı hasar sonucunda güçlendirilen bir betonarme yapının güçlendirme öncesi ve sonrası durumu DBYBHY-2007 ve TBDY-2018’e göre uygulanan performans analizleri sonucunda elde ettiği veriler doğrultusunda incelemiştir. Her iki yönetmelikten elde edilen sonuçların uyumadığını ifade etmiştir.

Jamal (2022), TBDY-2018 ve TS-500’e göre modellenmiş farklı taşıyıcı sistem, farklı kat sayısı ve farklı açıklıklara sahip birçok betonarme yapıyı ASCE 41-17 ve TBDY-2018’e göre doğrusal olmayan statik analize tabi tutmuş ve her iki yönetmeliğe göre elde edilen analiz sonuçlarını birbirleriyle kıyaslamıştır. Yapılan analizlerde yapı elemanlarının doğrusal olmayan davranışlarını belirlemek için tüm çubuk elemanlara yığılı plastik mafsallar tanımlanmış ve perde elemanlara ise yayılı plastik mafsallar tanımlanmıştır. Yaptığı çalışmalar sonucunda, çubuk elemanlara atanan bu plastik mafsalların her iki yönetmelikte farklılıklar içermesi, elde edilen analiz sonucunda farklılıklara sebep olduğunu tespit etmiştir. Aynı zamanda, her iki yönetmeliğe göre tanımlanan düşey yük miktarı ve düşey elemanların etkin kesit rijitlik katsayılarının değişiklik göstermesinin de sonuçlarda farklılıkların elde edilmesine sebep olduğunu tespit etmiştir. Diğer yandan, taşıyıcı sistemlerinde perde bulunan yapıların hem ASCE 41-17 hem de TBDY-2018’e göre yapılan analizler sonucunda elde edilen kapasite

eğrilerinin birbirine çok yakın olduğunu tespit etmiş ve perdeli sistemlerde tespit edilen bu yakınlığın, perdelerle tanımlanan plastik mafsallardan kaynaklandığını ifade etmiştir.

Temiz (2022), yaptığı çalışmada TBDY-2018'e göre tasarımı yapılmış yapısında planda çıkıntı düzensizliği ve burulma düzensizliği barındıran 10 katlı betonarme bir yapının doğrusal olmayan performansı zaman tanım alanında analiz yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Uygulanan analizler sonucunda yapıda yer alan kolon ve kirişlerin %85 oranında sınırlı hasar bölgesinde yer aldığını tespit etmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda yapının TBDY-2018 doğrultusunda belirlenen hedef performans düzeyi olan kontrollü hasar performans düzeyini sağladığını tespit etmiştir.

Karaca (2022), yaptığı çalışma kapsamında betonarme bir okul binasının performansını doğrusal olmayan analiz yöntemlerine göre incelemiştir. Yaptığı incelemeler sonucunda yapının hedef performans düzeyini sağlayamadığını tespit etmiştir. Hedef performans düzeyini sağlayamayan bu okul binası için üç farklı güçlendirme projesi ve numerik modelleri oluşturulmuş ve doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Mevcut yapıdan elde edilen sonuçlar güçlendirme modellerinden elde edilen sonuçlar ile kıyaslanmıştır. Oluşturulan güçlendirme modellerinin uygulanan doğrusal olmayan analizler sonucunda hedef performans düzeyini sağladıklarını ifade etmiştir.

Koçoğlu (2022), yaptığı çalışmada Antalya ilinde yer alan ve kaya zemine DBYBHY-2007 esaslarına göre inşa edilmiş beş adet yapının depreme karşı performansı DBYBHY-2007 ve TBDY-2018'e göre incelenmiştir. Her iki yönetmeliğe göre yapılan analizler sonucunda elde edilen verileri birbiriyle kıyaslayarak yönetmelikler arasındaki farkları irdelemiştir.

Kaya ve Alakavuk (2022), yaptığı çalışma kapsamında İzmir ilimizde yer alan Ege Gümrük İl Müdürlüğü Binasının deprem kuvvetleri karşısındaki durumu, uygulanan performans analizleriyle belirlenmiştir. Uyguladığı analizler sonucunda yapının hedef performans düzeyini sağlayamadığı ve göçme durumunda olduğunu belirlemiştir. Bu nedenle yapı için güçlendirme modelleri geliştirmiştir. Geliştirilen bu

güçlendirme modeli ve binanın yıkılıp yeniden inşa edilmedi durumunda ortaya çıkacak maliyetleri hesaplamış ve güçlendirme maliyetinin yeniden imal edilmesi durumunda oluşan maliyetin %60'ına eşit olduğunu ifade etmiştir.



### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında Şanlıurfa ili Haliliye ilçesinde yer alan 26 adet yeni inşa edilmiş bina proje bilgileri toplanarak, bu binaların hızlı değerlendirme ve TBDY-2018 açısından değerlendirmesi yapılmıştır. Literatürde yer alan hızlı değerlendirme yöntemlerinden Hassan indeks yöntemi ve P 25 Hızlı Değerlendirme Yöntemi ile TBDY-2018 de yer alan doğrusal olmayan analiz için önerilen yöntemler kullanılarak mevcut betonarme yapıların deprem performansı irdelenmiştir. Tez kapsamında incelenen bu binalara ait genel bilgiler ve binaların performansının belirlenmesinde dikkate alınan bu yöntemlerin ayrıntıları aşağıda verilmiştir.

#### 3.1. Yapıların Genel Bilgileri

Şanlıurfa ilimizin Haliliye ilçesinde yer alan ve DBYBHY-2007'ye göre inşa edilen 26 adet betonarme az katlı yapının mimari ve statik projeleri elde edilmiştir. Elde edilen bu projeler baz alınarak aşağıda ayrıntıları verilen hızlı değerlendirme yöntemleri ile performansları belirlenmiştir. Ayrıca yapılara uygulanan doğrusal olmayan itme analizleri ile yapıların doğrusal olmayan performansları belirlenmiş ve hızlı değerlendirme yöntemleriyle kıyaslanmıştır. İncelenen binalarda toplam kat adedi 3 veya 4 olmak üzere bina yükseklikleri minimum 9.0 m ve maksimum 13.4 m'dir. Binaların oturum alanları farklılık göstermektedir. Planda X yönünde boyut minimum boyut 9.6 m iken en büyük boyut 27.0 m'dir. Y yönündeki boyut ise minimum 11.5 m ve maksimum 23.0 m'dir. Bina oturum alanları ortalama 225.65 m<sup>2</sup> olmak üzere minimum 134.56 m<sup>2</sup> ve maksimum 503.5 m<sup>2</sup>'dir. Binaların tümü aynı bölgede olduğu için zemin sınıfı tüm binalarda ZC olarak belirlenmiştir. DBYBHY-2007'ye göre minimum beton ve donatı malzeme sınıfları tüm binalar için aynı şekilde kullanılmıştır. Bu yapıların genel bilgileri derlenerek Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Yapıların genel bilgileri

Bina adı	Toplam kat adedi	Bina yüksekliği (m)	Planda X boyutu (m)	Planda Y boyutu (m)	Bina zemin sınıfı	Aks sayısı (X)	Aks sayısı (y)
P1	3	9.7	10.0	18.6	ZC	5	9
P2	3	9.0	9.6	17.95	ZC	5	9
P3	3	9.6	9.65	17.95	ZC	5	9
P4	3	9.7	9.85	18.0	ZC	5	6
P5	4	12.0	10.15	18.35	ZC	5	6
P6	4	13.4	13.0	17.0	ZC	8	9
P7	4	12.0	10.1	18.5	ZC	5	5
P8	3	9.0	27.0	17.6	ZC	13	8
P9	3	9.0	13.5	15.8	ZC	7	8
P10	3	9.0	20.0	18.0	ZC	10	11
P11	3	10.4	10.0	19.0	ZC	5	9
P12	4	12.0	12.0	12.9	ZC	7	5
P13	3	10.3	26.5	19.0	ZC	4	10
P14	3	9.0	12.0	14.4	ZC	7	7
P15	3	9.0	9.8	16.6	ZC	4	11
P16	3	9.0	10.0	18.25	ZC	4	10
P17	3	9.0	10.0	18.6	ZC	4	11
P18	3	9.0	10.7	18.8	ZC	5	10
P19	4	12.0	11.4	16.9	ZC	7	9
P20	3	9.0	11.15	17.1	ZC	6	9
P21	3	10.0	13.8	17.6	ZC	9	8
P22	3	9.0	11.6	11.6	ZC	6	6
P23	3	9.0	13.3	11.5	ZC	7	9
P24	4	12.3	14.8	23.0	ZC	5	10
P25	3	9.0	10.0	20.35	ZC	4	10
P26	3	9.5	20.0	15.2	ZC	9	7

### 3.2. Hassan Yöntemi

Bu yöntemin temeli 1968 yılında Tokachi-Oki depremi sonrasında Shiga (1968) tarafından geliştirilen duvar indeksi yöntemine dayanmaktadır. Shiga (1968) tarafından geliştirilen bu yöntem temelde betonarme perdeleri dikkate almasından dolayı 1992 Erzincan depremi sonrasında hasar alan yapıların çoğunluğunun kolon-kiriş çerçeve sistemlerden ve dolgu duvarlardan oluşması sebebiyle doğrudan kullanılamamıştır (Sözen, 2013). Bu nedenle, 1992 Erzincan depreminden sonra

Hassan ve Sözen (1997) tarafından farklı düzeylerde hasar almış yapılar üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda Hassan yöntemi (Kolon ve duvar indeksleri yöntemi) geliştirilmiştir (Gulkan ve Sozen, 1999). Bu yöntem daha çok 1-5 katlı yapılar için önerilmektedir. Bu yöntemde kullanılan kolon ve duvar indekslerinin hesap yöntemleri aşağıda özetlenmiştir.

### 3.2.1. Kolon indeksi (CI)

Kolon indeksi (CI) yapının zemin katında yer alan kolonların kesit alanları toplamının, temel üstündeki tüm katların alanları toplamına oranının, yarısı olacak şekilde Denklem (3.1) ile hesaplanmaktadır.

$$CI = \frac{1}{2} \left( \frac{\sum A_c}{\sum A_f} \right) * 100 \quad (3.1)$$

Denklem (3.1)'de yer alan  $A_c$  zemin katta yer alan kolonların kesit alanı ve  $A_f$  ise zemin üstünde yer alan döşeme alanlarını ifade etmektedir.

### 3.2.2. Duvar indeksi (WI)

Yapının herhangi bir doğrultuda yer alan betonarme perde duvarların kesit alanları toplamı ile aynı doğrultuda yer alan ve betonarme çerçevelerin içini tam dolduran dolgu duvarların etkili kesit alanları toplamının, temel üstündeki tüm katların alanları toplamına oranı olarak Denklem (3.2) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$WI = \frac{\sum A_{wc} + \frac{\sum A_{mw}}{10}}{\sum A_f} \times 100 \quad (3.2)$$

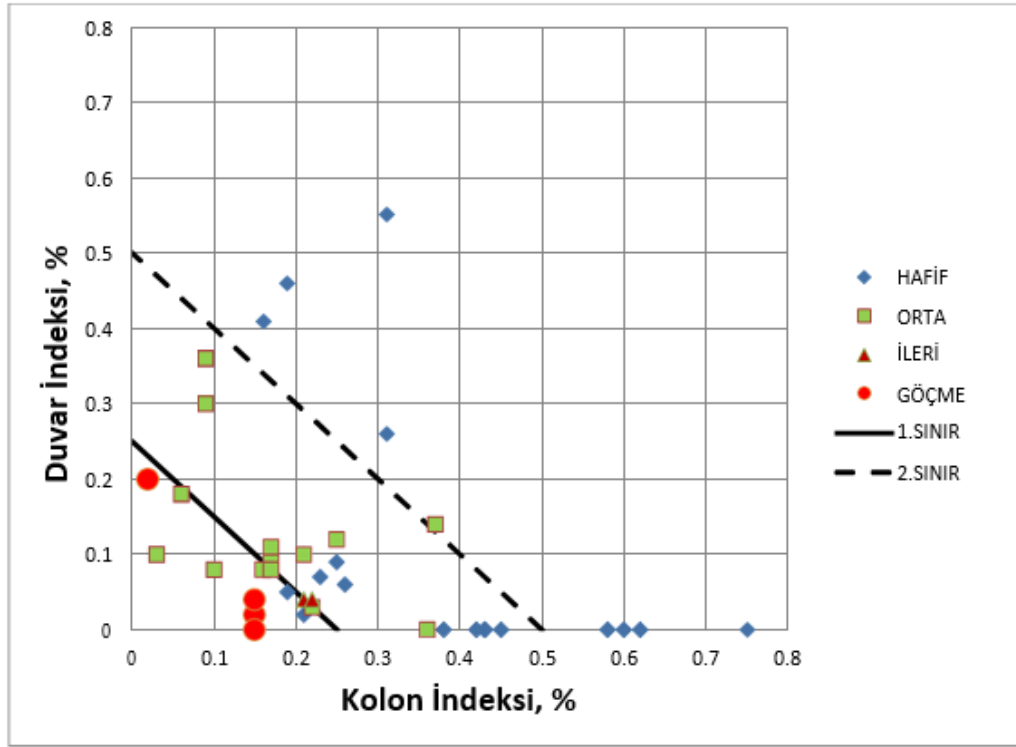
Denklem (3.2) de yer alan  $A_{wc}$  sistemde belli bir doğrultuda yer alan betonarme perdelerin kesit alanlarını ifade etmektedir. Aynı denklemde yer alan  $A_{mw}$  ise aynı doğrultuda yer alan ve betonarme taşıyıcı elemanlar ile sınırlanan boşluğu tam dolduran dolgu duvarların kesit alanlarını ifade etmektedir (Korkmaz ve ark., 2009; Korkmaz ve ark., 2010).

### 3.2.3. Öncelik indeksi (PI)

Öncelik indeksi, herhangi bir yapının kuzey-güney veya doğu batı yönünde etki edecek olan deprem karşısında belli bir yapı stoğu içinde yapının kolon indeksi (CI) ve duvar indeksine (WI) bağlı olarak risk sıralamasını ifade etmektedir. Öncelik indeksi yukarıda hesaplanan kolon ve duvar indekslerinin toplamı olarak Denklem (3.3) ile elde edilmektedir. Denklem (3.3) ile elde edilen öncelik indeksi değeri sıfıra yaklaştıkça yapının risk değerinin arttığı kabul edilmektedir.

$$PI = CI + WI \quad (3.3)$$

Kartezyen düzlem üzerinde duvar indeksi düşey eksen ve kolon indeksi yatay eksende yerleştirilerek kolon ve duvar indekslerinin kesişim noktaları yapının performans noktası olarak tespit edilmektedir (Şekil 3.1.). Kolon ve duvar indeksi eksenleri üzerindeki  $\frac{1}{4} = 0.25$  noktalarının birleşimi ile 1. Sınır elde edilmekte ve  $\frac{1}{2} = 0.5$  noktalarının birleşiminden de 2. Sınır elde edilmektedir. Bu sınır çizgileri ile öncelik indeksinin değeri temsil edilmektedirler (Gulkan ve Sozen, 1999). Kartezyen düzlemin kolları ile elde edilen birinci sınır çizgisi arasında kalan bölgede yer alan yapılar, ikinci sınırı çizgisi dışında kalan yapılara nazaran daha riskli durumda oldukları kabul edilmekte ve her iki sınır çizgisi arasında bulunan yapıları ise şüpheli olarak değerlendirilmektedir (Bal, 2005). Çizelge 3.2.' de beş farklı deprem sonrası Hassan yöntemiyle elde edilen değerler tablo şeklinde özetlenmektedir.



Şekil 3.1. 1992 Erzincan depremi sonrasında toplanan verilerin değerlendirilmesi (Gulkan ve Sozen, 1999)

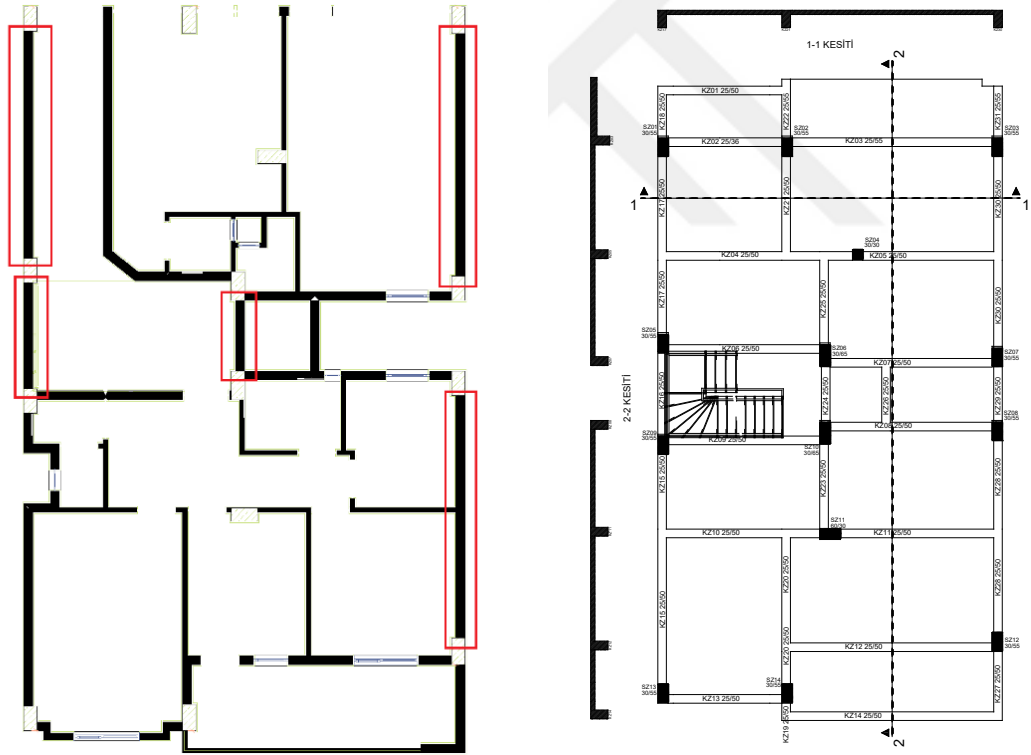
Çizelge 3.2. Beş farklı deprem için Hassan indeksi sonuçları (Gulkan ve Sozen, 1999)

	Erzincan (1992)	Duzce (2003)	Bingöl (1999)	Wen (2008)	Haiti (2010)
Hafif hasarlı tespit edilen yapı sayısı	28	125	11	66	130
1. sınır altındaki hafif hasarlı sayısı	2	30	7	43	43
Orta hasarlı tespit edilen yapı sayısı	16	40	21	25	33
1. sınır altındaki orta hasarlı sayısı	6	21	8	7	13
İleri hasarlı tespit edilen yapı sayısı	2	55	6	24	67
1. sınır altındaki ileri hasarlı sayısı	1	36	5	6	49
Göçme durumundaki yapı sayısı	4	8	12	Yok	Yok
1. sınır altındaki göçen yapı sayısı	4	7	6	Yok	Yok
Her deprem için toplam yapı sayısı	50	228	50	115	230
Genel toplam	673				

### 3.3. Hassan Yönteminin Örnek Projeye Uygulanması

Yapılan çalışma kapsamında incelenen projelerin depremsellik durumu Hassan yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Hassan yöntemi, 3. Bölümde anlatıldığı üzere kolon indeksi ve duvar indeksinden oluşmaktadır. Burada Şekil 3.2.'de mimari ve statik projesi verilmiş olan P1 projesi için Hassan yöntemiyle yapının depremsellik durumu belirlenecektir. P1 projesi zemin kat artı iki normal kattan oluşmaktadır. Her katın tabliye alanı birbirine eşit ve  $180 \text{ m}^2$  tir. Bu bağlamda yapının zemin üstünde yer alan döşeme alanları toplamı olan  $A_f$  Denklem (3.4)'de verildiği şekliyle hesaplanmıştır.

$$A_f = 3 * 180 = 540 \text{ m}^2 \quad (3.4)$$



Şekil 3.2. P1 projesine ait zemin kat mimari ve statik projeleri

Kolon indeksinin belirlenmesi amacıyla P1 projesine ait kolon kesit alanları, mimari ve statik projelerinden alınmış ve bu kolonlara ait kesit alanları Çizelge 3.3.'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Kolon kesit alanları

X (m)	Y (m)	ADET	$A_c$ (m <sup>2</sup> )
0.3	0.55	10	1.65
0.6	0.3	1	0.18
0.3	0.3	1	0.09
0.3	0.65	2	0.39
Toplam			2.31

Çizelge 3.3.'de verilen kolon alanları ve zemin üstünde yer alan döşeme alanları toplamı olan  $A_f$  değerinden yararlanılarak yapının kolon indeksi Denklem (3.1) yardımıyla 0.214 olarak hesaplanmıştır.

Duvar indeksinin belirlenmesi amacıyla P1 projesine ait dolgu duvar kesit alanları, Şekil 3.2.'de verilen mimari projесinden alınmıştır. Şekil 3.2.'de görüldüğü üzere, X doğrultusunda betonarme çerçeve elemanların içini tam dolduran dolgu duvar bulunmamaktadır. Ancak, Y doğrultusunda bu şartı sağlayan dolgu duvarlar bulunmakta (Şekil 3.2.'de kırmızı kutu içerisinde gösterilmiştir) ve bu dolgu duvarlara ait kesit alanlar Çizelge 3.4.'de verilmiştir. Şekil 3.2.'de görüldüğü üzere yapıda betonarme perde duvar bulunmamaktadır. Bu nedenle yapılan hesaplarda perde duvar elemanların kesit alanları toplamı sıfır alınmaktadır.

Çizelge 3.4. Dolgu duvar kesit alanları

X (m)	Y (m)	ADET	$A_{mw}$ (m <sup>2</sup> )
0.2	5.5	1	1.1
0.2	1.6	1	0.32
0.2	2.4	1	0.48
0.2	5.5	1	1.1
0.2	5.15	1	1.03
Toplam			4.03

Çizelge 3.4.'de verilen dolgu duvar alanları ve zemin üstünde yer alan döşeme alanları toplamı olan  $A_f$  değerinden yararlanılarak yapının Y doğrultusundaki duvar indeksi Denklem (3.2) yardımıyla 0.0746 olarak hesaplanmıştır. Ancak, X doğrultusunda betonarme çerçeve elemanların içini tam dolduran dolgu duvar bulunmaması ve aynı zamanda betonarme perde duvarlarında bulunmaması nedeniyle X doğrultusunda duvar indeksi sıfır olarak elde edilmiştir.

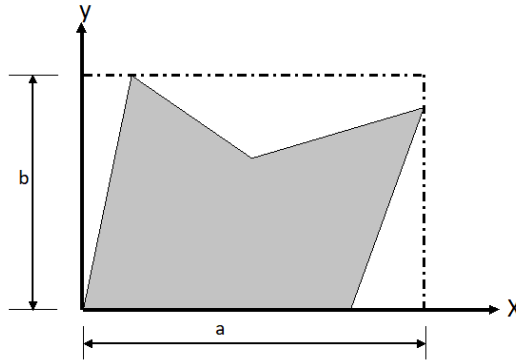
Öncelik indeksi yukarda hesaplanan kolon indeksi ile aynı şekilde yukarda hesaplanan duvar indekslerinden küçük olanının toplamı olarak Denklem (3.3) yardımıyla 0.2886 olarak hesaplanmıştır. Öncelik indeksi sıfır ile bir arasında değer almaktadır. Elde edilen öncelik indeksi değeri sıfıra yaklaştıkça yapının risk değerinin arttığı kabul edilmektedir. Diğer tüm binaların Hassan indeks yöntemine göre öncelik indeksleri burada anlatıldığı şekliyle hesaplanarak araştırma ve bulgular kısmında sunulmuştur.

#### 3.4. P 25 Hızlı Değerlendirme Yöntemi

Yöntemde, betonarme yapıların davranışında etkili olan çok sayıda parametreyi dikkate alarak mevcut yapı stoğunun hızlı bir şekilde risk durumunun irdelenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla yapıların farklı göçme durumlarına karşılık gelen yedi farklı risk puanı hesaplanmaktadır (Gulay ve ark., 2011). Bu yedi farklı  $P_i$  değerinin birbirleri ile etkileşimlerini dikkate almak için belli katsayılar ile çarpılarak ağırlıklı ortalama puan  $P_w$  değerleri hesaplanmaktadır. En küçük  $P_i$  değeri olan  $P_{min}$  değerine karşılık gelen  $P_w$  değerine bağlı olarak bu yedi  $P_i$  değerinin birbirlerini etkileme durumunu dikkate alan bir  $\beta$  katsayısı hesaplanmaktadır. Daha sonra yapının oturduğu zeminin topografik özelliklerini, hareketli yük katsayısını, bina önem derecesini ve bölgenin depremsellik düzeyi gibi etkenlere bağlı olarak hesaplanan  $\alpha$  katsayısıyla çarpılarak bu parametrelerin etkileri dahil edilir. Bu yöntem TÜBİTAK'ta 2006 yılında gerçekleştirilen 106M278 numaralı proje kapsamında İstanbul Teknik Üniversitesi uygar merkezi arşivinde bulunan projelere uygulanarak kalibre edilmiş ve daha sonra belirli bir bölgede pilot uygulama gerçekleştirilmiştir (Doğan, 2012).

### 3.4.1. Yapı bilgilerinin toplanması ve kritik katın tespit edilmesi

Öncelikle değerlendirilecek yapının adres bilgileri, kat adedi, yüksekliği, yapının yaşı gibi kimlik bilgileri toplanır. Bu yöntem temelinde kritik katı ve bir üstündeki katı baz aldığından, kritik katı tespit etmek önem arz etmektedir. Yapının hasar görme potansiyelinin en yüksek olduğu kat olan kritik kat, genellikle zemin kat olmaktadır (Bal ve ark., 2007; Tüysüz, 2007). Ancak, bodrum katlarında bodrum perdesinin olmaması durumunda bodrum katının kritik olabileceği gibi yapının diğer katlarının da zemin kata göre daha kritik olabileceği göz önünde bulundurulmalı ve kritik kat konusunda tereddüt yaşanması halinde tüm şüphelenilen katlar için kritiklik puanı hesaplanarak en olumsuz değer dikkate alınmalıdır. Seçilen kritik kat bir koordinat düzlemine oturtulur ve kenarları a ve b olan (Şekil 3.4.) bir dikdörtgen içerisine yerleştirilerek kolon, perde ve dolgu duvarların düzlem üzerindeki boyutları belirlenir. Yapının efektif alanı Şekil 3.3.'den yararlanarak, Denklem (3.5) ile elde edilir. Belirlenen bu eleman değerleri ve hesaplanan yapı efektif alanı dikkate alınarak performansın belirlenmesinde gerekli olan alan indeksi, rijitlik indeksi ve bazı diğer katsayı çarpanlarının hesaplanmasında kullanılmaktadır.

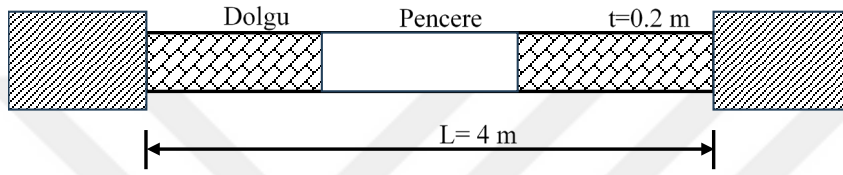


Şekil 3.3. Yapının koordinat düzlemine yerleştirilmesi ve a, b kenarlarının belirlenmesi

$$A_e = a * b \quad (3.5)$$

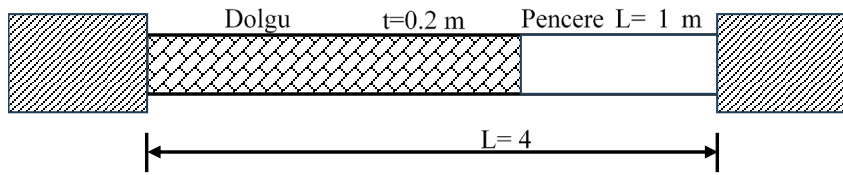
Hesapta dolgu duvarlar mimari projeden faydalanılarak göz önüne alınır. Ancak bir dolgu duvarın hesapta dikkate alınabilmesi için en az bir düşey taşıyıcı elemanla bağlantısının olması gerekir. Düşey taşıyıcı elemanlarla bağlantısı olmayan dolgu duvarların yapının rijitliğine hiçbir katkısının olmadığı aşikârdır (Tüysüz, 2007).

Herhangi bir düşey elemanla bağlantısı olmayan dolgu duvarlar hesapta dikkate alınmaz. Diğer bir durum ise dolgu duvarda kapı, pencere boşluklarının olmasıdır. Bu boşluklar karşımıza dolgu duvarın ortasında yer alması veya dolgu duvarın bir kenarında yer alması gibi farklı iki durumda çıkabilmektedir. Şayet boşluk Şekil 3.4.'de yer aldığı gibi dolgu duvarın ortasında yer alıyorsa, duvar boyu mevcut duvar boyuyla aynı alınarak duvarın kalınlığı ise gerçek kalınlığının yarısı olarak göz önüne alınır. Bu bağlamda Şekil 3.4. göz önüne alındığında duvar uzunluğu dört metre alınırken, duvar kalınlığı (t) ise 0.1 metre olarak hesaba dâhil edilmelidir.



Şekil 3.4. Dolgu duvarın ortasında boşluk bulunma durumu

Duvar boşluğu duvarın kenarında Şekil 3.5.'deki gibi yer alıyorsa ise bu durumda duvarın boyu göz önüne alınırken duvar boyundan boşluk çıkarılır ve duvar kalınlığı aynen alınır. Bu bağlamda Şekil 3.5. göz önüne alındığında duvar boyu üç metre alınırken duvar kalınlığı ise normal değeri olan 0.2 m olarak dikkate alınır.



