

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÖNETMELİKLERE GÖRE KESİT HASAR SINIRLARININ
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FATMA ŞEYMA İZCİ

DENİZLİ, EYLÜL - 2021

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**YÖNETMELİKLERE GÖRE KESİT HASAR SINIRLARININ
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FATMA ŞEYMA İZCİ

DENİZLİ, EYLÜL - 2021

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

FATMA ŞEYMA İZCİ

ÖZET

**YÖNETMELİKLERE GÖRE KESİT HASAR SINIRLARININ
BELİRLENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
FATMA ŞEYMA İZCİ
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. MEHMET İNEL)**

DENİZLİ, EYLÜL - 2021

Ülkemiz, aktif deprem kuşağında yer aldığı için; geçmişten günümüze birçok yıkıcı depremle karşı karşıya kalmıştır. Deprem sonrası meydana gelen can ve mal kayıpları ile ülkemiz mevcut bina stokunun, önemli bir kısmının deprem kaynaklı hasara karşı hassas olduğu görülmüştür. Bu nedenle, bu binaların sismik davranışlarını ve uygun sismik değerlendirmelerini anlamak, sismik etki azaltma çalışmaları için çok önemlidir. Kesit hasar sınırlarının belirlenmesi, bu sismik etkilerin belirlenmesinde kullanılan performans esaslı değerlendirmenin temel unsurlarındandır. Bu hasar sınırı hesapları için ülkemiz ve diğer ülke yönetmeliklerinde farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında, Türk Deprem Yönetmeliği (DBYBHY-2007), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018), Design of Structures for Earthquake Resistance, European Committee For Standardization (EUROCODE-8) ve American Society of Civil Engineers (ASCE 41-17) yönetmeliklerine göre tanımlanan hasar sınırları incelenmiştir. Bu incelemeler yapılırken, farklı en kesit alanı, farklı eksenel yük, farklı enine ve boyuna donatı oranına sahip kolon ve kiriş kesitleri kullanılmıştır. Kesitler için hesaplanan hasar sınır değerleri, kesit ve yönetmelik bazında kıyaslamalı olarak verilmiş ve elde edilen değerlere göre yönetmelikler arasındaki yaklaşım farklılıklarının sonuçlara da yansıtıldığı görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELEER: DBYBHY-2007, TBDY-2018, EUROCODE-8, ASCE 41-17, Kesit Hasar Sınırları, Bina Performansı, Sismik Davranış, Performans Esaslı Değerlendirme

ABSTRACT

DETERMINATION OF SECTION DAMAGE LIMITS ACCORDING TO CODES

MSC THESIS

FATMA ŞEYMA İZCİ

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CIVIL ENGINEERING

(SUPERVISOR:PROF. DR. MEHMET INEL)

DENİZLİ, SEPTEMBER 2021

Our country, Turkey, has encountered many destructive earthquakes from past to present due to its location on an active earthquake zone. With the loss of life and property after the earthquake, it has been observed that a significant part of the existing building stock is sensitive to earthquake-induced damage. Therefore, understanding the seismic behavior and appropriate seismic assessments of these buildings is very important for seismic impact reduction studies. Determining cross-sectional damage limits is one of the main elements of performance based assessment used to determine seismic effects. The damage limits vary in design codes and provisions. In this study, the damage limits that were defined in accordance with Turkish Earthquake Code (TEC-2007), Turkey Building Earthquake Code (TBEC-2018), Design of Structures for Earthquake Resistance, European Committee For Standardization (EUROCODE-8) and American Society of Civil Engineers (ASCE 41-17), were examined. Column and beam sections with different cross-sectional areas, different axial loads, different transverse reinforcement and longitudinal reinforcement ratios were taken into the consideration for the current study. Damage limits were given on the basis of sections and regulations comprehensively. Besides it was seen that the differences in the approaches between regulations according to the obtained values were observed in the obtained results, too.

KEYWORDS: TEC-2007, TBEC-2018, EUROCODE-8, ASCE 41-17, Section Damage Limits, Building Performance, Seismic Behavior, Performance Based Assessment

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Giriş	1
1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı	2
1.3 Önceki Çalışmalar	4
2. YÖNETMELİKLERE GÖRE HASAR SINIRLARININ BELİRLENMESİ.....	10
2.1 Doğrusal Olmayan Davranış	10
2.1.1 Mander Beton Modeli	10
2.1.2 Moment Eğrilik İlişkisi.....	12
2.1.3 Plastik Mafsalları	14
2.2 DBYBHY-2007'ye Göre Kesit Hasar Sınırlarının Belirlenmesi	15
2.2.1 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri.....	15
2.2.2 İzin Verilen Birim Şekil Değiştirme Sınırları.....	16
2.3 TBDY-2018'e Göre Kesit Hasar Sınırlarının Belirlenmesi	18
2.3.1 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri.....	18
2.3.2 İzin Verilen Birim Şekil Değiştirme Sınırları.....	19
2.4 Eurocode 8'e Göre Kesit Hasar Sınırlarının Belirlenmesi	21
2.4.1 İzin Verilen Eksen Dönmesi Sınırları.....	22
2.4.1.1 Göçme Öncesi Sınırı (NC).....	22
2.4.1.2 Belirgin Hasar Bölgesi (SD)	25
2.4.1.3 Sınırlı Hasar Bölgesi (DL)	25
2.5 ASCE 41-17'ye Göre Kesit Hasar Sınırlarının Belirlenmesi	26
3. KESİTLERİN İNCELENMESİ.....	29
3.1 Kolon Kesitlerinin İncelenmesi.....	29
3.2 Kiriş Kesitlerinin İncelenmesi.....	40
3.1 Kesitlerde Enine Donatı Oranının Azaltılması.....	42
4. KESİT ANALİZ SONUÇLARI	46
4.1 Kolon Kesit Sonuçları	46
4.1.1 $\rho_s/\rho_{sm}=1$ için Analiz Sonuçları.....	46
4.1.2 $\rho_s/\rho_{sm}=0.75$ için Analiz Sonuçları	52
4.2 Kiriş Kesit Sonuçları	59
4.2.1 $\rho_s/\rho_{sm}=1$ için Analiz Sonuçları.....	59
4.2.2 $\rho_s/\rho_{sm}=0.75$ için Analiz Sonuçları.....	60
4.3 TBDY-2018 Yönetmeliğinde Tanımlı Donatı Şekil Değiştirme Üst Sınırı Değeri ($\epsilon_s(GÖ)$) İçin Farklı Bir Yaklaşım	61
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	65
5.1 Sonuçlar.....	65

6. KAYNAKLAR.....69

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Kolon kesitleri için akış şeması	3
Şekil 1.2 Kiriş kesitleri için akış şeması	3
Şekil 2.1: Mander beton modeli (DBYBHY, 2007)	12
Şekil 2.2: Mander modeline göre sargılı betonun kesit görünüşü.....	12
Şekil 2.3: Moment eğrilik ilişkisi (Celep, 2009).....	13
Şekil 2.4: Betonarme elemanlarda sargılama etkisi (Celep ve Kumbasar, 2005).....	14
Şekil 2.5: Kolon elemanda plastik mafsal hipotezi (Özmen ve diğ., 2007).....	15
Şekil 2.6: Kesit Hasar Sınırları ve Bölgeleri (DBYBHY-2007)	16
Şekil 2.7: Kesit Hasar Sınırları ve Bölgeleri (TBDY-2018).....	18
Şekil 2.8: Kapasite eğrisi (ASCE 41-17)	26
Şekil 4.1: Set-1 grubunun göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için dönme değerleri.....	47
Şekil 4.2: Set-2 grubunun göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için dönme değerleri.....	48
Şekil 4.3: Set-3 grubunun göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için dönme değerleri.....	49
Şekil 4.4: Tüm setlerin boyuna donatı oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için dönme değerleri.....	50
Şekil 4.5: Tüm setlerin eksenel yük oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için dönme değerleri	51
Şekil 4.6: Set-1 grubunun göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için dönme değerleri.....	53
Şekil 4.7: Set-2 grubunun göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için dönme değerleri.....	54
Şekil 4.8: Set-3 grubunun göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için dönme değerleri.....	55
Şekil 4.9: Tüm setlerin boyuna donatı oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için dönme değerleri.....	56
Şekil 4.10: Tüm setlerin eksenel yük oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için dönme değerleri.....	57
Şekil 4.11: Tüm Setlerin ρ_s/ρ_{sm} oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için dönme değerleri	58
Şekil 4.12: Kiriş kesitlerinin, boyuna donatı oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı dönme değerleri	59
Şekil 4.13: Kiriş kesitlerinin boyuna donatı oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı dönme değerleri	60
Şekil 4.14: Kiriş kesitlerinin ρ_s/ρ_{sm} oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı dönme değerleri.....	61
Şekil 4.15: $\rho_s/\rho_{sm}=1$ için kolon kesitlerinin boyuna donatı oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı dönme değerleri	62
Şekil 4.16: $\rho_s/\rho_{sm}=1$ için kolon kesitlerinin eksenel yük oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı dönme değerleri	62
Şekil 4.17: $\rho_s/\rho_{sm}=0.75$ için kolon kesitlerinin eksenel yük oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı dönme değerleri	63

- Şekil 4.18: $\rho_s/\rho_{sm}=0.75$ için kolon kesitlerinin aksenal yük oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı dönme değerleri 63
- Şekil 4.19: $\rho_s/\rho_{sm}=1$ için kiriş kesitlerinin boyuna donatı oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı dönme değerleri 64
- Şekil 4.20: $\rho_s/\rho_{sm}=0.75$ için kiriş kesitlerinin boyuna donatı oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı dönme değerleri 64

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Birim şekil değiştirme hasar sınırları (DBYBHY-2007).....	16
Tablo 2.2: Birim şekil değiştirme hasar sınırları (TBDY-2018).....	19
Tablo 2.3: Donatı çeliklerine ait bilgiler (TBDY-2018).....	19
Tablo 2.4: Donatı çeliklerinin Mekanik Özellikleri(TS-708).....	19
Tablo 2.5: Beklenen (ortalama) malzeme dayanımları (TBDY-2018).....	20
Tablo 2.6: Çelik malzeme tablosu (Eurocode-2).....	25
Tablo 2.7: Betonarme kirişlerde modelleme parametreleri ve kabul kriterleri (ASCE 41-17).....	27
Tablo 2.8: Betonarme kolonlarda modelleme parametreleri ve kabul kriterleri (ASCE 41-17).....	28
Tablo 3.1: Set-1/ ρ =%1 için kesit detayları.....	30
Tablo 3.2: Set-1/ ρ =%1.5 için Kesit Detayları.....	31
Tablo 3.3: Set-1/ ρ =%2 için Kesit Detayları.....	32
Tablo 3.4: Set-1/ ρ =%3 için Kesit Detayları.....	33
Tablo 3.5: Set-2/ ρ =%1 için Kesit Detayları.....	34
Tablo 3.6: Set-2/ ρ =%1.5 için Kesit Detayları.....	35
Tablo 3.7: Set-2/ ρ =%2 için Kesit Detayları.....	36
Tablo 3.8: Set-2/ ρ =%3 için Kesit Detayları.....	37
Tablo 3.9: Set-3/ ρ =%1 için Kesit Detayları.....	38
Tablo 3.10: Set-3/ ρ =%1.5 için Kesit Detayları.....	38
Tablo 3.11: Set-3/ ρ =%2 için Kesit Detayları.....	39
Tablo 3.12: Set-3/ ρ =%3 için Kesit Detayları.....	39
Tablo 3.13: ρ =%0.5 için kesit detayları.....	41
Tablo 3.14: ρ =%1 için kesit detayları.....	41
Tablo 3.15: ρ =%1.5 için kesit detayları.....	41
Tablo 3.16: ρ =%2 için kesit detayları.....	42
Tablo 3.17: Set-1 için kesit detayları.....	43
Tablo 3.18: Set-2 için kesit detayları.....	44
Tablo 3.19: Set-3 için kesit detayları.....	45
Tablo 3.20: Kiriş kesitleri için kesit detayları.....	45
Tablo 4.1: Tüm setlerin boyuna donatı oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için ortalama dönme değerleri.....	52
Tablo 4.2: Tüm setlerin eksenel yük oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için ortalama dönme değerleri.....	52
Tablo 4.3: Tüm setlerin boyuna donatı oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için ortalama dönme değerleri.....	57
Tablo 4.4: Tüm setlerin eksenel yük oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için ortalama dönme değerleri.....	57

SEMBOL LİSTESİ

f_c	: Beton Basınç Gerilmesi (MPa)
f_{cc}	: Sargılı Betonun Basınç Dayanımı (MPa)
λ_c	: Sargılı Beton Dayanımının Sargısız Beton Dayanımına Oranı
f_{co}	: Sargısız Betonun Basınç Dayanımı (MPa)
f_{ex}	: X yönündeki etkin sargı basıncı
f_{ey}	: Y yönündeki etkin sargı basıncı
k_e	: Sargılama etkinlik katsayısı
ρ_x	: X doğrultusundaki enine donatı oranı
ρ_y	: Y doğrultusundaki enine donatı oranı
f_{yw}	: Enine donatının akma dayanımı (MPa)
A_s	: Toplam boyuna donatı alanı
A_{shx}	: X doğrultusundaki toplam enine donatı kesit alanı (mm^2)
A_{shy}	: Y doğrultusundaki toplam enine donatı kesit alanı (mm^2)
s, s_h	: Enine donatı aralığı (mm)
b_0	: Çekirdek betonun x doğrultusuna paralel boyutu (mm)
h_0	: Çekirdek betonun y doğrultusuna paralel boyutu (mm)
ϵ_c	: Beton basınç birim şekil değiştirmesi
ϵ_{cc}	: Sargılı betonun maksimum gerilmeye ulaştığı birim şekil değiştirmesi
ϵ_{co}	: Sargısız betonun maksimum gerilmeye ulaştığı birim şekil değiştirmesi
E_c	: Betonun elastisite modülü
E_{sec}	: Sekant elastisite modülü
ϵ_{cu}	: Sargılı betonun nihai birim şekil değiştirmesi
ρ_s	: Toplam hacimsel enine donatı oranı
ϵ_{su}	: Donatının nihai birim şekil değiştirmesi
M_y	: Akma momenti (kNm)
M_u	: Eğilme momenti kapasitesi (kNm)
M_{cr}	: Eğilmede çatlama momenti (kNm)
ϕ_y	: Akma eğriliği (rad/m)
ϕ_u	: Maksimum eğrilik (rad/m)
L_p	: Plastik mafsal boyu (m)
ρ_{sm}	: Kesitte bulunması gereken hacimsel enine donatı oranı
l_w	: Enine donatı uzunluğu (mm)
b_k, h_k	: Her iki doğrultu için en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık (mm)
A_c, A_g	: Brüt en kesit alanı (mm^2)
A_{ck}	: Sargı donatısının dışından dışına alınan ölçü içinde kalan çekirdek beton alanı (mm^2)
f_{ck}	: Betonun karakteristik basınç dayanımı (MPa)
f_{ywk}	: Enine donatının karakteristik akma dayanımı (MPa)
θ_y	: Akma dönmesi (θ_y, θ_p)
θ_p	: Plastik dönme (rad)
L	: Eleman boyu (m)

$\epsilon_c^{(GÖ)}$: Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi için beton birim şekil değiştirmesi
$\epsilon_s^{(GÖ)}$: Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi için donatı birim şekil değiştirmesi
ω_{we}	: Etkin sargı donatısının mekanik sargı donatısına oranı
α_{se}, α	: Sargı donatısı etkinlik katsayısı
$\rho_{sh,min}$: Dikdörtgen kesitte iki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanı
ρ_{sh}	: Göz önüne alınan doğrultuda enine donatının hacimsel oranı
A_{sh}	: Göz önüne alınan doğrultuda enine donatı alanı (mm^2)
a_i	: Bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatı eksenleri arasındaki uzaklık (mm)
f_{ywe}, f_{ytE}	: Enine donatının ortalama (beklenen) akma dayanımı (MPa)
f_{ce}, f'_{CE}	: Betonun ortalama basınç dayanımı (MPa)
f_{ck}	: Betonun karakteristik basınç dayanımı (MPa)
f_{yk}	: Çeliğin karakteristik akma dayanımı (MPa)
$\theta_p^{(GÖ)}$: Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı (rad)
$\theta_p^{(SH)}$: Sınırlı Hasar Performans Düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı (rad)
$\theta_p^{(KH)}$: Kontrollü Hasar Performans Düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı (rad)
L_s, L_v	: Kesme açıklığı (M/V)
h	: Kesit yüksekliği (m)
d_b	: Mesnede kenetlenen donatı çeliklerinin ortalama çapı (mm)
b_w	: Kesit genişliği (cm)
d	: Kiriş ve kolonun faydalı yüksekliği (mm)
f_{ctm}	: Mevcut betonun çekme dayanımı (MPa)
V_e	: Kesme kuvveti oranı
v	: Eksenel yük oranı
P	: Eksenel yük miktarı (kN)
ω	: Çekmeye çalışan boyuna donatıların mekanik oranı
ω'	: Basınca çalışan boyuna donatıların mekanik oranı
A_s'	: Basınca çalışan boyuna donatıların alanları toplamı (mm^2)
ρ_d	: Diyagonal boyuna donatı oranı
θ_{um}^{pl}	: Plastik nihai eksen dönmesi (rad)
θ_{um}	: Toplam nihai eksen dönmesi (rad)
θ_{SD}	: Belirgin hasar sınırı için eksen dönme kapasitesi (rad)
θ_{DL}	: Sınırlı hasar bölgesi için plastik dönme kapasitesi (rad)
z	: Kuvvet kolu (m)
d'	: Basınç donatısı derinliği (mm)
ϵ_y	: Donatı akma şekil değiştirmesi
Q	: Elemanın genelleştirilmiş dayanımı (kN)
Q_{CE}	: Deplasman kontrollü elemanın beklenen dayanımı (kN)
ρ_{bal}	: Dengeli donatı oranı
V^d	: Tasarım kesme kuvveti
N_{UD}	: Tasarım eksenel basınç kuvveti

ρ_t	: Enine donatı oranı
A_v	: Toplam enine donatı alanı (mm^2)
V_{yE}	: Beklenen akma kesmesi (kN)
V_{CoIOE}	: Kesme kapasitesi (kN)
f_{yIE}	: Boyuna donatının beklenen akma dayanımı (MPa)
ρ_l	: Boyuna donatı oranı

KISALTMA LİSTESİ

ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik (1998)
ASCE 41-17	: American Society of Civil Engineers (2017)
CP	: Collapse prevention
DL	: Damage Limitation
EUROCODE-8	: Design of Structures for Earthquake Resistance, European Committee For Standardization (2005)
GÇ	: Göçme
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi
GV	: Güvenlik
IO	: Immediate occupancy
KH	: Kontrollü Hasar
LS	: Life Safety
MN	: Minimum Hasar
NC	: Near Collapse
SEMAp-2008	: Sargı Etkisi Modelleme Analiz Programı
SD	: Significant Damage
SH	: Sınırlı Hasar
DBYBHY-2007	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007)
TBDY-2018	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)

ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve birikiminden faydalandığım, yardım ve desteklerini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Mehmet İNEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca tüm yardım ve destekleri için Dr. Öğr. Ü. Bayram Tanık ÇAYCI, Arş. Gör. Dr. Muhammet KAMAL ve Arş. Gör. Esra ÖZER'e ayrıca teşekkür ederim.