Şekil 3.5. Dolgu duvarın kenarında boşluk bulunma durumu

### 3.4.2. Enkesit alanı indeksi ve bileşkesinin elde edilmesi

Alan indeksinin hesabı için öncelikle kolon, perde, dolgu duvar enkesit alanları hesaplanmalıdır. Hesaplanan bu enkesit alanları Denklem (3.6) ve (3.7) ile belirlenen koordinat sisteminin farklı yönleri için (X ve Y) toplanarak birleştirilir. Bu hesapta seçili koordinat düzleminde yer alan perde ve dolgu duvar enkesit alanları etkili olduğundan koordinat düzleminin farklı yönleri için perde duvar ve dolgu duvar

enkesit alanlarının farklılık göstermesi sebebiyle X ve Y yönlerinde farklı sonuçlar elde edilir (Bal ve ark., 2007; Yeşilçayır, 2021). Bu nedenle, enkesit alanı indeksi sırasıyla Denklem (3.8) ve (3.9)'e göre X ve Y yönleri için ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Elde edilen bu farklı değerlerin küçüğü minimum büyüğü ise maksim değer olarak dikkate alınır (Denklem (3.10)) ve bu değerler kullanılarak enkesit alanı indeksi bileşkesi için ağırlıklı ortalama değer Denklem (3.11) ile hesaplanmaktadır. Denklem (3.11)'da yer alan  $\theta$  değeri ise yapıya etki eden depremin, yapının zayıf yönü ile yaptığı açığı temsil etmektedir. Depremin hangi yönden etki edeceği belli olmaması durumunda  $\theta$  açısının 30 dereceden düşük alınması tavsiye edilmektedir (Gulay ve ark., 2011). İstatistiksel olarak değerlendirildiğinde ise 30 derecenin en uygun değer olduğu görülmüştür ve  $\theta$  değerinin 30 derece alınması önerilmiştir (Bal, 2005; Tüysüz, 2007; Yeşilçayır, 2021).

$$A_{ef,x} = A_C + A_{sx} + (E_m/E_c) * A_{wx} \quad (3.6)$$

$$A_{ef,y} = A_C + A_{sy} + (E_m/E_c) * A_{wy} \quad (3.7)$$

Burada Denklem (3.6) ve (3.7)'de yer alan  $E_m/E_c$  değeri dolgu duvarın elastisite modülünün betonun elastisite modülüne oranının ifade etmektedir ve bu oranın farklı duvar malzemeleri için hesaplanan değerleri Çizelge 3.5. verilmiştir.

Çizelge 3.5. Elastisite modülleri oranı (Kaya, 2017)

Duvar Cinsi	$E_m/E_c$
Briket	0.30
Harman Tuğla	0.20
Boşluklu tuğla veya Gazbeton	0.15
Kerpiç	0.08

$$C_{Ax} = 2 * 10^5 * \frac{A_{ef,x}}{A_e} \quad (3.8)$$

$$C_{Ay} = 2 * 10^5 * \frac{A_{ef,y}}{A_e} \quad (3.9)$$

$$C_{A,min} = \min(C_{Ax}, C_{Ay}) \text{ ve } C_{A,max} = \max(C_{Ax}, C_{Ay}) \quad (3.10)$$

$$C_A = \sqrt{(\cos \theta * C_{A,min})^2 + (\sin \theta * C_{A,max})^2} \quad (3.11)$$

### 3.4.3. Atalet momenti indeksi ve bileşkesinin elde edilmesi

Atalet momenti bileşkesi hesabında kolon ( $I_{cx}$ ), perde ( $I_{sx}$ ) ve dolgu duvarların ( $I_{wx}$ ) X ve Y yönleri için ayrı ayrı atalet momentleri hesaplanır. Hesaplanan bu atalet momenti değerleri Denklem (3.12) ve (3.13) ile birleştirilerek kritik katın X ve Y yönleri için ayrı ayrı atalet momentleri hesaplanır. Yapının kartezyen düzlemde yerleştirildiği (Şekil 3.3.), kenarları a ve b olan dikdörtgenden yararlanarak Denklem (3.14) ve (3.15)'de gösterildiği gibi yapının taban alanı atalet momenti hesaplanır. Hesaplanan bu atalet momentleri Denklem (3.16) ve (3.17)'de yerine konularak yapının kritik katının X ve Y atalet momenti indeksleri hesaplanır. Elde edilen bu farklı değerlerin küçüğü minimum büyüğü ise maksim değer olarak dikkate alınır (Denklem (3.18)) ve bu değerler kullanılarak atalet momenti indeksi bileşkesi için ağırlıklı ortalama değer Denklem (3.19) ile hesaplanmaktadır.

$$I_{ef,x} = I_{Cx} + I_{sx} + (E_m / E_C) * I_{wx} \quad (3.12)$$

$$I_{ef,y} = I_{Cy} + I_{sy} + (E_m / E_C) * I_{wy} \quad (3.13)$$

$$I_x = a^3 * b / 12 \quad (3.14)$$

$$I_y = a * b^3 / 12 \quad (3.15)$$

$$C_{Ix} = 2 * 10^5 * (I_{ef,x} / I_x)^{0,2} \quad (3.16)$$

$$C_{Iy} = 2 * 10^5 * (I_{ef,y} / I_y)^{0,2} \quad (3.17)$$

$$C_{I,min} = \min(C_{Ix}, C_{Iy}) \text{ ve } C_{I,max} = \max(C_{Ix}, C_{Iy}) \quad (3.18)$$

$$C_I = \sqrt{(\cos \theta * C_{I,min})^2 + (\sin \theta * C_{I,max})^2} \quad (3.19)$$

#### 3.4.4. P<sub>0</sub> – taşıyıcı sistem puanı

Yapının taşıyıcı sistemini yansıtan P<sub>0</sub>, yapının yüksekliği (H) dikkate alınarak Denklem (3.20) ile hesaplanan yapı yükseklik çarpanına, daha önce hesaplanan enkesit alanı indeksi bileşkesi (C<sub>A</sub>) ve atalet momenti indeksi bileşkesi (C<sub>I</sub>) ya bağlı olarak Denklem (3.21) ile elde edilmektedir. Denklem (3.20) binlerce yapı modeli üzerinde denenerek kalibre edilmiştir (Bal ve ark., 2007; Gulay ve ark., 2011).

$$h_0 = -0.6H^2 + 39.6H - 13.4 \quad (3.20)$$

$$P_0 = (C_A + C_I) / h_0 \quad (3.21)$$

P<sub>1</sub>- temel yapısal puanı

Daha önce hesaplanan P<sub>0</sub> değeri ile Çizelge 3.6.'de verilen f<sub>i</sub> yapısal düzensizlik katsayılarının art arda çarpılması ile elde edilen P<sub>1</sub> puanı Denklem (3.22) ile elde edilmektedir.

$$P_1 = P_0 \left( \prod_{i=1}^{14} f_i \right) \quad (3.22)$$

Çizelge 3.6. Yapısal düzensizlik katsayıları(Bal ve ark., 2007)

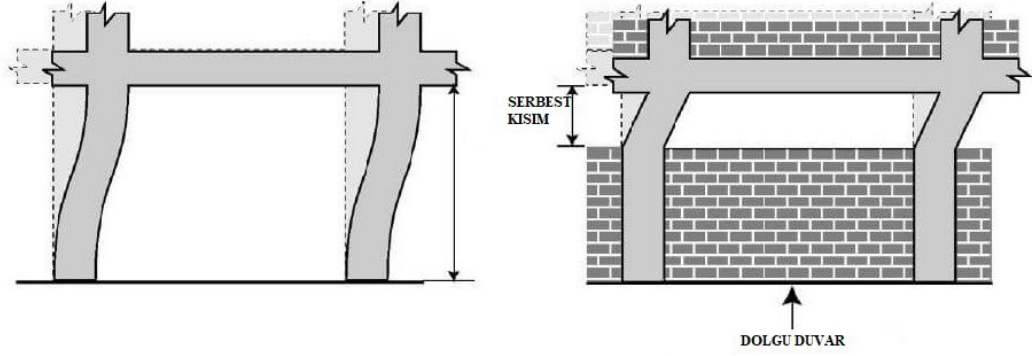
Katsayı	Tanım	Risk Seviyesi		
		Yüksek	Az	Yok
$f_1$	Burulma Düzensizliği	0.90	0.95	1.00
$f_2$	Döşeme Süreksizliği	0.90	0.95	1.00
$f_3$	Düşey Doğrultuda Süreksizlik	0.65-0.75	0.90	1.00
$f_4$	Kütle Düzensizliği	0.90	0.95	1.00
$f_5$	Korozyon Mevcudiyeti	0.90	0.95	1.00
$f_6$	Ağır Cephe Elemanları	0.90	0.95	1.00
$f_7$	Asma Kat Mevcudiyeti ( $\gamma$ =Asma kat / Kat alanı)	0.90 $\gamma \geq 0.25$	0.95 $0 < \gamma < 0.25$	1.00 $\gamma = 0$
$f_8$	Katlarda Seviye Farkı veya Kısmi Bodrum	0.80	0.90	1.00
$f_9$	Beton Kalitesi <sup>(1)</sup>	$f_9 = (f_c / 20)^{0.5}$		
$f_{10}$	Zayıf Kolon-Kuvvetli Kiriş <sup>(2)</sup>	$f_{10} = [(I_x + I_y) / 2 I_b]^{0.15} \leq 1.0$		
$f_{11}$	Etriye Sıklığı <sup>(3)</sup>	$f_{11} = 0.60 \leq (10 / s)^{0.25} \leq 1.0$		
$f_{12}$	Zemin Sınıfı	0.90 (Z4 için)	0.95 (Z3 için)	1.00 (Z2, Z1 için)
$f_{13}$	Temel Tipi	0.80 - 0.90 (Tekil temel)	0.95 (Sürekli temel)	1.00
$f_{14}$	Temel Derinliği	0.90 (1m'den az)	0.95 (1 – 4m arası)	1.00 (4mden fazla)

(1)  $f_c$ , binanın MPa cinsinden beton kalitesidir.  
(2)  $I_x$ ,  $I_y$  değerleri, kritik kat kolonlarının ortalama boyutlarından elde edilen temsili kolonun atalet momenti,  $I_b$  değeri ise, yine kritik katta en çok tekrar eden kirişin atalet momentidir.  
(3)  $s$ , cm cinsinden sarılma bölgesindeki etriye aralığıdır.

### 3.4.5. $P_2$ - kısa kolon puanı

Kısa kolonlar, buldukları katlarda diğer kolonlara nazaran gerçekleşen deplasmanı daha kısa bir mesafede gerçekleştirmeye zorlanırlar ve boylarının diğer kolonlara nazaran daha kısa olması hasebiyle daha rijit davranış sergilerler (Şekil 3.6. Kısa kolon durumu). Bu durum gevrek bir kırılma şekli olan kesme kırılması sebebiyle yapıda büyük hasarların meydana gelmesine veya yapının tamamen göçmesine neden olur. Bu kısımda, yapıda yer aldığı kattaki diğer kolonlardan daha kısa olan ve gevrek kayma kırılmalarına neden

olması beklenen yapı elemanları kastedilmektedir. Bu olumsuz durumu değerlendirmeye yansıtın P<sub>2</sub> puanının değeri Çizelge 3.7.'ten alınmaktadır.



Şekil 3.6. Kısa kolon durumu

Çizelge 3.7. Kısa kolon değerleri (Bal ve ark., 2007)

Kısa Kolonların Bulunma Oranı	Kısa Kolon boyu / Kat Yüksekliği			
	(0.75-1.00)h	(0.40-0.75)h	(0.15-0.40)h	(0.00-0.15)h
Az (%5 den az)	70	64	57	50
Bazı (%5 -%15)	60	50	44	37
Fazla (%15-%30)	50	40	30	24
Çok Fazla (%30 dan fazla)	40	30	20	10

### 3.4.6. P<sub>3</sub> - yumuşak kat ve zayıf kat puanı

Yapıların giriş katları diğer katlara nazaran farklı amaçlarla daha yüksek yapılmaktadır (Şekil 3.7.). Bu durum yapının rijitliğini olumsuz etkilemekte ve yapıda gerçekleşen deplasmanın belli bir katta yoğunlaşmasına neden olmaktadır (Ercan ve ark., 2016). Aynı zamanda geniş alanlar elde etmek için yanal rijitliğe büyük katkısı olan dolgu duvarlar kaldırılmakta veya hiç örülmemektedir. Bu nedenle yapının bu katları zayıf hale gelmekte ve yapıda meydana gelen hasarın merkezi konumuna

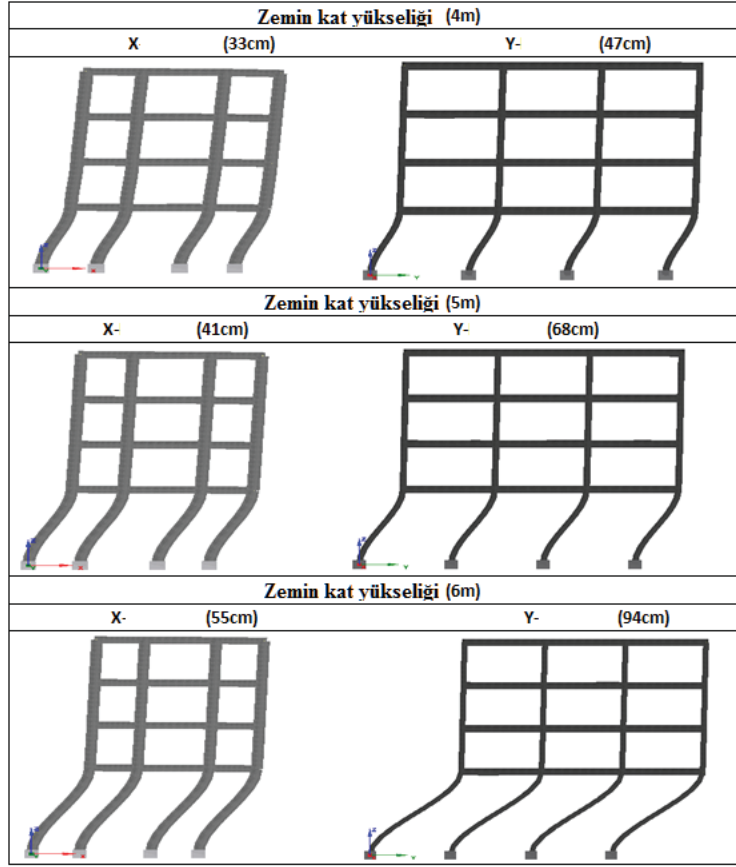
dönüşmektedirler (Bal ve ark., 2007). Yapıya ciddi hasarlar veren bu düzensizliği ifade eden  $P_3$  puanı Denklem (3.23) ile elde edilmektedir.

$$P_3 = 100[r_a r_r (h_{i+1} / h_i)^3]^{0.60} \quad (3.23)$$

Denklemden yer alan  $h_i$  ve  $h_{i+1}$  sırasıyla yapının kritik katının ve bir üst katın yüksekliğini temsil etmekte.  $P_3$  puanının değeri sıfır ile yüz arasındaki uygun bir değere dönüştürmek için ise 0.60 'ıncı kuvveti alınmıştır. Denklem (3.22), (3.24) ve (3.25) de verilen  $r_a$  ve  $r_r$  değerleri ise sırasıyla yapının kritik katının perde, kolon ve dolgu duvar efektif alanları ile efektif atalet momentlerinin bir üst katın efektif alanları ile efektif atalet momentlerine oranıdır. Her iki yön için ayrı ayrı hesaplanarak ortalama değerleri alınmaktadır. Denklem (3.24)'de yer alan  $A_{ef}$  değerleri X ve Y yönleri için sırasıyla Denklem (3.6) ve (3.7)'den elde edilmekte ve  $I_{ef}$  değerleri ise X ve Y yönleri için sırasıyla Denklem (3.12) ve (3.13) ile elde edilmektedir (Bal ve ark., 2007).

$$r_a = (A_{ef,i} / A_{ef,i+1}) \leq 1 \quad (3.24)$$

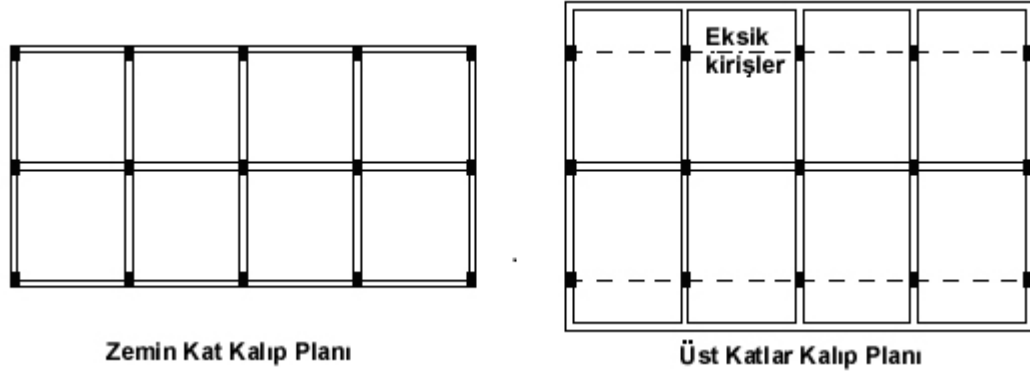
$$r_r = (I_{ef,i} / I_{ef,i+1}) \leq 1 \quad (3.25)$$



Şekil 3.7. farklı kat yüksekliğinin yapı davranışı üzerindeki etkisi (Ercan ve ark., 2016)

#### 3.4.7. P<sub>4</sub> - çıkmalar ve çerçeve süreksizliği puanı

Yapılarda yer alan ciddi çıkmalar yapıda deprem moment kolunun yapının üst katlarına doğru taşınmasına neden olmakta ve yapıda kütle düzensizliğine sebep olmaktadır. Aynı zamanda çıkmaların yapıldığı bölgelerde iç kısımda kalan dış kolonlar arasındaki kiriş aksları estetik sebeplerden mimarlar ve yapı sahipleri tarafından istenmemekte ve bu kiriş aksları yerinden kaydırılmaktadırlar. Dış kolonlar arasındaki kiriş akslarının kaydırılması yapıda çerçeve süreksizliğine neden olmaktadır (Şekil 3.8.). Bal ve Özdemir (2006) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda bu tür düzensizliklerin yapıda %4 ile %54 arasında değişen oranlarda dayanım kaybına neden olduğu tespit edilmiştir. Bu değerlendirme yöntemi kapsamında yapıda bulunan çıkmalar ve çerçeve süreksizliği Çizelge 3.8. ten alınmaktadır.



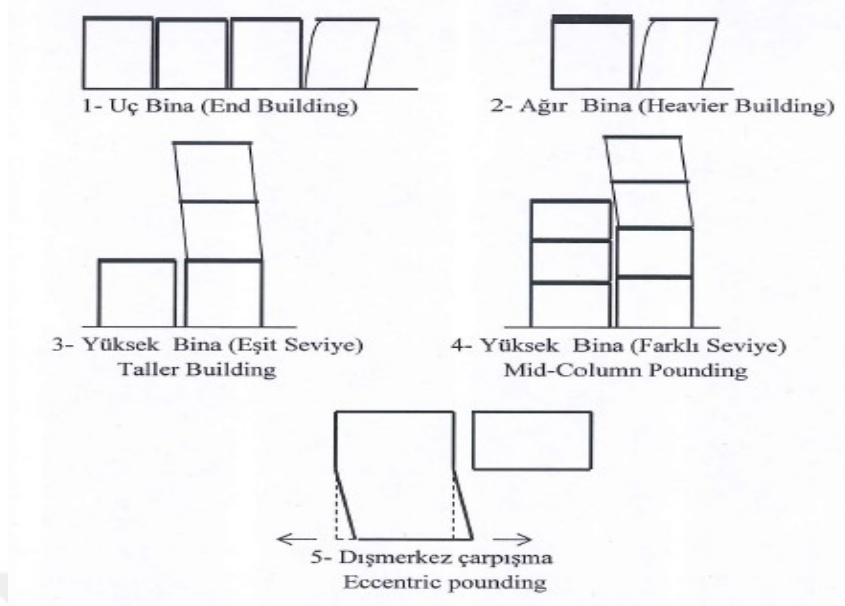
Şekil 3.8. Yapıda oluşturulan çıkmalar sonucu oluşan çerçeve süreksizliği (Bal ve Özdemir, 2006)

Çizelge 3.8. Çıkmalar ve çerçeve süreksizliği puanı (Bal ve ark., 2007)

Çerçeve Kirişleri	Çıkmanın Bulunma Oranı		
	Tek Cephe	İki Cephe	Üç-Dört Cephe
Var	90	80	70
Yok	70	60	50

### 3.4.8. P<sub>5</sub> - çarpışma puanı

Bitişik imal edilen yapılar çekiçleme etkisiyle hesaplarda dikkate alınmamış ek kuvvetlere maruz kalmaktadır. Bu durum özellikle bitişik sıraların uçlarında yer alan yapıların büyük hasar almasına sebep olmaktadır (Şekil 3.9.). Öte yandan bu durum bitişik nizam imal edilmiş yapıların ağırlıkları veya yüksekliklerinin farklı olması nedeniyle enerjinin korunması kanunu gereği, farklı periyotlara sahip bu yapılar üzerinde ciddi hasarlar meydana getirdiği tespit edilmiştir (Bal ve ark., 2007). Diğer bir olumsuz durum ise yapıların merkezi çarpışma durumlarıdır. Eğer bitişik imal edilmiş iki farklı yapının ağırlık merkezlerini birleştiren çizgi iki yapının çarpışma çizgisinin ortasından geçiyor ise söz konusu çarpışma merkezi çarpışmadır, şayet çarpışma çizgisinin ortasından geçmiyor ise dış merkezli çarpışma söz konusudur. Dış merkezli çarpışma durumunda, çarpışma esnasında uygulanan kuvvetler diğer yapının ağırlık merkezinin dışına uygulanarak ağırlık merkeziyle uygulanan kuvvet arasında bir kuvvet kolu oluşturduğundan yapıda ekstra burulma momentlerinin oluşmasına neden olarak çarpışma etkisini büyütmektedir.



Şekil 3.9. Bitişik nizamlı yapılarda çarpışma durumları (Kaya, 2017)

Bu olumsuz durumları dikkate alan  $P_5$  puanı Çizelge 3.9.'den alınmaktadır. Ayrık nizam imal edilen yapılarda  $P_5$  puanının değeri 100 alınmalıdır (Kaya, 2017; Yeşilçayır, 2021).

Çizelge 3.9.  $P_5$  Çarpışma puanı çizelgesi (Bal ve ark., 2007)

Çarpışma Türü	Merkezi Çarpışma		Dış Merkezli Çarpışma	
	Aynı Seviyede Döşeme	Farklı Seviyede Döşeme	Aynı seviyede Döşeme	Farklı Seviyede Döşeme
Birbirine bitişik binalarda uç bina	35	15	20	10
Bir bina diğerinden daha rijit ve/veya ağır	40	25	30	20
Alçak bina ile yüksek bina komşu	50	30	30	20
Binalar aynı yükseklikte	70	60	60	50

### 3.4.9. P<sub>6</sub> - sıvılaşma potansiyeli puanı

Yer altı su seviyesine bağlı olarak sıvılaşma puanı Çizelge 3.10.'da verilmiştir. Bu yöntemle hızlı değerlendirmeye geçmeden önce, değerlendirme bölgesiyle ilgili zemin özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Sıvılaşma potansiyeli Youd ve Idriss (2001), Tezcan (2004) ve benzeri çalışmalardan yararlanarak çeşitli zemin parametrelerine göre az, orta ve yüksek olarak tayin edilir. Sıvılaşma riski taşımayan zeminlerde sıvılaşma potansiyelini temsil eden P<sub>6</sub> puanı 100 alınmalıdır (Arslan, 2017; Bal ve ark., 2007; Hanbaba, 2019).

Çizelge 3.10. Sıvılaşma potansiyeli puanı (Bal ve ark., 2007)

Yeraltı Su Seviyesi	Hesaplanan Sıvılaşma Potansiyeli		
	Az	Orta	Yüksek
> 10 m	60	45	30
2.0 m – 10.0 m	45	33	20
< 2.0 m	30	20	10

### 3.4.10. P<sub>7</sub> – toprak hareketleri puanı

Toprak Hareketleri Puanının belirlenebilmesi için öncelikle; a) heyelan riski, b) zeminde büyük oturmalar, c) yanal dağılma durumu ve d) istinat duvarının göçmesi gibi durumların meydana gelme riskinin saptanan zemin parametrelerine göre belirlenmesi gerekir. Bahsi geçen durumlardan herhangi birinin tespit edilmesi durumunda P<sub>7</sub> puanı için yeraltı su seviyesine (YASS) bağlı olarak Çizelge 3.11.'den uygun değer alınmalıdır.

Çizelge 3.11. Toprak hareketleri puanı (Bal ve ark., 2007)

Zemin Sınıfı	YASS (m)	P <sub>7</sub> - Puanı
Z <sub>1</sub> , Z <sub>2</sub>	–	100
Z <sub>3</sub>	YASS ≤ 5.0	25
	YASS > 5.0	35
Z <sub>4</sub>	YASS ≤ 5.0	10
	YASS > 5.0	20

### 3.4.11. $\alpha$ – düzeltme çarpanı

Yapının göçmesini etkileyen farklı durumları temsil eden P<sub>i</sub> değerlerinin en küçüğü olan P<sub>min</sub> puanı, yapının bulunduğu yöreye ve yapının kendi özelliklerine bağlı hesaplanan  $\alpha$  – katsayısıyla kalibre edilmesi gerekmektedir.  $\alpha$  – katsayısı ; hareketli yük katsayısı n, deprem bölgesine göre belirlenen efektif ivme katsayısı A<sub>0</sub> , yapı önem katsayısı I ve topografik konum katsayısı t dikkate alınarak Denklem (3.26) ile elde edilmektedir.

$$\alpha = \left(\frac{1}{I}\right) \cdot (1.4 - A_0) \cdot \left(\frac{1}{0.4n + 0.88}\right) \cdot t \quad (3.26)$$

Denklem (3.26)'te topografik konum katsayısını temsil eden t katsayısının normal değeri t = 1'dir. Ancak, değerlendirilen yapının coğrafi konum olarak bir tepede yer alması durumunda t = 0.7 veya dik bir yamaçta yer alıyor olması durumunda t=0.85 alınmalıdır. Topografik konum katsayısı (t) özellikle 1985 Şili depreminin ardından, ABD Jeoloji Araştırmaları Kurumunun (USGS) Canal Beagle bölgesinde gerçekleşen artçı depremler dikkate alınarak yapılan ölçümler sonucunda elde edilen veriler değerlendirilerek elde edilmiştir.

Denklem (3.26)'de yer alan A<sub>0</sub> ise 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan (tekrarlanma periyodu 475 yıl) DD2 deprem düzeyi dikkate alınarak hesaplanan yapının yer aldığı zemine ait en büyük yer ivmesi değeri (PGA) değerini ifade etmektedir.

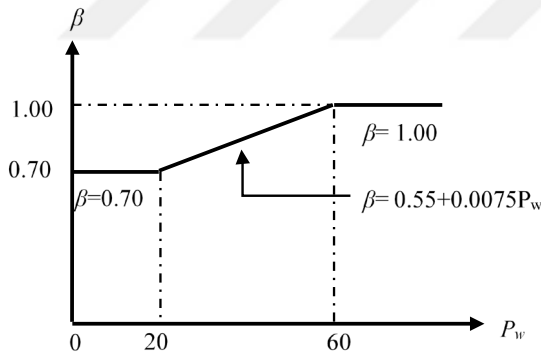
### 3.4.12. $\beta$ – düzeltme çarpanı

Yukarda saptanan  $P_{min}$  puanı  $w = 4$  katsayısı ile, diğer  $P_i$  puanları Çizelge 3.12.'de belirtilen katsayılarla çarpılarak Denklem (3.27) yardımı ile yapının ağırlıklı ortalama puanı olan  $P_w$  hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu  $P_w$  puanı kullanılarak Şekil 3.10. yardımıyla  $\beta$  düzeltme katsayısı elde edilmektedir. Böylece daha Önceden hesaplanmış olan  $P_i$  puanlarının ağırlıklı olarak birbiriyle etkileşimleri sonucu yapı performans puanı elde edilecektir.

$$P_w = \frac{\sum(w_i P_i)}{\sum w_i} \quad (3.27)$$

Çizelge 3.12.  $P_i$  puanlarının ağırlık oranı katsayıları (Bal ve ark., 2007)

Ağırlık Puanı	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$	$P_7$	$P_{min}$
$w$	4	1	3	2	1	3	2	4



Şekil 3.10.  $\beta$  – katsayısının değişimi

### 3.4.13. P - sonuç puanı

Yapının performans puanı olan P sonuç puanı yukarda elde edilen  $\alpha$  – katsayısı ile  $\beta$  düzeltme katsayısı kullanılarak Denklem (3.28) yardımıyla elde edilmektedir.

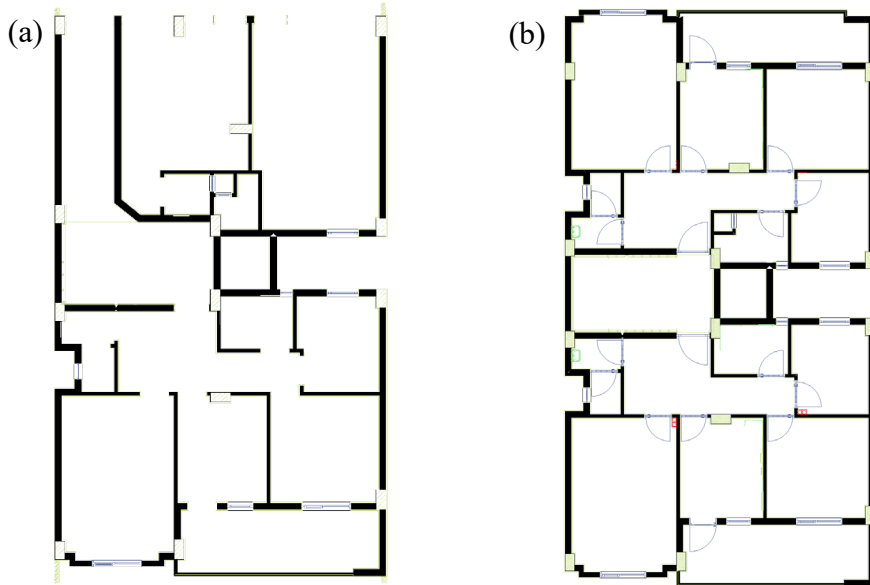
$$P = a\beta P_{min} \quad (3.28)$$

Burada Denklem (3.28) de yer alam  $P_{min}$  puanı daha önce hesaplanan yedi adet  $P_i$  puanından en küçük olanıdır.