Çok değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Cennet YEŞİLYURT ve Arş. Gör. Derya SADAK başta olmak üzere, üzerimde emeği geçen tüm hocalarıma ve arkadaşlarıma şükranlarımı sunarım.

Maddi ve manevi destekleri ile her koşulda yanımda olan sevgili annem, babam ve kardeşlerime bu süreçte gösterdikleri olağanüstü sabır için ayrıca teşekkür ederim.

Son olarak, özellikle lisans öğrenimim boyunca yardımlarını esirgemeyen üzerimde emeği çok olan, geçtiğimiz Aralık ayında kaybettiğimiz Arş. Gör. Dr. Ali KALKAN hocamızı saygıyla anıyorum.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş

Ülkemiz, aktif deprem kuşağında yer aldığı için; geçmişten günümüze birçok yıkıcı depremle karşı karşıya kalmıştır. Depremler sonrasında oluşan can ve mal kayıpları, binaların performanslarının belirlenip, yeterli performans gösteremeyen binaların güçlendirilmesi ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu konuda son 20 yılda uluslararası birçok teknik şartname ve yönetmelikler çıkmıştır. Avrupa’da Design of Structures for Earthquake Resistance, European Committee For Standardization (EUROCODE-8), Amerika’da ise Federal Emergency Management Agency (FEMA) yönetmeliği, ileriki yıllarda American Society of Civil Engineers (ASCE) yönetmelikleri yayımlanmış ve kullanılmaya başlanmıştır. Ülkemizde ilk olarak 1947’de yayımlanan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik (ABYYHY), 1953, 1961, 1968, 1975 ve 1998 yıllarında revize edilerek tekrar yürürlüğe girmiştir. 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik (ABYYHY)’te mevcut yapıların değerlendirilmesi ile ilgili herhangi bir bölüm bulunmaması ve özellikle 1999 Kocaeli Depremi sonrası ortaya çıkan değerlendirme ve güçlendirme ile ilgili ihtiyaç nedeni ile 2007 yılında Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007) yürürlüğe girmiştir.

Zaman içinde oluşan depremlerle, yönetmeliğe göre yapılan hesaplamalarda daha gerçekçi sonuçların alınmasının büyük önem arz ettiği görülmüştür. Yapılmış olan çalışmalarla, ülkemiz için sismik tehlike haritası oluşturulmuş olup, daha hassas, güvenli ve ekonomik tasarım ve değerlendirme sonuçlarına olanak sağlamak amacı ile 2019 yılında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) yürürlüğe girmiştir.

Ülkemizde olduğu gibi dünya üzerindeki diğer ülkelerde de, meydana gelen depremlerin oluşturduğu yapı hasarları ve can kayıpları neticesinde geçmişten bu yana deprem üzerinde birçok çalışmaya yer verilmiş, ilgili yönerge, rapor ve yönetmelikler

güncellenerek yayımlanmıştır. Tüm bu yönetmeliklerde performansa dayalı tasarım ve mevcut yapıların değerlendirilmesi gibi hususlarda benzer yaklaşımlar bulunduğu gibi farklı yaklaşımlar da görülmektedir.

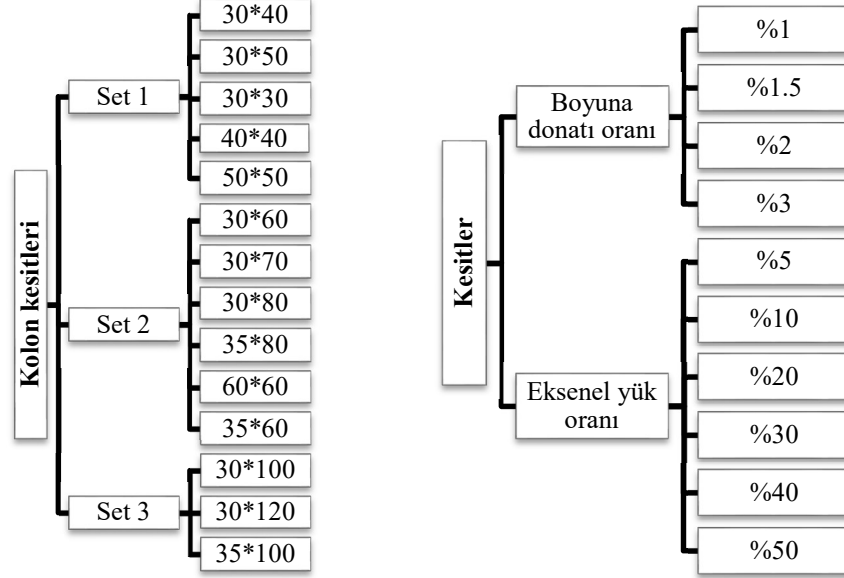
1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı

Yapıların, meydana gelen depremler etkisindeki davranışı ve performans düzeyleri, yapıda oluşması öngörülen hasar durumu ile ilgilidir. Yapıda oluşması muhtemel hasar, eleman bazında elde edilen kesit hasar sınırlarıyla ön görülebilmektedir. Binanın taşıyıcı sistemi, malzemesi, kesit geometrisi vb. unsurların bir bileşkesi ile sağlanan yatay yer değiştirme kapasitesi (süneklik) ve yatay yük taşıma kapasitesi (rijitlik) ile deprem istemine ait veriler yapının tasarım ve güçlendirmesine yönelik performans düzeyinin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Çavdar ve diğ., 2015, Celep ve Kumbasar, 2004, Sinani, 2014). Böylece eleman bazında elde edilen kesit hasar sınırları ile sistem bazında bir performans değerlendirmesi yapılmaktadır.

Kesit hasar sınırı hesapları için, ülkemiz ve diğer ülke yönetmeliklerinde farklı tanımlamalar bulunmaktadır. Bu tez kapsamında, ülkemizde yayımlanan yönetmeliklerden; Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018), Amerikan yönetmeliklerinden; American Society of Civil Engineers, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, (ASCE/SEI 41-17) ve Avrupa yönetmeliklerinden; Design of Structures for Earthquake Resistance, European Committee For Standardization (EUROCODE-8) kullanılmıştır. Tez çalışmasında, kesit hasar sınırı için ilgili yönetmeliklerde bulunan farklı tanımlamalarla elde edilecek sonuçların kıyaslanması, hesaplarda kullanılan parametrelerin ve yöntemlerin detaylı olarak incelenip; yönetmeliklerin bu hesaplara ilişkin uyumluluklarının ve farklılıklarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

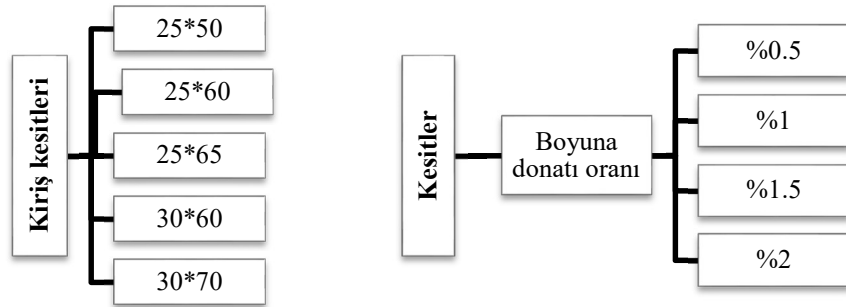
Çalışma kapsamında, beton sınıfı olarak C30 ve donatı sınıfı olarak S420 kullanılmıştır. Farklı en kesit alanı, farklı eksenel yük, farklı enine ve boyuna donatı oranına sahip kolon ve kiriş elemanları kullanılmıştır. Kolon elemanlar için; Set-1 (30*40, 30*50, 30*30, 40*40, 50*50), Set-2 (30*60, 30*70, 30*80, 35*80, 60*60, 35*60) ve Set-3 (30*100, 30*120, 35*100) olmak üzere 14 adet kesit 3 set şeklinde

incelenmiştir. Her kesit için aksenal yük oranları % 5, %10, %20, %30, %40 ve %50 olmak üzere 6 farklı; boyuna donatı oranları ise %1, %1.5, %2 ve %3 olarak 4 farklı şekilde ele alınmıştır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1: Kolon kesitleri için akış şeması

Kiriş elemanlarda ise, set oluşturulmadan 25*50, 25*60, 25*65, 30*60 ve 30*70 boyutlarındaki 5 adet kesit dikkate alınmıştır. Kiriş elemanlarında aksenal yük 0 kabul edilip, her kesit için %0.5, %1, %1.5 ve %2 olmak üzere 4 farklı boyuna donatı oranı kullanılmıştır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 Kiriş kesitleri için akış şeması

Kesitlerde kullanılan boyuna ve enine donatılar, TBDY-2018 göz önüne alınarak seçilmiştir. Yönetmeliğe uyumlu ve uyumsuz olacak şekilde; her kesit için ilgili yöndeki toplam hacimsel enine donatı oranı, bulunması gereken minimum

hacimsel enine donatı oranına eşit ve bu oranın 0.75'i olmak üzere iki ayrı şekilde tasarlanmıştır.

Verilen kesitler için moment-eğrilik analizleri TBDY-2018'de önerildiği şekilde, Mander Sargılı Beton Modeli kullanılarak Sargı Etkisi Modelleme Analiz Programı'nda (SEMAp-2008) yapılmıştır. Kesitlere ait plastik mafsal boyu yine TBDY-2018'de önerildiği gibi ilgili yöndeki kesit yüksekliğinin yarısı ($h/2$) olarak dikkate alınmıştır.

SEMAp-2008 programında, toplamda, kolon kesitleri için 672 adet, kiriş kesitleri için ise 160 adet moment-eğrilik analizi gerçekleştirilmiştir. Analizlerden elde edilen moment eğrilik değerlerine göre, kesitlere ait birim şekil değiştirmeleri, dönme değerleri her bir yönetmelikte tanımlı formüllerle hesaplanmıştır. Tez kapsamında, farklı özelliklere sahip kolon ve kiriş kesitleri için hesaplanan dönme değerleri kıyaslamalı olarak verilmiş ve elde edilen değerlere göre yönetmelikler arasındaki yaklaşım farklılıklarının kesit dönme kapasiteleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

1.3 Önceki Çalışmalar

I. P. Giannopoulos (2009), çalışmasında Yunan Deprem Yönetmeliğine göre tasarlanan, mevcut beş katlı betonarme bir çerçeve incelemiştir. Çerçeve analizleri için, SAP2000 programı kullanılarak Doğrusal Olmayan Statik (itme) Analizi gerçekleştirilmiştir. Çerçeve sistemden birkaç kritik kesit seçilmiş ve FEMA 356 ve EUROCODE-8 tarafından öngörülen sınır durumları için dönme değerleri hesaplanmış ve iki yönetmelikten elde edilen sonuçlar birbiriyle kıyaslanmıştır. Kirişler için; EUROCODE-8'den elde edilen NC (Göçme Öncesi) sınır değerleri, FEMA 356'dan elde edilen CP (Göçmenin Önlenmesi) sınır değerlerinden daha düşük bulunmuştur. Kolonlar için ise EUROCODE-8'den elde edilen değerlerin daha büyük olduğu görülmüştür. EUROCODE-8'de bulunan θ_y ve θ_u formüllerinde eksikliklerin olduğu saptanmış ve bu yüzden yeniden değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

A. Karabulut (2011), tez çalışmasında 6, 8 ve 10 katlı binalar için, DBYBHY-2007'de tanımlanan Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile İtme ve FEMA 440 raporunda belirtilen Eşdeğer Doğrusallaştırma Statik Analiz Yöntemlerinin yanında DBYBHY-

2007'de tanımlanan Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz Yöntemini kullanarak analizleri gerçekleştirmiştir. Analiz sonuçları global bazda, kat bazında ve eleman bazında olmak üzere üç ayrı başlıkta verilmiştir. Bu çalışmada incelenen 6 ve 10 katlı çerçeve tipi binalar için, DBYBHY-2007'nin FEMA 440'a göre tepe yer değiştirmesini, doğruya daha yakın tahmin ettiği saptanmıştır. Her iki doğrusal olmayan statik itme analizi yönteminin de tepe yer değiştirmesini tahmin ederken güvenli tarafta kaldığı, taban kesme kuvvetinin tahmininde ise oldukça güvensiz tarafta kaldığı görülmüştür.

E. Ekici (2011), tez çalışmasında farklı özelliklere sahip 19 adet dairesel kesitli ve 33 adet dikdörtgen kesitli betonarme kolonların analizlerini X-Tract Programını kullanarak gerçekleştirmiştir. Analizler sonrasında kolonlara ait kesit hasar sınırları, DBYBHY-2007, EUROCODE-8 ve ASCE/SEI-41 yönetmelikleri kullanılarak belirlenmiştir. Yapılan kıyaslamalar sonucunda, ASCE/SEI-41 yönetmeliğinin Minimum Hasar, Belirgin Hasar ve Göçme Hasarı olmak üzere 3 hasar sınırı için de diğer yönetmeliklere göre daha güvenli tarafta kaldığı saptanmıştır. EUROCODE-8'e göre bulunan sonuçlarda, en büyük hasar değerlerinin elde edildiği, dolayısıyla yönetmeliğin verdiği sonuçların güvenilir olmadığı görülmüştür. DBYBHY-2007'nin dairesel kesitli kolonlar için güvenilir sonuçlar verdiği, ancak dikdörtgen kesitlilerde güvenli tarafta kalmadığı görülmüştür. DBYBHY-2007'den daha güvenilir performans sınırları elde edilebilmesi için bu tür çalışmaların arttırılmasının gerekliliği vurgulanmıştır.

Ö. Işıltan (2011), tez çalışmasında yatay yükler etkisi altında bulunan, farklı özelliklere sahip sünek betonarme kolonların deprem performansının, DBYBHY-2007, EUROCODE-8 ve FEMA 356 yönetmeliklerine göre belirlemeyi amaçlamıştır. Ayrıca, PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) veri tabanında bulunan farklı araştırmacılar tarafından yapılmış kolon deneyleri araştırılmış ve incelenmiştir. Yönetmeliklerden elde edilen değerler deney verileriyle de kıyaslanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, her üç sınır durum (Minimum Hasar Sınırı, Güvenlik Sınırı, Göçme Sınırı) için de FEMA 356'da tanımlı olan hasar sınır değerleri, diğer yönetmeliklere ve deney sonuçlarına göre fazlasıyla güvenli tarafta kalmıştır. DBYBHY 2007'nin, üç sınır durumu için aşırı güvensiz veya aşırı güvenli tarafta kalmadığı ve deney sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmüştür.

M. Sönmez (2012), çalışmasında DBYBHY-2007 ve TS500'e göre tasarlanmış zemin sınıfı Z2 olan, 6,8 ve 10 katlı 3 adet binanın, DBYBHY-2007'de yer alan "Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Analizi" ve ASCE 41-06'da yer alan "Basitleştirilmiş Doğrusal Olmayan Statik Analiz Yöntemi"ni kullanarak performans analizi gerçekleştirmiştir. İki yönetmeliğe göre elde edilen itme diyagramlarıyla, spektrum yöntemi kullanılarak her üç binaya ait deprem talep noktaları elde edilmiştir. Talep noktaları arasındaki karşılaştırmada kolon kesitleri açısından iki yönetmeliğin uyumlu olduğu kiriş kesitleri açısından ise uyumlu olmadığı görülmüştür. Kolon, kiriş elemanları için kesme kontrolü gerçekleştirilmiş ve her iki yönetmelik için yakın sonuçlar elde edilmiştir. Binalar Türk Yönetmeliklerine göre tasarlanmış olduğundan kuşatılmış kolon kontrolünde ACI 318 şartları sağlanamamıştır.

B. Sinani (2014), çalışmasında 8 katlı betonarme bir binanın performans değerlendirmelerini, DBYBHY 2007 ve Eurocode 8'e göre Artımsal İtme Analiz Yöntemini kullanarak gerçekleştirmiştir. Ayrıca geometrik ve malzeme özellikleri 8 katlı bina ile aynı olan 4 katlı bir bina modeli oluşturularak her iki yönetmeliğe göre analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda; 8 katlı bina için DBYBHY-2007'deki kriterlere göre binanın "Göçme Durumu" performans seviyesinde olduğu görülmüştür. Her iki bina için, iki yönetmeliğe göre de performans düzeylerinin birbirine yakın olduğu, ancak DBYBHY-2007'nin daha güvenli tarafta kaldığı görülmüştür.

A. Karasu (2015), tez çalışmasında, zemin ve 10 normal kattan oluşan betonarme bir yapının tasarımını Türk, Avrupa ve Amerikan Yönetmeliklerine göre gerçekleştirmiştir. Türk yönetmeliklerinden DBYBHY-2007 ve TS500, Amerikan yönetmeliklerinden ACI 318-11 ve ASCE/SEI 7-10 ve Avrupa yönetmeliklerinden Eurocode 2 ve Eurocode 8 kullanılmıştır. Tüm yönetmelikler için Eşdeğer Deprem Yüğü Hesap Yöntemi ve bu yöntemin kullanılmadığı durumlarda ise Mod Birleştirme Hesap Yöntemi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. En elverişsiz sonuçlar Eurocode yönetmeliklerine göre olan tasarımda hesaplanarak güvenli tarafta kalmış ancak ekonomik açıdan daha maliyetli sonuçlara ulaşılmıştır.