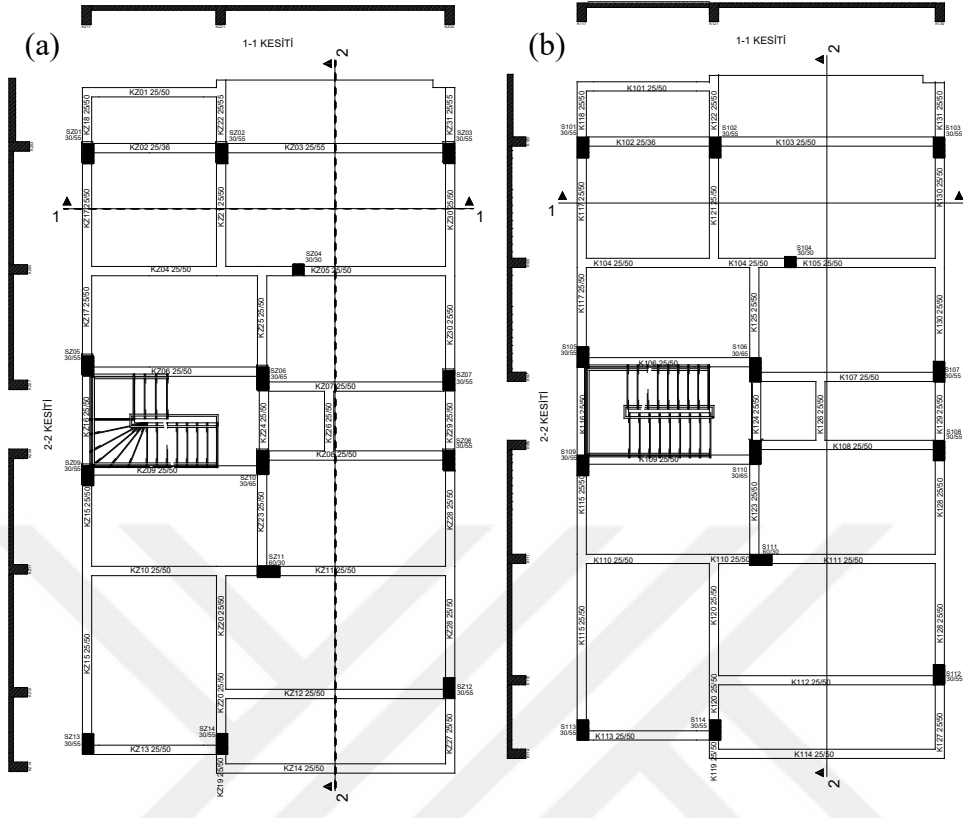
Bal ve ark. (2007), dikkate alınan bazı değerlerdeki belirsizlikler nedeniyle, riskli yapıları belirli bir sınır çizgisiyle ayırmaktansa, sonuç puanı itibarıyla 25 – 30 arası benzeri bir güvenlik şeridiyle ayırmanın daha uygun olduğunu belirtmektedir. Aynı zamanda incelenecek ve güçlendirilecek yapıların kapsamına gör bu güvenlik şeridi finansal imkanlar dahilinde genişletilip daraltılabilmektedir.

### 3.5. P 25 Hızlı Değerlendirme Yönteminin Örnek Projeye Uygulanması

Yapılacak çalışma kapsamında öncelikle yapıya ait bilgilerin derlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla Şekil 3.11.'de mimari planları verilen P1 projesinin bulunduğu konum ve gereken bilgiler derlenmiştir. Derlenen bu bilgiler yardımıyla yapının performans puanı Bölüm 3.4.'de belirtildiği şekilde aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.



Şekil 3.11. P1 projesine ait (a) zemin kat ve (b) 1. normal katın mimari planı



Şekil 3.12. P1 projesine ait (a) zemin kat ve (b) 1. normal katın statik planı

P1 projesine ait efektif alanın belirlenmesi için gerekli olan yapının X ve Y uzunluğu sırasıyla 10 m ve 18.6 m'dir. Yapıya ait bu değerler dikkate alınarak P1 projesinin efektif alanı Denklem (3.5) 186 m<sup>2</sup> olarak edilmiştir.

### 3.5.1. Örnek projeye ait enkesit alanı indeksi ve bileşkesinin belirlenmesi

Alan indeksinin hesabı için öncelikle kolon, perde, dolgu duvar enkesit alanları hesaplanmalıdır. Bu amaçla P1 projesi için kolon en kesit alanları yapılan hesaplar sonucunda belirlenerek Hassan yöntemine benzer şekilde Çizelge 3.13.'de verilmiştir. P1 projesi ait duvar en kesit alanları ise X ve Y yönleri için Çizelge 3.14.'te verilmiştir. İncelenen yapıda perde eleman bulunmadığından perde elemanların en kesit alanları toplamı ( $A_{sx}$  ve  $A_{sy}$ ) sıfır alınmıştır.

Çizelge 3.13. P1 projesine ait kolon en kesit alanları

X (m)	Y (m)	ADET	A <sub>c</sub> (m <sup>2</sup> )
0.3	0.55	10	1.65
0.6	0.30	1	0.18
0.3	0.30	1	0.09
0.3	0.65	2	0.39
Toplam		14	2.31

Çizelge 3.14. P1 projesine için X ve Y doğrultularında duvar en kesit alanları

	X DOĞRULTUSU					Y DOĞRULTUSU			
	X (m)	Y (m)	ADET	A <sub>wx</sub> (m <sup>2</sup> )		X (m)	Y (m)	ADET	A <sub>wy</sub> (m <sup>2</sup> )
	0.70	0.2	1	0.14		0.2	2.00	1	0.40
	0.80	0.2	1	0.16		0.2	5.50	1	1.10
	6.40	0.1	1	0.64		0.2	1.60	2	0.64
	4.80	0.1	1	0.48		0.2	5.50	1	1.10
	2.40	0.1	1	0.24		0.1	3.35	1	0.34
	1.20	0.1	1	0.12		0.1	4.45	1	0.45
	3.70	0.1	1	0.37		0.1	1.55	1	0.16
	1.30	0.1	1	0.13		0.1	1.25	1	0.13
	3.30	0.1	1	0.33		0.1	1.80	1	0.18
	4.70	0.1	1	0.47		0.1	1.80	1	0.18
	4.70	0.1	1	0.47		0.1	0.70	1	0.07
	2.54	0.1	1	0.25		0.1	1.25	1	0.13
	3.05	0.1	1	0.31		0.1	1.10	1	0.11
	Toplam		13	4.11		0.1	3.25	1	0.33
						0.2	5.90	1	1.18
						0.2	5.15	1	1.03
						0.2	2.40	1	0.48
						0.2	0.90	1	0.18
						0.2	1.15	1	0.23
						0.2	4.60	1	0.92
						Toplam		21	9.31

Yapının X ve Y doğrultularında hesaplanan perde ve dolgu duvar enkesit alanları için farklı değerler elde edildiğinden X ve Y yönlerinde ayrı ayrı hesap yapılmakta ve farklı enkesit alanı indeksi değerleri elde edilmektedir. Bu nedenle Denklem (3.6) ve (3.7) yardımıyla X ve Y yönleri için efektif alanı sonucu sırasıyla 2.926 ve 3.707 m<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir. Yapılan hesapta, dolgu duvarlarının elastisite modülünün beton için belirlenen elastisite modülüne oranını ifade eden  $E_m/E_c$  değeri boşluklu tuğla için

Çizelge 3.5.'den 0.15 olarak alınmıştır. Hesaplanan bu etkili alanlar Denklem (3.7) ve (3.8) içerisinde kullanılarak X ve Y yönleri için ayrı ayrı enkesit alanı indeksi değerleri sırasıyla 3146.24 ve 3986.02 olarak hesaplanmıştır. Bu iki farklı değerden küçüğü minimum büyüğü ise maksim değer olarak dikkate alınır. Bu minimum ve maksimum enkesit alanı indeksi değerleri kullanılarak enkesit alanı indeksi bileşkesi için ağırlıklı ortalama değer Denklem (3.11) yardımıyla ve  $\theta$  değerinin 30 derece alınması ile 3375.83 şeklinde bulunmuştur.

### 3.5.2. Örnek projeye ait atalet momenti indeksi ve bileşkesinin elde edilmesi

Atalet momenti indeksinin hesabı için öncelikle kolon, perde ve dolgu duvar atalet momentleri hesaplanmalıdır. Bu amaçla P1 projesi için kolonların atalet momentleri yapılan hesaplar sonucunda X ve Y yönlerinde ayrı ayrı belirlenerek Çizelge 3.15.'de verilmiştir. P1 projesine ait duvarların atalet momentleri ise aynı şekilde hem X hem de Y yönleri için ayrı ayrı hesaplanarak Çizelge 3.16.'da verilmiştir. İncelenen yapıda perde eleman bulunmadığı için perde elemanların atalet momentleri toplamı sıfır alınmıştır.

Çizelge 3.15. P1 projesine ait kolonların atalet momentleri

X (m)	Y (m)	ADET	$I_{cx}$ (m <sup>4</sup> )	$I_{cy}$ (m <sup>4</sup> )
0.3	0.55	10	0.012375	0.0415938
0.6	0.3	1	0.005400	0.0013500
0.3	0.3	1	0.000675	0.0006750
0.3	0.65	2	0.002925	0.0137313
Toplam		14	0.021375	0.0573500

Yapının X ve Y doğrultularında kolon, perde ve dolgu duvar atalet momentleri için farklı değerler elde edildiğinden X ve Y yönlerinde ayrı ayrı hesap yapılmakta ve farklı atalet momenti indeksi değerleri elde edilmektedir. Bu nedenle Denklem (3.12) ve (3.13) yardımıyla X ve Y yönleri için efektif atalet momenti ( $I_{ef,x}$  ve  $I_{ef,y}$ ) hesap sonuçları sırasıyla 0.9353634 ve 2.2584453 olarak bulunmuştur. Yapılan hesapta, dolgu duvarlarının elastisite modülünün beton için tespit edilen elastisite modülüne

oranını temsei eden  $E_m/E_c$  değeri boşluklu tuğla için Çizelge 3.5.'den 0.15 olarak alınmıştır.

Çizelge 3.16. P1 projesine için X ve Y doğrultularında duvar atalet momentleri

X DOĞRULTUSU	X (m)	Y (m)	ADET	$I_{wx}$ (m <sup>4</sup> )	Y DOĞRULTUSU	X (m)	Y (m)	ADET	$I_{wy}$ (m <sup>4</sup> )
		0.7	0.2	1		0.0057167		0.2	2
	0.8	0.2	1	0.0085333		0.2	5.5	1	2.7729167
	6.4	0.1	1	2.1845333		0.2	1.6	2	0.1365333
	4.8	0.1	1	0.9216000		0.2	5.5	1	2.7729167
	2.4	0.1	1	0.1152000		0.1	3.35	1	0.3132948
	1.2	0.1	1	0.0144000		0.1	4.45	1	0.7343427
	3.7	0.1	1	0.4221083		0.1	1.55	1	0.0310323
	1.3	0.1	1	0.0183083		0.1	1.25	1	0.0162760
	3.3	0.1	1	0.2994750		0.1	1.8	1	0.048600
	4.7	0.1	1	0.8651917		0.1	1.8	1	0.048600
	4.7	0.1	1	0.8651917		0.1	0.7	1	0.0028583
	2.54	0.1	1	0.1365589		0.1	1.25	1	0.0162760
	3.05	0.1	1	0.2364385		0.1	1.1	1	0.0110917
	Toplam		13	6.0932557		0.1	3.25	1	0.2860677
						0.2	5.9	1	3.4229833
						0.2	5.15	1	2.2765146
						0.2	2.4	1	0.2304000
						0.2	0.9	1	0.0121500
						0.2	1.15	1	0.0253479
						0.2	4.6	1	1.6222667
						Toplam		21	14.9138020

Yapının taban alanı atalet momenti Şekil 3.4.'de belirtildiği şekilde yerleştirildiği kartezyen düzlemde kenarları a ve b olan dikdörtgenden yararlanarak Denklem (3.14) ve (3.15)'de gösterildiği gibi hesaplanır. Taban alanı atalet momenti değerleri  $I_x$  ve  $I_y$  sırasıyla 1550 ve 5362.38 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan etkili atalet momenti değerleri ve taban alanı atalet momenti değerleri Denklem (3.16) ve (3.17)'de yerlerine konularak yapının atalet momenti indeksleri X ve Y yönleri için 45410.86 ve 42259.115 olarak bulunmuştur. Bu farklı değerlerin küçüğü minimum büyüğü ise maksim değer olarak dikkate alınır (Denklem (3.18)) ve bu değerler kullanılarak atalet momenti indeksi bileşkesi için ağırlıklı ortalama değer Denklem

(3.19) ve  $\theta$  değerinin 30 derece alınması ile hesaplanarak bu bina için 43068.68 elde edilmiştir.

### 3.5.3. Örnek projeye ait taşıyıcı sistem puanının ( $P_0$ ) belirlenmesi

Yapının  $P_0$  puanının belirlenmesi için öncelikle binanın toplam yüksekliğine bağlı olarak elde edilen  $h_0$  katsayısının hesaplanması gerekmektedir. Bu amaçla yapının mimari ve statik projelerinden yararlanarak toplam yapı yüksekliği  $H = 9.7$  m olarak tespit edilmiş ve yapının  $h_0$  değeri Denklem (3.20) yardımıyla 314.266 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu  $h_0$  değerine bağlı olarak ve daha önce hesaplanan enkesit alanı endeksi bileşkesi ( $C_A$ ) ve atalet momenti endeksi bileşkesi ( $C_I$ ) kullanılarak Denklem (3.20) yardımıyla  $P_0$  değeri 147.7873 olarak bulunmuştur.

### 3.5.4. Örnek projeye ait temel yapısal puanının ( $P_1$ ) belirlenmesi

Yapının temel yapısal puanının belirlenmesi amacıyla öncelikle Çizelge 3.6.'de belirtildiği şekilde yapının düzensizlik katsayılarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla Çizelge 3.6.'den yararlanılarak belirlenen yapısal düzensizlik katsayıları Çizelge 3.17.'de verilmiştir.

Yapıların projelerine uygun olarak imal edildiği varsayıldığından, Çizelge 3.17.'de yer alan ve yapının beton kalitesini temsil eden  $f_9$  puanının tespiti için gerekli olan beton dayanımı değeri ( $f_c$ ) P1 binası için statik projesinden alınmıştır.

Yapının zayıf kolon – kuvvetli kiriş katsayısını temsil eden  $f_{10}$  katsayısını belirlenmek için öncelikle X ve Y yönlerinde kolon ve kirişlerin ortalama boyutlarına göre atalet momentlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu amaçla Çizelge 3.15.'de görüldüğü üzere kolonların çoğunu oluşturan ve boyutları x ve y yönlerinde sırasıyla 0.3 m ve 0.55 m olan kolon elemanı için X ve Y yönlerinde ve projede yer alan kritik kattaki en çok tekrar eden ve ebatları  $b = 0.25$  m  $h = 0.5$  m olan kiriş elemanı için atalet momentleri sırasıyla 0.0012375, 0.004159375, 0.002604167 olarak hesaplanmış ve hesaplanan bu atalet momenti değerlerine bağlı olarak  $f_{10}$  katsayısı 1.0362 olarak belirlenmiştir.

Bu düzensizlik katsayıları belirlendikten sonra, yapının temel yapısal puanı bölüm 3.5.3.'de elde edilen taşıyıcı sistem puanı ( $P_0$ ) ve Çizelge 3.17.'de verilen düzensizlik katsayıları dikkate alınarak Denklem (3.22) yardımıyla  $P_1$  puanı 78.2188 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.17. P1 binası için yapısal düzensizlik katsayıları

Katsayı	Tanım	Risk Seviyesi		
		Yüksek	Az	Yok
$f_1$	Burulma Düzensizliği	-	0.95	-
$f_2$	Döşeme Süreksizliği	-	0.95	-
$f_3$	Düşey Doğrultuda Süreksizlik	-	-	1.00
$f_4$	Kütle Düzensizliği	-	-	1.00
$f_5$	Korozyon Mevcudiyeti	-	0.95	-
$f_6$	Ağır Cephe Elemanları	-	0.95	-
$f_7$	Asma Kat Mevcudiyeti ( $\gamma$ =Asma kat / Kat alanı)	-	-	1.00 $\gamma = 0$
$f_8$	Katlarda Seviye Farkı veya Kısmi Bodrum	0.80	-	-
$f_9$	Beton Kalitesi <sup>(1)</sup>	$f_9 = (20 / 20)^{0.5} = 1$		
$f_{10}$	Zayıf Kolon-Kuvvetli Kiriş <sup>(2)</sup>	$f_{10} = 1 \leq 1.0$		
$f_{11}$	Etriye Sıklığı <sup>(3)</sup>	$f_{11} = 0.60 \leq (10 / 10)^{0.25} = 1 \leq 1.0$		
$f_{12}$	Zemin Sınıfı	-	0.95 (ZC için)	-
$f_{13}$	Temel Tipi	-	0.95 (Sürekli temel)	-
$f_{14}$	Temel Derinliği	0.90 (1m'den az)	-	-

<sup>(1)</sup>  $f_c$ , binanın MPa cinsinden beton kalitesidir.  
<sup>(2)</sup>  $I_x$ ,  $I_y$  değerleri, kritik kat kolonlarının ortalama boyutlarından elde edilen temsili kolonun atalet momenti,  $I_b$  değeri ise, yine kritik katta en çok tekrar eden kirişin atalet momentidir.  
<sup>(3)</sup>  $s$ , cm cinsinden sarılma bölgesindeki etriye aralığıdır.

### 3.5.5. Örnek projeye ait kısa kolon puanının ( $P_2$ ) belirlenmesi

Kısa kolonlar buldukları Yapı elemanlarında ani göçmelerin meydana gelmesine sebep olan kesmede göçmelere zemin teşkil etmesi nedeniyle yapılarda büyük hasarlara neden olmaktadır. Bu nedenle yapıların performanslarının belirlenmesinde dikkate alınması önem arz etmektedir. P25 yönteminde kısa kolon etkisi Çizelge 3.7. yardımıyla belirlenmekte ve yapının performans puanının tespit edilmesinde dikkate alınmaktadır. Bu nedenle yapılan çalışmada P1 binasında kısa kolon etkisi Çizelge 3.7. yardımıyla belirlenerek  $P_2 = 70$  olarak elde edilmiştir.

### 3.5.6. Örnek projeye ait yumuşak kat ve zayıf kat puanının ( $P_3$ ) belirlenmesi

Yapının yumuşak Kat ve Zayıf kat puanının belirlenmesi amacıyla öncelikle kritik katın perde, kolon ve dolgu duvar efektif alanları ile efektif atalet momentlerinin bir üst katın efektif alanları ile efektif atalet momentlerine oranına bağlı olarak hesaplanan  $r_a$  ve  $r_r$  değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Kritik kata ait efektif alanlar ile efektif atalet momentleri yukarıda elde edilmiştir. Kritik katın bir üstündeki kata ait efektif alanlar ile efektif atalet momentleri ise aşağıda belirtildiği gibi elde edilmektedir.

Kritik katın bir üstündeki kata ait efektif alan hesabı için öncelikle kolon, perde, dolgu duvar enkesit alanları hesaplanmalıdır. Bu amaçla kritik katın bir üstündeki kat için kolon en kesit alanları yapılan hesaplar sonucunda belirlenerek Çizelge 3.18.'de verilmiştir ve kritik kata ait duvar en kesit alanlar ise X ve Y yönleri için Çizelge 3.19.'de verilmiştir. İncelenen yapıda perde eleman bulunmadığından perde elemanların en kesit alanları toplamı sıfır alınmıştır.

Çizelge 3.18. Kritik katın bir üstündeki kat için kolon en kesit alanları

X (m)	Y (m)	ADET	Alan (m <sup>2</sup> )
0.3	0.55	10	1.65
0.6	0.3	1	0.18
0.3	0.3	1	0.09
0.3	0.65	2	0.39
Toplam		14	2.31

Çizelge 3.19. Kritik katın bir üstündeki kat için X ve Y doğrultularında duvar en kesit alanları

X DOĞRULTUSU	X (m)	Y (m)	ADET	Alan (m <sup>2</sup> )	Y DOĞRULTUSU	X (m)	Y (m)	ADET	Alan (m <sup>2</sup> )
		3.6	0.1	1		0.36		0.2	1.5
	5.9	0.1	1	0.59		0.2	5.5	2	2.2
	5.3	0.1	1	0.53		0.2	2	1	0.4
	4	0.1	1	0.4		0.2	4.6	1	0.92
	2.9	0.1	1	0.29		0.2	0.9	2	0.36
	4.4	0.1	2	0.88		0.2	2.4	1	0.48
	4.7	0.1	4	1.88		0.2	3.1	1	0.62
	0.9	0.2	2	0.36		0.1	3.5	2	0.7
	6.1	0.1	1	0.61		0.1	1.5	4	0.6
	3.3	0.1	1	0.33		0.1	2.9	1	0.29
	Toplam		15	6.23		0.1	1.9	2	0.38
						0.1	1.3	2	0.26
						0.1	1.5	2	0.3
						0.2	1.6	1	0.32
						0.1	4.5	1	0.45
								26	9.18

Kritik katın bir üstündeki kat için X ve Y doğrultularında hesaplanan perde ve dolgu duvar enkesit alanları için farklı değerler elde edildiğinden X ve Y yönlerinde ayrı ayrı hesap yapılmakta ve farklı efektif alan değerleri elde edilmektedir. Bu nedenle Denklem (3.6) ve (3.7) yardımıyla X ve Y yönleri için efektif alan hesabı yapılmış ve sırasıyla 3.245, 3.687 olarak elde edilmiştir.

Kritik kata ait efektif alanlar elde edildikten sonra kritik kata ait efektif atalet momentlerinin elde edilmesi için öncelikle kolon, perde, dolgu duvar atalet momentlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu amaçla kritik katın bir üstündeki kat için kolonların atalet momentleri yapılan hesaplar sonucunda X ve Y yönlerinde ayrı ayrı belirlenerek Çizelge 3.20.'de verilmiştir. Kritik katın bir üstündeki kata ait duvarların atalet momentleri ise aynı şekilde hem X hem de Y yönleri için ayrı ayrı hesaplanarak Çizelge 3.21.'de verilmiştir. İncelenen yapıda perde eleman bulunmadığından perde elemanların atalet momentleri toplamı sıfır alınmıştır.

Çizelge 3.20. Kritik katın bir üstündeki kata ait kolonların atalet momentleri

X (m)	Y (m)	ADET	Toplam ( $I_{cx}$ ) (m <sup>4</sup> )	Toplam ( $I_{cy}$ ) (m <sup>4</sup> )
0.3	0.55	10	0.012375	0.04159375
0.6	0.3	1	0.005400	0.00135000
0.3	0.3	1	0.000675	0.00067500
0.3	0.65	2	0.002925	0.01373125
Toplam		14	0.021375	0.05735000

Çizelge 3.21. Kritik katın bir üstündeki kat için X ve Y doğrultularında duvar atalet momentleri

X DOĞRULTUSU	X (m)	Y (m)	ADET	Toplam ( $I_{wx}$ ) (m <sup>4</sup> )	Y DOĞRULTUSU	X (m)	Y (m)	ADET	Toplam ( $I_{wy}$ ) (m <sup>4</sup> )
	3.6	0.1	1	0.3888000		0.2	1.5	3	0.1687500
5.9	0.1	1	1.7114917	0.2	5.5	2	5.5458333		
5.3	0.1	1	1.2406417	0.2	2	1	0.1333333		
4	0.1	1	0.5333333	0.2	4.6	1	1.6222667		
2.9	0.1	1	0.2032417	0.2	0.9	2	0.024300		
4.4	0.1	2	1.4197333	0.2	2.4	1	0.230400		
4.7	0.1	4	3.4607667	0.2	3.1	1	0.4965167		
0.9	0.2	2	0.0243000	0.1	3.5	2	0.7145833		
6.1	0.1	1	1.8915083	0.1	1.5	4	0.1125000		
3.3	0.1	1	0.2994750	0.1	2.9	1	0.2032417		
Toplam		15	11.1732917	0.1	1.9	2	0.1143167		
				0.1	1.3	2	0.0366167		
				0.1	1.5	2	0.0562500		
				0.2	1.6	1	0.0682667		
				0.1	4.5	1	0.7593750		
				Toplam		26	10.286550		

Kritik katın bir üstündeki katta X ve Y doğrultularında kolon, perde ve dolgu duvar atalet momentleri için farklı değerler elde edildiğinden X ve Y yönlerinde ayrı ayrı hesap yapılmakta ve farklı efektif atalet momenti değerleri elde edilmektedir. Bu nedenle Denklem (3.12) ve (3.13) yardımıyla X ve Y yönleri için efektif atalet momenti hesabı ve sırasıyla 1.697368751, 1.5643575 olarak elde edilmiştir.

Yukarıda belirtildiği şekilde kritik kat ve kritik katın üstündeki ilk kat için efektif alanları ile efektif atalet momentleri elde edildikten sonra bu değerler bağlı olarak

hesaplanan  $r_{ax}$ ,  $r_{ay}$ ,  $r_{rx}$  ve  $r_{ry}$  değerleri Denklem (3.24) ve (3.25) yardımıyla X ve Y yönlerinde ayrı ayrı hesaplanarak sırasıyla 0.901695, 1, 0.551067, 1 olarak tespit edilmiştir.

X ve Y yönlerinde ayrı ayrı hesaplanan  $r_{ax}$ ,  $r_{ay}$ ,  $r_{rx}$  ve  $r_{ry}$  değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak  $r_a$  ve  $r_r$  değerleri sırasıyla 0.950847, 0.775533 elde edilmiştir.

Yapının projelerinden alınan kritik kat yüksekliği olan  $h_i = 3.7$  m ve kritik katın bir üstündeki katın yüksekliği olan  $h_{i+1} = 3$  m ile elde edilen bu  $r_a$  ve  $r_r$  değerleri kullanılarak Denklem (3.23) yardımıyla yapının yumuşak kat ve zayıf kat puanı ( $P_3$ ) 57.106 olarak elde edilmiştir.

### 3.5.7. Örnek projeye ait çıkmalar ve çerçeve süreksizliği puanının ( $P_4$ ) belirlenmesi

Yapılarda yer alan ağır çıkmalar yapıda deprem moment kolunun üst katlara doğru taşınmasına neden olmakta ve yapıda kütle düzensizliğine sebep olmaktadır. Aynı zamanda çıkmaların yapıldığı bölgelerde iç kısımda kalan dış kolonlar arasındaki kiriş aksları estetik sebeplerden mimarlar ve yapı sahipleri tarafından istenmemekte ve bu kiriş aksları yerinden kaydırılmaktadırlar. Dış kolonlar arasındaki kiriş akslarının kaydırılması yapıda çerçeve süreksizliğine neden olmaktadır. Bu iki düzensizlik yapının deprem davranışını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle P25 yönteminde çıkmaların bulunma durumu ve miktarına göre bu düzensizliklerin yapının performansı üzerindeki etkileri Çizelge 3.8. yardımıyla dikkate alınmaktadır. Söz konusu P1 yapısının çerçeve kirişlerinin bulunması ve iki cephede birden çıkma olması dikkate alındığında Çizelge 3.8. yardımıyla çıkmalar ve çerçeve süreksizliği puanı  $P_4 = 80$  olarak elde edilmektedir.

### 3.5.8. Yapının çarpışma puanının ( $P_5$ ) belirlenmesi

Bitişik imal edilen yapılar çekiçleme etkisiyle hesaplarda dikkate alınmamış ek kuvvetlere maruz kalmaktadır. Bu nedenle yapılacak değerlendirilmelerde yapının performansı üzerindeki etkisi P25 yönteminde Çizelge 3.9. yardımıyla dikkate

alınmaktadır. Yapı bulunduğu konum ve imar durumu nedeniyle çevresinde bulunan binalarla aynı seviyede ve bitişik nizam imal edilmiştir. Bu değerler dikkate alınarak Çizelge 3.9. yardımıyla yapının çarpışma Puanı  $P_5 = 50$  olarak tespit edilmiştir.

### 3.5.9. Örnek projeye ait sıvılaşma potansiyeli puanının ( $P_6$ ) belirlenmesi

Sıvılaşma yapının zemininde büyük deformasyonlar, farklı oturmalara hatta yapının temelinden toptan göçmesine neden olan büyük hasarlara sebebiyet vermektedir. Bu nedenle yapının performansının belirlenmesinde yapı zemininin sıvılaşma riskinin dikkate alınması önem arz etmektedir ve P25 yönteminde yapının sıvılaşma potansiyeli Çizelge 3.10. ile dikkate alınmaktadır. Bu doğrultuda P1 yapısının yer aldığı zeminde sıvılaşma riski bulunmaması nedeniyle Bölüm 3.4.10'da belirtildiği üzere yapının Sıvılaşma Potansiyeli Puanı  $P_6 = 100$  alınmıştır.

### 3.5.10. Örnek projeye ait toprak hareketleri puanının ( $P_7$ ) belirlenmesi

Yapının toprak hareketleri puanının belirlenebilmesi için öncelikle; a) heyelan riski, b) zeminde büyük oturmaların olması durumu, c) yanal dağılma durumu ve d) istinat duvarının göçmesi gibi durumların meydana gelme riskinin yapının zemin durumuna göre belirlenmesi gerekir. P1 yapısı için bu riskler Söz konusu olmadığından toprak hareketleri puanı  $P_7 = 100$  alınmıştır.

### 3.5.11. Yapının $\alpha$ – düzeltme çarpanının elde edilmesi

Yapının göçmesini etkileyen farklı durumları temsil eden  $P_i$  değerlerinin en küçüğü olan  $P_{\min}$  puanı, yapının bulunduğu yöreye ve yapının kendi özelliklerine bağlı olarak hesaplanan  $\alpha$  – katsayısıyla kalibre edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle gerekli olan parametreler belirlenerek  $\alpha$  – katsayısı elde edilmelidir. P1 yapısı konut olarak imal edilmiş olması nedeniyle TBDY (2018) doğrultusunda bina önem katsayısı  $I = 1$  ve Çizelge 3.27.'te belirtildiği üzere hareketli yük çarpanı  $n = 0.30$  alınmıştır. Diğer yandan deprem bölgesine göre belirlenen efektif ivme katsayısı  $A_0$ 'ın en büyük yer ivmesine (PGA) eşit alınmasından dolayı, yapının AFAD (2018) interaktif deprem tehlike haritasından alınan sismik tehlike hartası raporunda yer alan en büyük yer

ivmesi  $PGA = 0.113$  olarak elde edilmiştir.  $\alpha$  – katsayısının belirlenmesi amacıyla gerekli olan topografik konum katsayısı ( $t$ ) ise Bölüm 3.4.12’de belirtildiği üzere topografik konum katsayısının normal değeri olan  $t = 1$  olarak dikkate alınmıştır. Gerekli olan parametreler elde edildikten sonra, yapının  $\alpha$  – düzeltme katsayısı Denklem (3.26) yardımıyla 1.287 olarak hesaplanmıştır.

### 3.5.12. Örnek projeye ait $\beta$ – düzeltme çarpanının elde edilmesi

Yukarda hesaplanan  $P_{min}$  puanı ile diğer  $P_i$  puanları Çizelge 3.22.’da belirtilen katsayılarla çarpılarak Denklem (3.27) yardımı ile yapının ağırlıklı ortalama puanı olan  $P_w$  73.21 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu  $P_w$  puanı kullanılarak Şekil 3.10. yardımıyla yapının  $\beta$  düzeltme katsayısı  $\beta = 1$  olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu  $\beta$  düzeltme katsayısı ile yapıya ait daha önceden belirlenen  $P_i$  puanlarının ağırlıklı olarak birbiriyle etkileşimlerinin, yapı performans puanı üzerindeki etkisi sonuç puanına yansıtılmaktadır.

Çizelge 3.22. P1 yapısına ait  $P_i$  puanlarına ait ağırlık oranı katsayıları ve çarpımları

Ağırlık Puanı	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$	$P_7$	$P_{min}$	Toplam
$P_i$	78.22	70	57.11	80	50	100	100	50	
$w_i$	4	1	3	2	1	3	2	4	20
$P_i*w_i$	312.88	70	171.33	160	50	300	200	200	1464.21

### 3.5.13. Örnek projeye ait performans puanının (P25) elde edilmesi

Yapının performans puanı yukarda elde edilen  $\alpha$  – katsayısı ile  $\beta$  düzeltme katsayısı kullanılarak Denklem (3.28) yardımıyla 64.35 olarak elde edilmiştir.

Yapılan benzer çalışmalar sonucunda diğer yapılarında performans puanları belirlenerek araştırma ve bulgular kısmında sunulmuştur.

### 3.6. TBDY-2018'e Göre Mevcut Yapıların Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri ile Performans Analizi

#### 3.6.1. Giriş

TBDY (2018) mevcut veya yeni yapılacak yapıların performansını belirlemek amacıyla birçok analiz yöntemini yapı sisteminin belli koşulların sağlanması durumunda kabul edilmektedir. Bu analiz yöntemleri temelde yapının davranışına dayanan doğrusal yöntemler ve doğrusal olmayan yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğrusal analiz yöntemleri, kullanılan malzemenin yapıdan gelen yükler altında gerilme – şekil değiştirme eğrisi göz önüne alındığında gelen kuvveti plastik şekil değiştirme bölgesine geçmeden elastik şekil değiştirme bölgesi içerisinde karşılandığını göz önünde bulundurarak hesaplarını malzemelerin doğrusal şekil değiştirme davranışına göre gerçekleştirmektedir. Bu yöntemlerde malzemenin gerilme – şekil değiştirme davranışı elastik şekil değiştirme bölgesinde kaldığı varsayıldığından yapıda gerçekleşen şekil değiştirmelerin çok küçük olduğu kabul edilmektedir. Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinde ise yapıdan gelen yüklerin, taşıyıcı elemanların malzemeleri üzerinde elastik şekil değiştirme sınırları içerisinde karşılaya bileceği gerilme değerlerinden daha büyük gerilmeler meydana getirdiğinden yapı elemanlarında plastik şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Bu plastik şekil değiştirmeler yapı elemanlarının süneklik kapasitelerine bağlı olarak doğrusal şekil değiştirmelere kıyasla oldukça büyük değerler alabilmektedir. Malzemelerin doğrusal ötesi davranışını ve performansını da dikkate alan bu yöntemler, doğrusal yöntemlere kıyasla yapı sistemlerinin farklı kuvvetler altındaki davranışını daha gerçekçi bir şekilde ifade etmektedir. Öte yandan yapı malzemelerinin doğrusal olmayan davranışının karmaşıklığı ve doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin zahmetli olması ve daha çok zaman gerektirmesi bu yöntemleri zaman ve işlem yükü yönünde dezavantajlı kılmaktadır. Ancak, son zamanlarda bilgisayar teknolojisinin gelişmesi işlem kapasitesi ve hızının artması doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin tercih edilmesini ve şartnameler ile teşvik edilmesini sağlamıştır. Günümüzde kullanımının yaygınlık kazandığı bu doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile mevcut yapıların performansları irdelenmekte ve yeni imal edilecek yapıların günümüz şartnamelerine göre performanslarının yeterliliği

değerlendirilmektedir. Sonraki alt bölümlerde bu çalışma kapsamında kullanılan statik itme analizi detaylı olarak anlatılmıştır.

### 3.6.2. Yapının spektral ivme-spektral deplasman eğrisinin belirlenmesi

Bu kapsamda öncelikle değerlendirilecek yapının, hedef performans düzeyine karar verilmelidir. Yapının performans düzeyi tayin edildikten sonra yapının maruz kalacağı deprem düzeyi belirlenmeli ve deprem etkisi bu performans hedeflerine bağlı olarak tayin edilmelidir. Yapının maruz kalacağı deprem etkisi belirlendikten sonra elastik spektrum eğrisinden yararlanılarak sabit tek modlu itme analizi ile yapılacak hesaplar için gerekli olan talep eğrisi elde edilebilmektedir. Fakat söz konusu elastik spektrum eğrisinin eksenlerini spektral ivme ( $S_a$ ) ve periyot değerleri oluşturur iken, talep eğrisinin eksenleri spektral yer değiştirme ( $S_d$ ) ve spektral ivme ( $S_a$ ) değerlerinden meydana gelmektedir. Dolayısıyla bu değerlendirmenin yapılabilmesi için Denklem (3.29)'den yararlanılarak yapının elastik talep spektrumunda eksenlerin dönüştürülmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu dönüşümün uygulanması durumunda bu iki değer arasında değerlendirme yapmak mümkün olmaktadır.

$$s_d = \frac{T^2}{4\pi^2} g S_a \quad (3.29)$$

#### 3.6.2.1. Yapı hedef performansının tespit edilmesi

TBDY (2018) bina türü yapıların performanslarının değerlendirilmesi için sınırlı hasar performans düzeyi (SH), kontrollü hasar performans düzeyi (KH) ve göçmenin önlenmesi performans düzeyi (GÖ) adı altında üç farklı düzeyi ön görmektedir. Bu kapsamda mevcut yapıların hangi performans düzeyine göre değerlendirileceği, buldukları deprem tasarım sınıfı ve değerlendirmeye esas deprem yer hareketi düzeyine bağlı olarak Çizelge 3.23.'te verilmiştir. Çizelge 3.23.'te görüldüğü üzere TBDY (2018) mevcut yapıların performansının şekil değiştirmeye göre belirlenmesini zorunlu kılmıştır.

Çizelge 3.23. TBDY (2018)'de mevcut yerinde dökme betonarme, çelik ve ön üretimli bina türü yapılar için hedef performans düzeyleri ve değerlendirme yaklaşımları

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme / Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme / Tasarım Yaklaşımı
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	ŞGDT	—	—
DD-1	—	—	KH	ŞGDT

### 3.6.2.2. Yapının yer aldığı deprem tasarım sınıfına göre deprem etkisinin belirlenmesi

TBDY (2018) mevcut ve yeni yapılacak yapıların maruz kalacakları depremlerin 50 yıllık dönüş periyodu içerisinde gerçekleşme ihtimallerine göre dört farklı düzeye ayırmaktadır. Bu düzeyler;

Deprem yer hareketi düzeyi-1 (DD-1): Spektral büyüklüğünün 50 yıl içerisinde aşılma ihtimali %2 olan ve tekrarlanma sıklığının 2475 yıla tekabül ettiği çok seyrek gerçekleşen büyük yer hareketlerini temsil etmektedir. Bu deprem yer hareketi, bölgede gerçekleşmesi göz önünde bulundurulmuş en büyük depremlere karşılık gelmektedir.

Deprem yer hareketi düzeyi-2 (DD-2): Spektral büyüklüğünün 50 yıl içerisinde aşılma ihtimali %10 olan ve tekrarlanma sıklığının 475 yıla tekabül ettiği seyrek gerçekleşen büyük yer hareketlerini temsil etmektedir. TBDY-2018'de yapıları tasarımı için referans alınan yer hareketi düzeyi olduğundan, standart tasarım depremi olarak da bilinmektedir.

Deprem yer hareketi düzeyi-3 (DD-3): Spektral büyüklüğünün 50 yıl içerisinde aşılma ihtimali %50 olan ve tekrarlanma sıklığının 72 yıla tekabül ettiği sık gerçekleşen yer hareketlerini temsil etmektedir.

Deprem yer hareketi düzeyi-4 (DD-4): Spektral büyüklüğünün 50 yıl içerisinde aşılma ihtimali %68 olduğu ve tekrarlanma sıklığının 43 yıla tekabül ettiği çok sık gerçekleşen yer hareketlerini temsil etmektedir. Kullanım ömrü boyunca neredeyse her yapının maruz kaldığı bu sık depremler aynı zamanda yapının servis deprem yer hareketini ifade edilmektedir.

Bölüm 3.6.2.1.'de yer alan Çizelge 3.23.'da görüldüğü üzere yapının yer aldığı deprem tasarım sınıfına bağlı olarak, yapının performans değerlendirmesinin hangi deprem yer hareketi düzeyine göre yapılacağına karar verilmektedir. Sabit tek modlu itme analizinde belirlenen bu deprem etkisine bağlı olarak yapının performans düzeyinde meydana gelen talep, elastik ivme spektrumuna Denklem (3.29) uygulanıp eksen dönüşümü yapılarak elde edilmektedir.

### **3.6.3. Yapının kapasite eğrisinin elde edilmesi**

Mevcut bir yapının kapasite eğrisinin elde edilmesi için öncelikle yapıda kullanılan malzemelerin özelliklerinin bilinmesi ve yapı hakkında sahip olunan verilere göre yapının bilgi düzeyinin belirlenmesi gerekmektedir. Daha sonra mevcut bilgi düzeyine göre yapının kesit özellikleri belirlenerek yapının nümerik modeli oluşturulmalıdır. Oluşturulan bu nümerik modelde yer alan yapı elemanlarının malzemeleri ve kesit özelliklerine göre plastik mafsallık özellikleri belirlenerek yapı elemanlarına tanımlanmalıdır. Kesit özellikleri belirlenerek plastik mafsalları tanımlanmış olan bu nümerik modelin doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilerek kapasite eğrisi elde edilmektedir.

#### **3.6.3.1. Yapının bilgi düzeyi ve malzeme özelliklerinin belirlenmesi**

TBDY (2018), betonarme yapıların performanslarının belirlenmesi amacıyla yapılacak değerlendirme/tasarımlarda yapı hakkında sahip olunan bilgiler bakımından yapıları iki farklı bilgi düzeyine ayırarak değerlendirmesini yapmaktadır. Bu kapsamda, tasarlanacak veya değerlendirilecek yapının geometrisine ait (mimari ve statik projelerinin varlığı, yapıların projelere uygunluğu) elde bulunan veriler, malzeme dayanımları hakkında edinilen bilgiler ve yapı elemanlarının geometrisi ve

detaylarının bilgi durumlarına göre yapıların bilgi düzeyine karar verilmektedir. Bu nedenle yeni imal edilecek yapıların projelerine uygun imal edileceği varsayılmakta ve kullanılacak malzemelerin beklenen ortalama değerleri hesaplarda dikkate alınarak betonarme yapı elemanlarının kapasiteleri malzemelerin beklenen dayanımları dikkate alınarak belirlendiğinden, kapsamlı bilgi düzeyinde değerlendirilmekte ve bilgi düzeyi katsayıları 1 alınmaktadır.

TBDY (2018)'de mevcut yapıların bilgi düzeyi ise bina geometrisi (rölöve çalışmaları ile bina geometrisi elde edilerek varsa projelerine uygunluğunun kontrol edilmesi), yapı elemanlarının detayları ve malzeme özelliklerine göre sınırlı ve kapsamlı bilgi düzeyi olarak iki grupta incelenir.

Sınırlı bilgi düzeyine sadece bina kullanım sınıfı üç olan yapılarda izin verilir. Bu bilgi düzeyinde, saha çalışmaları yapılarak binanın taşıyıcı sisteminin plan rölevesi elde edilir. Şayet mimari projeler mevcut ise binanın rölevesi çıkarılırken bu projelerden yararlanır. Röleve çalışmasında binanın her katı için tüm betonarme elemanların ve bölme duvarlarının yerleri, boyutları, yükseklikleri, eksen açıklıkları ve malzemelerine ait (en az binanın hesap modelinin oluşturulmasına yetecek) bilgiler elde edilmelidir. Binada kısa kolon benzeri olumsuz durumlar tespit edilmeli ve binanın diğer binalar ile münasebeti (ayrık, bitişik, derz var/yok) belirlenmelidir. Ayrıca binanın içinde yada dışında uygun sayıda inceleme çukuru açılarak yapının temel sistemi tespit edilmelidir.

Sınırlı bilgi düzeyinde tüm betonarme elemanların yapının imal edildiği tarihte yürürlükte bulunan şartnamelerin ön gördüğü minimum donatı koşuluna ve detaylandırmasına uygun imal edildiği varsayılmaktadır. Ancak Söz konusu varsayımın hangi oranda gerçekleştiğinin tespit edilmesi amacıyla kolonların ve perdelerin birer adetten az olmamak üzere her katta donatı tespiti için en az %5 'inin beton örtüsü sıyırılmalıdır. Aynı zamanda her katta birer adet kirişin beton örtüsü sıyırılarak donatı tespiti yapılmalıdır. Bu sıyırma işlemi kolon ve kirişlerde yapı elemanının açıklık ortasındaki 1/3'lük kısmında gerçekleştirilmelidir. İnceleme tamamlandıktan sonra, sıyırma işlemi uygulanan kısımlar yüksek dayanımlı tamir harçları ile kapatılmalıdır. Aynı zamanda sıyırılma işlemine tabi tutulmamış kolon ve

perdelerin %20'sinde donatı tespit cihazlarıyla enine ve boyuna donatıların yerleşimi ve sayıları tespit edilmelidir. Donatı tespit cihazları ve sıyırma işlemiyle kolon ve perdelerde tespit edilen mevcut donatı miktarının, elemanın minimum donatısına oranı olan donatı gerçekleşme katsayısı belirlenerek donatı tespiti yapılmamış diğer tüm kolon ve perdelerine uygulanmalı ve muhtemel donatı miktarları tespit edilmelidir. Kolon ve perdelerin kapasitelerinin tespitinde kullanılan donatı gerçekleşme katsayısı 1'den büyük alınmaz. Kirişler için ise, sadece düşey tasarım yükleri altında gereken donatı kullanılmalıdır.

Binanın her katında kolon veya perdelerden TS EN 12504-1'de yer alan koşullara uygun biçimde üç veya daha fazla beton örnekleri alınarak deney yapılmalıdır. Eğer deneye tabi tutulan karot numunesinin hem anma çapı hem de uzunluğu 100 mm'ye eşit ise, deney sonucunda elde edilen değer hiçbir katsayıyla çarpılmaksızın mevcut beton dayanımının belirlenmesinde kullanılabilir. Çapı veya uzunluğu farklı olan karotların deneye tabi tutulması durumunda, elde edilen sonuçlar uygun dönüştürme katsayıları ile çarpılarak kullanılmalıdır. Deneye tabi tutulan toplam karot sayısı üç ise farklı herhangi bir hesap yapılmaksızın, basınç dayanımı en küçük olan numunenin deney sonucu mevcut beton dayanımı olarak dikkate alınır. Eğer üçten daha fazla numune deneye tabi tutulmuş ise elde edilen sonuçların ortalama değerinin %85 ve hesaplanan standart sapma değerinin ortalama değerden çıkarılması sonucunda elde edilen değer arasından büyük olanı yapılacak hesaplamalarda mevcut beton dayanımı olarak dikkate alınır. Deneye tabi tutulan belli bir grupta beton örneğinden elde edilen sonuçlar arasındaki en küçük değere sahip numune ile geriye kalan diğerlerin ortalamaları arasındaki farkın irdelenmesiyle istatistiki olarak en küçük değeri veren numunenin sapan bir değer olup olmadığı kontrol edilmelidir. Bu amaçla deneye tabi tutulan numune grubunun sonuçları değerlendirilirken, en düşük tek değer diğer tüm değerlerin ortalamasının %75'inden küçük ise bu numunenin sonucu mevcut beton dayanımının belirlenmesinde dikkate alınmaz. Yapıda kullanılan donatı sınıfının tespiti ise donatı miktarı ve düzeninin belirlenmesi amacıyla sıyırılan yüzeylerde gerçekleştirilen görsel inceleme yoluyla belirlenmektedir. Belirlenen bu donatı sınıfının karakteristik akma gerilmesi yapılacak hesaplamalarda mevcut donatı dayanımı olarak kabul edilmektedir. Yapılan incelemelerde korozyona uğramış

donatılar tespit edilen yapı elemanları belirlenir ve söz konusu elemanın kapasitelerinin hesaplarında dikkate alınmaktadır

Kapsamlı bilgi düzeyinde ise sınırlı bilgi düzeyine kıyasla daha fazla eleman üzerinde yapılan detaylı incelemeler yoluyla yapının özellikleri daha hassas tespit edilmektedir. İncelenecek binanın mimari ve statik projelerinin elde edilebilmesi durumunda mevcut yapının projelerine uygun imal edilip edilmediği sahada yapılacak incelemeler ile tespit edilmelidir. Yapılan inceleme sonucunda mevcut yapının projelerine göre önemli farklılıklar içermesi durumunda projeler dikkate alınmaz. Bu durumda, saha çalışmaları yapılarak binanın taşıyıcı sisteminin plan rölevesi elde edilir. Röleve çalışmasında binanın her katı için tüm betonarme elemanların ve bölme duvarlarının yerleri, boyutları, yükseklikleri, eksen açıklıkları ve malzemelerine ait (en az binanın hesap modelinin oluşturulmasına ve hassas bir biçimde yapının kütlelerinin belirlenmesine yetecek) bilgiler elde edilmelidir. Binada kısa kolon benzeri olumsuz durumlar tespit edilmeli ve binanın diğer binalar ile münasebeti (ayrık, bitişik, derz var/yok) belirlenmelidir. Ayrıca binanın içinde yada çevresinde کافی sayıda inceleme çukuru açılarak yapının temel sistemi tespit edilmelidir.

Değerlendirilecek binanın detay projelerinin bulunması durumunda, mevcut yapının projelere uygun imal edilip edilmediğinin tespit edilmesi amacıyla kolonlarda ve perdelerde birer adetten az olmamak üzere her katta donatı tespiti için en az %5'inin beton örtüsü sıyırılmalıdır. Aynı zamanda her katta birer adet kirişin beton örtüsü sıyırılarak donatı tespiti yapılmalıdır. Bu sıyırma işlemi kolon ve kirişlerde elemanın açıklık ortasındaki 1/3'lük kısmında gerçekleştirilmelidir. Aynı zamanda sıyırılma işlemine tabi tutulmamış çerçeve kirişlerinin %10'u, kolon ve perdelerin ise %20'sinde donatı tespit cihazlarıyla enine ve boyuna donatıların yerleşimi ve sayıları tespit edilmelidir. Yapılan tespitler sonucunda mevcut yapı ile projelerinin uyumaması halinde kolon kiriş ve perdeler için ayrı ayrı hesaplanmak üzere, mevcut yapıda tespit edilen donatı miktarının projelerde öngörülen donatı miktarına oranı olan donatı gerçekleşme katsayısı belirlenerek donatı tespiti yapılmamış diğer tüm kolon ve perdelere uygulanmalı ve muhtemel donatı miktarları tespit edilmelidir. Kolon, kiriş ve perdelerin kapasitelerinin tespitinde kullanılan donatı gerçekleşme katsayısı 1'den büyük alınmaz. Değerlendirilecek binanın uygulama çizimleri veya detay projelerinin

mevcut olmaması durumunda kolonlarda ve perdelerde ikişer adetten az olmamak üzere her katta donatı tespiti için en az %10 'unun beton örtüsü sıyırılarak incelenmelidir. Aynı zamanda sıyırılma işlemine tabi tutulmamış çerçeve kirişlerinin %15'inin, kolon ve perdelerin ise %30'unda donatı tespit cihazlarıyla enine ve boyuna donatıların yerleşimi ve sayıları tespit edilmelidir. İnceleme tamamlandıktan sonra, sıyırma işlemi uygulanan kısımlar yüksek dayanımlı tamir harçları ile kapatılmalıdır.

Binanın her katında kolon veya perdelerden TS EN 12504-1'de yer alan koşullara uygun biçimde zemin katta üç adetten, diğer her kat için ise iki adet ve binada alınan toplam Karot sayısı ise dokuz adetten az olmamak şartıyla, her 400 m<sup>2</sup> alan için bir Karot alınarak deneye tabi tutulmalıdır. Eğer deneye tabi tutulan Karot numunesinin hem anma çapı hem de uzunluğu 100 mm'ye eşit ise, deney sonucunda elde edilen değer hiçbir katsayıyla çarpılmaksızın mevcut beton dayanımının belirlenmesinde kullanılabilir. Çapı veya uzunluğu farklı olan Karotların deneye tabi tutulması durumunda, elde edilen sonuçlar uygun dönüştürme katsayıları ile çarpılarak kullanılmalıdır. Yapı elemanlarının kapasitelerinin belirlenmesinde, deneye tabi tutulan beton numunelerinden elde edilen sonuçların ortalama değerinin %85 ve hesaplanan standart sapma değerinin ortalama değerden çıkarılması sonucunda elde edilen değer arasından büyük olanı yapılacak hesaplamalarda mevcut beton dayanımı olarak dikkate alınır. Deneye tabi tutulan belli bir grup beton örneğinden elde edilen sonuçlar arasındaki en küçük değer ile geriye kalan diğerlerin ortalamaları arasındaki farkın irdelenmesiyle istatistiki olarak en küçük değer sapan bir değer olup olmadığı kontrol edilmelidir. Bu amaçla deneye tabi tutulan numune grubunun sonuçları değerlendirilirken, en düşük tek değer diğer tüm değerlerin ortalamasının %75'inden küçük ise bu numunenin sonucu mevcut beton dayanımının belirlenmesinde dikkate alınmaz. Deneye tabi tutulan bu beton örneklerinden alınan sonuçlar ve beton çekicinin uyarlanmış sonuçları veya diğer beton çekicine benzer hasarsız yöntemler kullanılarak beton dayanımının yapıdaki dağılımı belirlenmelidir. Yapıda kullanılan donatı sınıfının tespiti ise donatı miktarı ve düzeninin belirlenmesi amacıyla sıyırılan yüzeylerde gerçekleştirilen görsel inceleme yoluyla belirlenmektedir. Tespit edilen her donatı sınıfı ait birer numune alınarak deneye tabi tutulmalıdır. Bu deney sonucunda çelik sınıfının akma ve kopma dayanımları ile şekil değiştirmesine ait karakteristik

özellikleri tespit edilerek yapının projesine uygunluğu kontrol edilmelidir. Deney sonuçlarının yapının projeleri ile uyumlu olması durumunda, projedeki donatı sınıfının karakteristik akma gerilmesi yapılacak hesaplarda mevcut donatı dayanımı olarak kabul edilmektedir. Eğer deney sonuçları yapının projeleri ile uyumlu değil ise, her donatı sınıfı için yeni üçer adet numune alınarak deneye tabi tutulmalıdır. Elde edilen tüm deney sonuçlarından en düşük akma gerilmesi yapı elemanlarının kapasitelerinin belirlenmesinde mevcut donatı dayanımı olarak kabul edilmektedir. Yapılan incelemelerde korozyona uğramış donatılar tespit edilen yapı elemanları belirlenerek söz konusu elemanların kapasitelerinin hesaplanmasında dikkate alınmaktadır.

Sonuç olarak, değerlendirilecek binaların hangi bilgi düzeyi sınıfında yer aldığı belirlenerek, yapının elemanlarının kapasiteleri Çizelge 3.24.'de verilen uygun katsayılar ile çarpılmalıdır.

Çizelge 3.24. Bilgi düzeyi katsayıları (TBDY, 2018)

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Kapsamlı	1.00

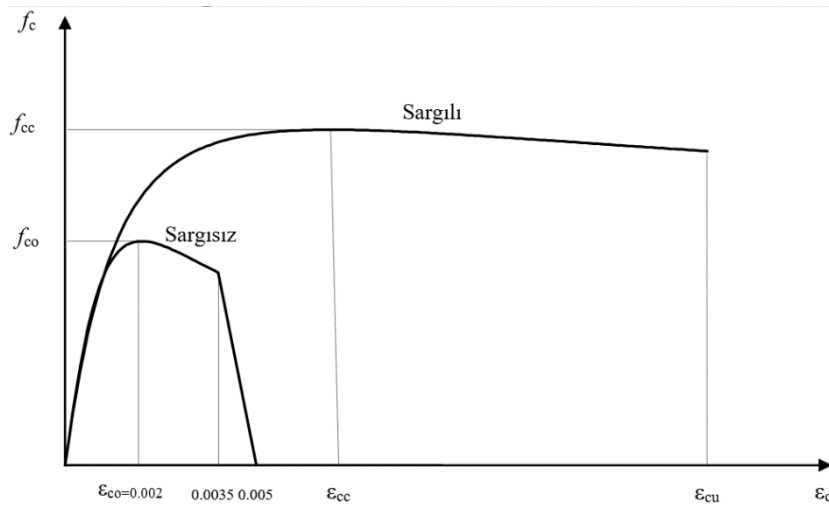
### 3.6.3.2. Betonarme yapı elemanlarında plastik mafsalları tanımlanması

Yapıların şekil değiştirmeye göre performanslarının belirlenmesi amacıyla öncelikle yapı elemanlarının belli bir kesitinde ve o kesite dik olan belirli bir mesafe (plastik mafsalları boyu) içerisinde gerçekleşen şekil değiştirmeleri ifade eden plastik mafsallarına ait özelliklerin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu şekil değiştirmeler, yapı elemanlarının maruz kaldıkları yüklemeler sonucunda kesitlerini meydana getiren malzemeler üzerinde elastik şekil değiştirme sınırlarını aşan gerilmeler meydana gelmesi nedeniyle, yapı elemanlarında meydana gelen plastik şekil değiştirmeler/mafsallardır. Kolon ve kiriş gibi çubuk elemanlarda deprem kuvvetlerinden meydana gelen gerilmelerin daha çok düğüm noktalarına yakın bölgelerde yoğunlaşması nedeniyle bu tür yapı elemanlarında plastik mafsallar düğüm noktalarına veya düğüm noktalarına yakın bölgelere yerleştirilir iken perde

elemanlarında ise mafsallar her katın tabanına yakın bölgeye yerleştirilmektedir. Ancak düşey yüklerin etkisiyle (bilhassa kirişlerde) mesnet açıklığının orta bölgesinde yapı elemanlarında plastik mafsalların oluşması muhtemeldir. Bu çalışma kapsamında, tüm çubuk (kolon/kiriş vb.) elemanların her iki ucundan söz konusu elemanın uzunluğunun yaklaşık %5'i kadar mesafede yığılı plastik mafsal tanımlanırken perde elemanlarına kat taban hizasında yayılı plastik mafsallar tanımlanmıştır.

Yığılı plastik mafsalsal; herhangi bir yapı elemanının performansının maruz kaldığı deprem doğrultusuna paralel olan boyutunun yarısı ( $h/2$ ) uzunluğundaki bir mesafe içerisinde yapı elemanında meydana gelen şekil değiştirmelere göre yapı elemanının performansını tanımlamaktadır. Yayılı plastik mafsalsal ise, yapı elemanını meydana getiren malzemelerin kesit içinde lifler halinde dağıldığı varsayılarak bu malzemelerin doğrusal olmayan davranışına bağlı olarak hesaplanan şekil değiştirmelere göre söz konusu elemanın performansını simüle etmektedir.

TBDY (2018)'de betonarme yapı elemanlarının davranışlarının belirlenmesi amacıyla Mander ve ark. (1988) tarafından geliştirilen beton modelinin yapılacak hesaplarda sargısız ve sargılı betonlar için dikkate alınacağını ifade etmektedir. Bu kapsamda TBDY (2018) tarafından önerilen ve hesaplarda göz önünde bulundurulacak detayları Şekil 3.14.'de verilen sargısız ve sargılı beton davranış grafikleri Şekil 3.13.'de verilmiştir.