H. Ulutaş (2019), çalışmasında birer adet kiriş, kolon ve betonarme perde kesiti belirlemiş, mevcut yapıları yansıtması amacıyla düşük dayanımlı (Beton sınıfı: C10, donatı sınıfı: S220, etriye aralığı 250 mm, çiroz yok) ve yeni yapılacak yapıları yansıtması amacıyla iyi dayanımlı (Beton sınıfı: C25, donatı sınıfı: S420, etriye

aralığı:10 mm, yeterli miktarda çiroz) olmak üzere iki tip malzeme grubu seçmiştir. Çalışma kapsamında, DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 yönetmeliklerine göre ilgili kesitler için şekil değiştirme üst sınır değerleri bulunarak kesit hasar seviyeleri elde edilmiş ve sonuçlar birbirleri ile kıyaslanmıştır. Her iki yönetmelik için iyi dayanımlı malzeme durumunda, kesit hasar sınırları birbirinden daha uzak değerler bulunurken, düşük dayanımlı malzeme durumunda ise kesit hasar sınır değerlerinin birbirine yakın çıktığı görülmüştür. İki malzeme grubunda da TBDY-2018'e göre belirlenen kesit hasar sınırlarının, DBYBHY-2007'ye göre belirlenen kesit hasar sınırlarından daha küçük eğrilik değerlerinde meydana geldiği, bu yüzden de TBDY-2018'in daha güvenli tarafta kaldığı anlaşılmıştır.

İ. Balıkcı (2019), tez çalışmasında 1975 yönetmeliğine uygun olarak inşa edilmiş mevcut 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 katlı 30 adet betonarme binanın, DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 yönetmeliklerine göre Doğrusal Olmayan Analiz Modellerini oluşturmuştur. Çalışmada, doğrusal olmayan statik itme analizi kullanılarak deplasman kapasiteleri elde edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre; ilgili binalar için 2007 yönetmeliğindeki Can Güvenliği performans hedefi sağlanmış olsa da 2018 yönetmeliğindeki karşılığı olan Kontrollü Hasar hedefi sağlanamamıştır. 2007 yönetmeliği için Sınırlı Hasar gören veya Can Güvenliğini sağlayan çoğu binanın 2018 yönetmeliğine göre göçme durumunda olduğu ve dolayısıyla 2018 yönetmeliği için göçme durumunda olan binaların 2007 yönetmeliğine göre neredeyse 2 kat daha fazla olduğu saptanmıştır.

O. Eldemir (2019), tez çalışmasında mevcut 4, 5 ve 6 katlı 5 adet betonarme binanın DBYBHY-2007 yönetmeliğine göre tasarımını yapmıştır. Binaların seçilen akslarından alınan iki boyutlu çerçevelerin, DBYBHY-2007 ve TBDY-2018'e göre doğrusal olmayan modellemesi SAP 2000 programı kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada, iki yönetmelik için; doğrusal olmayan statik ve dinamik analizler yapılarak, sonuçlar elde edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre; görelî kat ötelemeleri, çatı deplasman taleplerinde, çatlamış kesit rijitliğinin iki yönetmelik için farklı alınması sebebi ile belli düzeyde farkların oluştuğu ancak bu farkların dikkate değer olmadığı görülmüştür. 2018 yönetmeliğinde, 2007 yönetmeliğine göre daha küçük hasar sınır ifadelerinin olması sebebi ile bu yönetmelikten elde edilen hasar seviyelerinin 2007

yönetmeliğine göre daha ileride olduğu, dolayısı ile 2018 yönetmeliğinin deprem performansı açısından daha sınırlayıcı olduğu sonucuna varılmıştır.

S. Foroughi, S. B. Yüksel (2019), çalışmalarında farklı geometri ve parametrelere sahip betonarme kolon modelleri tasarlamışlardır. Çalışmada, ilgili kolonlara ait moment-eğrilik değerleri elde edilmiş ve kolon kesitlerinin elastik ötesi davranışları incelenmiştir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'de tanımlanmış olan Göçmenin Önlenmesi, Kontrollü Hasar ve Sınırlı Hasar Performans seviyeleri için birim şekil değiştirme, akma dönme ve plastik dönme değerleri hesaplanmıştır. Farklı parametrelerin bu dönme değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda, yönetmelikte tanımlı $\theta_p^{(KH)}$ ve $\theta_p^{(GÖ)}$ değerlerinin, sargı donatı aralığının ve eksenel yük seviyesinin artışı ile azaldığı, sargı donatı çapının ve boyuna donatı çapının artışı ile arttığı görülmüştür.

M. Kop (2020), tez çalışmasında 4 katlı betonarme çerçeve bir konut binasının analizlerini, Sta4Cad v14 programını kullanarak; deprem tehlikesi yüksek olan (Tokat ili) ve düşük olan (Kırşehir ili) iki bölge için gerçekleştirmiştir. DBYBHY-2007 ve TBDY-2018'e göre sonuçlar elde edilmiş, kıyaslama yapılmıştır. Analiz sonucunda, Tokat ili için yapılan çalışmada, DBYBHY-2007'e göre hesapta kolon ve kiriş elamanlarının genelinin hasar almamış veya belirgin hasar bölgesinde olduğu ve göçme bölgesinde olan elamanın bulunmadığı; TBDY-2018'e göre ise özellikle kirişlerde göçme bölgesinde olan elamanların olduğu görülmüştür. DBYBHY-2007'e göre can güvenliği performans düzeyi sağlanırken; TBDY-2018'e göre bina performansının, göçmenin önlenmesi durumunda olduğu sonucuna varılmıştır. Kırşehir ili için yapılan çalışmada, DBYBHY-2007'e göre tüm elemanların minimum hasar bölgesinde olduğu, TBDY-2018'e göre ise elamanların belirgin ve sınırlı hasar düzeyinde olduğu görülmüştür. Tüm bu sonuçlardan, düşük tehlikedeki bölge için iki yönetmeliğin yakın sonuçlar verdiği; yüksek tehlikedeki bölge için ise TBDY-2018'in daha güvenli tarafta kaldığı anlaşılmıştır.

R. Jamal, S. B. Yüksel (2020), çalışmalarında TBDY-2018 ve TS-500'e göre tasarlanan 3 açıklıklı 3 katlı betonarme çerçeve taşıyıcı sistemi incelemiştir. Beton sınıfı C30 ve donatı sınıfı S420 olarak alınmıştır. Çalışma kapsamında, ASCE 41-17 ve TBDY-2018'e göre performans analizleri gerçekleştirilmiş ve kapasite eğrileri elde

edilmiştir. Analizler sonucunda, ASCE 41-17'e göre hesaplanan tepe yer değıştirme miktarı, TBDY-2018'e göre hesaplanan tepe yer değıştirme miktarından daha fazla elde edilir iken; ASCE 41-17'e göre hesaplanan taban kesme kuvveti ve kat kesme kuvvetleri ise TBDY-2018'e göre daha az elde edilmiştir. Analizler sonucunda yapı performansının yapıya etkiyen yük miktarına, elemanların etkili rijitliğine ve plastik mafsallık özelliklerine bağılı olduğu anlaşılmıştır.

C. Aksoylu, A. Mobark ve diğ. (2020), çalışmalarında 3, 5, 7 ve 9 katlı betonarme çerçeve konut binası için DBYBHY-2007, TBDY-2018 ve ASCE 7-16 yönetmeliklerine göre analizler gerçekleştirilmiştir. ETABS (Bina analizi ve tasarımı için yapısal yazılım) programı kullanılmış ve hesaplar lineer eşdeğer deprem yükü yöntemine göre yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre; 3 ve 5 katlı binalarda maksimum taban kesme kuvvetlerine DBYBHY-2007'de ulaşılırken, 7 ve 9 katlı binalarda TBDY-2018'de ulaşılmıştır. TBDY-2018'de tanımlanan etkin rijitlik katsayılarına bağılı olarak periyotlar DBYBHY-2007'ye göre %34 oranında arttığından; bu rijitlik katsayıları elde edilen deplasman değerleri üzerinde etkili olmuştur. ASCE 41-17 için bu periyot artışı %45 olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında, Doğrusal olmayan performans analizi gerçekleştirilmiş ve talep deplasmanları elde edilmiştir. ASCE 7-16'da Türk deprem yönetmeliklerine göre talep deplasmanları daha düşük bulunmuştur. 7, 9 katlı binalar için; TBDY-2018'de DBYBHY-2007'ye göre deplasman talebi daha az elde edilmiştir. Çalışmada ayrıca statik itme analizleri de gerçekleştirilerek tüm binalarda sünek davranış gerçekleştiği görülmüştür.

2. YÖNETMELİKLERE GÖRE HASAR SINIRLARININ BELİRLENMESİ

2.1 Doğrusal Olmayan Davranış

Bilindiği üzere beton gevrek, donatı ise sünek bir malzemedir. Betonun tek başına gevrek davranış sergilemesi sebebi ile sargılama ve donatı detaylandırması betonarme yapı elemanının sünekliği için büyük önem arz etmektedir. Özellikle kolon elemanlarda, eksenel yük etkisi ile yatay deplasman yapabilme özelliği kısıtlandığı için, sargılamamanın önemi daha da büyüktür. Sargı donatısı, çekirdek betonunun dağılmasını önleyerek; elemanın dayanım kaybını azaltmaya ve bu şekilde deplasman yapabilmesine imkân sağlamaktadır.

Sargılı beton, donatılar vasıtasıyla beton çekirdeğine yanal basınç uygulanması prensibine dayanmaktadır. Yirminci yüzyılın başlarından itibaren sargılı beton konusunda birçok araştırma ve deneyler yapılmış; hidrolik basınçla başlayan araştırmalar, spirial donatı, dikdörtgen etriye uygulamalarıyla devam etmiştir. Yapılan araştırmalar sonucu uygulanan yanal basınç, betonun dayanım ve sünekliğini attırdığı rapor edilmiştir (İnel ve diğ., 2008).

Betonun davranışının gerçekçi bir şekilde incelenebilmesi ve sargılamamanın bu davranış üzerindeki etkisini görebilmek amacı ile beton modelleri geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında, DBYBHY-2007 ve TBDY-2018’de belirtilen modellerde de baz alınan, Mander Beton Modeli kullanılmıştır.

2.1.1 Mander Beton Modeli

Mander, sargılı ve sargısız beton modellerini 1988 yılında gerilme-şekil değiştirme ilişkisi ile önermiştir. İlgili modellerde kullanılan bağıntılar Denklem 2.1-2.12 arasında verilmiştir.

$$f_c = \frac{f_{cc} x r}{r-1+x^r} \quad (2.1)$$

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \quad (2.2)$$

$$\lambda_c = \left[2.254 + \sqrt{\frac{7.94}{f_{co}} e} - \frac{2f_e}{f_{co}} - 1.254 \right] \quad (2.3)$$

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad ; \quad f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (2.4)$$

$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_0 h_0} \right) \left(1 - \frac{s}{2b_0} \right) \left(1 - \frac{s}{2h_0} \right) \left(1 - \frac{A_s}{b_0 h_0} \right)^{-1} \quad (2.5)$$

$$\rho_x = \frac{A_{shx}}{s h_0} \quad ; \quad \rho_y = \frac{A_{shy}}{s b_0} \quad (2.6)$$

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad (2.7)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} [1 + 5(\lambda_c - 1)] \quad (2.8)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (2.9)$$

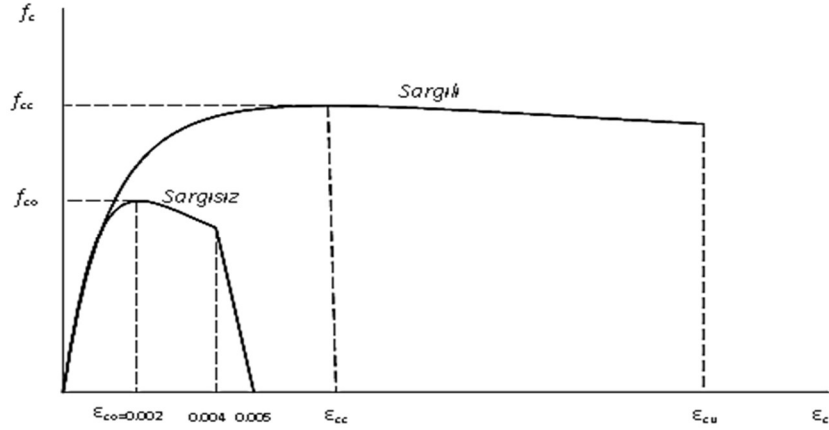
$$E_c = 5000 \sqrt{f_{co}} \text{ (MPa)} \quad (2.10)$$

$$E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (2.11)$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4 \rho_s f_{yw} \varepsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (2.12)$$

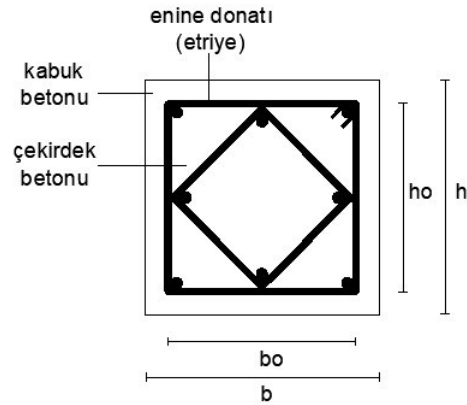
Verilen bağıntılarda; f_c , beton basınç gerilmesini; f_{cc} , sargılı betonun basınç dayanımını; λ_c , sargılı beton dayanımının sargısız beton dayanımına oranını; f_{co} , sargısız betonun basınç dayanımını; f_{ex} , x yönündeki etkin sargı basıncını; f_{ey} , y yönündeki etkin sargı basıncını; k_e , sargılama etkinlik katsayısı; ρ_x ve ρ_y , sırası ile x ve y doğrultusundaki enine donatı oranını; f_{yw} , enine donatının akma dayanımını; A_s , toplam boyuna donatı alanını; A_{shx} ve A_{shy} , sırası ile x ve y doğrultusundaki toplam enine donatı kesit alanını; s , enine donatı aralığını; b_0 , çekirdek betonun x doğrultusuna paralel boyutunu; h_0 , çekirdek betonun y doğrultusuna paralel boyutunu; ε_c , beton basınç birim şekil değiştirmesini; ε_{cc} , sargılı betonun maksimum gerilmeye ulaştığı birim şekil değiştirmesini; ε_{co} , sargısız betonun maksimum gerilmeye ulaştığı birim şekil değiştirmesini ($\varepsilon_{co} \cong 0.002$); E_c , betonun elastisite modülü; E_{sec} , sekant elastisite modülünü; ε_{cu} , sargılı betonun nihai birim şekil değiştirmesini; ρ_s , toplam hacimsel enine donatı oranını; ε_{su} , donatının nihai birim şekil değiştirmesini ifade etmektedir.

Sargısız beton modeli için; $\varepsilon_c > 2\varepsilon_{c0}$ olduğunda f_c değerinde doğrusal bir azalma olduğu ve $\varepsilon_c=0.005$ değerine ulaşıldığında $f_c=0$ olduğu görülmektedir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Mander beton modeli (DBYBHY, 2007)

Mander modeline göre sargılı betonun kesit görünüşü Şekil 2.2’de verilmiştir.

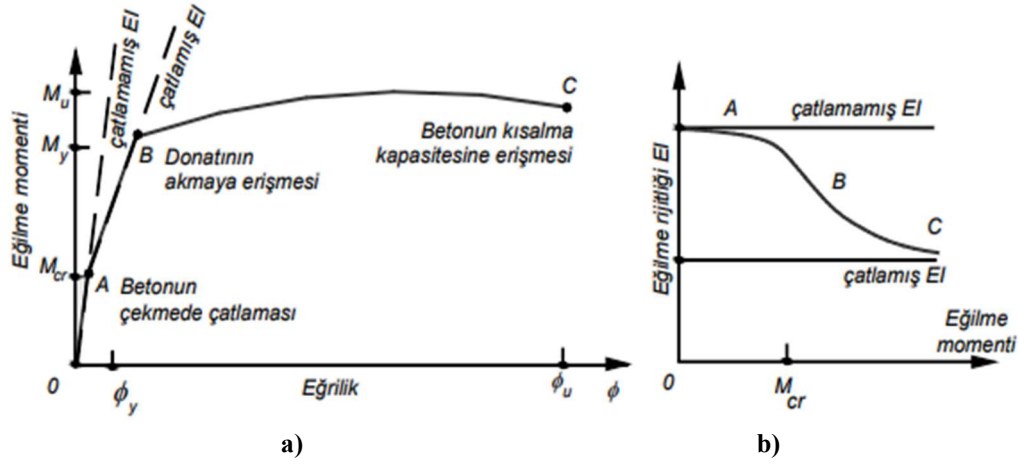


Şekil 2.2: Mander modeline göre sargılı betonun kesit görünüşü

2.1.2 Moment Eğrilik İlişkisi

Betonarme taşıyıcı sistem elemanları, basit eğilme altında; donatının akmaya başlamasına kadar elastik davranış sergiler ve bundan sonraki moment artışları ile plastik olarak şekil değiştirmeye devam eder (Şekil 2.3a). Moment artışına bağlı olarak çekme bölgesindeki betonun çatlaması ile kesitin başlangıçtaki eğilme rijitliği

($EI=M/\phi$) azalır ve plastik davranışta, yataya yakın bir değişim olduğu için rijitlikte daha da azalma görülür (Şekil 2.3b).

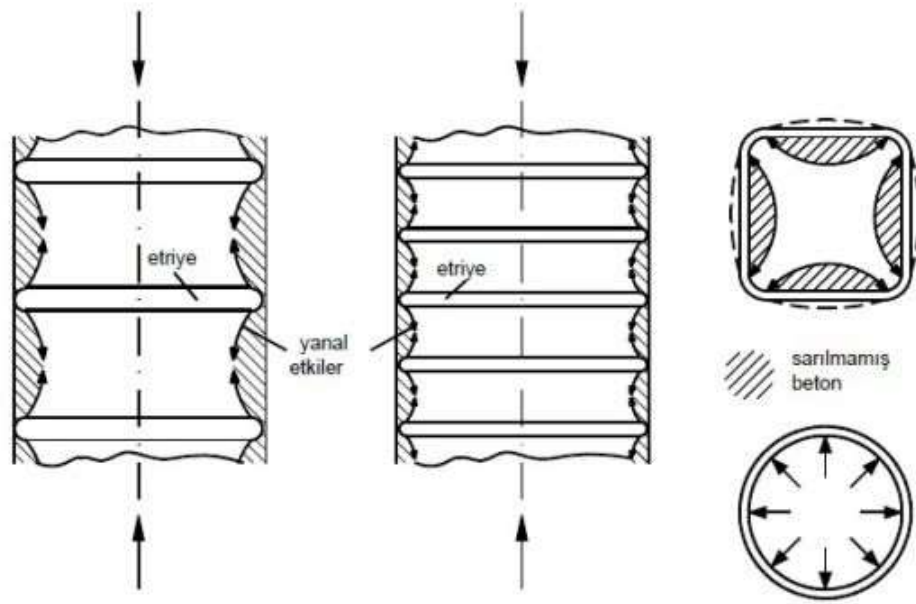


Şekil 2.3: Moment eğrilik ilişkisi (Celep, 2009)

Buradaki M_y , akma momentini; M_u , eğilme momenti kapasitesini; M_{cr} , eğilmede çatlama momentini; ϕ_y , akma eğriliğini ve ϕ_u , maksimum eğriliği ifade etmektedir. Plastik şekil değiştirmelerin olduğu B-C noktalarını kapsayan bölgenin uzunluğu, sünekliğin ve hasarın bir ölçüsüdür.