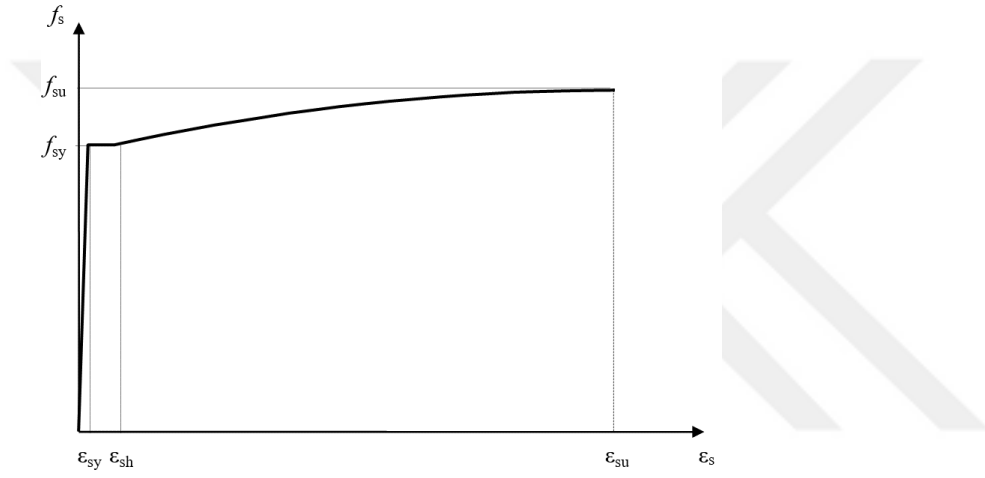


Şekil 3.13. Sargısız ve sargılı betonun gerilme – şekil değiştirme davranışı (TBDY, 2018)



Çizelge 3.25. Betonarme elemanlarda kullanılacak donatıların karakteristik özellikleri (TBDY, 2018)

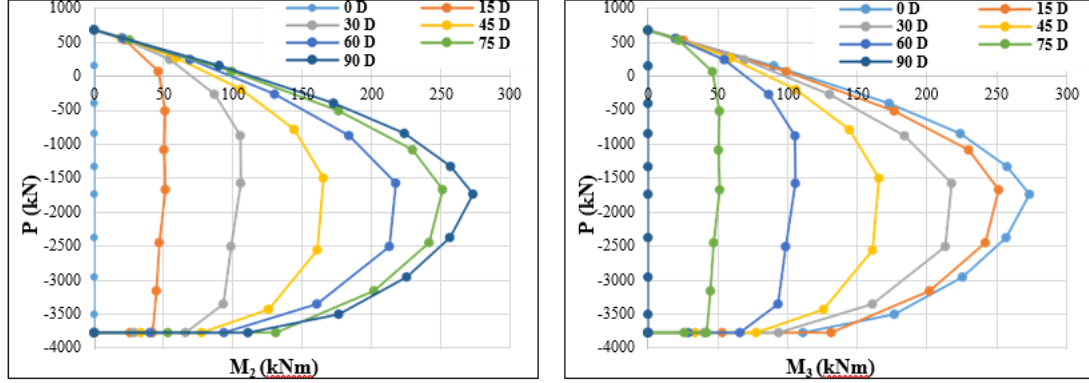
Kalite	$f_{sy}$ (MPa)	$\epsilon_{sy}$	$\epsilon_{sh}$	$\epsilon_{su}$	$f_{su} / f_{sy}$
S220	220	0.0011	0.011	0.12	1.20
S420	420	0.0021	0.008	0.08	1.15 – 1.35
B420C	420	0.0021	0.008	0.08	1.15 – 1.35
B500C	500	0.0025	0.008	0.08	1.15 – 1.35



Şekil 3.15. Donatı çeliğinin gerilme – şekil değiştirme davranışı (TBDY, 2018)

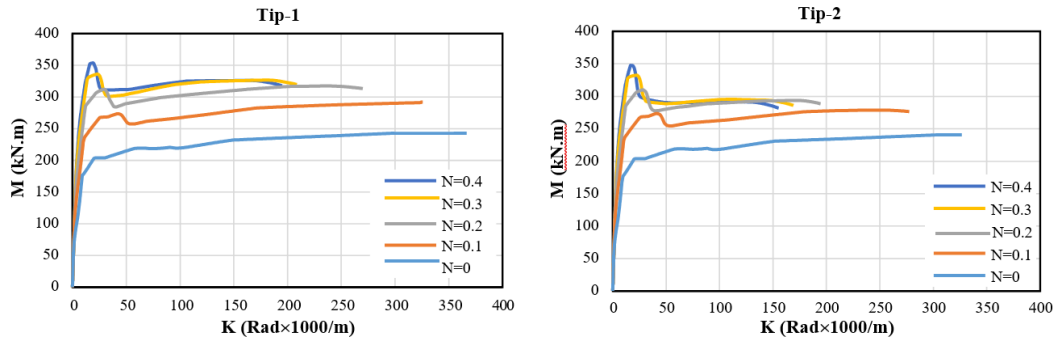
Betonarme düşey elemanların doğrusal olmayan davranışlarının belirlenmesi amacıyla öncelikle bu elemanların moment – eğrilik ve eksenel kuvvet – moment etkileşim diyagramlarına ait özelliklerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu diyagramlar düşey yapı elemanlarının maruz kaldıkları eksenel yük miktarına göre değişiklik göstermektedir. Şekil 3.16.'te kolon elemanlarının doğrusal davranış sınırlarını gösteren eksenel kuvvet – moment diyagramında görüldüğü üzere elemanın maruz kaldığı eksenel yük belli bir değere kadar artırıldığında yapı elemanının moment taşıma kapasitesi artış gösterir iken bu değerden sonra moment taşıma kapasitesi azalmaktadır. Aynı zamanda eksenel kuvvet – moment değerinin diyagram sınırının dışına taşması durumunda söz konusu elemanda doğrusal olmayan şekil değiştirmeler meydana gelmeye başlamaktadır. Yapılan çalışma kapsamında söz

konusu diyagram ETABS (2023)'te tanımlanan sargılı ve sargısız beton malzemelerine göre program tarafından malzeme özelliklerine göre oluşturulmaktadır.



Şekil 3.16. Betonarme kolonlar için eksenel kuvvet – moment etkileşim diyagramı (Jamal, 2022)

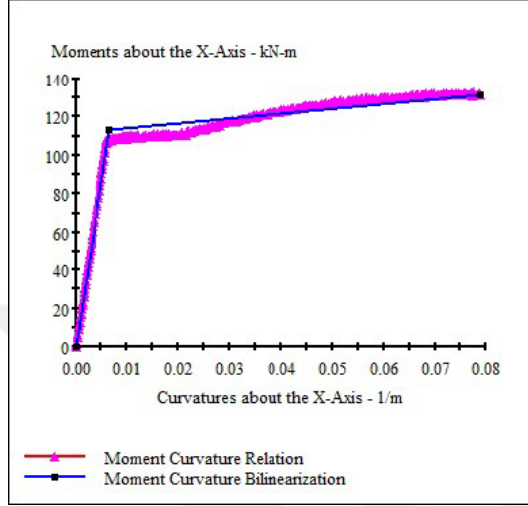
Şekil 3.17.'de yer alan moment – eğrilik diyagramında görüldüğü üzere eksenel kuvvetin artmasıyla kesitin moment taşıma kapasitesi belli bir noktaya kadar artış göstermektedir. Ancak, eksenel yükün artması Şekil 3.17.'e görüldüğü üzere kesitin süneklik kapasitesini olumsuz etkilemektedir. Deprem etkisinden meydana gelen enerjinin sönmülmesi açısından büyük önem arz eden bu süneklik kapasitesini belli bir sınırın üstünde tutmak amacıyla TBDY (2018) düşey taşıyıcı yapı elemanlarının eksenel yüklerini sınırlandırmaktadır. Eksenel yükün sınırlandırılmasının bir diğer nedeni ise, yapı elemanlarının maruz kaldıkları eksenel yükler sonucunda taşıma kapasitesine yaklaştıkça, elemana gevrek geçmenin hâkim olmasıdır.



Şekil 3.17. Betonarme kolonlar için moment – eğrilik diyagramı (Foroughi ve ark., 2020)

Kirişlerin ise eksenel yük taşımadıkları varsayıldığından eksenel kuvvet – moment diyagramlarının elde edilmesine gerek görülmemektedir. Bu nedenle

kirişlerin doğrusal olmayan davranışının modellenmesi için moment – eğrilik ilişkisinin bilinmesi yeterli görülmektedir. Bu kapsamda Şekil 3.18.'te kiriş elemanının tek yönde gerçekleştirilen moment eğrilik analizine ait grafik ve bu grafiğin idealleştirmesi verilmiştir.



Şekil 3.18. Betonarme bir kiriş için moment – eğrilik ilişkisi ve idealleştirmesi

### 3.6.3.3. Yapının numerik modelinin oluşturulması

Yapıda kullanılan malzemelerin karakteristik ve dayanım özellikleri ile yapı elemanlarının kesit özelliklerine bağlı olarak hesaplanan plastik mafsallık özellikleri kullanılarak yapının numerik modeli oluşturulmalıdır. Oluşturulan numerik modelin maruz kaldığı yatay ve düşey yükler altında yapı elemanlarında meydana gelen iç kuvvetler ve şekil değiştirmeler hesaplanmalıdır. Yapılan hesaplar sonucunda yapıda meydana gelmesi ön görülen değerler şartnamelerde belirtilen sınır değerler ile kıyaslanarak yapının performansı belirlenmelidir. Yapının üç boyutlu numerik modeli sahada yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler ışığında oluşturulmalıdır. Oluşturulan modelde düşey yüklerin tanımlanması, kesit rijitliklerinin belirlenmesi ve diğer özellikleri aşağıda belirtildiği şekilde uygulanmaktadır.

Betonun basınç dayanımına göre çekme kapasitesinin çok düşük olması nedeniyle yapılan hesaplarda betonun çekme dayanımı ihmal edilmektedir. Aynı zamanda betonun çekme kapasitesinin çok düşük olması nedeniyle yapı elemanlarının maruz kaldığı yükler, betonda kılcal çatlakların oluşmasına neden olmakta ve bu

çatlaklar yapı elemanının rijitlik kapasitesini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle yapılan hesaplarda eleman rijitliklerinin TBDY (2018)'de önerildiği üzere Çizelge 3.26.'da belirtilen katsayılar ile çarpılarak azaltılması gerekmektedir.

Çizelge 3.26. Betonarme Sistemler için Etkin Kesit Rijitlik katsayıları (TBDY, 2018)

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

Doğrusal olmayan analizlerde yapının düşey yükler altındaki davranışı analizin ilk adımda dikkate alınmalıdır. Bu nedenle yapılacak analizlerde yapı düşey yükleri belirlenerek hesaba katılması gerekmektedir. TBDY (2018) yapıya etki eden düşey yüklerin hesaplarında Denklem (3.30)'da belirtildiği şekilde dikkate alınacağını ifade etmektedir.

$$W = G + nQ + 0.2S + 0.3E_d^{(Z)} \quad (3.30)$$

Denklem (3.30)'da yer alan W, toplam düşey yük miktarı, Q hareketli yük miktarı, G ölü yük miktarı, S kar yük miktarı,  $E_d^{(Z)}$  düşey doğrultu için hesaplanan tasarıma esas deprem etkisi kuvvetini ve n ise binanın kullanım amacına göre Çizelge 3.31.'ten alınan yapıya etki eden hareketli yüklerin hesaba katılma katsayısıdır.

Çizelge 3.27. Hareketli Yük Kütle Katılım Katsayısı (TBDY, 2018)

Binanın Kullanım Amacı	<i>n</i>
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, ibadethane, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, otopark, vb.	0.30

Ayrıca, kenetlenme boyunun yetersiz olduğu yapı elemanlarının kapasite momenti eksik kenetlenme boyu oranında azaltılmalıdır. Yapı modelinde kısa kolonların yer alması durumunda bu elemanlar oluşturulan modelde gerçek boylarıyla yansıtılacaktır. Zeminde meydana gelecek deformasyonların yapının performansı üzerinde etkili olması durumunda yapılacak analizlerde zemin etkileri dikkate alınmalıdır. Yapı elemanlarının birleşim bölgeleri rijit birleşim olarak ve döşemeler ise rijit diyafram olarak modellenebilir ancak kütle merkezlerine ek dış merkezlik tanımlanamaz. Plastik mafsallı hesaplarında, T kesitli elemanlar tablalı olarak dikkate alınabilir.

Bu koşullar dikkate alınarak oluşturulan matematiksel model, yapının performansının belirlenmesi amacıyla analize tabi tutulmalıdır. İtme analizlerinde yapının itileceği tepe yer değiştirme sınırı her iki deprem doğrultusu için ayrı ayrı hesaplanmalı ve oluşturulan model her doğrultu için hesaplanan tepe yer değiştirme sınırına kadar her iki yönde de itilmelidir. Yani, matematik model her iki doğrultu için ayrı ayrı her iki yönde de analize tabi tutularak performans sonuçları elde edilmelidir. Elde edilen bu dört analiz sonuçlarından en elverişsiz olanı yapının performansının belirlenmesinde dikkate alınmaktadır.

#### **3.6.3.4. TBDY-2018'e göre doğrusal olmayan analiz yöntemleri ve sabit tek modlu itme analizi ile yapının kapasitesinin belirlenmesi**

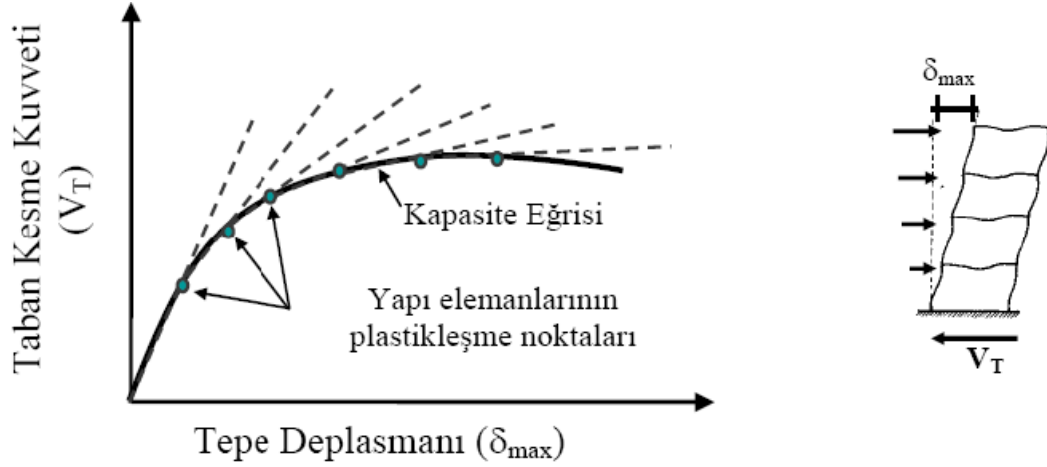
TBDY-2018'de binaların şekil değiştirmeye göre tasarımında uygulanacak analiz yöntemlerini doğrusal olmayan tek modlu itme analizi, doğrusal olmayan çok modlu itme analizi ve zaman tanım alanında analiz yöntemleridir. Bu analiz

yöntemlerinden doğrusal olmayan tek modlu itme analizi ise kendi içinde sabit tek modlu itme analizi ve değişken tek modlu itme analizi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında TBDY-2018’de önerilen tek modlu itme analizi dikkate alınarak hesaplar yapılmıştır.

Betonarme yapıların tek modlu itme analizi yöntemiyle performans analizi yapılmadan önce yapı sisteminin düşey yükler altında analizi gerçekleştirilmeli ve bu düşey yükler altında gerçekleştirilen analiz itme analizinin başlangıcı olarak alınmalıdır. Daha sonra itme analizinin gerçekleştirileceği doğrultuya hâkim olan mod şekli dikkate alınarak yapıya uygulanan eşdeğer deprem yükleri adım adım artırılmakta ve yapı deprem talep noktasına kadar itilerek kapasite eğrisi çizilmektedir. Yapı numerik modeline uygulanan itme analizinde adım adım numerik modelde meydana gelen şekil değiştirmeler, plastik dönmeler, yer değiştirme, iç kuvvetler değerleri ve bu kuvvetlerin kümülatif değerleri hesaplanarak yapının talep noktası tespit edilmekte ve deprem talebine karşılık gelen en büyük değerler elde edilmelidir.

TBDY-2018 sabit tek modlu analiz yönteminin kullanılmasını bazı şartlara bağlayarak kullanımını sınırlandırmıştır. Bu nedenle sabit tek modlu analiz yönteminin kullanımı; yapının yükseklik sınıfı (BKS)  $\geq 5$  olması, ek dışmerkezlik dikkate alınmadan yapılan doğrusal hesaplar sonucunda yapının hiçbir katında burulma düzensizliğinin 1.4’ten büyük olmaması ( $\eta_{bi} < 1.4$ ) ve yapının numerik modeline uygulanan doğrusal analiz sonucunda, elde edilen deprem kuvvetinin uygulandığı doğrultuya hâkim modun etkin kütlelerinin, yapının toplam kütlelerinin en az %70’ine eşit olması şartlarının sağlanmasına bağlıdır.

Sabit tek modlu itme analizinde eşdeğer deprem kuvvetleri yapı elemanlarında meydana gelen plastik mafsallara bağlı olmaksızın dikkate alınan analiz doğrultusunda hâkim olan mod şekline göre dağıtılmakta ve bu dağılım sabit tutulmaktadır. Bu orana göre uygulanan kuvvetler sonucunda eksen takımlarını yapının en üst katının kütle merkezinde meydana gelen yer değiştirmeyi ifade eden tepe yer değiştirmesi ile yapı sisteminde dikkate alınan deprem doğrultusunda uygulanan itme kuvvetlerinin toplamını ifade eden taban kesme kuvvetlerinin oluşturduğu kapasite eğrisi belirlenmektedir (Şekil 3.19.).



Şekil 3.19. Betonarme yapıların kapasite eğrisi (Arslan ve ark., 2008)

Elde edilen kapasite eğrisinin talep eğrisiyle karşılaştırılmasının mümkün olması ancak ikisinin aynı birime dönüştürülmesi ile mümkündür. Bu amaçla taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi eksen takımından oluşan, yapının kapasite eğrisine Denklem (3.31) ve (3.32) yardımıyla eksen dönüşümü uygulanmalıdır (TBDY, 2018).

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{tx1}^{(i)}}{M_{tx1}} \quad (3.31)$$

$$d_1^{(i)} = \frac{u_x u_{Nx1}^{(i)}}{\Phi_{Nx1} \Gamma_{x1}} \quad (3.32)$$

#### 3.6.4. Betonarme yapıların talep-kapasite eğrilerinin sabit tek modlu itme yöntemi kullanılarak karşılaştırılması

Yapının deprem kuvvetleri altındaki talebi ile bu yapının doğrusal ötesi davranışını ifade eden kapasite eğrisinin yapının performansının belirlenmesi amacıyla birbirleri ile kıyaslanmaları gerekmektedir. Ancak, yapının deprem kuvvetleri altındaki talep eğrisiyle kapasite eğrisinin kıyaslanabilmesi için bu eğrilerin aynı eksen takımında olması gerekmektedir.

TBDY (2018)'e göre eşit yer değiştirme veya eşit enerji kuralları doğrultusunda yapının elasto-plastik yer değiştirme değeri şöyle hesaplanmaktadır. Yapının maruz

kaldığı deprem doğrultusundaki birinci hâkim doğal titreşim periyodu olan  $T_1$ 'e karşılık gelen doğrusal olmayan spektral yer değiştirme değeri ( $S_{di}(T_1)$ ), spektral yer değiştirme oranı ( $C_R$ ) ve elastik tasarım spektral yer değiştirme ( $S_{de}(T_1)$ ) değerlerine bağlı olarak Denklem (3.33) ile elde edilmektedir.

$$S_{di}(T_1) = C_R S_{de}(T_1) \quad (3.33)$$

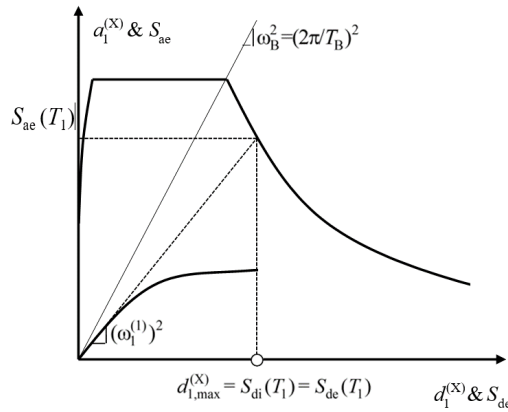
Denklem (3.33)'de yer alan elastik tasarım spektral yer değiştirme ( $S_{de}(T_1)$ ) değeri dikkate alınan DD2 deprem yer hareketi düzeyine göre Denklem (3.34) ile elde edilmektedir.

$$S_{de}(T) = \frac{T^2}{4\pi^2} g S_{ae}(T) \quad (3.34)$$

Denklem (3.34)'de yer alan elastik tasarım spektral yer değiştirme değeri; yapının doğal titreşim periyoduna ( $T$ ), yer çekim ivmesine ( $g$ ) ve yapının yer aldığı zemin türü ile harita spektral ivme katsayıları dikkate alınarak hesaplanan yatay elastik tasarım spektral ivme ( $S_{ae}(T)$ ) değerine bağlı olarak hesaplanmaktadır.

Denklem (3.33)'de yer alan spektral yer değiştirme oranı ( $C_R$ ) ise dikkate alınan deprem doğrultusuna hakim birinci modun doğal titreşim periyodu ( $T_1$ )'nin yatay elastik tasarım ivme spektrumunun  $T_B$  köşe periyotundan büyük olup olmadığına bağlı olarak iki farklı şekilde hesaplanarak elde edilmektedir.

Birincisi, hakim birinci modun doğal titreşim periyodu  $T_1$  yapının bulunduğu yerin deprem ve zemin değerlerine bağlı olarak elde edilen  $T_B$  köşe periyotundan büyük ise yapılacak hesaplarda  $C_R=1$  olarak dikkate alınır. Yapının deprem doğrultusundaki hakim birinci modunun doğal titreşim periyodu  $T_1 > T_B$  olması durumunda, bu titreşim moduna bağlı olarak hesaplanan ve ( $d_1, a_1$ ) eksen takımından meydana gelen modal kapasite diyagramı ve yapının spektral yer değiştirme ( $S_d$ )-spektral ivme ( $S_a$ ) eksen takımından meydana gelen davranış spektrumu Şekil 3.20.'de belirtildiği gibi üst üste çizilmektedir.



Şekil 3.20. Hakim birinci modun doğal titreşim periyodu  $T_1 > T_B$  olması durumunda doğrusal olmayan spektral yer değiştirme – spektral ivme grafiği (TBDY, 2018)

İkincisi ise, hâkim birinci modun doğal titreşim periyodu  $T_1$  yapının bulunduğu yerin deprem ve zemin değerlerine bağlı olarak elde edilen  $T_B$  köşe periyodundan küçük veya eşit olması durumunda spektral yer değiştirme oranı ( $C_R$ ) değeri, aşağıda verilen kurallar dikkate alınarak ardışık yaklaşım yoluyla hesaplanmaktadır.

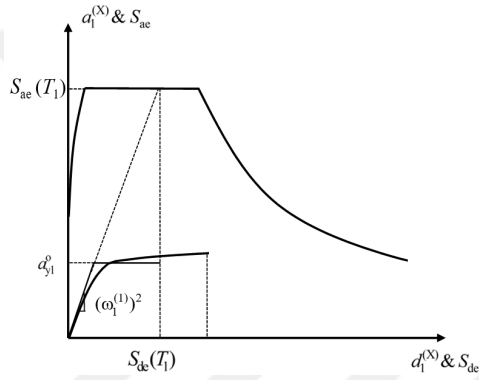
Bunun için öncelikle artımsal itme analizi ile daha önce elde edilmiş olan kapasite eğrisi,  $C_R=1$  alınarak Şekil 3.21.'de görüldüğü gibi iki doğrudan oluşan elasto–plastik bir eğriye dönüştürülmektedir. Dönüştürme esnasında ilk doğrunun eğimi, gerçekleştirilen artımsal itme analizinin başlangıç eğimine eşit alınmaktadır. Bu diyagramların dönüşüm işlemi her iki diyagramın altındaki alanların birbirine eşitliği (eşit enerji) esas alınarak gerçekleştirilmektedir.

Şekil 3.21.'de görüldüğü üzere elde edilen elasto–plastik eğriden yararlanarak yaklaşık bir değer olan akma sözde–ivmesi  $a_{y1}^0$  elde edilmektedir. Elde edilen bu sözde ivme değeri kullanılarak Denklem (3.36) yardımıyla akma dayanımı azaltma katsayısı ( $R_y$ ) belirlenmekte ve belirlenen bu katsayı yardımıyla Denklem (3.35) kullanılarak spektral yer değiştirme oranı ( $C_R$ ) hesaplanmaktadır. Hesaplanan  $C_R$  değerine bağlı olarak birinci hakim doğal titreşim periyodu olan  $T_1$ 'e karşılık gelen doğrusal olmayan spektral yer değiştirme değeri ( $S_{di}(T_1)$ ) hesaplanmaktadır. Elde edilen  $S_{di}(T_1)$  değeri kullanılarak elasto–plastik eğri yeniden elde edilir (Şekil 3.22.) ve bu eğriye bağlı olarak  $a_{y1}$  yeniden belirlenir. Yeniden belirlenen bu  $a_{y1}$  değeri dikkate alınarak tüm

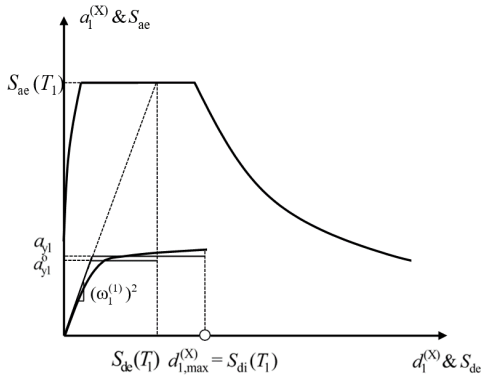
işlemler aynen tekrar. Bu tekrarlar, elde edilen sonuçlar birbirine yeterince yaklaşıncaya kadar devam ettirilir.

$$C_R = \frac{1 + (R_y - 1) \frac{T_B}{T_1}}{R_y} \geq 1 \quad (3.35)$$

$$R_y = \frac{S_{ae}(T_1)}{a_{y1}} \quad (3.36)$$



Şekil 3.21. Hakim birinci modun doğal titreşim periyodu  $T_1 \leq T_B$  olması durumunda doğrusal olmayan spektral yer değiştirme – spektral ivme grafiği (TBDY, 2018)



Şekil 3.22. Hakim birinci modun doğal titreşim periyodu  $T_1 \leq T_B$  olması durumunda doğrusal olmayan spektral yer değiştirme – spektral ivme grafiği (TBDY, 2018)

Böylece, doğrusal olmayan spektral yer değiştirme değerini elde etmiş oluruz. Elde edilen ( $S_{di}(T_1)$ ) değerinden yararlanılarak yapının tepe yer değiştirme istemi  $u_{Nx1}^{(X,1)}$  Denklem (3.37) yardımıyla elde edilmektedir.

$$u_{Nx1}^{(X,1)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{xn} d_1^{(x)} \quad (3.37)$$

Denklem (3.37)'da yer alan modal katkı çarpanı ( $\Gamma_{xn}$ ) Denklem (3.38)'den yararlanılarak elde edilir.

$$\Gamma_{xn} = \frac{L_{xn}}{M_n} \quad (3.38)$$

Denklem (3.38)'de yer alan  $L_{xn}$  ve  $M_n$  değerleri ise sırası ile Denklem (3.39) ve (3.40) yardımıyla elde edilmektedir.

$$L_{xn} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{i(x)n} \quad (3.39)$$

$$M_n = \sum_{i=1}^N (m_i \Phi_{ixn}^2 + m_i \Phi_{iyn}^2 + m_{i\theta} \Phi_{i\theta n}^2) \quad (3.40)$$

Burada elde edilen tepe yer değiştirme istemi ( $u_{Nx1}^{(X,1)}$ ) yapının performansının belirlenmesi amacıyla itilmesi gereken performans noktasıdır. Yapı belirlenen bu performans noktasına kadar itilerek yapıda meydana gelen deplasmanlar, şekil değiştirmeler ve iç kuvvetler tespit edilir. Yapı elemanlarında tespit edilen bu şekil değiştirme değerleri yardımıyla elemanlarda meydana gelen plastik eğrilikler belirlenmekte ve belirlenen bu plastik eğrilik değerleri elastik eğrilik değerleri ile toplanarak elemanda meydana gelen toplam eğrilikler elde edilmektedir. Elde edilen bu toplam eğrilik değerleri yardımıyla, yapı elemanlarını meydana getiren beton ve donatı çeliğindeki birim şekil değiştirme değerleri belirlenmektedir. Belirlenen bu birim şekil değiştirme değerleri yardımıyla yapı elemanını meydana getiren malzemenin dayanım sınırlarının aşılp aşılmadığı değerlendirilerek elemanda oluşan hasarın durumuna karar verilmektedir. Hasarlı elemanların sayısı ve hasar seviyelerine göre yapının performansı değerlendirilerek hasar durumuna karar verilmektedir.

Ancak, binanın en yakınından geçen fayın 15 km'den daha yakından geçmesi veya ikinci merteye etkilerinden dolayı yapı modeline ait kapasite diyagramında akma sınırından sonra eğimin negatif gerçekleşmesi durumunda, Denklem (3.33) ile elde edilen spektral yer değiştirme değeri ( $S_{di}(T_1)$ ) dikkate alınmaz. Bu durumda TBDY-2018'e göre seçilerek ölçeklenen deprem kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemleri yardımıyla yapının performansı değerlendirilmelidir.

### 3.6.5. Yapı elemanlarında meydana gelen toplam kesit eğriliklerinin belirlenmesi

Binanın deprem performansının itme analizleri ile belirlenmesi durumunda, yapı belirlenen performans noktasına kadar itilerek meydana gelen şekil değiştirme, iç kuvvet ve deplasman talepleri tespit edilir. Yapı elemanlarında tespit edilen bu şekil değiştirme değerleri yardımıyla elemanlarda meydana gelen plastik dönme değerleri ( $\theta_p$ ) belirlenmektedir. Belirlenen bu plastik dönme değerleri yardımıyla Denklem (3.41) ile yapı elemanlarında meydana gelen plastik eğrilikler ( $\Phi_p$ ) elde edilmektedir.

$$\Phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (3.41)$$

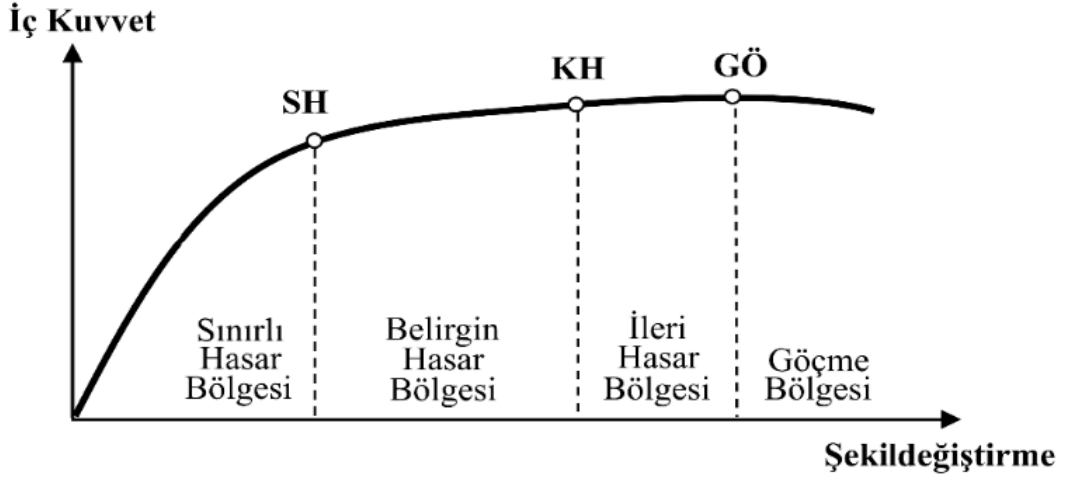
Denklem (3.41)'ta yer alan  $L_p$  değeri, yapı elemanının plastik mafsal boyunu ifade etmektedir. Plastik mafsal boyu, dikkate alınan elemanın deprem doğrultusundaki en kesit boyunun ( $h$ ) yarısına eşit alınır ( $L_p = h/2$ ) (TBDY-2018).