Yapıda büyük hasarların ve toptan göçmenin önlenmesi, taşıyıcı sistemin yatay yük dayanımının büyük bir kısmını büyük elastik ötesi yer değiştirmelerle devam ettirebilmesi ile mümkündür. Taşıyıcı sistemin veya elemanlarının veya kullanılan malzemenin elastik ötesi davranışı ve süneklikle mümkündür. Şekil ve yer değiştirmeler artarken, dayanımın önemli bir kısmını sürdürme özelliği süneklikle mümkündür. Betonarme kesitlerde betonun gevrek davranışı donatı kullanılarak kabul edilebilir ölçüde sünek duruma getirilebilir. Ancak, donatının katkısının düşük olduğu, normal kuvvetin etkili olduğu veya kesitte basınç gerilmelerinin meydana gelip, kesitin güç tükenmesine erişmesinde sadece betonun etkili olduğu durumlarda boyuna donatının kullanılması önemli bir süneklik sağlamaz. Bu durumda basınç gerilmelerinin düşürülmesi, yani kesitin taşıyabileceği normal kuvvet değerine daha kısıtlı bir üst sınır öngörülür. Betonda sıkıştırılmış etriye düzeni ile yanal basınç oluşturularak, betonun basınç dayanımını ve özellikle en büyük birim kısılma değerini, dolayısıyla sünekliği arttırmak mümkündür (Celep, 2009).

Dairesel ve dikdörtgen kesit geometrisi olan elemanda sargı etkisi Şekil 2.4' te verilmiştir. Bu şekilde; taranmış bölge ise sargılamanın etkili olmadığı beton bölgesini ifade etmektedir. Betonun etkisi ile etriyeler, yanal yerdeğiştirme (şekildeğiştirme) yaparak dışa doğru genişler. Şekilde görüldüğü gibi etriyeler, betonun yanal şekildeğiştirmesini azaltmaktadır. Etriyenin sıklaştırılması (s boyunun azaltılması); sargılamanın etkili olmadığı bölgeyi küçültmekte, betonun daha büyük bir kısmında sargılama etkisinin görülmesini sağlamaktadır. Ayrıca şekilde, dikdörtgen kesitli elemanlarda, köşelerde oluşan basıncın daha etkili olduğu görülmektedir (İşıltan, 2011).



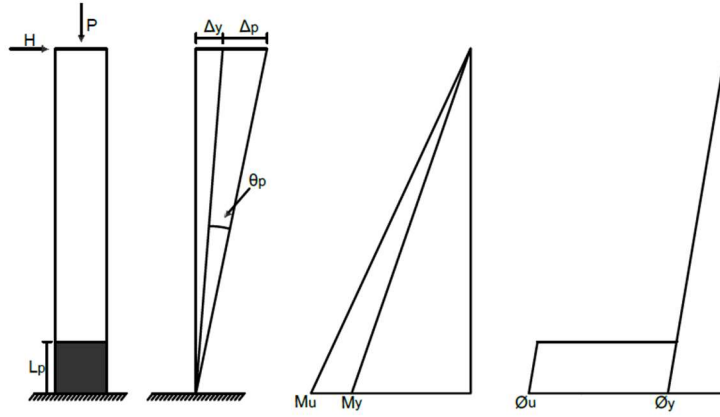
Şekil 2.4: Betonarme elemanlarda sargılama etkisi (Celep ve Kumbasar, 2005)

2.1.3 Plastik Mafsal

Malzeme bakımından doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi için, literatürde geçerliliği kanıtlanmış modeller kullanılabilir. Ancak, mühendislik uygulamalarındaki yaygınlığı ve pratikliği nedeni ile doğrusal elastik olmayan analiz için yığılı plastik davranış modeli kullanılabilir (Sinanî, 2014).

Plastik mafsal hipotezinde, Kiriş ve kolon türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki plastik şekil değiştirmelerin, iç kuvvetlerin kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca düzgün yayılı biçimde meydana geleceği varsayılmaktadır. Eğilme

davranışının hâkim olmasından ötürü bu bölge plastik mafsal boyu (L_p) olarak adlandırılır. Plastik mafsal, bu bölgenin tam ortasında noktasal bir eleman olarak idealleştirilebilir (Özmen ve diğ., 2007). Kolon elemanlar için plastik mafsal hipotezi Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5: Kolon elemanda plastik mafsal hipotezi (Özmen ve diğ., 2007)

Plastik mafsal uzunluğunun gerçekçi bir şekilde belirlenmesi ile yapıda meydana gelen hasarlar, kesit ve eleman bazında tespit edilebilir. Bu sebeple ki yapıların doğrusal olmayan davranışını incelemek için büyük önemi bulunan plastik mafsal uzunluğu için birçok araştırma ve deneyler yapılmış çeşitli yaklaşımlarda bulunulmuştur. Çalışma kapsamında bu uzunluk, TBDY-2018 ve DBYBHY-2007'de önerildiği gibi; kesitin etkili doğrultudaki boyutunun yarısı olarak alınmıştır.

$$L_p = 0.5h \quad (2.13)$$

2.2 DBYBHY-2007'ye Göre Kesit Hasar Sınırlarının Belirlenmesi

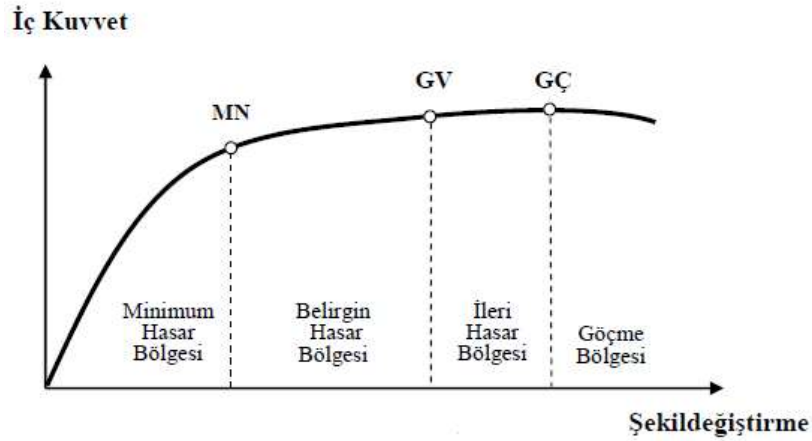
2.2.1 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

DBYBHY-2007'de sünek elemanlar için üç sınır durumu tanımlanmıştır.

- Minimum Hasar Sınırı (MN)
- Güvenlik Sınırı (GV)
- Göçme Sınırı (GÇ)

DBYBHY-2007'ye göre minimum hasar sınırı ilgili kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcına, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırına, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırına karşılık gelmektedir. Gevrek olarak hasar gören elemanlar bu sınıflandırmaya dâhil edilmemiştir.

İlgili yönetmeliğe göre kritik kesitlerinin hasarı MN sınırına ulaşmayan elemanların, Minimum Hasar Bölgesinde; MN ve GV sınırları arasında kalan elemanların, Belirgin Hasar Bölgesinde; GV ve GÇ arasında kalan elemanların, İleri Hasar Bölgesinde; GÇ sınırını aşan elemanların ise Göçme Bölgesinde olduğu kabul edilmektedir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6: Kesit Hasar Sınırları ve Bölgeleri (DBYBHY-2007)

2.2.2 İzin Verilen Birim Şekil Değişirme Sınırları

DBYBHY-2007'ye göre kesit hasar sınırları, donatı ve çeliğin birim şekil değişirme üst sınırlarına göre belirlenmektedir. Sünek taşıyıcı sistem elemanları için yönetmelikte tanımlı olan şekil değişirme üst sınırları Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1: Birim şekil değişirme hasar sınırları (DBYBHY-2007)

Hasar Sınırı	Beton Şekil Değişirme	Donatı Şekil Değişirme
Minimum Hasar Sınırı (MN)	$(\epsilon_c)_{MN} = 0.0035$	$(\epsilon_s)_{MN} = 0.01$
Güvenlik Sınırı (GV)	$(\epsilon_c)_{GV} = 0.0035 + 0.01(\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.0135$	$(\epsilon_s)_{GV} = 0.04$
Göçme Sınırı (GÇ)	$(\epsilon_c)_{GÇ} = 0.004 + 0.014(\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.018$	$(\epsilon_s)_{GÇ} = 0.06$

ρ_s , kesitte mevcut bulunan hacimsel enine donatı oranını; ρ_{sm} ise kesitte bulunması gereken hacimsel enine donatı oranını ifade etmekte olup, (2.14), (2.15), (2.16) bağıntıları ile elde edilmektedir.

$$\rho_s = \frac{\sum A_s l_w}{s b_k h_k} \quad (2.14)$$

$$\rho_{sm} = 0.6 \left(\frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right) \left(\frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \right) \quad (2.15)$$

$$\rho_{sm} = 0.15 \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \quad (2.16)$$

Verilen bağıntılarda; A_s , enine donatı alanını; l_w , enine donatı uzunluğunu; s , enine donatı aralığını; b_k ve h_k her iki doğrultu için en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklığı; A_c , brüt en kesit alanını; A_{ck} , sargı donatısının dışından dışına alınan ölçü içinde kalan çekirdek beton alanını; f_{ck} , betonun karakteristik basınç dayanımını ve f_{ywk} , enine donatının karakteristik akma dayanımını ifade etmektedir.

ρ_{sm} değeri için, (2.15) ve (2.16) bağıntılarından elde edilen sonuçlardan en kritik olanı esas alınmaktadır.

Tablo 2.1'e göre elde edilen birim şekil değiştirmeler kullanılarak moment eğrilik analizleri ile eğrilik değerleri elde edilir. Eğilme momenti etkisini, kesit üzerinde şekil değiştirme olarak gösterirken; eleman üzerinde dönme olarak gösterir. I. Moment Alan Teoremine göre; eğrilik diyagramının altında kalan alan dönme miktarını verir. Çift eğrilikli bir eleman için akma ve plastik dönme değerleri (θ_y, θ_p) (2.17) ve (2.18) bağıntıları ile hesaplanabilir.

$$\theta_y = \phi_y (L/4) \quad (2.17)$$

$$\theta_p = (\phi_u - \phi_y) L_p \quad (2.18)$$

Burada L, elemanın net boyunu; ϕ_u , maksimum eğriliği; L_p ise plastik mafsallık uzunluğunu ifade etmektedir.

2.3 TBDY-2018'e Göre Kesit Hasar Sınırlarının Belirlenmesi

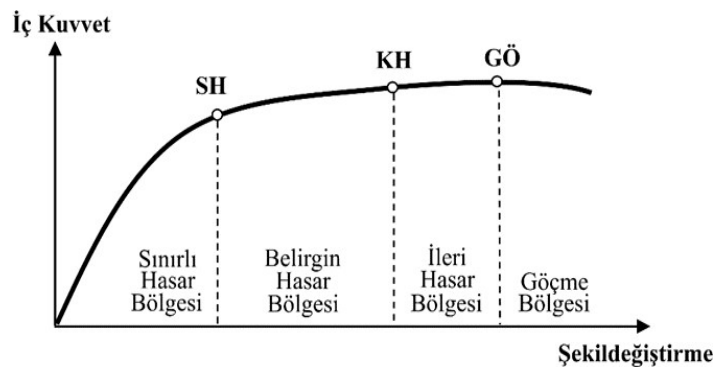
2.3.1 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

TBDY-2018'de yer alan hasar sınır tanımlarında DBYBHY-2007'ye göre farklılıklar bulunmaktadır. Sünek elemanlar için DBYBHY-2007'ye göre farklı üç sınır durumu tanımlanmıştır.

- Sınırlı Hasar Sınırı (SH)
- Kontrollü Hasar Sınırı (KH)
- Göçmenin Önlenmesi Sınırı (GÖ)

TBDY-2018'e göre sınırlı hasar ilgili kesitte sınırlı miktarda elastik ötesi davranışa, kontrollü hasar kesit dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranışa, göçme öncesi hasar durumu ise kesitte ileri düzeyde elastik ötesi davranışa karşılık gelmektedir. Gevrek olarak hasar gören elemanlar bu sınıflandırmaya dahil edilmemiştir.

İlgili yönetmelikten kritik kesitlerinin hasarı SH'ye ulaşmayan elemanların Sınırlı Hasar Bölgesinde; SH ve KH sınırları arasında kalan elemanların, Belirgin Hasar Bölgesinde; KH ve GÖ arasında kalan elemanların, İleri Hasar Bölgesinde; GÖ sınırını aşan elemanların ise Göçme Bölgesinde olduğu kabul edilmektedir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7: Kesit Hasar Sınırları ve Bölgeleri (TBDY-2018)

2.3.2 İzin Verilen Birim Şekil Değişirme Sınırları

TBDY-2018'e göre hasar sınırlarının belirlenebilmesi için gerekli olan beton ve donatı birim şekil değişirme sınır değerleri, Tablo 2.2'de verildiği gibi tanımlanmıştır. Yönetmelikte, göçmenin önlenmesi performans düzeyi için beton birim şekil değişirmesini ifade eden $\varepsilon_c^{(GÖ)}$ sınır değerinin; kolon, kiriş ve perdelerde dikdörtgen kesitli ve dairesel kesitli olmalarına göre ayrı iki tanımı bulunmaktadır. Tabloda belirtilen tanım dikdörtgen kesitli elemanlar içindir.

Tablo 2.2: Birim şekil değişirme hasar sınırları (TBDY-2018)

Hasar Sınırı	Beton Şekil Değişirme	Donatı Şekil Değişirme
Sınırlı Hasar Sınırı (SH)	$\varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025$	$\varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075$
Kontrollü Hasar Sınırı (KH)	$\varepsilon_c^{(KH)} = 0.75 \varepsilon_c^{(GÖ)}$	$\varepsilon_s^{(KH)} = 0.75 \varepsilon_s^{(GÖ)}$
Göçmenin Önlenmesi Sınırı (GÖ)	$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018$	$\varepsilon_s^{(GÖ)} = 0.4\varepsilon_{su}$

Burada ε_{su} , çekme dayanımına karşı gelen birim uzamayı tanımlamaktadır. Donatı çeliklerine ait gerekli bilgiler Tablo 2.3'te verilmektedir.

Tablo 2.3: Donatı çeliklerine ait bilgiler (TBDY-2018)

Kalite	f_{sy} (MPa)	ε_{sy}	ε_{sh}	ε_{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

Tablo 2.3'te verilen donatı çeliklerinin, TS-708' de tanımlı olan mekanik özellikleri Tablo 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.4: Donatı çeliklerinin Mekanik Özellikleri(TS-708)

Tip	Düz Yüzeyle		Nervürlü	
	S220	S420	B420C	B500C
Sınıf	S220	S420	B420C	B500C
Akma dayanımı (en az) Re (N/mm ²)	220	420	420	500
Çekme dayanımı (en az) Rm (N/mm ²)	340	500	-	-
Çekme dayanımı/akma dayanımı oranı Rm /Re	1.20 (en az)	1.15 (en az)	≥1.15 ; <1.35	≥1.15 ; <1.35

ω_{we} , etkin sargı donatısının mekanik sargı donatısına oranını ifade etmekte olup (2.19), (2.20) ve (2.21) bağıntıları ile elde edilmektedir.

$$\omega_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh, min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (2.19)$$

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right) \quad (2.20)$$

$$\rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s} \quad (2.21)$$

Burada α_{se} , sargı donatısı etkinlik katsayısını; $\rho_{sh, min}$, dikdörtgen kesitte iki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanını; ρ_{sh} , göz önüne alınan doğrultuda enine donatının hacimsel oranını; A_{sh} , göz önüne alınan doğrultuda enine donatı alanını; b_k , dik doğrultudaki çekirdek boyutunu; s , enine donatı aralığını; a_i , bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatı eksenleri arasındaki uzaklığı; b_o ve h_o , sargı donatısı eksenlerinden ölçülen sargılı beton boyutlarını ifade etmektedir. f_{ywe} ve f_{ce} sırası ile enine donatının ortalama (beklenen) akma dayanımı ve betonun ortalama basınç dayanımını göstermekte ve ilgili değerler Tablo 2.5'ten elde edilmektedir.

Tablo 2.5: Beklenen (ortalama) malzeme dayanımları (TBDY-2018)

Beton	$f_{ce} = 1.3f_{ck}$
Donatı çeliği	$f_{ye} = 1.2 f_{yk}$
Yapı çeliği (S235)	$f_{ye} = 1.5 f_{yk}$
Yapı çeliği (S275)	$f_{ye} = 1.3f_{yk}$
Yapı çeliği (S355)	$f_{ye} = 1.1f_{yk}$
Yapı çeliği (S460)	$f_{ye} = 1.1f_{yk}$

Tablo 2.5'te verilen bağıntılarda f_{ck} , betonun karakteristik basınç dayanımını; f_{yk} ise çeliğin karakteristik akma dayanımını ifade etmektedir.

TBDY-2018'de, eğilme momentinin eleman üzerindeki etkisinin karşılığı olan plastik mafsal dönmelerinin izin verilen sınır değerleri bağıntılar ile belirtilmiştir. Plastik mafsal akma dönmesine karşılık gelen; θ_y , Göçmenin Önlenmesi, Sınırlı Hasar ve Kontrollü Hasar Performans Düzeyleri için izin verilen plastik dönme sınırlarına

karşılık gelen; $\theta_p^{(GÖ)}$, $\theta_p^{(SH)}$, $\theta_p^{(KH)}$ ifadelerine ait bağıntılar Denklem 2.22-2.25 arasında verilmiştir.

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015 \eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \quad (2.22)$$

$$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right] \quad (2.23)$$

$$\theta_p^{(SH)} = 0 \quad (2.24)$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(GÖ)} \quad (2.25)$$

Burada; ϕ_y , plastik mafsal kesitindeki etkin akma eğriliğini; L_s , kesme açıklığını (kesitteki moment/kesme kuvveti oranı); h , kesit yüksekliğini; d_b , mesnede kenetlenen donatı çeliklerinin ortalama çapını; ϕ_u , göçme öncesi toplam eğriliği; L_p ; plastik mafsal boyunu ifade etmektedir. Yönetmeliğe göre, Denklem 2.22’de yer alan η katsayısı, kiriş ve kolonlarda 1, perdelerde ise 0.5 olarak alınmıştır.

Yönetmelikte, izin verilen birim şekil değiştirme ve plastik dönme değerleri için; kesme kuvveti oranına göre azaltma uygulanmaktadır. Kesme kuvveti oranı $[V_e / (b_w d f_{ctm})]$, 0.65’ten küçük ise elde edilen değerler herhangi bir azaltma yapmadan kullanılmaktadır. Kesme kuvveti oranı 1.3’ten büyük ise bulunan üst sınır değerleri 0.5 ile çarpılarak azaltılacaktır. Ara değerler için enterpolasyon uygulanacaktır. b_w , kesit genişliğini; d , kiriş ve kolonun faydalı yüksekliğini; f_{ctm} ise mevcut betonun çekme dayanımını ifade etmektedir.

2.4 Eurocode 8’e Göre Kesit Hasar Sınırlarının Belirlenmesi

EUROCODE-8’de üç sınır durumu tanımlanmıştır.

- Sınırlı Hasar Sınırı (DL)
- Belirgin Hasar Sınırı (SD)
- Göçme Öncesi Sınırı (NC)

Sınırlı Hasar Sınır Durumu, yapının ekonomik olarak onarılabılır şekilde hafif hasar gördüğünü; Belirgin Hasar Sınır Durumu, yapının önemli derecede hasar gördüğünü ve ekonomik olarak onarılamayacağını; Göçme Öncesi Sınır Durumu ise, yapıda büyük kalıcı hasarların görüldüğünü ve yapının göçmeye yakın olduğunu belirtmektedir. DBYBHY-2007 ve TBDY-2018’de performans ve hasar sınırları beton ve donatı birim şekil değiştirme değerlerine bağlı olarak ifade edilirken; EUROCODE-8’de elemanda meydana gelen eksen dönmesine bağlı olarak ifade edilmektedir.

2.4.1 İzin Verilen Eksen Dönmesi Sınırları

EUROCODE-8’de ifade edilen eksen dönmesi (θ_i) Denklem 2.26 ile tanımlanmaktadır.

$$\theta_i = \frac{\Delta}{L} - \phi_i \quad (2.26)$$

Burada Δ , üst düğüm noktasındaki ötelenmeyi; L , elamanın toplam boyunu; ϕ_i , alt düğüm noktasındaki dönmeyi ifade etmektedir.

Yönetmelikte tanımlı olan DL, SD ve NC sınırları için eksen dönmeleri, ampirik ifadelerdir. İlgili ifadeler, alt başlıklar halinde verilmiştir.

2.4.1.1 Göçme Öncesi Sınırı (NC)

Sünek betonarme elemanlar için toplam nihai eksen dönmesi (θ_{um}), Denklem 2.7’de verildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$\theta_{um} = \frac{1}{\gamma_{el}} 0.016 (0.3^v) \left[\frac{\max(0.01, \omega')}{\max(0.01, \omega)} f_c \right]^{0.225} \left(\frac{L_v}{h} \right)^{0.35} 25 \left(\alpha \rho_{sx} \frac{f_{yw}}{f_c} \right) (1.25^{100 \rho_d}) \quad (2.27)$$

Burada γ_{el} katsayısı, birincil sismik elemanlar (yapının sismik yükünü taşıyan elemanlar) için 1.5, ikincil sismik elemanlar (yapının sismik yükünü taşımayan

elemanlar) için 1 alınır. v , aksel yük oranını ifade etmekte ve Denklem 2.28'de verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$v = \frac{P}{b h f_c} \quad (2.28)$$

P , aksel yük miktarını; b ve h kesit boyutlarını; f_c , betonun karakteristik basınç dayanımını belirtmektedir.

ω , çekmeye çalışan, ω' ise basınca çalışan boyuna donatıların mekanik oranını ifade etmektedir. Sırası ile Denklem 2.29 ile hesaplanmaktadır.

$$\omega = \frac{A_s f_{yw}}{b h f_c} \quad ; \quad \omega' = \frac{A_s' f_{yw}}{b h f_c} \quad (2.29)$$

A_s , çekmeye çalışan boyuna donatıların alanları toplamını (gövde donatıları dahil); A_s' , basınca çalışan boyuna donatıların alanları toplamını ve f_{yw} , enine donatının akma dayanımını ifade etmektedir.

L_V , elemanın uç kesitindeki moment kesme oranını ($L_V=M/V$); α , sargı etkinlik katsayısını; ρ_{sx} , yükleme yönüne paralel doğrultudaki alansal enine donatı oranını; ρ_d ise diyagonal boyuna donatı oranını ifade etmektedir. Sargı etkinlik katsayısı, Denklem 2.30'da; ρ_{sx} ise Denklem 2.31'de verildiği gibi hesaplanacaktır.

$$\alpha = \left(1 - \frac{s_h}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s_h}{2h_o}\right) \left(1 - \frac{\sum b_i^2}{6b_o h_o}\right) \quad (2.30)$$

$$\rho_{sx} = \frac{A_{sx}}{b_w s_h} \quad (2.31)$$

Burada s_h , enine donatı aralığını; b_o ve h_o sırası ile çekirdek betonunun genişliğini ve derinliğini; b_i , boyuna donatıların eksen aralığını; A_{sx} , yükleme yönüne paralel doğrultudaki enine donatı alanını; b_w , kesit genişliğini ifade etmektedir.

Yönetmeliğe göre; soğuk işlenmiş çelik kullanımı durumunda toplam dönme kapasitesi 1.6'ya bölünmektedir.

Sünek betonarme elemanlar için plastik nihai eksen dönmesi (θ_{um}^{pl}) Denklem 2.32’de tanımlanmıştır. ($\theta_{um}^{pl} = \theta_{um} - \theta_y$)

$$\theta_{um}^{pl} = \frac{1}{\gamma_{el}} 0.0145 (0.25^v) \left[\frac{\max(0.01, \omega')}{\max(0.01, \omega)} f_c \right]^{0.3} f_c^{0.2} \left(\frac{L_V}{h} \right)^{0.35} 25^{\left(\alpha \rho_{sx} \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} (1.275^{100 \rho_d}) \quad (2.32)$$

Burada γ_{el} , birincil sismik elemanlar için 1.8, ikincil sismik elemanlar için 1 alınır. Perde elemanlarda, plastik eksen dönme kapasitesi 0.6 ile çarpılmaktadır. Soğuk işlenmiş çelik kullanımı durumunda plastik dönme kapasitesi 2’ye bölünmektedir. Özel deprem detaylandırması yapılmamış elemanlar için Denklem 2.27 ve Denklem 2.32’de verilen dönme kapasiteleri 1.2’ye bölünmektedir.

Yönetmelikte, toplam nihai eksen dönmesinin (θ_{um}) alternatif bir tanımı bulunmaktadır (Denklem 2.33). Tez çalışmasında da, toplam nihai eksen dönmesi için bu denklem dikkate alınmıştır.

$$\theta_{um} = \frac{1}{\gamma_{el}} \left[\theta_y + (\Phi_u - \Phi_y) L_{pl} \left(1 - \frac{0.5 L_{pl}}{L_V} \right) \right] \quad (2.33)$$

Burada γ_{el} , birincil sismik elemanlar için 2, ikincil sismik elemanlar için 1 alınır. θ_y , eleman uç kısmındaki akma eksen dönmesini; Φ_u , eleman uç kısmındaki nihai toplam eksen eğriliğini; Φ_y , akma eğriliğini; L_{pl} , plastik mafsallık uzunluğunu ifade etmektedir.

Nihai toplam eksen eğikliği (Φ_u) değerinin bulunabilmesi için gerekli olan, beton nihai zorlanması (ε_{cu}) sargılı beton modelinden yararlanılarak Denklem 2.34 ve Denklem 2.35’te verildiği gibi hesaplanacaktır.

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + 0.5 \frac{\alpha \rho_{sx} f_{yw}}{f_{cc}} \quad (2.34)$$

$$f_{cc} = f_c \left[1 + 3.7 \left(\frac{\alpha \rho_{sx} f_{yw}}{f_c} \right)^{0.86} \right] \quad (2.35)$$

Burada f_{cc} , sargılı beton dayanımını ifade etmektedir. Donatı nihai zorlanmasına karşılık gelen ε_{su} değeri, Eurocode-2’de bulunan çelik malzeme tablosundan elde edilmektedir (Tablo 2.6).

Tablo 2.6: Çelik malzeme tablosu (Eurocode-2)

ÇELİK SINIFI	A	B	C
f_{yk} (MPa)	400- 600		
$k=(f_t/f_y)_k$	≥ 1.05	≥ 1.08	$\geq 1.15 ; < 1.35$
ε_{uk} (%)	≥ 2.5	≥ 5.0	≥ 7.5

Burada k katsayısı süneklik katsayısı olup; çeliğin, karakteristik kopma dayanımının, karakteristik akma dayanımına oranı alınarak bulunmakta ve çelik sınıfının belirlenmesi için kullanılmaktadır. EUROCODE-8’e göre A sınıfı ve B sınıfı çelik için ε_{su} değeri, ilgili tabloda verilen maksimum donatı zorlanmasına karşılık gelen ε_{uk} değerine eşit olarak; sırası ile %2.5 ve %5 olarak elde edilmektedir. C sınıfı çelik için ise ε_{su} değeri tablodan bağımsız olarak doğrudan %6 olarak alınmaktadır. Tablo incelendiğinde; tez çalışmasında kullanılan S420 çeliği, EUROCODE-8’e göre C sınıfında kabul edilmekte ve ε_{su} değeri %6’ya karşılık gelmektedir.

2.4.1.2 Belirgin Hasar Bölgesi (SD)

Belirgin hasar sınırı için eksen dönme kapasitesini ifade eden θ_{SD} , toplam nihai eksen dönmesinin (θ_{um}) 3/4’ü olarak kabul edilmektedir.

2.4.1.3 Sınırlı Hasar Bölgesi (DL)

Sınırlı hasar bölgesi için plastik dönme söz konusu olmadığından θ_{DL} , akma eksen dönme kapasitesine (θ_y) karşılık gelmektedir ve sünek betonarme kolon ve kiriş elamanları için Denklem 2.36’da verildiği gibi hesaplanmaktadır. Alternatif olarak Denklem 2.37 de kullanılabilir.

$$\theta_y = \phi_y \frac{L_V + \alpha_V Z}{3} + 0.00135 \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_V} \right) + \frac{\varepsilon_y}{d-d'} \frac{d_b f_y}{6 \sqrt{f_c}} \quad (2.36)$$

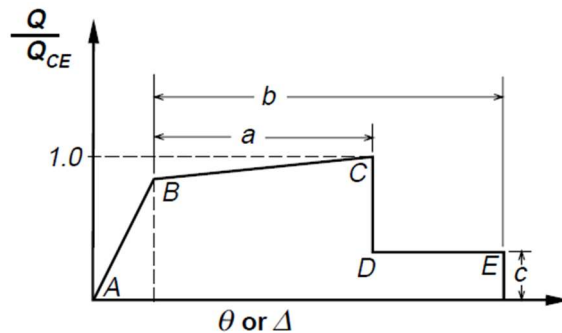
$$\theta_y = \phi_y \frac{L_V + \alpha_V Z}{3} + 0.0013 \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_V} \right) + 0.13 \phi_y \frac{d_b f_y}{\sqrt{f_c}} \quad (2.37)$$

Burada $\alpha_V z$, eğilme moment diyagramı düzeltmesini ifade etmektedir. α_V , sünek elemanlar ($V_{R,C} > M_y/L_V$) için 0 değerini almaktadır. z kuvvet kolu olup kolon ve kiriş elemanlar için $d-d'$ ifadesi ile elde edilmektedir. d , etkili kesit derinliğini; d' , basınç donatısı derinliğini, ε_y , donatı akma şekil değiştirmesini; f_y ise donatı akma dayanımını ifade etmektedir.

2.5 ASCE 41-17'ye Göre Kesit Hasar Sınırlarının Belirlenmesi

ASCE 41-17'de binaların performans düzeyleri ve aralıkları, yapısal olup olmamalarına göre gruplandırılarak tanımlanmıştır. Yapısal hasarlar için, Hemen Kullanım (S-1), Can Güvenliği (S-3), Göçmenin Önlenmesi (S-5), Dikkate Alınmamış (S-6) performans düzeyleri ile Kontrollü Hasar (S-2), Güvenlik Sınırı (S-4) performans aralıkları olmak üzere 6 farklı tanım bulunmaktadır

Hemen Kullanım (IO) (S-1), bir yapının deprem sonrasında kullanılmasının güvenli olduğu, deprem öncesindeki dayanım ve rijitliğini koruduğu hasar durumunu; Kontrollü Hasar (S-2), hemen kullanım ile can güvenliği performans düzeyleri arasında olan sürekli hasar durumunu belirtmektedir. Can Güvenliği (LS) (S-3), yapı elemanlarında hasarın olduğu ancak kısmen veya tamamen göçmenin olmadığı hasar durumunu; Güvenlik Sınırı (S-4), can güvenliği ile göçmenin önlenmesi performans düzeyleri arasında olan sürekli hasar durumunu ifade etmektedir. Göçmenin Önlenmesi (CP) (S-5), yapı elemanlarında ileri düzeyde hasarların olduğu ancak göçmenin gerçekleşmediği hasar durumunu; Dikkate Alınmamış Hasar (S-6) ise, yapı için değerlendirme veya güçlendirme yapılmasının etkili olmayacağı hasar durumunu belirtmektedir. İlgili yönetmelikte kapasite eğrisi, elastik ve plastik bölge sınırlarını ifade eden A,B,C,D ve E harfleri ile gösterilmektedir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8: Kapasite eğrisi (ASCE 41-17)

Burada Q , elemanın genelleştirilmiş dayanımını; Q_{CE} ise deplasman kontrollü elemanın beklenen dayanımını belirtmekte ve $(\frac{Q}{Q_{CE}})$ oranı dayanım fazlalığı katsayısı olarak ifade edilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere; elemanın, A-B aralığında elastik davranış sergilediği, akma noktasını ifade eden B noktasından itibaren elemenda plastik deplasmanların meydana geldiği ve C noktasında maksimum deplasman kapasitesine ulaşıldığı görülmektedir. Bu andan itibaren yük taşıma kapasitesinde düşüş gerçekleştiği, D noktasından sonra sabit dayanım ile plastik deplasmanların E noktasına kadar devam ettiği ve sonrasında dayanımın tamamen kaybedildiği ifade edilmektedir. B-C arasındaki eğim, başlangıç eğiminin 0~%10'una eşit olarak alınabilmektedir. a ve b parametreleri ile plastik deplasman kapasitesi, c parametresi ile dayanımdaki düşüş ifade edilmektedir.

Yönetmelikte, a , b , c parametreleri ve performans sınır değerleri kiriş ve kolon elemanları için ayrı ayrı tablolar halinde verilmektedir. Kiriş elemanları için dönme sınır değerleri doğrudan tablodan alınmaktadır (Tablo 2.7). Kolon elemanlar için ise tabloda belirtilen formülasyon uygulanarak elde edilmektedir (Tablo 2.8).

Tablo 2.7: Betonarme kirişlerde modelleme parametreleri ve kabul kriterleri (ASCE 41-17)

			Modeling Parameters			Acceptance Criteria		
			Plastic Rotation Angle (radians)		Residual Strength Ratio	Plastic Rotation Angle (radians)		
			a	b	c	Performance Level		
						IO	LS	CP
Condition i. Beams controlled by flexure								
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_{bal}}$	Transverse reinforcement	$\frac{V^d}{b_w d \sqrt{f'_{CE}}}$						
≤ 0.0	C	≤ 3 (0.25)	0.025	0.05	0.2	0.010	0.025	0.05
≤ 0.0	C	≥ 6 (0.5)	0.02	0.04	0.2	0.005	0.02	0.04
≥ 0.5	C	≤ 3 (0.25)	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
≥ 0.5	C	≥ 6 (0.5)	0.015	0.02	0.2	0.005	0.015	0.02
≤ 0.0	NC	≤ 3 (0.25)	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
≤ 0.0	NC	≥ 6 (0.5)	0.01	0.015	0.2	0.0015	0.01	0.015
≥ 0.5	NC	≤ 3 (0.25)	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	0.015
≥ 0.5	NC	≥ 6 (0.5)	0.005	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.01
Condition ii. Beams controlled by shear								
Stirrup spacing $< d/2$			0.0030	0.02	0.2	0.0015	0.01	0.02
Stirrup spacing $> d/2$			0.0030	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.01

Tablo 2.8: Betonarme kolonlarda modelleme parametreleri ve kabul kriterleri (ASCE 41-17)

Modeling Parameters	Acceptance Criteria		
	Plastic Rotation Angle (radians)		
	Performance Level		
Plastic Rotation Angles, a and b (radians)	IO	LS	CP
Residual Strength Ratio, c	IO	LS	CP
Columns not controlled by inadequate development or splicing along the clear height			
$a = \left(0.042 - 0.043 \frac{N_{UD}}{A_g f'_{cE}} + 0.63 \rho_t - 0.023 \frac{V_{yE}}{V_{CoIOE}} \right) \geq 0.0$	$0.15 a$ ≤ 0.005	$0.5b$	$0.7b$
For $\frac{N_{UD}}{A_g f'_{cE}} \leq 0.5$ $\left\{ \begin{array}{l} b = \frac{0.5}{5 + \frac{N_{UD}}{0.8 A_g f'_{cE} \rho_t} \frac{1}{f_{ytE}}} - 0.01 \geq a \\ c = 0.24 - 0.4 \frac{N_{UD}}{A_g f'_{cE}} \geq 0.0 \end{array} \right.$			
Columns controlled by inadequate development or splicing along the clear height			
$a = \left(\frac{1}{8} \frac{\rho_t f_{ytE}}{\rho_l f_{ytE}} \right) \begin{array}{l} \geq 0.0 \\ \leq 0.025 \end{array}$	0.0	$0.5b$	$0.7b$
$b = \left(0.012 - 0.085 \frac{N_{UD}}{A_g f'_{cE}} + 12 \rho_t \right) \begin{array}{l} \geq 0.0 \\ \geq a \\ \leq 0.06 \end{array}$			
$c = 0.15 + 36 \rho_t \leq 0.4$			

Tablo 2.7’de verilen bağıntılarda ρ ve ρ' sırası ile çekmeye ve basınca çalışan boyuna donatı oranlarını; ρ_{bal} , dengeli donatı oranını; V^d , tasarım kesme kuvvetini; f'_{cE} , betonun beklenen basınç dayanımını ifade etmektedir. Eğilme kontrolünde olan kirişlerde ilk şart geçerli olurken; kesme kontrolünde olan kirişlerde ikinci şart geçerlidir. Tablo 2.7’den kiriş elemanlar için dönme sınır değerleri, kesme kuvveti ve boyuna donatı oranına göre doğrudan elde edilmektedir. Ara değerler için enterpolasyon uygulanmaktadır. Enine donatı detaylandırmasının; yönetmeliğe uygun olması ve uygun olmamasına göre tablodan alınacak değerler değişmektedir.