Betonarme yapı elemanlarının plastik mafsal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, kolon ve perdelerde aksel kuvvetler de dikkate alınarak moment–eğrilik analizleri gerçekleştirilmekte ve bu analizlerden yararlanarak kesitlerin moment–eğrilik grafikleri elde edilmektedir. Bu grafikler dikkate alınarak yapı elemanlarında meydana gelen akma eğrilikleri, plastik eğrilikler ve bu iki değer toplamından meydana gelen toplam eğrilik belirlenmektedir. Kesitte meydana gelen bu toplam eğrilik değerine karşılık, kesiti oluşturan beton ve donatı çeliğinin birim şekil değiştirme istemleri belirlenir. Belirlenen bu değere bağlı olarak eleman kesitlerinin

hasar sınırları belirlenmekte ve belirlenen en olumsuz kesit hasar durumuna göre eleman hasar sınırı tayin edilmektedir. Yapıyı meydana getiren elemanların hasar durumlarına bağlı olarak da yapının performansına karar verilmektedir.

### 3.6.6. Betonarme yapı elemanlarında izin verilen şekil değiştirme sınırları ve iç kuvvet sınırları

TBDY-2018 sünek elemanları; Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi, Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi ve Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi olmak üzere üç farklı performans düzeyine göre değerlendirmektedir. Burada, Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi: Eleman kesitinde doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı ve hasarın sınırlandırıldığı performans durumunu ifade etmektedir. Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi ise yapının elemanlarında belirli düzeyde doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin meydana geldiği ve yapı elemanlarında onarılması mümkün hasarların olduğu performans durumunu ifade etmektedir. Yapının ağır hasar almasını öngören Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi ise yapı elemanlarının ağır hasar gördüğü ancak yapının bir bölümünde veya tamamında göçmesinin engellendiği performans durumunu ifade etmektedir. Şekil 3.23.'de görüldüğü üzere yapı elemanlarında meydana gelen şekil değiştirmeler sınırlı hasar performans düzeyinden düşük olması durumunda elemanda hasar oluşmamakta veya çok sınırlı hasarlar meydana gelebilmekte, bu elemanlar sınırlı hasar bölgesinde yer almaktadır. Eğer elemanda meydana gelen şekil değiştirmeler, sınırlı hasar performans düzeyi ile kontrollü hasar performans düzeyi arasında kalıyor ise elemanda daha belirgin hasarlar meydana gelmekte ve eleman belirgin hasar bölgesinde yer almaktadır. Şekil değiştirmeler kontrollü hasar performans düzeyi ile göçmenin önlenmesi performans düzeyi arasında bir değer almış ise yapı elemanları ciddi hasarlar görmekte ve elemanlar ileri hasar performans bölgesinde yer almaktadır. Şayet yapı elemanında meydana gelen şekil değiştirmeler göçmenin önlenmesi performans düzeyini aşıyor ise bu elemanın göçtüğü kabul edilmektedir. Böylece yapı elemanında meydana gelen şekil değiştirmeler dikkate alınarak Şekil 3.23.'de görüldüğü gibi elemanların hasar durumlarına karar verilmektedir.



Şekil 3.23. Yapı elemanları için hasar sınırları ve hasar bölgeleri (TBDY, 2018)

Yapı elemanlarının yukarıda açıklanan performans düzeylerine göre değerlendirilmesinin yapılabilmesi amacıyla, plastik davranış modeli dikkate alınarak beton ve donatıda gerçekleşen şekil değiştirmeler ve kesitlerde oluşan plastik dönme değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. TBDY-2018’de dikdörtgen kesitli elemanlar için göçmenin önlenmesi performans düzeyinde beton malzemesi için izin verilen şekil değiştirme ( $\varepsilon_c^{(GÖ)}$ ) değeri Denklem (3.42) ile elde edilmektedir.

$$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (3.42)$$

TBDY-2018’de dairesel kesitli elemanlarda göçmenin önlenmesi performans düzeyinde müsaade edilen şekil değiştirme ( $\varepsilon_c^{(GÖ)}$ ) değeri ise Denklem (3.43) ile elde edilmektedir.

$$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.07\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (3.43)$$

Denklem (3.42) ve (3.43)’de yer alan birinci değer sargısız betonun birim kısalmasına karşılık gelmektedir.  $\omega_{we}$  ise kesitteki etkin sargı donatısının katkısını ifade etmekte ve Denklem (3.44) ile elde edilmektedir.

$$\omega_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh,min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (3.44)$$

Denklem (3.44)'te yer alan  $\alpha_{se}$  sargı donatısının etkin katsayısını,  $\rho_{sh,min}$  dikdörtgen kesitte her iki yatay doğrultu için ayrı ayrı hesaplanan hacimsel enine donatı oranlarından küçük olanını,  $f_{yve}$  ise sargı donatısının ortalama akma dayanımını ifade etmektedir. Dikdörtgen kesitli yapı elemanlarının sargı donatısı etkinlik katsayısını ( $\alpha_{se}$ ) Şekil 3.16.'den yararlanılarak Denklem (3.45) ile elde edilmektedir.

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sum \alpha_i^2}{6b_0h_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_0}\right) \quad (3.45)$$

Denklem (3.45)'te yer alan  $a_i$  bir etriye kolu ya da bir çiroz tarafından mesnetlenmiş olan boyuna donatıların eksenleri arasında yer alan mesafeyi,  $b_0$  ve  $h_0$  kesitte yer alan sargı donatısının en dış kolları arasındaki mesafeyi,  $s$  ise yapı elemanında yer alan enine donatı aralığını ifade etmektedir.

Dairesel kesitli yapı elemanlarının sargı donatısı etkinlik katsayısını ( $\alpha_{se}$ ) ise Denklem (3.46) ile elde edilmektedir.

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{s}{2D}\right)^n \quad (3.46)$$

Denklem (3.46)'te yer alan  $s$ , yapı elemanında yer alan enine donatı aralığını veya spiralin iki adımı arasındaki mesafeyi,  $D$  spiral veya etriye donatılarının merkezlerinden ölçülen donatı çapını ifade etmektedir. Aynı denklemde yer alan  $n$  katsayısı ise eleman kesitinde spiral sargı donatısı kullanılması durumunda  $n = 1$  olarak, dairesel etriye kullanılması durumunda ise  $n = 2$  olarak alınmaktadır.

Denklem (3.44)'te yer alan hacimsel enine donatı oranını ifade eden  $\rho_{sh}$  ise sırasıyla dikdörtgen kesitli elemanlar için Denklem (3.47) ve dairesel kesitli elemanlar için ise Denklem (3.48)'den elde edilmektedir.

$$\rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s} \quad (3.47)$$

$$\rho_{sh} = \frac{2A_{os}}{D_s} \quad (3.48)$$

Denklem (3.47)'da yer alan  $A_{sh}$  dikkate alınan doğrultuda yer alan enine donatı alanını,  $\rho_{sh}$  bu doğrultudaki hacimsel donatı oranını,  $b_k$  ise dik doğrultudaki çekirdek betonunun boyutunu (en dışta yer alan enine donatıların eksenleri arasındaki mesafeyi) ifade etmektedir. Denklem (3.48)'de yer alan  $A_{os}$  değeri spiral veya dairesel etriye alanını,  $D$  ise spiral veya dairesel etriyenin merkezlerinden ölçülen çapını ifade etmektedir.

Göçmenin önlenmesi performans düzeyi hesabında donatının birim şekil değiştirme miktarı Denklem (3.49) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\varepsilon_s^{(G\ddot{O})} = 0.4\varepsilon_{su} \quad (3.49)$$

Denklem (3.49)'de yer alan  $\varepsilon_{su}$  donatının maksimum dayanımına karşılık gelen birim uzaması ifade etmektedir.

Ayrıca, göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi için yapılacak olan performans değerlendirmelerinde kullanılmak üzere (yüksek Binalar dahil) yeni betonarme yapı elemanlarında yığılı plastik davranış modeline göre yapılacak hesaplarda plastik dönme değerleri için izin verilen sınırlar, kesite etkiyen eksenel kuvvetler ve beton ile donatı çeliğinin malzeme davranışları dikkate alınarak gerçekleştirilen eğrilik analizi sonucunda Denklem (3.50) ile elde edilmektedir.

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left[ (\phi_u - \phi_y) L_p \left( 1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right] \quad (3.50)$$

Denklem (3.50)'e yer alan  $\phi_u$  ve  $\phi_y$  değerleri, yapı elemanlarının kesitinde beton ve donatı çeliğinin şekil değiştirme davranışları dikkate alınarak hesaplanan sırasıyla göçme öncesi eğriliği ve akma eğriliğini,  $L_p$  elemanın plastik mafsallık boyunu,  $L_s$  yapı elemanının kesme açıklığını ve  $d_b$  ise ortalama boyuna donatı çapını ifade etmektedir.

Kontrollü Hasar Performans Düzeyi doğrultusunda yapılacak performans değerlendirmesinde dikkate alınmak üzere, TBDY-2018’de izin müsaade edilen birim şekil değiştirmeler  $\varepsilon_c^{(KH)}$  ve  $\varepsilon_s^{(KH)}$  ile yapı elemanlarındaki plastik dönme  $\theta_p^{(KH)}$  sınırları, Denklem (3.42), (3.43), (3.49) ve (3.50) ile göçmenin önlenmesi performans düzeyi için elde edilen değerlere bağlı olarak sırasıyla Denklem (3.51), (3.52) ve (3.53) ile elde edilmektedir.

$$\varepsilon_c^{(KH)} = 0.75\varepsilon_c^{(GÖ)} \quad (3.51)$$

$$\varepsilon_s^{(KH)} = 0.75\varepsilon_s^{(GÖ)} \quad (3.52)$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75\theta_p^{(GÖ)} \quad (3.53)$$

Sınırlı Hasar Performans Düzeyi doğrultusunda yapılacak performans değerlendirmesinde dikkate alınmak üzere, TBDY-2018’de izin müsaade edilen birim şekil değiştirmeler  $\varepsilon_c^{(SH)}$  ve  $\varepsilon_s^{(SH)}$  ile yapı elemanlarındaki plastik dönme  $\theta_p^{(SH)}$  sınır değerleri, sırasıyla 0.0025, 0.0075 ve 0’dır.

Etkin kesit rijitlikleri dikkate alınarak yapılan hesap sonucunda sınırlı hasar performans düzeyi için plastik mafsalların oluşumuna izin verilemez ( $\theta_p^{(SH)} = 0$ ). Mevcut yapıda, boyuna donatılar nervürüz donatı olması durumunda donatı çeliği için hesaplanan birim şekil değiştirme talebi ve hesaplanan plastik dönme talepleri 1.5 ile çarpılarak büyütülecektir. Şekil değiştirme hesabı yapılan mevcut betonarme yapı kesitinin kesme kuvveti oranı Denklem (3.54)’yü sağlaması durumunda yukarıda hesaplanan şekil değiştirme değerleri yapılacak hesaplamalarda doğrudan dikkate alınır. Eğer hesaplanan kesme kuvveti oranı 1.3’ten büyük ise yapılacak hesaplamalarda yukarıda elde edilen değerlerin yarısı dikkate alınır. Hesaplanan kesme kuvveti oranının 0.65 ile 1.3 değerleri arasında olması durumunda ise doğrusal enterpolasyon uygulanarak elde edilmelidir.

$$\frac{V_e}{b_w d f_{ctm}} < 0.65 \quad (3.54)$$

### 3.6.7. Betonarme yapı elemanlarının hasar durumlarının belirlenmesi

Sabit tek modlu itme analizi sonucunda elde edilen performans notasına göre betonarme elemanların toplam eğrilikleri elde edilmektedir. Betonun ve donatının çeliğinin birim şekil değiştirme istemleri elde edilen bu toplam eğrilik değerlerin yardımıyla moment – eğrilik ilişkisinden tespit edilmektedir. Belirlenen bu şekil değiştirme ve plastik dönme istemleri yukarıda açıklanan sınır değerleriyle karşılaştırılmaktadır. Yapılan karşılaştırma sonucunda eleman kesitindeki hasar durumuna karar verilmektedir. Betonarme yapı elemanının hasar durumunu ise her iki doğrultuda ve her iki yönde gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen en olumsuz kesite göre karar verilmektedir.

### 3.6.8. Betonarme yapının, hedeflenen performans düzeyini sağlayıp sağlamadığının kontrol edilmesi

Yapıda hasar alması muhtemel betonarme yapı elemanları yukarıda belirtildiği gibi tespit edilmektedir. Yapı elemanlarında tespit edilen hasar durumları ve hasarlı eleman sayısına göre yapının performans düzeyine karar verilmektedir. TBDY-2018 mevcut binalar için Sınırlı hasar (SH), Kontrollü hasar (KH) ve Göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyleri olmak üzere toplam üç farklı performans düzeyi tanımlamıştır.

#### 3.6.8.1. Mevcut yapılarda sınırlı hasar (SH) performans düzeyi

Farklı doğrultularda betonarme yapılara uygulanan deprem kuvvetleri sonucunda yapının herhangi bir katında herhangi bir doğrultuda en fazla kırıların %20'sinin belirgin hasar bölgesine geçmesine izin verilebilir. Yapının diğer tüm elemanlarında meydana gele hasar durumu sınırlı hasar performans bölgesinde kalmalıdır. Belirtilen bu şartların sağlanması ve eğer yapıda gevrek göçen elemanlar

mevcut ise gevrek olarak göçen tüm elemanların güçlendirilmesi durumunda, yapının sınırlı hasar performans düzeyini sağladığı kabul edilir.

#### 3.6.8.2. Mevcut yapılarda kontrollü hasar (KH) performans düzeyi

Farklı doğrultularda betonarme yapılara uygulanan deprem kuvvetleri sonucunda yapının herhangi bir katında herhangi bir doğrultuda en fazla kirişlerin %35'inin ileri hasar bölgesine geçmesine izin verilebilir. Ancak, bu hesaplarda ikincil kirişler dikkate alınmaz. Yapının herhangi bir katında herhangi bir doğrultuda ileri hasar bölgesine geçen düşey elemanların taşıdığı kesme kuvvetleri toplamı, o katın toplam kat kesme kuvvetinin %20'sinden az olmalıdır. En üst katta ise ileri hasar bölgesine geçen düşey elemanların taşıdığı kesme kuvvetleri o katın toplam kat kesme kuvvetinin %40'ından az olmalıdır. Diğer tüm taşıyıcı yapı elemanlarında meydana gelen hasar, sınırlı hasar ve belirgin hasar bölgelerinde kalmalıdır. Ancak, yapının herhangi bir katında her iki ucunda meydana gelen hasar, belirgin hasar sınırını aşan düşey taşıyıcı elemanların (Doğrusal yöntemlerle yapılan hesaplarda her iki ucunda güçlü kolon zayıf kiriş koşulunu sağlayan elemanlar hariç) karşıladığı kesme kuvvetlerinin toplamı söz konusu katın kesme kuvvetinin %30'unu aşmamalıdır. Belirtilen bu şartların sağlanması ve eğer yapıda gevrek göçen elemanlar mevcut ise gevrek olarak göçen tüm elemanların güçlendirilmesi durumunda, yapının kontrollü hasar performans düzeyini sağladığı kabul edilir.

#### 3.6.8.3. Mevcut yapılarda göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyi

Yapıda gevrek göçen elemanlar mevcut ise gevrek olarak göçen tüm elemanların göçme bölgesinde değerlendirilmesi kaydıyla aşağıdaki şartların sağlanması durumunda, yapının göçmenin önlenmesi performans düzeyini sağladığı kabul edilir. Farklı doğrultularda betonarme yapılara uygulanan deprem kuvvetleri sonucunda yapının herhangi bir katında herhangi bir doğrultuda en fazla kirişlerin %20'sinin göçme bölgesine geçmesine izin verilebilir. Ancak, bu hesaplarda ikincil kirişler dikkate alınmaz. Diğer tüm taşıyıcı yapı elemanlarında meydana gelen hasar sınırlı hasar, belirgin hasar veya ileri hasar bölgelerinde kalmalıdır. Ancak, yapının herhangi bir katında her iki ucunda meydana gelen hasar, belirgin hasar sınırını aşan düşey

taşıyıcı elemanların (Doğrusal yöntemlerle yapılan hesaplarda iki ucundada güçlü kolon zayıf giriş koşulunu sağlayan elemanlar hariç) karşıladığı kesme kuvvetlerinin toplamı söz konusu katın kesme kuvvetinin %30'unu aşmamalıdır. Bu performans düzeyinde yer alan binaların can güvenliği bakımından, kullanımı sakıncalıdır.

#### **3.6.8.4. Mevcut yapılarda göçme durumu**

Göçmenin önlenmesi performans düzeyini sağlamayan yapıların göçme bölgesinde olduğu kabul edilir. Bu performans düzeyinde yer alan binaların can güvenliği bakımından, kullanımı sakıncalıdır.

### **3.7. TBDY-2018'e Göre Örnek Yapının Doğrusal Olmayan Performansının Belirlenmesi**

Bu bölümde çalışma kapsamında incelenen betonarme yapıların doğrusal olmayan davranışları dikkate alınarak söz konusu yapıların performansları belirlenmiştir.

#### **3.7.1. P1 Yapısına ait talep eğrisinin belirlenmesi**

Bu kapsamda öncelikle değerlendirilecek yapının, hedef performans düzeyine karar verilmelidir. Yapının performans düzeyi tayin edildikten sonra yapının maruz kalacağı deprem düzeyi belirlenmeli ve deprem etkisi bu performans hedeflerine bağlı olarak tayin edilmelidir.

##### **3.7.1.1. P1 yapısının hedef performansının belirlenmesi**

TBDY-2018 bina türü yapıların performanslarının değerlendirilmesi için sınırlı hasar performans düzeyi (SH), kontrollü hasar performans düzeyi (KH) ve göçmenin önlenmesi performans düzeyi (GÖ) adı altında üç farklı performans düzeyini ön görmektedir. Bu kapsamda mevcut yapının öncelikle bina kullanım sınıfı (BKS) ile kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına dikkate alınarak deprem tasarım sınıfı Çizelge 3.28. yardımıyla belirlenmelidir. Belirlenen deprem tasarım sınıfına göre

Çizelge 3.23. yardımıyla yapının hedef performansı ve hesapta dikkate alınacak değerlendirme yaklaşımı belirlenmelidir.

Çizelge 3.29. dikkate alındığında, konut olarak imal edilen P1 yapısının bina kullanım sınıfı BKS = 3 olarak belirlenir. Aynı zamanda AFAD (2018) interaktif deprem tehlike haritasından elde edilen sismik tehlike hartası detay raporun yardımıyla yapının kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı  $S_{DS} = 0.326$  olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu iki değer dikkate alındığında, Çizelge 3.28.'de P1 yapısının deprem tasarım sınıfı DTS = 4 olarak belirlenir. Belirlenen deprem tasarım sınıfına göre Çizelge 3.23.'da yapının hedef performansı, kontrollü hasar, dikkate alınacak deprem düzeyi DD-2 ve yapılacak hesapta dikkate alınacak değerlendirme yaklaşımı ise şekil değiştirmeye göre değerlendirme olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.28. Deprem tasarım sınıfları (TBDY, 2018)

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

Çizelge 3.29. Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları (TBDY, 2018)

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	<b>Depremden hemen sonra kullanılması gereken yapılar, yoğun ve uzun süreli olarak insanların kullandığı yapılar, içinde değerli eşya ve tehlikeli madde bulunan yapılar</b> <b>a)</b> Depremden hemen sonra kullanılması gereken yapılar (Hastaneler, sağlık ocakları, dispanserler, itfaiye binaları ve tesisleri, ulaşım istasyon ve terminaleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri , ilk yardım ve afet planlama istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları) <b>b)</b> Okullar, yurtlar, yatakhaneler, diğer eğitim binaları ve tesisleri, cezaevleri, askeri kışlalar vb. <b>c)</b> Müzeler <b>d)</b> Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	<b>Yoğun ve kısa süreli olarak insanların kullandığı yapılar</b> İbadethaneler, alışveriş merkezleri, konser, sinema, tiyatro salonları, spor tesisleri vb.	1.2
BKS = 3	<b>Diğer binalar</b> BKS=1 ve BKS=2 de belirtilen yapıların dışındaki diğer binalar (Konutlar, oteller, işyerleri, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

### 3.7.1.2. P1 yapısına ait deprem etkisinin belirlenmesi

Yapının topografik konum koordinatları, yer aldığı bölgenin zemin durumu ve yukarıda belirlenen deprem düzeyine göre AFAD (2018)'tın interaktif deprem tehlike haritasından P1 binasının kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı ( $S_{DS}$ ) ve 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı ( $S_{D1}$ ) değerleri sırasıyla 0.326 ve 0.150 olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$  değerleri kullanılarak Denklem (3.55) ve (3.56) yardımıyla yapının yatay elastik tasarım ivme spektrumuna ait köşe periyotları  $T_A$  ve  $T_B$  sırasıyla 0.092 ve 0.460 olarak elde edilmiştir.

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.55)$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.56)$$

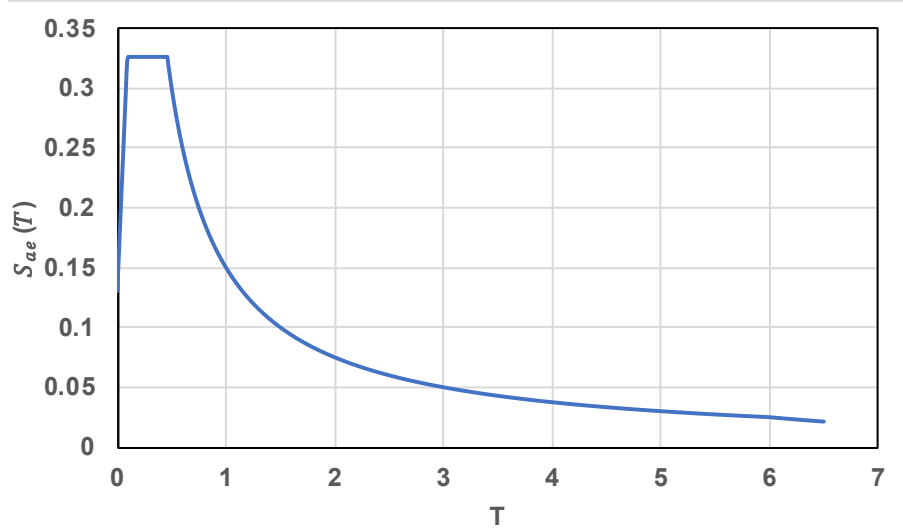
Elde edilen bu köşe periyotları ile  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$  değerleri kullanılarak yapının yatay elastik tasarım ivme spektrumu Denklem (3.57) yardımıyla elde edilerek Şekil 3.24.'te verilmiştir.

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

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

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

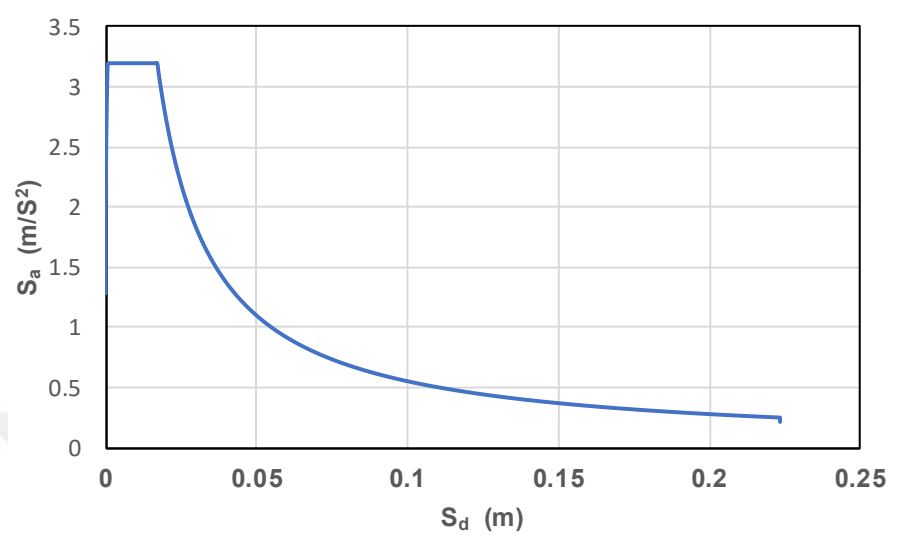
$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (T \leq T_L)$$
(3.57)



Şekil 3.24. P1 yapısına ait yatay elastik tasarım ivme spektrumu

Elde edilen elastik spektrum eğrisinin eksenlerini spektral ivme ( $S_{ac}(T)$ ) ile periyod oluşturur iken, talep eğrisinin eksenlerini spektral yer değiştirme ( $S_d$ ) ile spektral ivme ( $S_a$ ) değerleri meydana gelmektedir. Bu nedenle Bölüm 3.6.2.'de

belirtildiği şekilde spektrum eğrisine eksen dönüşümü uygulanarak yapının talep eğrisi elde edilmiştir (Şekil 3.25.).



Şekil 3.25. P1 yapısına ait spektral ivme – spektral yer değiştirme grafiği

### 3.7.2. P1 yapısının kapasite eğrisinin belirlenmesi

Mevcut bir yapının kapasite eğrisinin elde edilmesi için öncelikle yapıda kullanılan malzemelerin özelliklerinin bilinmesi ve yapı hakkında sahip olunan verilere göre yapının bilgi düzeyinin belirlenmesi gerekmektedir. Daha sonra mevcut bilgi düzeyine göre yapının kesit özellikleri belirlenerek yapının nümerik modeli oluşturulmalıdır. Oluşturulan bu nümerik modelde yer alan yapı elemanlarının malzemeleri ve kesit özelliklerine göre plastik mafsalları belirlenerek yapı elemanlarına tanımlanmalıdır. Bu bölüm kapsamında kesit özellikleri belirlenerek plastik mafsalları tanımlanmış olan bu nümerik modelin doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilerek kapasite eğrisi elde edilmiştir.

#### 3.7.2.1. Yapının bilgi düzeyi ve malzeme dayanımları

TBDY (2018), betonarme yapıların performanslarının belirlenmesi amacıyla yapılacak değerlendirme/tasarımlarda yapı hakkında sahip olunan bilgiler bakımından yapıları iki farklı bilgi düzeyine ayırarak değerlendirmesini yapmaktadır. Bu kapsamda, tasarlanacak veya değerlendirilecek yapının geometrisine ait (mimari ve

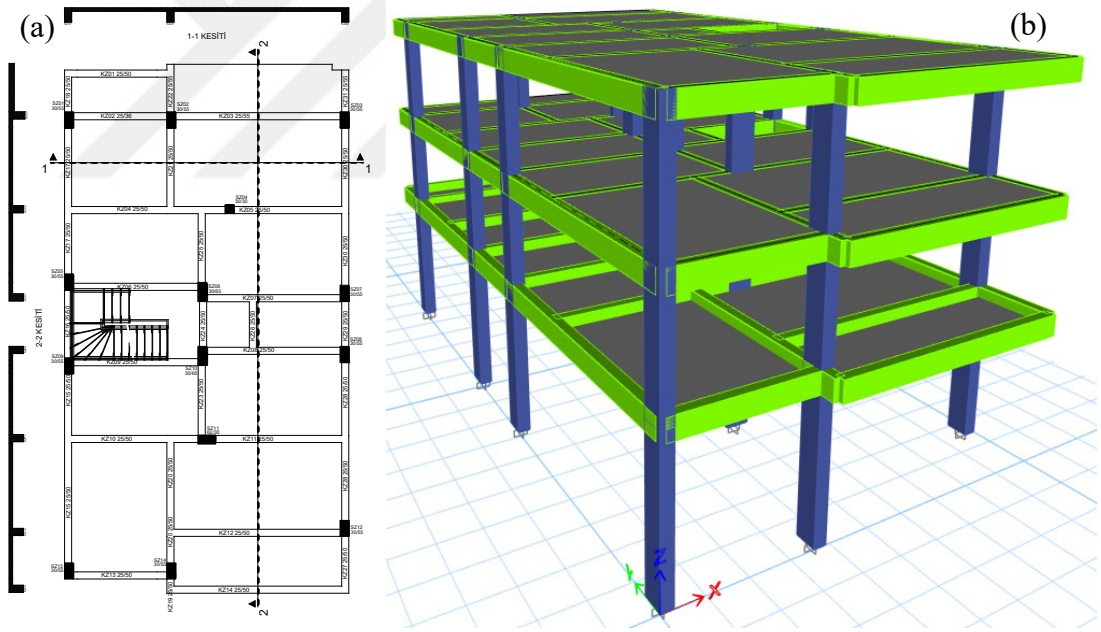
statik projelerinin varlığı, yapıların projelere uygunluğu) elde bulunan veriler, malzeme dayanımları hakkında edinilen bilgiler ve yapı elemanlarının geometrisi ve detaylarının bilgi durumlarına göre yapıların bilgi düzeyine karar verilmektedir. Ancak, bu çalışma kapsamında değerlendirilen binaların elde edilen mimari ve statik projelerine uygun imal edildikleri kabul edilmiş ve bu yapıların kesi özellikleri, malzeme dayanımları, donatı detay ve özellikleri elde edilen mevcut projelerinden alınmıştır. Yapılar projelerine uygun imal edildiği kabul edildiğinden bilgi düzeyleri, kapsamlı bilgi düzeyi olarak belirlenmiş ve buna bağlı olarak Çizelge 3.28.'den bilgi düzeyi katsayısı ise bir olarak alınmıştır.