Tablo 2.8’de verilen bağıntılarda; N_{UD} , tasarım eksenel basınç kuvvetini; A_g , kolonun brüt kesit alanını; ρ_t , enine donatı oranını $\left(\rho_t = \frac{A_v}{b d} \leq 0.0175 \right)$; A_v , toplam enine donatı alanını; V_{yE} , beklenen akma kesmesini; V_{CoIOE} , kesme kapasitesini $\left(\frac{V_{yE}}{V_{CoIOE}} \geq 0.2 \right)$; f_{ytE} , enine donatının beklenen akma dayanımını; f_{yIE} , boyuna donatının beklenen akma dayanımını; ρ_l , boyuna donatı oranını belirtmektedir. Tablo 2.8’de kolon elemanlar için verilen formülasyonla a , b , c parametreleri elde edilmekte ve dönme sınır değerleri bu parametrelere bağlı olarak hesaplanmaktadır. Formülasyonda eksenel yük ve kesme kuvveti oranı doğrudan kullanılmaktadır.

3. KESİTLERİN İNCELENMESİ

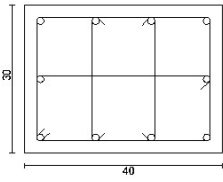
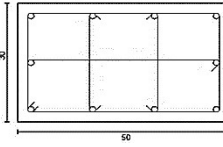
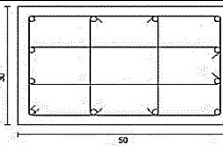
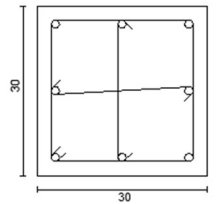
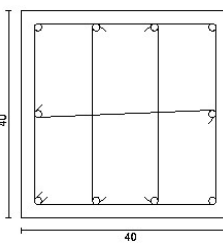
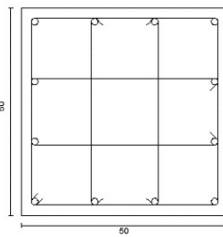
3.1 Kolon Kesitlerinin İncelenmesi

Çalışma kapsamında, kolon elemanlar, kesit boyutları arasındaki farkın artışına göre; Set-1 (30*40, 30*50, 30*30, 40*40, 50*50), Set-2 (30*60, 30*70, 30*80, 35*80, 60*60, 35*60) ve Set-3 (30*100, 30*120, 35*100) olmak üzere 3 set şeklinde incelenmiştir.

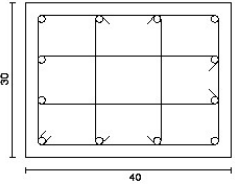
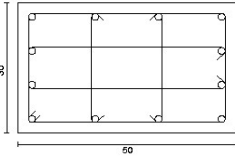
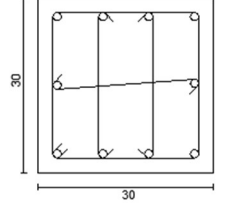
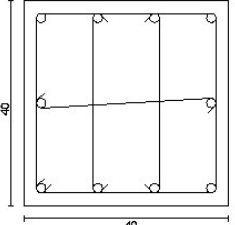
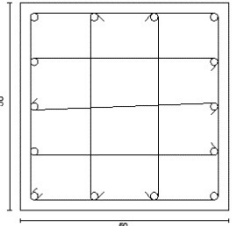
Eksenel yük oranları %5, 10, 20, 30, 40 ve 50 olmak üzere 6 farklı şekilde; boyuna donatı oranları ise %1, 1.5, 2 ve 3 olarak 4 farklı şekilde ele alınmıştır. En büyük eksenel yük oranının %50 olarak seçilmesinin sebebi, DBYBHY-2007'de kolon elemanlar için eksenel yükün bu oranla sınırlandırılmış olmasıdır. En büyük boyuna donatı oranı DBYBHY-2007 ve TBDY-2018'de %4 olarak verilmiştir ancak pratikte bu donatı oranının kullanılma ihtimalinin düşük olması sebebi ile çalışma kapsamında bu oran %3 ile sınırlandırılmıştır. Her kesit için ilgili yöndeki toplam hacimsel enine donatı oranı, bulunması gereken minimum hacimsel enine donatı oranına eşit olarak alınmıştır.

Set-1 grubunda bulunan kesitlerin detayları, boyuna donatı oranlarına göre Tablo 3.1, 3.2, 3.3 ve 3.4'te verilmiştir.

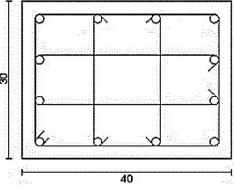
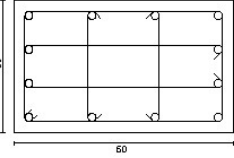
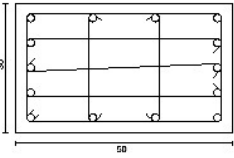
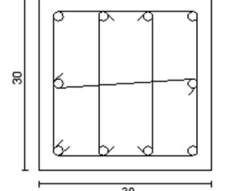
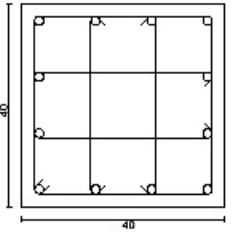
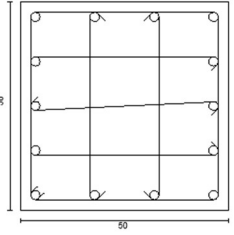
Tablo 3.1: Set-1/ ρ =%1 için kesit detayları

Kesit		Eksenel Yük (%)	Boyuna Donatı	Enine Donatı
30*40		5	10 ϕ 14	Φ 8/10/9
		10	10 ϕ 14	Φ 8/10/9
		20	10 ϕ 14	Φ 8/10/9
		30	10 ϕ 14	Φ 10/10/9
		40	10 ϕ 14	Φ 10/10/9
		50	10 ϕ 14	Φ 10/10/9
30*50		5	10 ϕ 14	Φ 10/10/8
		10	10 ϕ 14	Φ 10/10/8
		20	10 ϕ 14	Φ 10/10/8
		30	12 ϕ 14	Φ 10/10/7
		40	12 ϕ 14	Φ 10/10/7
		50	12 ϕ 14	Φ 10/10/7
30*30		5	8 ϕ 14	Φ 8/10/8
		10	8 ϕ 14	Φ 8/10/8
		20	8 ϕ 14	Φ 8/10/8
		30	8 ϕ 14	Φ 10/10/8
		40	8 ϕ 14	Φ 10/10/8
		50	8 ϕ 14	Φ 10/10/8
40*40		5	10 ϕ 14	Φ 8/10/8
		10	10 ϕ 14	Φ 8/10/8
		20	10 ϕ 14	Φ 8/10/8
		30	10 ϕ 14	Φ 10/10/8
		40	10 ϕ 14	Φ 10/10/8
		50	10 ϕ 14	Φ 10/10/8
50*50		5	12 ϕ 16	Φ 8/10/9
		10	12 ϕ 16	Φ 8/10/9
		20	12 ϕ 16	Φ 8/10/9
		30	12 ϕ 16	Φ 10/10/9
		40	12 ϕ 16	Φ 10/10/9
		50	12 ϕ 16	Φ 10/10/9

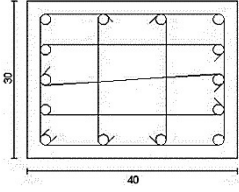
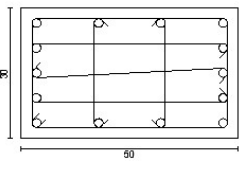
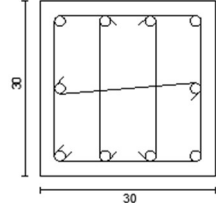
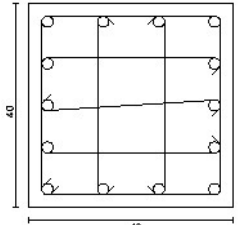
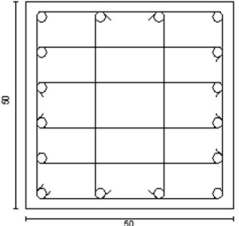
Tablo 3.2: Set-1/ ρ =%1.5 için Kesit Detayları

Kesit		Eksenel Yük (%)	Boyuna Donatı	Enine Donatı
30*40		5	12 ϕ 14	Φ 8/10/9
		10	12 ϕ 14	Φ 8/10/9
		20	12 ϕ 14	Φ 8/10/9
		30	12 ϕ 14	Φ 10/10/9
		40	12 ϕ 14	Φ 10/10/9
		50	12 ϕ 14	Φ 10/10/9
30*50		5	12 ϕ 16	Φ 10/10/9
		10	12 ϕ 16	Φ 10/10/9
		20	12 ϕ 16	Φ 10/10/9
		30	12 ϕ 16	Φ 10/10/7
		40	12 ϕ 16	Φ 10/10/7
		50	12 ϕ 16	Φ 10/10/7
30*30		5	10 ϕ 14	Φ 8/10/8
		10	10 ϕ 14	Φ 8/10/8
		20	10 ϕ 14	Φ 8/10/8
		30	10 ϕ 14	Φ 10/10/8
		40	10 ϕ 14	Φ 10/10/8
		50	10 ϕ 14	Φ 10/10/8
40*40		5	10 ϕ 18	Φ 8/10/8
		10	10 ϕ 18	Φ 8/10/8
		20	10 ϕ 18	Φ 8/10/8
		30	10 ϕ 18	Φ 10/10/8
		40	10 ϕ 18	Φ 10/10/8
		50	10 ϕ 18	Φ 10/10/8
50*50		5	14 ϕ 18	Φ 8/10/10
		10	14 ϕ 18	Φ 8/10/10
		20	14 ϕ 18	Φ 8/10/10
		30	14 ϕ 18	Φ 10/10/9
		40	14 ϕ 18	Φ 10/10/9
		50	14 ϕ 18	Φ 10/10/9

Tablo 3.3: Set-1/ ρ =%2 için Kesit Detayları

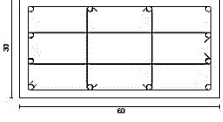
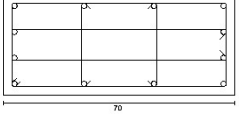
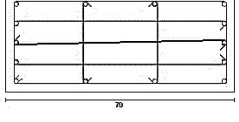
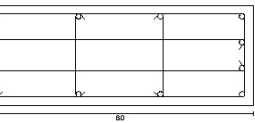
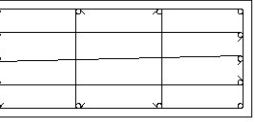
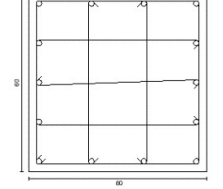
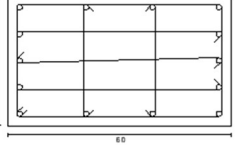
Kesit		Eksenel Yük (%)	Boyuna Donatı	Enine Donatı
30*40		5	12 ϕ 16	Φ 8/10/9
		10	12 ϕ 16	Φ 8/10/9
		20	12 ϕ 16	Φ 8/10/9
		30	12 ϕ 16	Φ 10/10/9
		40	12 ϕ 16	Φ 10/10/9
		50	12 ϕ 16	Φ 10/10/9
30*50		5	12 ϕ 18	Φ 10/10/10
		10	12 ϕ 18	Φ 10/10/10
		20	12 ϕ 18	Φ 10/10/10
		30	14 ϕ 18	Φ 10/10/7
		40	14 ϕ 18	Φ 10/10/7
		50	14 ϕ 18	Φ 10/10/7
30*30		5	10 ϕ 16	Φ 8/10/8
		10	10 ϕ 16	Φ 8/10/8
		20	10 ϕ 16	Φ 8/10/8
		30	10 ϕ 16	Φ 10/10/8
		40	10 ϕ 16	Φ 10/10/8
		50	10 ϕ 16	Φ 10/10/8
40*40		5	12 ϕ 18	Φ 8/10/10
		10	12 ϕ 18	Φ 8/10/10
		20	12 ϕ 18	Φ 8/10/10
		30	12 ϕ 18	Φ 10/10/9
		40	12 ϕ 18	Φ 10/10/9
		50	12 ϕ 18	Φ 10/10/9
50*50		5	14 ϕ 22	Φ 8/10/10
		10	14 ϕ 22	Φ 8/10/10
		20	14 ϕ 22	Φ 8/10/10
		30	14 ϕ 22	Φ 10/10/9
		40	14 ϕ 22	Φ 10/10/9
		50	14 ϕ 22	Φ 10/10/9

Tablo 3.4: Set-1/ ρ =%3 için Kesit Detayları

Kesit		Eksenel Yük (%)	Boyuna Donatı	Enine Donatı
30*40		5	14 ϕ 20	Φ 10/10/10
		10	14 ϕ 20	Φ 10/10/10
		20	14 ϕ 20	Φ 10/10/10
		30	14 ϕ 20	Φ 10/10/9
		40	14 ϕ 20	Φ 10/10/9
		50	14 ϕ 20	Φ 10/10/9
30*50		5	14 ϕ 20	Φ 10/10/9
		10	14 ϕ 20	Φ 10/10/9
		20	14 ϕ 20	Φ 10/10/9
		30	14 ϕ 20	Φ 10/10/7
		40	14 ϕ 20	Φ 10/10/7
		50	14 ϕ 20	Φ 10/10/7
30*30		5	10 ϕ 18	Φ 10/10/9
		10	10 ϕ 18	Φ 10/10/9
		20	10 ϕ 18	Φ 10/10/9
		30	10 ϕ 18	Φ 10/10/8
		40	10 ϕ 18	Φ 10/10/8
		50	10 ϕ 18	Φ 10/10/8
40*40		5	14 ϕ 22	Φ 8/10/10
		10	14 ϕ 22	Φ 8/10/10
		20	14 ϕ 22	Φ 8/10/10
		30	14 ϕ 22	Φ 10/10/9
		40	14 ϕ 22	Φ 10/10/9
		50	14 ϕ 22	Φ 10/10/9
50*50		5	16 ϕ 24	Φ 8/10/10
		10	16 ϕ 24	Φ 8/10/10
		20	16 ϕ 24	Φ 8/10/10
		30	16 ϕ 24	Φ 10/10/9
		40	16 ϕ 24	Φ 10/10/9
		50	16 ϕ 24	Φ 10/10/9

Set-2 grubunda bulunan kesitlerin detayları, boyuna donatı oranlarına göre Tablo 3.5, 3.6, 3.7, 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.5: Set-2/ ρ =%1 için Kesit Detayları

Kesit		Eksenel Yük (%)	Boyuna Donatı	Enine Donatı
30*60		5	12 ϕ 16	Φ 10/10/8
		10	12 ϕ 16	Φ 10/10/8
		20	12 ϕ 16	Φ 10/10/8
		30	12 ϕ 16	Φ 12/10/8
		40	12 ϕ 16	Φ 12/10/8
		50	12 ϕ 16	Φ 12/10/8
30*70		5	12 ϕ 16	Φ 10/10/9
		10	12 ϕ 16	Φ 10/10/9
		20	12 ϕ 16	Φ 10/10/9
		30	14 ϕ 14	Φ 12/10/8
		40	14 ϕ 14	Φ 12/10/8
		50	14 ϕ 14	Φ 12/10/8
30*80		5	12 ϕ 16	Φ 12/10/9
		10	12 ϕ 16	Φ 12/10/9
		20	12 ϕ 16	Φ 12/10/9
		30	12 ϕ 16	Φ 12/10/7
		40	12 ϕ 16	Φ 12/10/7
		50	12 ϕ 16	Φ 12/10/7
35*80		5	14 ϕ 16	Φ 10/10/9
		10	14 ϕ 16	Φ 10/10/9
		20	14 ϕ 16	Φ 10/10/9
		30	14 ϕ 16	Φ 12/10/7
		40	14 ϕ 16	Φ 12/10/7
		50	14 ϕ 16	Φ 12/10/7
60*60		5	14 ϕ 18	Φ 8/10/10
		10	14 ϕ 18	Φ 8/10/10
		20	14 ϕ 18	Φ 8/10/10
		30	14 ϕ 18	Φ 10/10/10
		40	14 ϕ 18	Φ 10/10/10
		50	14 ϕ 18	Φ 10/10/10
35*60		5	14 ϕ 14	Φ 10/10/8
		10	14 ϕ 14	Φ 10/10/8
		20	14 ϕ 14	Φ 10/10/8
		30	14 ϕ 14	Φ 10/10/7
		40	14 ϕ 14	Φ 10/10/7
		50	14 ϕ 14	Φ 10/10/7

Tablo 3.6: Set-2/ ρ =%1.5 için Kesit Detayları

Kesit		Eksenel Yük (%)	Boyuna Donatı	Enine Donatı
30*60		5	14 ϕ 16	Φ 10/10/9
		10	14 ϕ 16	Φ 10/10/9
		20	14 ϕ 16	Φ 10/10/9
		30	14 ϕ 16	Φ 12/10/8
		40	14 ϕ 16	Φ 12/10/8
		50	14 ϕ 16	Φ 12/10/8
30*70		5	14 ϕ 18	Φ 12/10/10
		10	14 ϕ 18	Φ 12/10/10
		20	14 ϕ 18	Φ 12/10/10
		30	14 ϕ 18	Φ 12/10/8
		40	14 ϕ 18	Φ 12/10/8
		50	14 ϕ 18	Φ 12/10/8
30*80		5	14 ϕ 18	Φ 10/10/8
		10	14 ϕ 18	Φ 10/10/8
		20	14 ϕ 18	Φ 10/10/8
		30	14 ϕ 18	Φ 12/10/7
		40	14 ϕ 18	Φ 12/10/7
		50	14 ϕ 18	Φ 12/10/7
35*80		5	14 ϕ 20	Φ 10/10/9
		10	14 ϕ 20	Φ 10/10/9
		20	14 ϕ 20	Φ 10/10/9
		30	14 ϕ 20	Φ 12/10/9
		40	14 ϕ 20	Φ 12/10/9
		50	14 ϕ 20	Φ 12/10/9
60*60		5	14 ϕ 22	Φ 8/10/10
		10	14 ϕ 22	Φ 8/10/10
		20	14 ϕ 22	Φ 8/10/10
		30	14 ϕ 22	Φ 10/10/10
		40	14 ϕ 22	Φ 10/10/10
		50	14 ϕ 22	Φ 10/10/10
35*60		5	14 ϕ 18	Φ 10/10/9
		10	14 ϕ 18	Φ 10/10/9
		20	14 ϕ 18	Φ 10/10/9
		30	14 ϕ 18	Φ 12/10/9
		40	14 ϕ 18	Φ 12/10/9
		50	14 ϕ 18	Φ 12/10/9