### 3.7.2.2. Plastik mafsallı değerlerinin tanımlanması

Yapıların şekil değiştirmeye göre performanslarının belirlenmesi amacıyla öncelikle yapı elemanlarının belli bir kesitinde ve o kesite dik olan belirli bir mesafe (plastik mafsallı boyu) içerisinde gerçekleşen şekil değiştirmeleri ifade eden plastik mafsallara ait özelliklerin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu şekil değiştirmeler, yapı elemanlarının maruz kaldıkları yükler sonucunda kesitlerini meydana getiren malzemeler üzerinde elastik şekil değiştirme sınırlarını aşan gerilmeler meydana gelmesi nedeniyle, yapı elemanlarında meydana gelen plastik şekil değiştirmeler/mafsallardır. Kolon ve kiriş gibi çubuk elemanlarda deprem kuvvetlerinden meydana gelen gerilmeler daha çok düğüm noktalarına yakın bölgelerde yoğunlaşması nedeniyle bu tür yapı elemanlarında plastik mafsallar düğüm noktalara veya düğüm noktalarına yakın bölgelere yerleştirilir iken perde elemanlarında ise mafsallar her katın tabanına yakın bölgeye yerleştirilmektedir. Ancak düşey yüklerin etkisiyle (bilhassa kirişlerde) mesnet açıklığının orta bölgesinde yapı elemanlarında plastik mafsalların oluşması muhtemeldir. Bu nedenle Bölüm 3.6.3.2.'te belirtildiği üzere, yapılan bu çalışma kapsamında tüm çubuk (kolon/kiriş vb.) elemanların her iki ucundan söz konusu elemanın uzunluğunun %5'i kadar mesafede yığılı plastik mafsallı tanımlanır iken perde elemanlarına ise kat taban hizasında yayılı plastik mafsallar tanımlanmıştır.

### 3.7.2.3. P1 yapısına ait numerik modelin oluşturulması

Yapının numerik modeli, elde edilen mimari ve statik projesine uygun olarak ETABS (2023) yapısal analiz programında oluşturulmuştur (Şekil 3.26.). Oluşturulan bu numerik modelde yapının mesnetleri yer değiştirmenin ve dönmenin gerçekleşmediği varsayımına dayanan ankastre mesnet olarak tanılanmıştır. Yapının malzeme özellikleri statik projesinden alınarak yapısal analiz programında tanımlanmıştır. Yapının statik projesinden beton sınıfı C20 olarak belirlenmiş ve hesaplarda beton basınç dayanımı 20 MPa olarak dikkate alınmıştır. Betonun karakteristik davranışı ise Mander vd. (1988) tarafından hem sargılı hem de sargısız beton için önerilen davranış modeli dikkate alınarak hesaplara dahil edilmiştir. Kullanılan yapı çeliğinin sınıfı ise S420 olarak tespit edilmiş ve yapılan hesaplarda Çizelge 3.25.'de S420 için belirtilen karakteristik özellikler dikkate alınmıştır.



Şekil 3.26. P1 yapısına ait (a) zemin kat kalıp planı; (b) üç boyutlu nümerik modeli

Beton basınç dayanımına göre çekme kapasitesinin çok düşük olması nedeniyle yapılan hesaplarda betonun çekme dayanımı ihmal edilmiştir. Aynı zamanda betonun çekme kapasitesinin çok düşük olması nedeniyle yapı elemanlarının maruz kaldığı yükler, betonda kılcal çatlakların oluşmasına neden olmakta ve bu çatlaklar yapı

elemanının rijitlik kapasitesini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle yapılan hesaplarda eleman rijitlikleri Çizelge 3.26.'da belirtilen katsayılar ile çarpılarak azaltılmıştır.

Doğrusal olmayan analizlerde yapının düşey yükler altındaki davranışı ilk adımda dikkate alınmalıdır. Bu nedenle yapılacak analizlerde yapının düşey yükleri belirlenmeli ve hesaplara dahil edilmelidir. Bu doğrultuda yapının düşey yükleri TS 498'e göre aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Hareketli yük: Yapının konut olması nedeniyle TS 498 doğrultusunda tüm odalarda hareketli yük miktarı  $2 \text{ kN/m}^2$  olarak belirlenmiştir. Yapıda yer alan balkonların ise hareketli yük miktarı  $5 \text{ kN/m}^2$  olarak alınmıştır. Çatı katında ise hareketli yük  $3.5 \text{ kN/m}^2$  olarak hesaba dahil edilmiştir.

Öz yükler ( $G_0$ ): yapılan hesaplarda betonun birim ağırlığı TS 498 doğrultusunda TS ISO 9194'ün ekinde  $25 \text{ kN/m}^3$  olarak belirlenmiş ve yapı elemanlarının öz ağırlığı belirlenen bu birim ağırlık dikkate alınarak ETABS (2023) yapısal analiz programı tarafından doğrudan hesaplanarak dikkate alınmıştır.

Kaplama yükü: yapıların mimari projelerinde belirtilen kaplama türüne göre TS 498 yardımıyla belirlenerek hesaplara dahil edilmiştir. P1 yapısının fayans kaplama yükü  $1.67 \text{ kN/m}^2$  olarak tespit edilmiştir.

Duvar yükü: yapıda yer alan duvarların yükleri, duvar malzemesi dikkate alınarak TS 498'e göre birim ağırlığı belirlenmiş ve bu birim ağırlık dikkate alınarak toplam duvar yükü belirlenmiştir. Belirlenen bu duvar yükleri döşemelere yayılı yük olarak tanımlanmıştır. Delikli yapı tuğlası ile imal edilen P1 binasının normal kat duvarları için birim ağırlık TS 498 doğrultusunda TS ISO 9194'ün ekinde delikli yapı tuğlası için  $8 \text{ kN/m}^3$  olarak belirlenmiştir. Toplam duvar ağırlığı ( $\Sigma G_{WT}$ ) ise aşağıda belirtildiği üzere Çizelge 3.19.'den alınan toplam duvar kesit alanlarının duvar yüksekliği ile çarpımı sonucu elde edilen toplam duvar miktarının duvar birim ağırlığı ile çarpılması sonucunda  $308.2 \text{ kN}$  olarak elde edilmiştir. Elde edilen toplam ağırlık döşeme alanına bölünerek yayılı yük miktarı  $1.66 \text{ kN/m}^2$  olarak hesaplanmıştır.

Yukarıda TS 498 dikkate alınarak yapının düşey yükleri belirlenmiş ve belirlenen bu yükler yapılan hesaplarda Denklem (3.58) ile dikkate alınmıştır. Yapılan hesapta hareketli yük katsayısı Çizelge 3.27.'ten alınmıştır.

$$W = G + nQ \quad (3.58)$$

#### 3.7.2.4. Sabit tek modlu itme yöntemi kullanılarak X eksenli doğrultusunda yapının kapasite eğrilerinin belirlenmesi

TBDY-2018 sabit tek modlu analiz yönteminin kullanılmasını bazı şartlara bağlayarak kullanımını sınırlandırmıştır. Bu nedenle sabit tek modlu analiz yönteminin kullanımını Bölüm 3.6.3.4.'te belirtilen şartların sağlanmasına bağlıdır. Bu şartları P1 yapısı için incelenmiş ve ayrıntıları aşağıda verilmiştir.

Mimari ve statik projelerinden yapının toplam yüksekliği (H) 9.70 m olarak tespit edilmiştir. Tespit edilen bu yükseklik ve Bölüm 3.7.1.1.'de belirlenen yapı deprem tasarım sınıfı dikkate alınarak Çizelge 3.30. yardımıyla yapının yükseklik sınıfı (BKS)=8  $\geq$  5 olarak tespit edilmiştir.

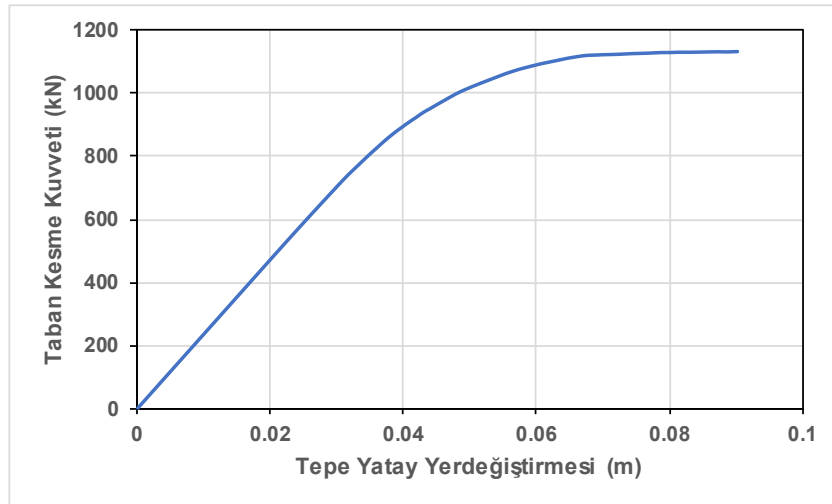
Çizelge 3.30. Bina yükseklik sınıfları (TBDY, 2018)

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

Yukarıda P1 yapısına ait elde edilen numerik modele uygulanan doğrusal hesaplar sonucunda ek dışmerkezlik dikkate alınmadığında yapıda gerçekleşen en büyük burulma değeri ( $\eta_{bi}$ ) 1.101 olarak tespit edilmiştir.

Ve yapının numerik modeline uygulanan doğrusal analiz sonucunda, elde edilen deprem kuvvetinin yapıya uygulandığı doğrultuya hâkim olan modun etkin kütlesi, yapının toplam kütlesinin %87'sine eşit olduğu tespit edilmiştir. Belirlenen bu değerler dikkate alındığında söz konusu yapının tek modlu itme analizi için TBDY-2018'de belirtilen şartları taşıdığı tespit edilmiştir.

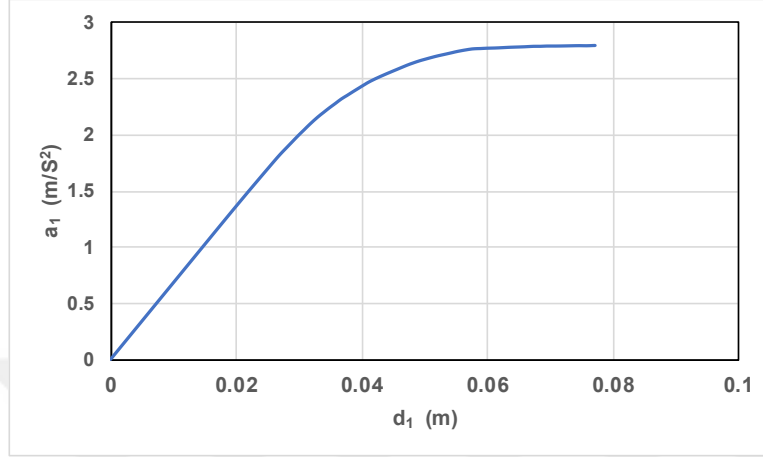
Sabit tek modlu itme analizinde eşdeğer deprem kuvvetleri yapı elemanlarında meydana gelen plastik mafsallara bağlı olmaksızın dikkate alınan analiz doğrultusuna hâkim olan mod şekline göre dağıtmakta ve bu dağılım sabit tutulmaktadır. Bu orana göre uygulanan kuvvetler sonucunda eksen takımları yapının en üst katının kütle merkezinde meydana gelen yer değiştirmeyi ifade eden tepe yer değiştirme ile yapı sisteminde dikkate alınan deprem doğrultusunda uygulanan itme kuvvetlerinin toplamını ifade eden taban kesme kuvvetlerinin oluşturduğu kapasite eğrisi belirlenerek Şekil 3.27.'da verilmiştir.



Şekil 3.27. P1 yapısının X eksenli doğrultusunda elde edilen kapasite eğrisi

Elde edilen kapasite eğrisinin talep eğrisiyle karşılaştırılmasının mümkün olması ancak ikisinin aynı birime dönüştürülmesi ile mümkündür. Bu amaçla Taban kesme kuvveti – tepe yer değiştirmesi eksen takımından oluşan yapının kapasite

eğrisine Denklem (3.31) ve (3.32) yardımıyla eksen dönüşümü uygulanarak yapının kapasite eğrisinin eksen takımı modal sözde-ivme – modal yer değiştirme şeklinde dönüştürülmüş ve yeni eğri Şekil 3.28.’de verilmiştir.

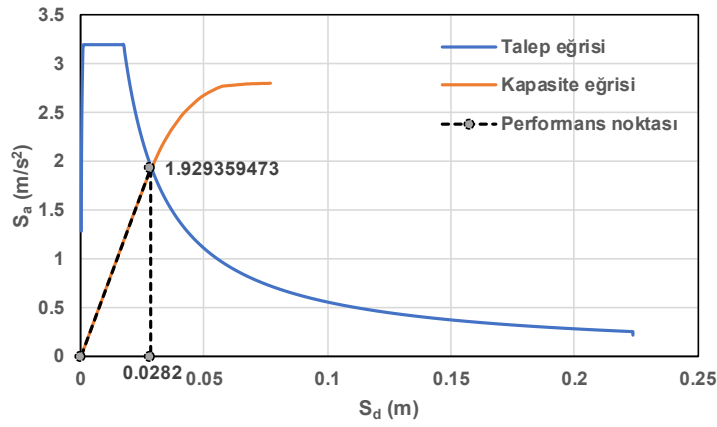


Şekil 3.28. P1 yapısının X eksenini doğrultusunda modal sözde-ivme – modal yer değiştirme eksen takımından meydana gelen kapasite eğrisi

### 3.7.3. Yapının X eksenini doğrultusundaki talep – kapasite eğrilerinin karşılaştırılması

Elde edilen numerik modele uygulanan modal analiz sonucunda yapının X eksenini doğrultusunda hakim periyodu belirlenmiştir (Çizelge 3.31.). Belirlenen bu periyot değerinin P1 yapısına ait Şekil 3.24.’te verilen yatay elastik tasarı ivme spektrumunun  $T_b$  köşe periyodundan büyük olmasından dolayı yapının spektral yer değiştirme oranı bir alınmıştır.

Yapının talep – kapasite eğrilerinin karşılaştırılması amacıyla yukarıda talep ve kapasite eğrilerine eksen dönüşümü uygulanmış ve eksen dönüşümü uygulanarak aynı birime dönüştürülen talep ve kapasite eğrilerinin kıyaslanması için Şekil 3.29.’de üst üste çizilmiştir. Üst üste çizilen talep ve kapasite eğrileri kıyaslanarak yapının performans noktası belirlenmiştir (Şekil 3.29.). Aynı zamanda üst üste çizilen bu talep ve kapasite eğrileri yardımıyla yapının doğrusal olmayan spektral yer değiştirme değeri ayrıntıları Bölüm 3.6.4.’te belirtildiği şekilde elde edilmiş ve yapının tepe yer değiştirme istemi hesaplanarak Çizelge 3.31.’de verilmiştir.



Şekil 3.29. P1 yapısına ait X eksenini doğrultusunda doğrusal elastik spektral ivme – doğrusal elastik spektral yer değıştirme grafiği

Çizelge 3.31. P1 yapısının tepe yer değıştirme talebi  $U_{Nxi}$  elde edilmesi

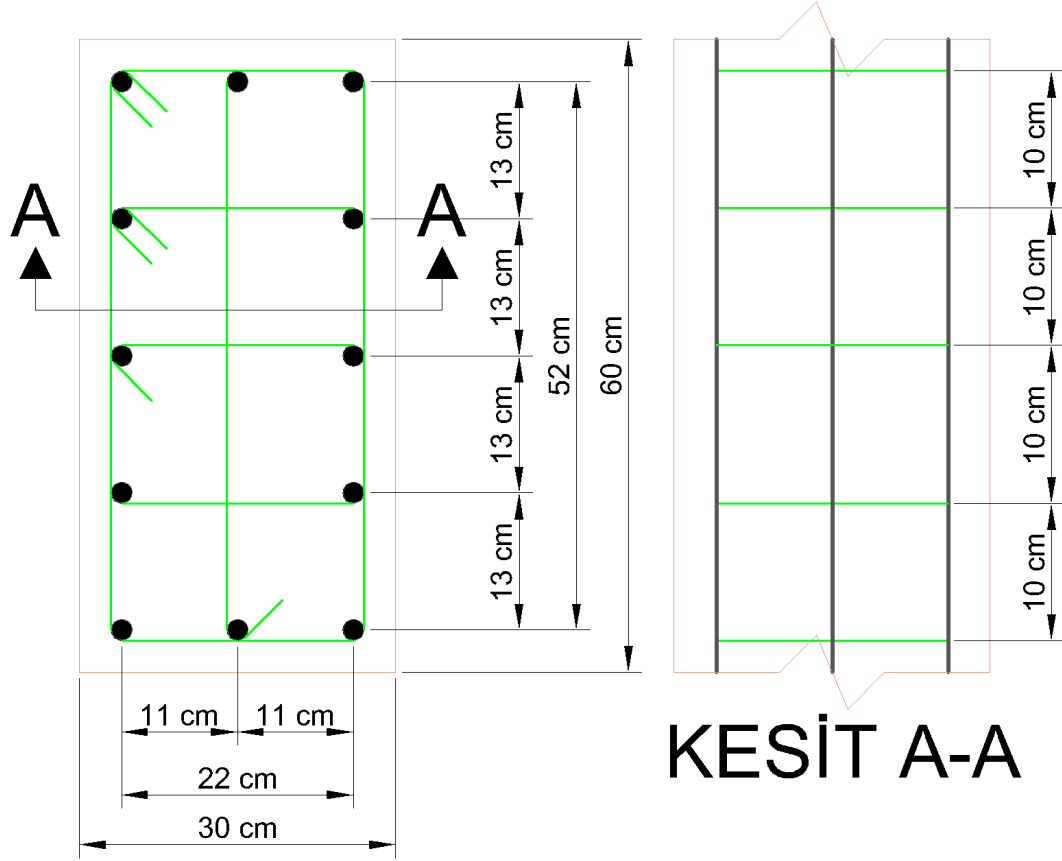
$T_1=0.756$	0.756 s
$C_R$	1
$S_{de}$	0.0282 m
$d_1=S_{d1}=C_R \cdot S_{de}$	0.0282 m
$\Gamma_{xn}$	20.1981 1/m
$\Phi_{xN1}$	0.058 m
$U_{Nxi} = \Phi_{xN1} \Gamma_{xn} S_{de}$	0.033 m

ETABS (2023) yapısal analiz programı yardımıyla yapı belirlenen bu tepe yer değıştirme noktasına kadar itilmiş ve yapı elemanlarında meydana gelen dönme ve şekil değıştirme değeri elde edilmiştir.

#### 3.7.4. TBDY-2018'e göre yapı elemanlarında izin verilen şekil değıştirme sınırları ve iç kuvvet sınırları

Yapı elemanlarının hasar durumunun belirlenmesi amacıyla öncelikle yapı elemanları için şartnamelerde izin verilen dönme ve şekil değıştirme sınırlarının belirlenmesi gerekmektedir. Daha sonra belirlenen bu sınır değeri yukarıda anlatıldığı üzere yapının numerik modeline uygulanan itme analizi sonucunda yapı elemanlarında meydana gelen dönme ve şekil değıştirme değeri ile kıyaslanarak eleman hasar durumuna karar verilmelidir. Bu nedenle yapılan bu çalışmada tüm yapı elemanları için TBDY-2018'de belirtilen sınır değeri belirlenmiştir. Bölüm 3.6.6.'da

ayrıntıları verilen bu sınır değerleri Şekil 3.30.'de verilen yapı elemanı özelinde aşağıda belirtildiği şekilde tespit edilmiştir.



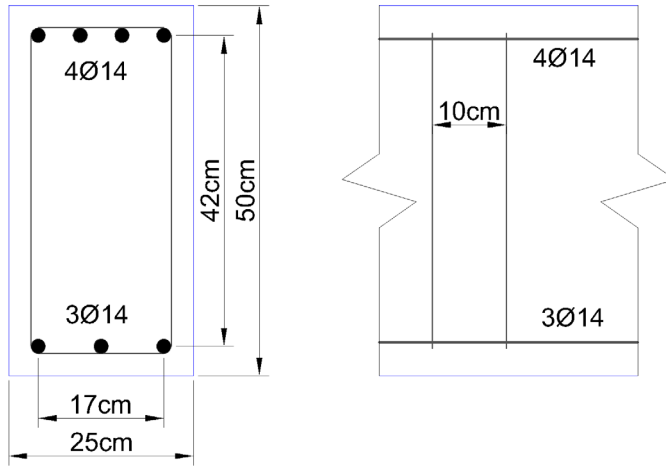
Şekil 3.30. Betonarme kolonun en kesit boyutları ve donatı yerleşim detayı

Yapı elemanlarının performans düzeylerinin yayılı plastik davranış modeli dikkate alınarak belirlenmesi durumunda performans düzeyine göre yapı elemanında kullanılan beton ve donatıda izin verilen şekil değiştirme sınırları belirlenmelidir. Bu sınır değerleri P1 yapısı için projesinden 20 MPa olarak belirlenen karakteristik beton basınç dayanımı ve S420 donatısının karakteristik özellikleri dikkate alınarak ayrıntıları Şekil 3.30.'de verilen yapı elemanı için hesaplanmış Çizelge 3.32.'de verilmiştir.

Çizelge 3.32. Yayılı plastik mafsal için şekil değiştirme sınırları

Etriye çapı (mm)	8
$\rho_{sh, min}$	0.00483
$\alpha_{se}$	0.511609675
$\omega_{we}$	0.051927159
$\epsilon_c^{(GÖ)} \leq 0.018$	0.012615013
$\epsilon_c^{(KH)}$	0.009461259
$\epsilon_c^{(SH)}$	0.0025
$\epsilon_s^{(GÖ)} = 0.4\epsilon_{su}$	0.032
$\epsilon_s^{(KH)} = 0.75\epsilon_s^{(GÖ)}$	0.024
$\epsilon_s^{(SH)}$	0.0075

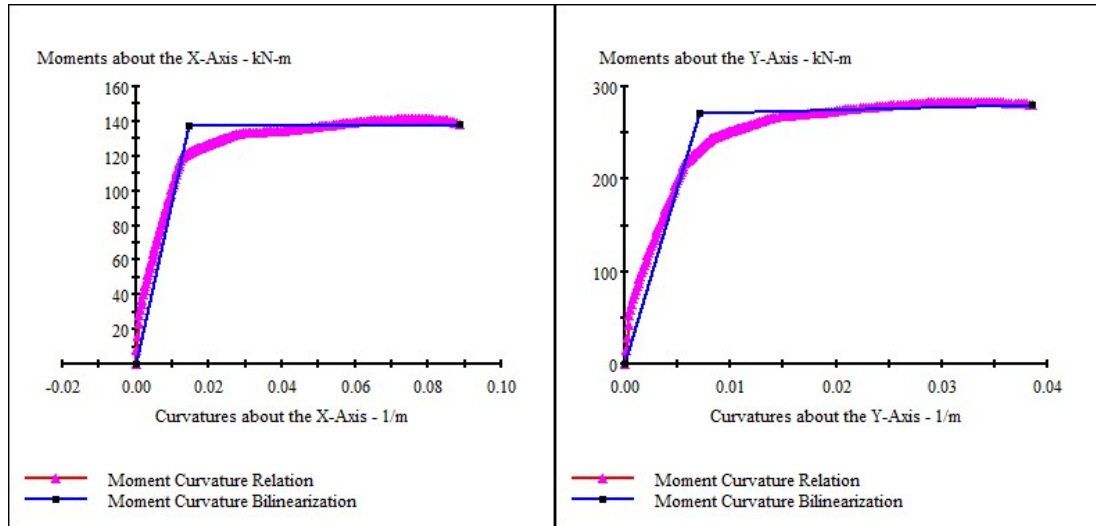
Yapı elemanlarının performans düzeylerinin yığılı plastik davranış modeli dikkate alınarak belirlendiği durumlarda, öncelikle elemanın malzeme ve kesit özellikleri dikkate alınarak XTRACT programında yapı elemanları modellenmiş ve elemana uygulanan moment eğrilik analizi ile yapı elemanlarının moment – eğrilik diyagramları elde edilmiştir (Şekil 3.32.; Şekil 3.33.). Elde edilen bu moment eğrilik diyagramlarından yapı elemanlarının akma ve kopma noktasındaki moment ve eğrilik değerleri belirlenmiştir (Çizelge 3.33.). Yapı kirişleri eksenel yük taşımadığından, kiriş elemanlarına uygulanan moment – eğrilik analizlerinde eksenel yük tanımlanmamıştır. Ancak düşey taşıyıcı elemanlara uygulanan moment – eğrilik analizlerinde ETABS (2023) yapısal analiz programında numerik modele uygulanan doğrusal analizler sonucunda yapı elemanlarında tespit edilen eksenel yükler dikkate alınmıştır. Ayrıca düşey elemanlarda eksenel yükler dikkate alındığından yığılı plastik davranışın belirlenmesi için eksenel kuvvet – moment diyagramına da ihtiyaç duyulmaktadır. Bu eksenel kuvvet – moment ilişkisi ETABS (2023) yapısal analiz programında tanımlanan malzemeler dikkate alınarak doğrudan elde edilmiş ve hesaplarda dikkate alınmıştır. Yapılan analizlerden elde edilen bu veriler dikkate alınarak ayrıntıları Bölüm 3.6.6.'da verildiği şekilde performans düzeylerine göre yapı elemanlarının hasar sınırları belirlenmiştir. Şekil 3.30. ve Şekil 3.31.'de ayrıntıları verilen yapı elemanları için belirlenen bu değerler Çizelge 3.34. ve Çizelge 3.35.'te verilmiştir.



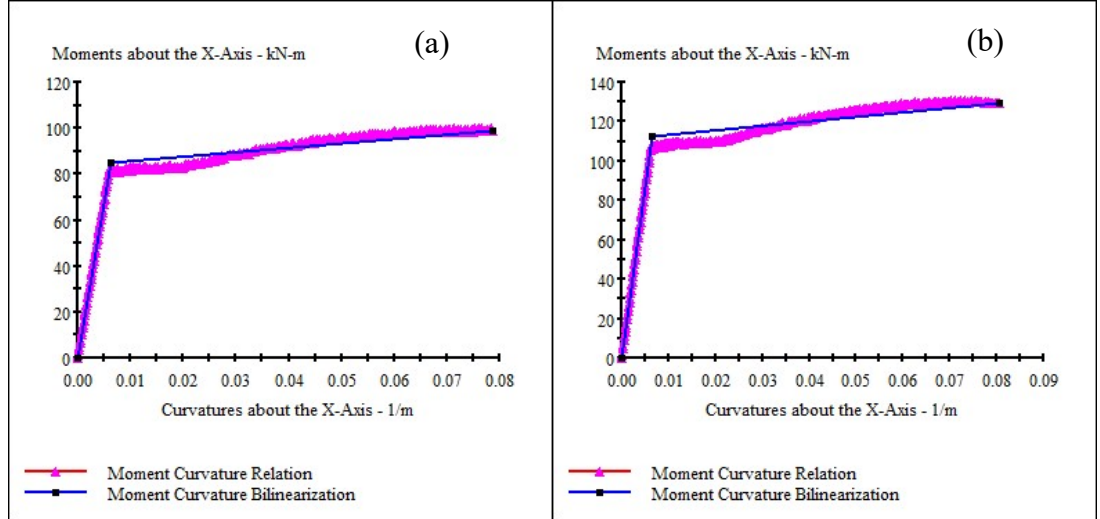
Şekil 3.31. Betonarme kiriş en kesit boyutları ve donatı yerleşim detayı

Çizelge 3.33. Yapı elemanlarının akma ve kopma noktalarına ait moment – eğrilik değerleri

Kesit	Yön	$M_u$	$M_y$	$\phi_u$	$\phi_y$
C_30x60 (P=350 kN)	Pozitif – X	138.3	137.8	0.08844	0.01441
	Pozitif – Y	281	271.6	0.03854	0.00711
B_25x50	Pozitif	98.98	84.84	7.87E-02	6.22E-03
	Negatif	129.4	112.9	8.04E-02	0.006611



Şekil 3.32. Betonarme kolon elemanına ait moment – eğrilik diyagramları (XTRACT)



Şekil 3.33. Betonarme kiriş elemanına ait (a)-pozitif; (b)-negatif yönünde elde edilen moment – eğrilik diyagramları (XTRACT)

Çizelge 3.34. Betonarme kolon elemanına ait hasar sınırları

	Pozitif – X	Pozitif – Y
$\phi_u$ (1/m)	0.08844	0.03854
$\phi_y$ (1/m)	0.01441	0.00711
$L_p$ (m)	0.15	0.3
$L_s$ (m)	2.5	2.5
$d_b$ (m)	0.014	0.014
$\theta_p^{(g\delta)}$	0.01089539	0.00752752
$\theta_p^{(KH)}$	0.008171543	0.00564564
$\theta_p^{(SH)}$	0	0

Çizelge 3.35. Betonarme kiriş elemanına ait hasar sınırları

	Pozitif	Negatif
$\phi_u$ (1/m)	0.0787	0.0804
$\phi_y$ (1/m)	0.00622	0.006611
$L_p$ (m)	0.25	0.25
$L_s$ (m)	3.70	3.70
$d_b$ (m)	0.014	0.014
$\theta_p^{(g\delta)}$	0.014977292	0.015259488
$\theta_p^{(KH)}$	0.011232969	0.011444616
$\theta_p^{(SH)}$	0	0

### 3.7.5. Yapı performans düzeyinin belirlenmesi

Yapının performans düzeyinin belirlenmesi amacıyla X ve Y doğrultularında sadece pozitif yönlere yapının numerik modeline itme analizi uygulanmıştır. Yapının numerik modeline uygulanan bu itme analizleri sonucunda eleman kesitlerinde meydana gelen eğrilik ve şekil değiştirmeler yukarıda elde edilen sınır değerleri ile kıyaslanarak eleman hasar durumuna karar verilmiştir. Eleman hasar durumları ve düşey elemanların kesme kuvvetleri dikkate alınarak Bölüm 3.6.8.'de ayrıntıları verildiği şekilde kat hasar durumları tespit edilerek Çizelge 3.36. ve Çizelge 3.37.'da verilmiştir.