Tablo 3.7: Set-2/ ρ =%2 için Kesit Detayları

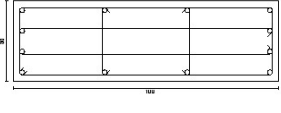
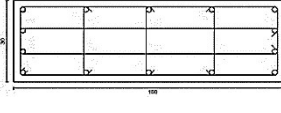
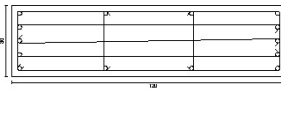
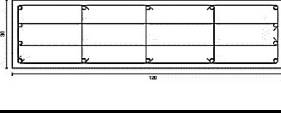
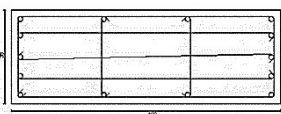
Kesit		Eksenel Yük (%)	Boyuna Donatı	Enine Donatı
30*60		5	14 ϕ 18	Φ 10/10/10
		10	14 ϕ 18	Φ 10/10/10
		20	14 ϕ 18	Φ 10/10/10
		30	14 ϕ 18	Φ 12/10/9
		40	14 ϕ 18	Φ 12/10/9
		50	14 ϕ 18	Φ 12/10/9
30*70		5	14 ϕ 20	Φ 10/10/9
		10	14 ϕ 20	Φ 10/10/9
		20	14 ϕ 20	Φ 10/10/9
		30	14 ϕ 20	Φ 12/10/8
		40	14 ϕ 20	Φ 12/10/8
		50	14 ϕ 20	Φ 12/10/8
30*80		5	14 ϕ 22	Φ 12/10/9
		10	14 ϕ 22	Φ 12/10/9
		20	14 ϕ 22	Φ 12/10/9
		30	14 ϕ 22	Φ 12/10/7
		40	14 ϕ 22	Φ 12/10/7
		50	14 ϕ 22	Φ 12/10/7
35*80		5	16 ϕ 22	Φ 10/10/9
		10	16 ϕ 22	Φ 10/10/9
		20	16 ϕ 22	Φ 10/10/9
		30	16 ϕ 22	Φ 12/10/9
		40	16 ϕ 22	Φ 12/10/9
		50	16 ϕ 22	Φ 12/10/9
60*60		5	16 ϕ 24	Φ 8/10/10
		10	16 ϕ 24	Φ 8/10/10
		20	16 ϕ 24	Φ 8/10/10
		30	16 ϕ 24	Φ 10/10/10
		40	16 ϕ 24	Φ 10/10/10
		50	16 ϕ 24	Φ 10/10/10
35*60		5	16 ϕ 18	Φ 10/10/9
		10	16 ϕ 18	Φ 10/10/9
		20	16 ϕ 18	Φ 10/10/9
		30	16 ϕ 18	Φ 10/10/7
		40	16 ϕ 18	Φ 10/10/7
		50	16 ϕ 18	Φ 10/10/7

Tablo 3.8: Set-2/ ρ =%3 için Kesit Detayları

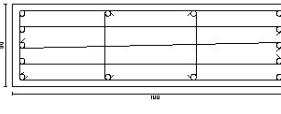
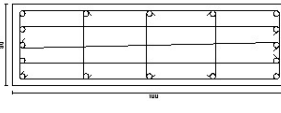
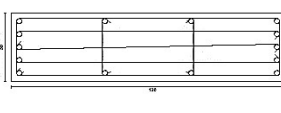
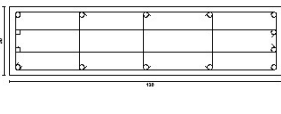
Kesit		Eksenel Yük (%)	Boyuna Donatı	Enine Donatı
30*60		5	14 ϕ 22	Φ 10/10/10
		10	14 ϕ 22	Φ 10/10/10
		20	14 ϕ 22	Φ 10/10/10
		30	14 ϕ 22	Φ 12/10/9
		40	14 ϕ 22	Φ 12/10/9
		50	14 ϕ 22	Φ 12/10/9
30*70		5	16 ϕ 22	Φ 10/10/9
		10	16 ϕ 22	Φ 10/10/9
		20	16 ϕ 22	Φ 10/10/9
		30	16 ϕ 22	Φ 12/10/8
		40	16 ϕ 22	Φ 12/10/8
		50	16 ϕ 22	Φ 12/10/8
30*80		5	16 ϕ 24	Φ 10/10/8
		10	16 ϕ 24	Φ 10/10/8
		20	16 ϕ 24	Φ 10/10/8
		30	16 ϕ 24	Φ 12/10/7
		40	16 ϕ 24	Φ 12/10/7
		50	16 ϕ 24	Φ 12/10/7
35*80		5	16 ϕ 26	Φ 10/10/9
		10	16 ϕ 26	Φ 10/10/9
		20	16 ϕ 26	Φ 10/10/9
		30	16 ϕ 26	Φ 12/10/8
		40	16 ϕ 26	Φ 12/10/8
		50	16 ϕ 26	Φ 12/10/8
60*60		5	16 ϕ 26	Φ 8/10/10
		10	16 ϕ 26	Φ 8/10/10
		20	16 ϕ 26	Φ 8/10/10
		30	16 ϕ 26	Φ 10/10/10
		40	16 ϕ 26	Φ 10/10/10
		50	16 ϕ 26	Φ 10/10/10
35*60		5	16 ϕ 22	Φ 10/10/9
		10	16 ϕ 22	Φ 10/10/9
		20	16 ϕ 22	Φ 10/10/9
		30	16 ϕ 22	Φ 12/10/9
		40	16 ϕ 22	Φ 12/10/9
		50	16 ϕ 22	Φ 12/10/9

Set-3 grubunda bulunan kesitlerin detayları, boyuna donatı oranlarına göre Tablo 3.9, 3.10, 3.11 ve 3.12’de verilmiştir.

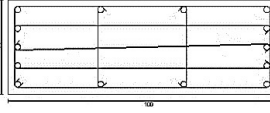
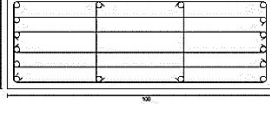
Tablo 3.9: Set-3/ ρ =%1 için Kesit Detayları

Kesit		Eksenel Yük (%)	Boyuna Donatı	Enine Donatı
30*100		5	12 ϕ 18	Φ 12/10/9
		10	12 ϕ 18	Φ 12/10/9
		20	12 ϕ 18	Φ 12/10/9
		30	14 ϕ 18	Φ 12/10/8
		40	14 ϕ 18	Φ 12/10/8
		50	14 ϕ 18	Φ 12/10/8
30*120		5	14 ϕ 18	Φ 12/10/8
		10	14 ϕ 18	Φ 12/10/8
		20	14 ϕ 18	Φ 12/10/8
		30	14 ϕ 18	Φ 12/10/7
		40	14 ϕ 18	Φ 12/10/7
		50	14 ϕ 18	Φ 12/10/7
35*100		5	14 ϕ 18	Φ 10/10/8
		10	14 ϕ 18	Φ 10/10/8
		20	14 ϕ 18	Φ 10/10/8
		30	14 ϕ 18	Φ 12/10/7
		40	14 ϕ 18	Φ 12/10/7
		50	14 ϕ 18	Φ 12/10/7

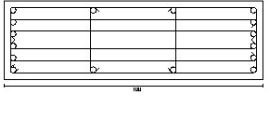
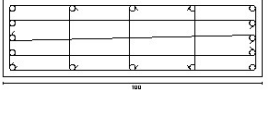
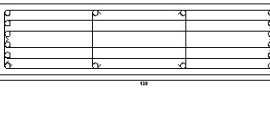
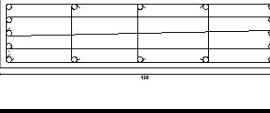
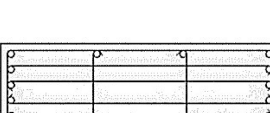
Tablo 3.10: Set-3/ ρ =%1.5 için Kesit Detayları

Kesit		Eksenel Yük (%)	Boyuna Donatı	Enine Donatı
30*100		5	14 ϕ 20	Φ 12/10/9
		10	14 ϕ 20	Φ 12/10/9
		20	14 ϕ 20	Φ 12/10/9
		30	16 ϕ 20	Φ 12/10/8
		40	16 ϕ 20	Φ 12/10/8
		50	16 ϕ 20	Φ 12/10/8
30*120		5	14 ϕ 22	Φ 12/10/7
		10	14 ϕ 22	Φ 12/10/7
		20	14 ϕ 22	Φ 12/10/7
		30	14 ϕ 22	Φ 12/10/7
		40	14 ϕ 22	Φ 12/10/7
		50	14 ϕ 22	Φ 12/10/7

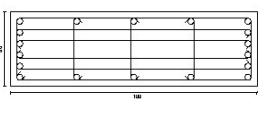
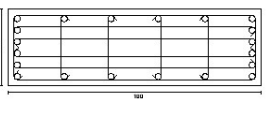
Tablo 3.10 (devam): Set-3/ ρ =%1.5 için Kesit Detayları

Kesit		Eksenel Yük (%)	Boyuna Donatı	Enine Donatı
35*100		5	14 ϕ 22	Φ 10/10/8
		10	14 ϕ 22	Φ 10/10/8
		20	14 ϕ 22	Φ 10/10/8
		30	16 ϕ 22	Φ 12/10/7
		40	16 ϕ 22	Φ 12/10/7
		50	16 ϕ 22	Φ 12/10/7

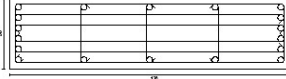
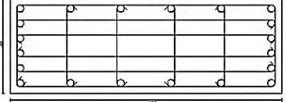
Tablo 3.11: Set-3/ ρ =%2 için Kesit Detayları

Kesit		Eksenel Yük (%)	Boyuna Donatı	Enine Donatı
30*100		5	16 ϕ 22	Φ 12/10/9
		10	16 ϕ 22	Φ 12/10/9
		20	16 ϕ 22	Φ 12/10/9
		30	16 ϕ 22	Φ 12/10/8
		40	16 ϕ 22	Φ 12/10/8
		50	16 ϕ 22	Φ 12/10/8
30*120		5	16 ϕ 24	Φ 12/10/8
		10	16 ϕ 24	Φ 12/10/8
		20	16 ϕ 24	Φ 12/10/8
		30	16 ϕ 24	Φ 12/10/7
		40	16 ϕ 24	Φ 12/10/7
		50	16 ϕ 24	Φ 12/10/7
35*100		5	16 ϕ 24	Φ 10/10/8
		10	16 ϕ 24	Φ 10/10/8
		20	16 ϕ 24	Φ 10/10/8
		30	16 ϕ 24	Φ 12/10/7
		40	16 ϕ 24	Φ 12/10/7
		50	16 ϕ 24	Φ 12/10/7

Tablo 3.12: Set-3/ ρ =%3 için Kesit Detayları

Kesit		Eksenel Yük (%)	Boyuna Donatı	Enine Donatı
30*100		5	18 ϕ 24	Φ 10/10/8
		10	18 ϕ 24	Φ 10/10/8
		20	18 ϕ 24	Φ 10/10/8
		30	20 ϕ 24	Φ 12/10/9
		40	20 ϕ 24	Φ 12/10/9
		50	20 ϕ 24	Φ 12/10/9

Tablo 3.12 (devam): Set-3/ ρ =%3 için Kesit Detayları

30*120		5	18 ϕ 26	Φ 12/10/9
		10	18 ϕ 26	Φ 12/10/9
		20	18 ϕ 26	Φ 12/10/9
		30	18 ϕ 26	Φ 12/10/7
		40	18 ϕ 26	Φ 12/10/7
		50	18 ϕ 26	Φ 12/10/7
35*100		5	20 ϕ 26	Φ 10/10/9
		10	20 ϕ 26	Φ 10/10/9
		20	20 ϕ 26	Φ 10/10/9
		30	20 ϕ 26	Φ 12/10/9
		40	20 ϕ 26	Φ 12/10/9
		50	20 ϕ 26	Φ 12/10/9

3.2 Kiriş Kesitlerinin İncelenmesi

Çalışma kapsamında incelenen kiriş kesitleri, 25*50, 25*60, 25*65, 30*60 ve 30*70 boyutlarından oluşmaktadır. İlgili kesitlerin aksenal yük oranları 0 kabul edilerek, her kesit için boyuna donatı oranları (ρ) %0.5, 1, 1.5 ve 2 olarak 4 farklı şekilde ele alınmıştır. En büyük boyuna donatı oranının %2 olarak alınmasının sebebi, DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 yönetmeliklerinde kiriş elemanlar için kullanılacak boyuna donatının bu oran ile sınırlandırılmış olmasıdır.

Her kesit için ilgili yöndeki toplam hacimsel enine donatı oranı, bulunması gereken minimum hacimsel enine donatı oranına eşit olarak alınmıştır. Kesitlere ait detaylar, boyuna donatı oranlarına göre gruplandırılarak Tablo 3.13, 3.14, 3.15 ve 3.16'da verilmiştir. Tablolarda verilen n_x ifadesi ile x doğrultusu boyunca dizilmiş enine donatı sayısı, n_y ifadesi ile y doğrultusu boyunca dizilmiş enine donatı sayısı belirtilmektedir.

Tablo 3.13: $\rho=0.5$ için kesit detayları

KESİT		Boyuna Donatı		Enine Donatı	n_x	n_y
		Sol Mesnet	Sağ Mesnet			
25*50	alt	2 ϕ 14	2 ϕ 14	Φ 8/9	2	2
	üst	3 ϕ 12	2 ϕ 16			
25*60	alt	3 ϕ 12	3 ϕ 14	Φ 10/9	2	2
	üst	3 ϕ 14	2 ϕ 14			
25*65	alt	2 ϕ 16	2 ϕ 16	Φ 8/9	3	2
	üst	4 ϕ 12	3 ϕ 14			
30*60	alt	3 ϕ 16	3 ϕ 16	Φ 10/9	2	2
	üst	3 ϕ 12	2 ϕ 14			
30*70	alt	3 ϕ 16	3 ϕ 16	Φ 8/9	3	2
	üst	3 ϕ 14	4 ϕ 12			

Tablo 3.14: $\rho=1$ için kesit detayları

KESİT		Boyuna Donatı		Enine Donatı	n_x	n_y
		Sol Mesnet	Sağ Mesnet			
25*50	alt	4 ϕ 16	4 ϕ 16	Φ 8/9	2	2
	üst	4 ϕ 12	3 ϕ 14			
25*60	alt	6 ϕ 16	5 ϕ 16	Φ 10/9	2	2
	üst	3 ϕ 12	5 ϕ 12			
25*65	alt	5 ϕ 16	5 ϕ 16	Φ 8/9	3	2
	üst	6 ϕ 12	5 ϕ 14			
30*60	alt	6 ϕ 16	6 ϕ 16	Φ 10/9	2	2
	üst	4 ϕ 14	6 ϕ 12			
30*70	alt	6 ϕ 14	6 ϕ 14	Φ 8/9	3	2
	üst	6 ϕ 16	5 ϕ 18			

Tablo 3.15: $\rho=1.5$ için kesit detayları

KESİT		Boyuna Donatı		Enine Donatı	n_x	n_y
		Sol Mesnet	Sağ Mesnet			
25*50	alt	5 ϕ 16	6 ϕ 16	Φ 8/9	2	2
	üst	6 ϕ 14	5 ϕ 14			
25*60	alt	5 ϕ 18	4 ϕ 20	Φ 10/9	2	2
	üst	5 ϕ 16	5 ϕ 16			
25*65	alt	5 ϕ 18	5 ϕ 18	Φ 8/9	3	2
	üst	6 ϕ 16	6 ϕ 16			
30*60	alt	6 ϕ 18	7 ϕ 18	Φ 10/9	2	2
	üst	6 ϕ 16	6 ϕ 14			
30*70	alt	7 ϕ 18	5 ϕ 18	Φ 8/9	3	2
	üst	7 ϕ 16	6 ϕ 20			

Tablo 3.16: $\rho=2\%$ için kesit detayları

KESİT	Boyuna Donatı		Enine Donatı	n_x	n_y	
	Sol Mesnet	Sağ Mesnet				
25*50	alt	6 ϕ 18	5 ϕ 18	Φ 8/9	2	2
	üst	5 ϕ 16	4 ϕ 20			
25*60	alt	6 ϕ 16	6 ϕ 18	Φ 10/9	2	2
	üst	6 ϕ 20	5 ϕ 20			
25*65	alt	6 ϕ 20	7 ϕ 20	Φ 8/9	3	2
	üst	7 ϕ 16	7 ϕ 14			
30*60	alt	6 ϕ 20	7 ϕ 20	Φ 10/9	2	2
	üst	7 ϕ 18	7 ϕ 16			
30*70	alt	7 ϕ 20	7 ϕ 20	Φ 8/9	3	2
	üst	7 ϕ 20	7 ϕ 20			

3.1 Kesitlerde Enine Donatı Oranının Azaltılması

Betonarme yapı elemanları için donatı detaylandırması büyük önem arz etmektedir. Sargılama ile kolon ve kiriş elemanların dayanımlarında büyük kayıplar olmadan deplasman yapabilmelerine olanak sağlanmaktadır. Bu sebeple ki mevcut yönetmeliklerde, kesitlerde bulunması gereken minimum enine donatı oranı sınırları tanımlanmaktadır. Bölüm 3.1 ve Bölüm 3.2’de verilen kesitlerde bu oranlar yönetmeliklere uygun olacak şekilde ele alınmıştır. Bu bölümde de enine donatı oranının kesit hasar sınırları üzerindeki etkisini görebilmek amacı ile her kesit için ilgili yöndeki toplam hacimsel enine donatı oranı (ρ_s), bulunması gereken minimum hacimsel enine donatı oranının (ρ_{sm}) 0.75’i olacak şekilde azaltılmıştır. Enine donatının azaltılmasında 0.75 oranının kullanılmasının sebebi; mevcut betonarme bina elemanlarında bulunan enine donatıya karşılık gelebileceğinin düşünülmesidir.