Çizelge 3.36. X doğrultusunda eleman hasarları ve kat performans düzeyi

Kat	Eleman Tipi	Değer	Sınırlı Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme	Toplam	Performans Durumu
1. Kat	Kolon	Eleman sayısı	14	0	0	0	14	SINIRLI HASAR
		Kesme kuvveti (KN)	703.48	0	0	0	703.48	
		Kesme oranı (%)	100	0	0	0		
	Kiriş	Eleman sayısı	27	4	0	0	31	
		Eleman oranı (%)	87.097	12.903	0	0		
2. Kat	Kolon	Eleman sayısı	14	0	0	0	14	SINIRLI HASAR
		Kesme kuvveti (KN)	567.34	0	0	0	567.34	
		Kesme oranı (%)	100	0	0	0		
	Kiriş	Eleman sayısı	30	1	0	0	31	
		Eleman oranı (%)	96.774	3.22581	0	0		
3. Kat	Kolon	Eleman sayısı	14	0	0	0	14	SINIRLI HASAR
		Kesme kuvveti (KN)	328.67	0	0	0	328.67	
		Kesme oranı (%)	100	0	0	0		
	Kiriş	Eleman sayısı	30	0	0	0	30	
		Eleman oranı (%)	100	0	0	0		

Çizelge 3.37. Y doğrultusunda eleman hasarları ve kat performans düzeyi

Kat	Eleman Tipi	Değer	Sınırlı Hasar	Belirgin Hasar	İleri Hasar	Göçme	Toplam	Performans Durumu
1. Kat	Kolon	Eleman sayısı	12	2	0	0	14	KONTROLÜ HASAR
		Kesme kuvveti (KN)	709.46	212.76	0	0	922.22	
		Kesme oranı (%)	76.93	23.0704	0	0		
	Kiriş	Eleman sayısı	26	5	0	0	31	
		Eleman oranı (%)	83.871	16.129	0	0		
2. Kat	Kolon	Eleman sayısı	14	0	0	0	14	SINIRLI HASAR
		Kesme kuvveti (KN)	760.24	0	0	0	760.24	
		Kesme oranı (%)	100	0	0	0		
	Kiriş	Eleman sayısı	27	4	0	0	31	
		Eleman oranı (%)	87.097	12.9032	0	0		
3. Kat	Kolon	Eleman sayısı	14	0	0	0	14	SINIRLI HASAR
		Kesme kuvveti (KN)	487.75	0	0	0	487.75	
		Kesme oranı (%)	100	0	0	0		
	Kiriş	Eleman sayısı	30	0	0	0	30	
		Eleman oranı (%)	100	0	0	0		

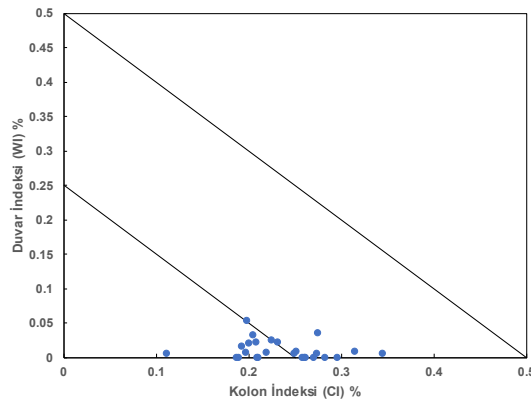
Yapının numerik modeline uygulanan itme analizlerinden elde edilen kat performans durumları dikkate alınarak yapıda en olumsuz sonuç elde edilen kat ve yükleme durumuna göre yapının performans düzeyi belirlenmiştir. Bu doğrultuda, Çizelge 3.36. ve Çizelge 3.37.'da sonuçları verilen P1 yapısı için en olumsuz sonuç Y doğrultusunda uygulanan itme analizi sonucunda zemin kat için kontrollü hasar olarak tespit edilmiş ve yapının performans düzeyi kontrollü hasar performans düzeyi olarak belirlenmiştir.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde tez kapsamında 26 adet betonarme bina için Hassan indeksi ve P25 metoduyla değerlendirmeler yapılmıştır. TBDY-2018 kapsamında verilen mevcut bina değerlendirme koşulları dikkate alınarak yapılan hesap sonuçları ile Hassan indeksi ve P25 metoduyla elde edilen sonuçlar kıyaslanmış ve uygulanan bu hızlı değerlendirme yöntemlerinin güvenilirliği tartışılmıştır. Bir önceki bölümde bu yöntemler detaylı olarak açıklanmış ve bu yöntemlerin 26 bina için tek tek nasıl uygulandığı örnek alınan P1 projesi üzerinde uygulanarak gösterilmiştir.

##### 4.1. Tüm Binalar için Hassan İndeks Yöntemi ile Elde Edilen Sonuçlar

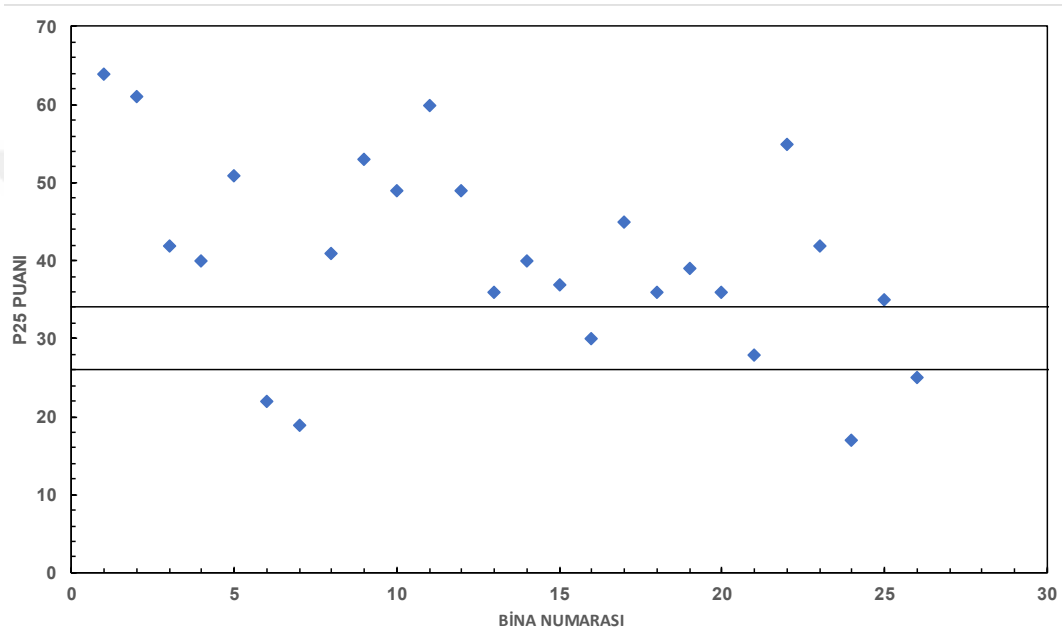
Yapıların risk durumunun belirlenmesi amacıyla Bölüm 3.2.'de belirtildiği şekilde kartezyen düzlem üzerinde elde edilen kolon indeksi değerleri yatay eksen ve duvar indeksi değerleri dikey eksende yerleştirilmekte ve Şekil 4.1.'de görüldüğü üzere bu iki değerlerin kesişim noktası yapının performans noktası olarak belirlenmektedir. Kartezyen düzlemin kolları ile elde edilen birinci sınır çizgisi ile orijin arasında kalan bölgede yer alan yapılar, her iki sınır çizgisi arasında bulunan yapılar şüpheli olarak değerlendirilmekte ve ikinci sınır çizgisi dışında kalan yapıların ise risksiz durumda oldukları kabul edilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında, Hassan İndeks yöntemine göre Şekil 4.1.'de görüldüğü üzere yapıların bir kısmı riskli durumda iken diğer kısmı şüpheli durumundadır.



Şekil 4.1. Yapılan tez çalışması sonucunda elde edilen verilerin değerlendirilmesi

#### 4.2. Tüm Binalar için P25 Metodu ile Elde Edilen Sonuçlar

Bölüm 3.4.'te tarif edilen ve örnek P1 binası için P25 metoduna göre izlenen adımlar diğer tüm binalar için uygulanmıştır ve elde edilen değerler Şekil 4.2.'de gösterilmiştir. Yapıların bir kısmının 25 ile 35 puan arasında kalarak şüpheli durumda olduğu görülmüştür. Çoğu binanın ise 35 üzeri puanının olduğu ve risk taşımadığı görülmektedir.



Şekil 4.2. Yapılara ait P25 performans sonuç puanlarının karşılaştırılması

#### 4.3. Tüm Binalar için TBDY-2018'e Göre Elde Edilen Sonuçlar

TBDY-2018 ve diğer şartnameler dikkate alınarak benzer şekilde mimari ve statik projelerine uygun nümerik modelleri elde edilen diğer yapılara uygulanan doğrusal olmayan itme analizleri sonucunda yapıların performans düzeyleri belirlenmiş ve Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Yapıların temel bilgileri ve performans düzeyleri

Proje Adı	Bina Yüksekliği (m)	Max. Burulma Düzensizliği	Periyot (X)	Periyot (Y)	Kütle Katılım Oranı (X)	Kütle Katılım Oranı (Y)	Deplasman Talebi X (mm)	Deplasman Talebi Y (mm)	Performans Düzeyi
P1	9.7	1.101	0.756	0.540	0.88	0.87	32.88	24.36	KH
P2	9	1.189	0.582	0.415	0.81	0.82	26.29	17.46	KH
P3	9.6	1.215	0.689	0.487	0.84	0.84	33.01	24.64	KH
P4	9.7	1.059	0.665	0.487	0.92	0.91	28.43	21.91	KH
P5	12	1.338	1.022	0.766	0.73	0.83	40.18	34.94	Göçme
P6	13.4	1.138	0.993	0.810	0.91	0.82	41.77	32.57	KH
P7	12	1.338	1.022	0.766	0.73	0.83	40.17	34.94	KH
P8	9	1.12	0.607	0.400	0.83	0.73	27.18	16.67	KH
P9	9	1.251	0.591	0.410	0.81	0.75	25.71	17.50	KH
P10	9	1.114	0.586	0.546	0.80	0.77	26.33	24.75	SH
P11	10.4	1.286	0.853	0.596	0.89	0.92	36.71	27.28	KH
P12	12	1.247	0.856	0.493	0.77	0.72	38.47	24.59	SH
P13	10.3	1.075	0.829	0.618	0.91	0.92	37.12	28.21	KH
P14	9	1.206	0.737	0.602	0.81	0.81	32.25	28.47	SH
P15	9	1.127	0.647	0.492	0.77	0.83	28.48	23.12	KH
P16	9	1.207	0.625	0.506	0.72	0.82	25.55	23.71	Göçme
P17	9	1.142	0.681	0.497	0.81	0.82	31.00	23.17	SH
P18	9	1.227	0.681	0.561	0.73	0.81	27.16	25.98	KH
P19	12	1.174	0.780	0.721	0.75	0.78	34.47	33.65	KH
P20	9	1.187	0.630	0.547	0.75	0.80	26.13	25.29	KH
P21	10	1.169	0.735	0.607	0.71	0.86	28.06	28.76	KH
P22	9	1.126	0.488	0.555	0.77	0.82	21.11	24.24	KH
P23	9	1.167	0.596	0.464	0.80	0.73	26.18	19.52	KH
P24	12.32	1.074	0.937	0.432	0.84	0.74	43.67	19.45	KH
P25	9	1.127	0.644	0.539	0.75	0.77	26.77	24.10	KH
P26	9.5	1.12	0.731	0.605	0.87	0.86	32.55	27.83	Göçme

#### 4.4. Tüm Binalar için Elde Edilen Sonuçların Birbirleriyle Karşılaştırılması

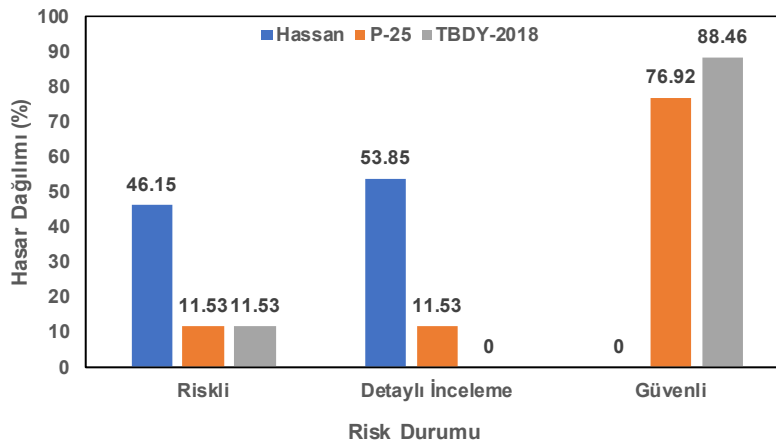
Hassan indeki yöntemi ve P25 hızlı değerlendirme yöntemi ile TBDY-2018'e uygun gerçekleştirilen itme analizleri sonucunda yapıların risk durumları belirlenmiş ve Çizelge 4.2.'de verilmiştir. Çizelge 4.2.'de görüldüğü üzere Hassan indeksi yöntemi ile yapılan risk değerlendirmesi sonucunda incelenen 26 yapıdan 12'sinin sonuç puanlarının 0.25'ten küçük olduğu belirlenmiş ve bu yapılar riskli olarak tespit

edilmiştir. Bu yöntem ile risk değerlendirmesi yapılan diğer yapıların sonuç puanları 0.25 ile 0.50 arasında kalmıştır.

P25 hızlı değerlendirme yöntemi ile yapılan değerlendirmeler sonucunda ise P6, P7 ve P24 riskli olarak tespit edilmiştir. İncelenen P16, P21 ve P26 yapılarının sonuç puanlarının ise 25 ile 35 arasında kaldığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.2.). Sonuç puanlarının 25 ile 35 arasında kalmasından dolayı, ayrıntılarıyla Bölüm 3.4.'de belirtildiği üzere bu yapıların durumu şüpheli görülmüş ve detaylı inceleme durumunda olduğu belirlenmiştir. P25 hızlı değerlendirme yöntemi ile incelenen diğer yapıların sonuç puanları dikkate alındığında, 35 olan şüpheli bölgenin üst sınırını aştıkları belirlenmiş ve incelenen bu yapıların risk taşımadığı dolayısıyla güvenli bölgede oldukları belirlenmiştir.

İtme analizleri sonucunda TBDY-2018'e göre yapılan değerlendirme neticesinde P5, P16 ve P26'nın göçme bölgesinde olduğu tespit edilmiştir. TBDY-2018'e göre incelenen diğer yapıların ise hedef performans düzeyi olan kontrollü hasar performans düzeyini sağladıkları belirlenmiştir.

Hassan indeksi ve P25 hızlı değerlendirme yöntemleri ile TBDY-2018'e göre gerçekleştirilen performans analizleri sonucunda yapıların risk durumlarına göre dağılımları belirlenerek Şekil 4.3.'te verilmiştir.



Şekil 4.3. Çalışma kapsamında incelenen yapıların hasar dağılımları

Çizelge 4.2. İncelenen yapıların performans puanları ve risk durumları

Proje Adı	Sonuç Puanı		Risk Durumu		TBDY-2018 Performans Düzeyi
	Hassan İndeksi	P25	Hassan İndeksi	P25	
P1	0.208827	64	Riskli	Güvenli	KH
P2	0.270356	61	Detaylı İnceleme	Güvenli	KH
P3	0.282628	42	Detaylı İnceleme	Güvenli	KH
P4	0.22664	40	Riskli	Güvenli	KH
P5	0.18934	51	Riskli	Güvenli	GÖÇME
P6	0.207583	22	Riskli	Riskli	KH
P7	0.186711	19	Riskli	Riskli	KH
P8	0.118106	41	Riskli	Güvenli	KH
P9	0.203749	53	Riskli	Güvenli	KH
P10	0.249676	49	Riskli	Güvenli	SH
P11	0.310466	60	Detaylı İnceleme	Güvenli	KH
P12	0.252275	49	Detaylı İnceleme	Güvenli	SH
P13	0.258544	36	Detaylı İnceleme	Güvenli	KH
P14	0.209901	40	Riskli	Güvenli	SH
P15	0.260395	37	Detaylı İnceleme	Güvenli	KH
P16	0.259796	30	Detaylı İnceleme	Detaylı İnceleme	GÖÇME
P17	0.261833	45	Detaylı İnceleme	Güvenli	SH
P18	0.350479	36	Detaylı İnceleme	Güvenli	KH
P19	0.237045	39	Riskli	Güvenli	KH
P20	0.254954	36	Detaylı İnceleme	Güvenli	KH
P21	0.279111	28	Detaylı İnceleme	Detaylı İnceleme	KH
P22	0.296296	55	Detaylı İnceleme	Güvenli	KH
P23	0.324009	42	Detaylı İnceleme	Güvenli	KH
P24	0.220524	17	Riskli	Riskli	KH
P25	0.252799	35	Detaylı İnceleme	Güvenli	KH
P26	0.229511	25	Riskli	Detaylı İnceleme	GÖÇME

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Tez kapsamında Şanlıurfa'nın Haliliye ilçesinde 2007 sonrasında DBYBHY-2007'ye göre inşa edilen 26 adet betonarme yapının mimari ve statik projeleri elde edilmiştir. Elde edilen bu yapıların numerik modelleri mimari ve statik projelerine ve TBDY-2018'e uygun olarak ETABS (2023) yapısal analiz programında oluşturulmuştur. Numerik modelleri oluşturulan bu yapılara TBDY-2018'de yer alan tek modlu itme analizi uygulanmış ve yapıların doğrusal olmayan davranışları incelenmiştir. Aynı zamanda mimari ve statik projeleri elde edilen bu yapılar Hassan indeks ve P25 hızlı değerlendirme metodları kullanılarak yapıların deprem etkisi altındaki risk durumu değerlendirilmiştir. Bu hızlı değerlendirme yöntemleri ve TBDY-2018'e uygun olarak gerçekleştirilen performans analizleri sonucunda yapılan tespitler aşağıda verilmiştir.

DBYBHY-2007'ye göre inşa edilen yapılara TBDY-2018 esas alınarak uygulanan doğrusal olmayan itme analizleri sonucunda yapıların %88.46 gibi büyük bir bölümü sınırlı hasar performans düzeyi ve kontrollü hasar performans düzeylerinde kalarak TBDY-2018'e göre hedef performans düzeyi olan kontrollü hasar performans düzeyini sağlamıştır. İncelenen yapıların %11.54'ünün kolon ve kirişlerinde ileri hasar bölgesi ve göçme bölgesine geçen elemanlar tespit edilmiştir. Hasarlı olan bu elemanlar nedeniyle yapılar hedef performans düzeyi olan kontrollü hasar performans düzeyini sağlayamamış ve bu yapıların göçme durumunda oldukları tespit edilmiştir.

Hassan indeksi yöntemi ile yapılan değerlendirme sonuçları incelendiğinde yapıların %46.15'inin riskli olduğu tespit edilmiştir. Geriye kalan %53.85 gibi büyük bir kısmının ise detaylı inceleme gerekliliği ortaya çıkmıştır. Ancak, TBDY-2018'e göre uygulanan performans analizleri sonucunda ise bu yapıların %88.46 gibi büyük bir kısmının hedeflenen performans düzeyini sağladığı tespit edilmiştir. Bu nedenle Hassan yöntemiyle yapılar arasında hızlı bir şekilde sınıflandırma yapmak her ne kadar mümkün olsa da bu yöntemde kullanılan 0.25 ve 0.50 değerlerinin yapıların risk durumunu doğru yansıtmadığı tespit edilmiştir.

P25 hızlı değerlendirme yöntemi ile yapılan değerlendirmeler sonucunda ise yapıların %76.92 gibi büyük bir bölümü güvenli bölgede yer almıştır. P25 hızlı değerlendirme yöntemi ile elde edilen sonuçların, TBDY-2018'e göre yapılara uygulanan performans analizlerinden elde edilen sonuçları büyük oranda yansıttığı belirlenmiştir. Ancak P25 hızlı değerlendirme yöntemi ile yapılan değerlendirmeler sonucunda riskli olarak belirlenen bazı yapıların, uygulanan performans analizleri sonucunda hedef performans düzeyini sağladığı belirlenmiştir. Aynı zamanda P25 hızlı değerlendirme yöntemi ile güvenli olarak belirlenen bir yapının da göçme bölgesinde olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma sonucunda, 26 bina sonuçları incelenerek elde edilen sonuçlara göre P25 metodunun sonuçlarının TBDY-2018 esaslarına göre gerçekleştirilen analizlerden elde edilen değerlere yakınsadığı ancak birebir yansıtmadığını göstermektedir. Hassan yöntemi ise TBDY-2018'den çok farklı sonuçlar vermiştir. Elde edilen sonuçlar Hassan yönteminin sınır değerlerinin bölgesel olarak belirlenmesi konusunda çalışılması gerektiğini ortaya çıkarmaktadır. İleride yapılacak çalışmalarda Hassan İndeks ve P25 metodu üzerine daha fazla analiz ile veya deprem sonrası veri toplanması ile sınır değerlerin güncellenerek yönetmeliklere benzer sonuçlar vermesi sağlanabilir.

## KAYNAKLAR

- AFAD. (2018). Türkiye Deprem Tehlike Haritası. Türkiye Cumhuriyeti cumhurbaşkanlığı. Retrieved 09.11.2022 from <https://tdth.afad.gov.tr/>
- ARSLAN, E., 2017. Betonarme binaların deprem güvenliklerinin doğrusal elastik yöntem ve hızlı değerlendirme yöntemleri ile incelenmesi Süleyman Demirel Üniversitesi.
- ARSLAN, M. H., KÖROĞLU, M. A., ve KÖKEN, A., 2008. Binaların yapısal performansının statik itme analizi ile belirlenmesi. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4(2), 71-84.
- BAL, İ. E., 2005. Deprem etkisindeki betonarme binaların göçme riskinin hızlı değerlendirme yöntemleri ile belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- BAL, İ. E., VE ÖZDEMİR, Z., 2006. Çevre çerçeve kirişi süreksizliğinin yapı deprem davranışı üzerindeki etkileri. Yedinci Uluslararası İnşaat Mühendisliği'nde Gelişmeler Kongresi, 11-13.
- Bal, İ. E., S, S., F, T., ve Gülay, G. (2007). Betonarme binaların göçme riskinin belirlenmesi için P25 hızlı değerlendirme yöntemi. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı,
- BUTLER, R., STEWART, G. S., and KANAMORI, H., 1979. The July 27, 1976 Tangshan, China earthquake—A complex sequence of intraplate events. Bulletin of the Seismological Society of America, 69(1), 207-220.
- ÇOBANOĞLU, Ç., 2021. DBYBHY 2007'ye göre tasarlanan bir betonarme yapının TBDY 2018 yüksek bina sınıfına göre değerlendirilmesi Yüksek lisans tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- DAVISON, C., 1912. The death-rate of earthquakes. Science Progress in the Twentieth Century (1906-1916), 7(26), 239-250.
- DEMİR, U., 2020. Mevcut bir binanın performans analizinin doğrusal olmayan yöntemle incelenmesi, Yüksek Lisans tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi.
- DOĞAN, M., 2012. P25 ve DURTES öndeğerlendirme yöntemleri ve 1999 Düzce depreminde hasar görmüş binalara uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- ELDEMİR, O., 2019. DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 yönetmeliklerinin mevcut yapıların sismik davranış özellikleri açısından karşılaştırılması Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- ERCAN, I., ÖZDEMİR, M., ve KUTANIS, M., 2016. Farklı zemin kat yüksekliklerinin yapı performansına etkisi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 7(3), 445-454.
- ETABS, C., 2023. Structural software for analysis and design ETABS 20.3.0. In (Version 20.3.0) California (USA): CSI Computers & structures. <https://www.csiamerica.com/products/etabs/enhancements/20>
- FOROUGHİ, S., JAMAL, R., ve YÜKSEL, B., 2020. Sargı donatısı ve eksenel yük seviyesinin betonarme kolonların eğrilik süneklik ile etkin kesit rijitliğe etkisi. El-Cezeri, 7(3), 1309-1319. <https://doi.org/10.31202/ecjse.750775>

- GULAY, F. G., K.KAPTAN, BAL, E. I., and TEZCAN, S. S., 2011. P25 - Scoring Method for The Collapse Vulnerability Assessment of R/C Buildings. *Procedia Engineering*, 14, 1219-1228. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.153>
- GULKAN, P., and SOZEN, M. A., 1999. Procedure for determining seismic vulnerability of building structures. *Structural Journal*, 96(3), 336-342.
- HANBABA, H., 2019. Betonarme binaların deprem güvenliklerinin doğrusal elastik olmayan yöntem ve hızlı değerlendirme yöntemleri ile incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi.
- HASSAN, A. F., and SÖZEN, M. A., 1997. Seismic vulnerability assessment of low-rise buildings in regions with infrequent earthquakes. *ACI structural journal*, 94(1), 31-39.
- JAMAL, R., 2022. TBDY-2018 ve ASCE 41-17’da tanımlanan doğrusal olmayan performans değerlendirme yöntemlerinin betonarme binalar için karşılaştırılması, Doktora TEZİ, Selçuk Üniversitesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=kScA8XnrRb0WogX-qPGFkjTNDhqOiJTDHq47uf0meynnMnw8FurGHAG1bPJ0z2z49>
- KARACA, N., 2022. Mevcut betonarme bir okul binasının deprem güvenliğinin incelenmesi ve tbdy-2018'e göre alternatif güçlendirme yöntemlerinin araştırılması ve çözüm önerileri Konya Teknik Üniversitesi.
- KARAL, K., 2021. Mevcut betonarme bir binanın TBDY-2018' e göre deprem performansının incelenmesi ve güçlendirilmesi Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
- KARAPINAR, M. F., 2020. Mevcut betonarme bir yapının tbdy 2018'e göre deprem performansının ve güçlendirme yönteminin belirlenmesi Yüksek Lisans tezi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- KAYA, A., 2017. Mevcut betonarme konut tipi binaların deprem performanslarının hızlı değerlendirme metotları ile incelenmesi ve P25 metodunun geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- KAYA, H. O., ve ALAKAVUK, E., 2022. Mevcut Bir Kamu Binasının Deprem Güvenliğinin İncelenmesi. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 4(1), 61-72.
- KEYİK, T. Z., 2019. ASCE 41-17 ve Türk deprem yönetmelikleri kapsamında mevcut betonarme bir binanın performans analizi ve sonuçlarının karşılaştırılması Yüksek Lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- KOÇOĞLU, N., 2022. Antalya ilinde kaya tipi zemin grubuna sahip olan dbybhy 2007’e göre tasarlanmış betonarme binaların tbdy 2018’e göre değerlendirilmesi Antalya Bilim Üniversitesi.
- KORKMAZ, K. A., IRFANOĞLU, A., and KAYHAN, A. H., 2009. Seismic risk assessment of buildings in Izmir, Turkey. *Natural hazards*, 54(1), 97-119. <https://doi.org/10.1007/s11069-009-9455-3>
- KORKMAZ, K. A., IRFANOĞLU, A., KAYHAN, A. H., and DENİZ, A., 2010. Evaluation of seismic safety of existing reinforced concrete buildings in western region of Turkey. <https://hdl.handle.net/11499/6228>

- KÖRÜKCÜ, İ., 2021. Mevcut ve güçlendirilmiş betonarme bir binanın doğrusal olmayan yöntemler ile deprem performans analizi ve maliyet hesabı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi , Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- KÜÇÜKASLAN, N., ve ALTAN, M. F., 2021. Güçlendirilen mevcut bir yapının TDY 2007 ile 2018 Yeni Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre performansının tekrar incelenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Uluslararası Mühendislik Teknolojileri ve Uygulamalı Bilimler Dergisi, 4(1), 18-36.
- MANDER, J. B., PRIESTLEY, M. J., and PARK, R., 1988. Theoretical stress-strain model for confined concrete. Journal of structural engineering, 114(8), 1804-1826.
- PINO, N. A., PIATANESI, A., VALENSISE, G., and BOSCHI, E., 2009. The 28 December 1908 Messina Straits earthquake (Mw 7.1): A great earthquake throughout a century of seismology. Seismological Research Letters, 80(2), 243-259.
- SARI, O., 2020. Mevcut konut türü bir binanın DBYBHY–2007 ve TBDY–2018 deprem yönetmeliklerine göre deprem performansının değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- SHIGA, T., 1968. Earthquake Damage and Wall Index of Reinforced Concrete Buildings. Architectural Institute of Japan, 1968, 29-32. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1570009750196138496>
- SÖZEN, M. A. 2013. Surrealism in facing the earthquake risk. In Seismic evaluation and rehabilitation of structures (pp. 1-13). Springer.
- TAŞ, Ö. F., 2021. Farklı yüksekliklerdeki betonarme binaların TBDY-2018'e göre deprem performanslarının incelenmesi, Yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü , İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- TBDY. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. In TBDY - 2018 (Vol. 2018/11275, pp. 417). Türkiye Cumhuriyeti Resmî Gazete: Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı.
- TEMİZ, M. M., 2022. TBDY-2018'e göre tasarlanmış planda A1 ve A3 düzensizliği bulunan betonarme bir binanın performans analizi
- TEZCAN, S. S. Ö., ZUHAL. 2004. Liquefaction risk analyses and mapping techniques. Yüksek Öğrenim Eğitim ve Araştırma Vakfı.
- TÜYSÜZ, S., 2007. Betonarme binaların göçme riskinin hızlı değerlendirme yöntemleri ile belirlenmesi: P25 puanlama yöntemi İstanbul Teknik Üniversitesi.
- UÇAR, B., 2019. Betonarme bir hastane binasının DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 kapsamında deprem performansının değerlendirilmesi İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- ULUTAŞ, H., ve SARI, O., 2021. Mevcut konut türü betonarme bir binanın deprem güvenliğinin incelenmesi [Investigation of seismic safety of an existing residential RC building]. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11(4), 1129-1144. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.906844>
- YEŞİLÇAYIR, Ö., 2021. P25 hızlı değerlendirme yöntemiyle betonarme binaların deprem performansının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- YILDIZ, E., 2021. Mevcut 44 katlı betonarme yüksek bir binanın TBDY 2018'e göre deprem performansının zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntemle

belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi , Lisansüstü Eğitim Enstitüsü , İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı.

YOU, T. L., and IDRIS, I. M., 2001. Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, 127(4), 297-313. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1090-0241\(2001\)127:4\(297\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1090-0241(2001)127:4(297))