3.1.1 Kolon Kesitlerinde Enine Donatı Oranının Azaltılması

3.1.1.1 $\rho_s/\rho_{sm}=0.75$ için Kesit Detayları

Kolon kesitleri için; ilgili yöndeki toplam hacimsel enine donatı oranı (ρ_s), bulunması gereken minimum hacimsel enine donatı oranının (ρ_{sm}) 0.75’i olacak

şekilde azaltılmıştır. Oluşturulan enine donatı düzenleri, 3 set için ayrı olmak üzere Tablo 3.17-3.19’da verilmiştir. Tablolarda verilen n_x ifadesi ile x doğrultusu boyunca dizilmiş enine donatı sayısı, n_y ifadesi ile y doğrultusu boyunca dizilmiş enine donatı sayısı belirtilmektedir.

Tablo 3.17: Set-1 için kesit detayları

KESİT	Eksenel Yük (%)	Boyuna Donatı Oranı (%)											
		1			1.5			2			3		
		Enine Donatı	n_x	n_y	Enine Donatı	n_x	n_y	Enine Donatı	n_x	n_y	Enine Donatı	n_x	n_y
30*40	5	Φ8/13	3	4	Φ8/13	3	4	Φ8/13	3	4	Φ8/13	3	4
	10	Φ8/13	3	4	Φ8/13	3	4	Φ8/13	3	4	Φ8/13	3	4
	20	Φ8/13	3	4	Φ8/13	3	4	Φ8/13	3	4	Φ8/13	3	4
	30	Φ10/13	3	4	Φ10/13	3	4	Φ10/13	3	4	Φ10/13	3	4
	40	Φ10/13	3	4	Φ10/13	3	4	Φ10/13	3	4	Φ10/13	3	4
	50	Φ10/13	3	4	Φ10/13	3	4	Φ10/13	3	4	Φ10/13	3	4
30*50	5	Φ8/15	3	4	Φ8/15	3	4	Φ8/15	3	4	Φ8/15	3	4
	10	Φ8/15	3	4	Φ8/15	3	4	Φ8/15	3	4	Φ8/15	3	4
	20	Φ8/15	3	4	Φ8/15	3	4	Φ8/15	3	4	Φ8/15	3	4
	30	Φ10/15	3	4	Φ10/15	3	4	Φ10/15	3	4	Φ10/15	3	4
	40	Φ10/15	3	4	Φ10/15	3	4	Φ10/15	3	4	Φ10/15	3	4
	50	Φ10/15	3	4	Φ10/15	3	4	Φ10/15	3	4	Φ10/15	3	4
30*30	5	Φ8/15	4	3	Φ8/15	4	3	Φ8/15	4	3	Φ8/15	4	3
	10	Φ8/15	4	3	Φ8/15	4	3	Φ8/15	4	3	Φ8/15	4	3
	20	Φ8/15	4	3	Φ8/15	4	3	Φ8/15	4	3	Φ8/15	4	3
	30	Φ10/15	4	3	Φ10/15	4	3	Φ10/15	4	3	Φ10/15	4	3
	40	Φ10/15	4	3	Φ10/15	4	3	Φ10/15	4	3	Φ10/15	4	3
	50	Φ10/15	4	3	Φ10/15	4	3	Φ10/15	4	3	Φ10/15	4	3
40*40	5	Φ8/15	4	3	Φ8/15	4	3	Φ8/15	4	3	Φ8/15	4	3
	10	Φ8/15	4	3	Φ8/15	4	3	Φ8/15	4	3	Φ8/15	4	3
	20	Φ8/15	4	3	Φ8/15	4	3	Φ8/15	4	3	Φ8/15	4	3
	30	Φ8/10	4	3	Φ8/10	4	3	Φ8/10	4	3	Φ8/10	4	3
	40	Φ8/10	4	3	Φ8/10	4	3	Φ8/10	4	3	Φ8/10	4	3
	50	Φ8/10	4	3	Φ8/10	4	3	Φ8/10	4	3	Φ8/10	4	3
50*50	5	Φ10/17	3	3	Φ10/17	3	3	Φ10/17	3	3	Φ10/17	3	3
	10	Φ10/17	3	3	Φ10/17	3	3	Φ10/17	3	3	Φ10/17	3	3
	20	Φ10/17	3	3	Φ10/17	3	3	Φ10/17	3	3	Φ10/17	3	3
	30	Φ8/8	3	3	Φ8/8	3	3	Φ8/8	3	3	Φ8/8	3	3
	40	Φ8/8	3	3	Φ8/8	3	3	Φ8/8	3	3	Φ8/8	3	3
	50	Φ8/8	3	3	Φ8/8	3	3	Φ8/8	3	3	Φ8/8	3	3

Tablo 3.18: Set-2 için kesit detayları

KESİT	Eksenel Yük (%)	Boyuna Donatı Oranı (%)											
		1			1.5			2			3		
		Enine Donatı	n_x	n_y	Enine Donatı	n_x	n_y	Enine Donatı	n_x	n_y	Enine Donatı	n_x	n_y
30*60	5	Φ8/16	3	4	Φ8/16	3	4	Φ8/16	3	4	Φ8/16	3	4
	10	Φ8/16	3	4	Φ8/16	3	4	Φ8/16	3	4	Φ8/16	3	4
	20	Φ8/16	3	4	Φ8/16	3	4	Φ8/16	3	4	Φ8/16	3	4
	30	Φ10/16	3	4	Φ10/16	3	4	Φ10/16	3	4	Φ10/16	3	4
	40	Φ10/16	3	4	Φ10/16	3	4	Φ10/16	3	4	Φ10/16	3	4
	50	Φ10/16	3	4	Φ10/16	3	4	Φ10/16	3	4	Φ10/16	3	4
30*70	5	Φ8/17	3	4	Φ8/17	3	4	Φ8/17	3	4	Φ8/17	3	4
	10	Φ8/17	3	4	Φ8/17	3	4	Φ8/17	3	4	Φ8/17	3	4
	20	Φ8/17	3	4	Φ8/17	3	4	Φ8/17	3	4	Φ8/17	3	4
	30	Φ8/11	3	4	Φ8/11	3	4	Φ8/11	3	4	Φ8/11	3	4
	40	Φ8/11	3	4	Φ8/11	3	4	Φ8/11	3	4	Φ8/11	3	4
	50	Φ8/11	3	4	Φ8/11	3	4	Φ8/11	3	4	Φ8/11	3	4
30*80	5	Φ8/17	3	4	Φ8/17	3	4	Φ8/17	3	4	Φ8/17	3	4
	10	Φ8/17	3	4	Φ8/17	3	4	Φ8/17	3	4	Φ8/17	3	4
	20	Φ8/17	3	4	Φ8/17	3	4	Φ8/17	3	4	Φ8/17	3	4
	30	Φ10/18	3	4	Φ10/18	3	4	Φ10/18	3	4	Φ10/18	3	4
	40	Φ10/18	3	4	Φ10/18	3	4	Φ10/18	3	4	Φ10/18	3	4
	50	Φ10/18	3	4	Φ10/18	3	4	Φ10/18	3	4	Φ10/18	3	4
35*80	5	Φ8/17	3	4	Φ8/17	3	4	Φ8/17	3	4	Φ10/25	3	4
	10	Φ8/17	3	4	Φ8/17	3	4	Φ8/17	3	4	Φ10/25	3	4
	20	Φ8/17	3	4	Φ8/17	3	4	Φ8/17	3	4	Φ10/25	3	4
	30	Φ8/11	3	4	Φ8/11	3	4	Φ8/11	3	4	Φ10/17	3	4
	40	Φ8/11	3	4	Φ8/11	3	4	Φ8/11	3	4	Φ10/17	3	4
	50	Φ8/11	3	4	Φ8/11	3	4	Φ8/11	3	4	Φ10/17	3	4
60*60	5	Φ8/11	3	3	Φ8/11	3	3	Φ8/11	3	3	Φ10/16	3	3
	10	Φ8/11	3	3	Φ8/11	3	3	Φ8/11	3	3	Φ10/16	3	3
	20	Φ8/11	3	3	Φ8/11	3	3	Φ8/11	3	3	Φ10/16	3	3
	30	Φ10/15	4	3	Φ10/15	4	3	Φ10/15	4	3	Φ10/15	4	3
	40	Φ10/15	4	3	Φ10/15	4	3	Φ10/15	4	3	Φ10/15	4	3
	50	Φ10/15	4	3	Φ10/15	4	3	Φ10/15	4	3	Φ10/15	4	3
35*60	5	Φ8/15	3	4	Φ8/15	3	4	Φ8/15	3	4	Φ8/15	3	4
	10	Φ8/15	3	4	Φ8/15	3	4	Φ8/15	3	4	Φ8/15	3	4
	20	Φ8/15	3	4	Φ8/15	3	4	Φ8/15	3	4	Φ8/15	3	4
	30	Φ8/13	4	4	Φ8/13	4	4	Φ8/13	4	4	Φ8/13	4	4
	40	Φ8/13	4	4	Φ8/13	4	4	Φ8/13	4	4	Φ8/13	4	4
	50	Φ8/13	4	4	Φ8/13	4	4	Φ8/13	4	4	Φ8/13	4	4

Tablo 3.19: Set-3 için kesit detayları

KESİT	Eksenel Yük (%)	Boyuna Donatı Oranı (%)											
		1			1.5			2			3		
		Enine Donatı	n_x	n_y	Enine Donatı	n_x	n_y	Enine Donatı	n_x	n_y	Enine Donatı	n_x	n_y
30*100	5	Φ8/19	3	4	Φ8/19	3	4	Φ8/19	3	4	Φ8/19	3	4
	10	Φ8/19	3	4	Φ8/19	3	4	Φ8/19	3	4	Φ8/19	3	4
	20	Φ8/19	3	4	Φ8/19	3	4	Φ8/19	3	4	Φ8/19	3	4
	30	Φ10/19	3	4	Φ10/19	3	4	Φ10/19	3	4	Φ10/19	3	4
	40	Φ10/19	3	4	Φ10/19	3	4	Φ10/19	3	4	Φ10/19	3	4
	50	Φ10/19	3	4	Φ10/19	3	4	Φ10/19	3	4	Φ10/19	3	4
30*120	5	Φ8/19	3	4	Φ8/19	3	4	Φ8/19	3	4	Φ10/25	3	4
	10	Φ8/19	3	4	Φ8/19	3	4	Φ8/19	3	4	Φ10/25	3	4
	20	Φ8/19	3	4	Φ8/19	3	4	Φ8/19	3	4	Φ10/25	3	4
	30	Φ8/17	4	4	Φ8/17	4	4	Φ8/17	4	4	Φ10/19	3	4
	40	Φ8/17	4	4	Φ8/17	4	4	Φ8/17	4	4	Φ10/19	3	4
	50	Φ8/17	4	4	Φ8/17	4	4	Φ8/17	4	4	Φ10/19	3	4
35*100	5	Φ8/18	3	4	Φ8/18	3	4	Φ8/18	3	4	Φ10/25	3	4
	10	Φ8/18	3	4	Φ8/18	3	4	Φ8/18	3	4	Φ10/25	3	4
	20	Φ8/18	3	4	Φ8/18	3	4	Φ8/18	3	4	Φ10/25	3	4
	30	Φ8/12	3	4	Φ8/12	3	4	Φ8/12	3	4	Φ10/18	3	4
	40	Φ8/12	3	4	Φ8/12	3	4	Φ8/12	3	4	Φ10/18	3	4
	50	Φ8/12	3	4	Φ8/12	3	4	Φ8/12	3	4	Φ10/18	3	4

3.1.2 Kiriş Kesitlerinde Enine Donatı Oranının Azaltılması

3.1.2.1 $\rho_s/\rho_{sm}=0.75$ için Kesit Detayları

Kiriş kesitleri için; ilgili yöndeki toplam hacimsel enine donatı oranı (ρ_s), bulunması gereken minimum hacimsel enine donatı oranının (ρ_{sm}) 0.75'i olacak şekilde azaltılmıştır. Oluşturulan enine donatı düzenleri Tablo 3.20'de verilmiştir.

Tablo 3.20: Kiriş kesitleri için kesit detayları

Boyuna Donatı Oranı (%)	25*50			25*60			25*65			30*60			30*70		
	Enine Donatı	n_x	n_y	Enine Donatı	n_x	n_y	Enine Donatı	n_x	n_y	Enine Donatı	n_x	n_y	Enine Donatı	n_x	n_y
0.5	Φ8/12	2	2	Φ10/16	2	2	Φ8/9	3	2	Φ10/16	2	2	Φ8/13	3	2
1	Φ8/12	2	2	Φ10/16	2	2	Φ8/9	3	2	Φ10/16	2	2	Φ8/13	3	2
1.5	Φ8/12	2	2	Φ10/16	2	2	Φ8/9	3	2	Φ10/16	2	2	Φ8/13	3	2
2	Φ8/12	2	2	Φ10/16	2	2	Φ8/9	3	2	Φ10/16	2	2	Φ8/13	3	2

4. KESİT ANALİZ SONUÇLARI

Çalışma kapsamında, incelenen her bir kolon ve kiriş kesiti için Mander Sargılı Beton Modeli kullanılarak; SEMAp-2008 programında moment eğrilik analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen eğrilik değerleri kullanılarak, incelenen yönetmeliklerde bulunan ifadelerle göre dönme değerleri hesaplanmıştır. Analizler sonucunda, en kritik hasar sınırı olması sebebi ile Göçmenin Önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için bulunan dönme değerleri, kolon ve kiriş kesitleri için 2 ayrı başlıkta verilmiştir.

4.1 Kolon Kesit Sonuçları

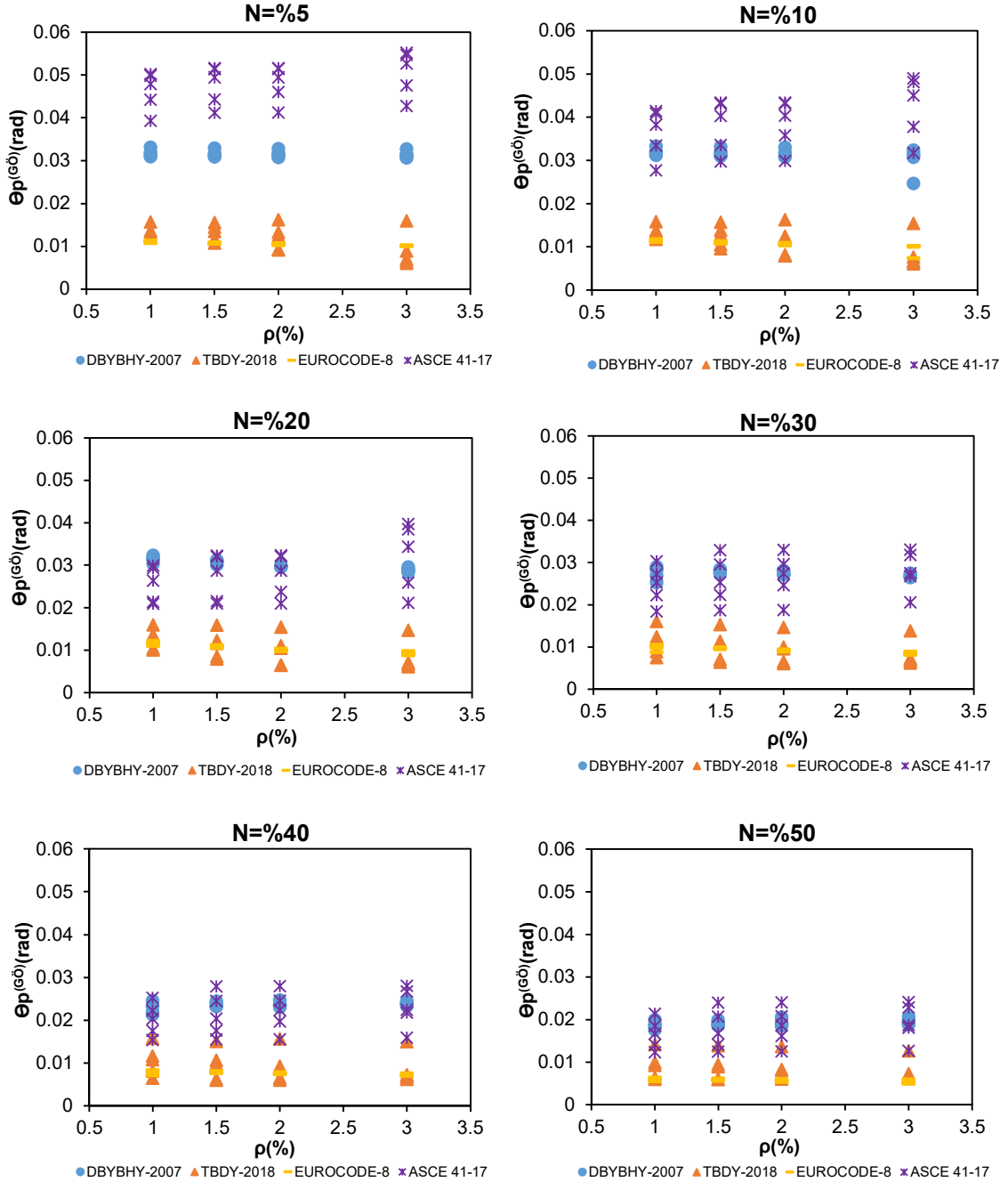
Kolon kesitlerine ait sonuçlar, Set-1 (30*40, 30*50, 30*30, 40*40, 50*50), Set-2 (30*60, 30*70, 30*80, 35*80, 60*60, 35*60) ve Set-3 (30*100, 30*120, 35*100) olmak üzere 3 set şeklinde, ρ_s/ρ_{sm} oranlarına göre gruplandırılarak verilmiştir. Boyuna donatı, aksenal yük ve enine donatı oranının sonuçlar üzerindeki etkisinin görülebilmesi için grafikler ile kıyaslama yapılmıştır. Grafiklerde, yukarıdan aşağıya Set-1/ 30*40 kesitinden Set-3/35*100 kesitine doğru dizilim uygulanmıştır.

4.1.1 $\rho_s/\rho_{sm}=1$ için Analiz Sonuçları

Set-1 grubuna ait Göçmenin Önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için bulunan dönme değerleri Şekil 4.1'de verilmiştir. Kesitlerde, her bir aksenal yük (N) oranında (% 5, 10, 20, 30, 40 ve 50), 4 farklı boyuna donatı oranı (%1, 1.5, 2 ve 3) kullanılarak elde edilen dönme değerleri incelenmiştir.

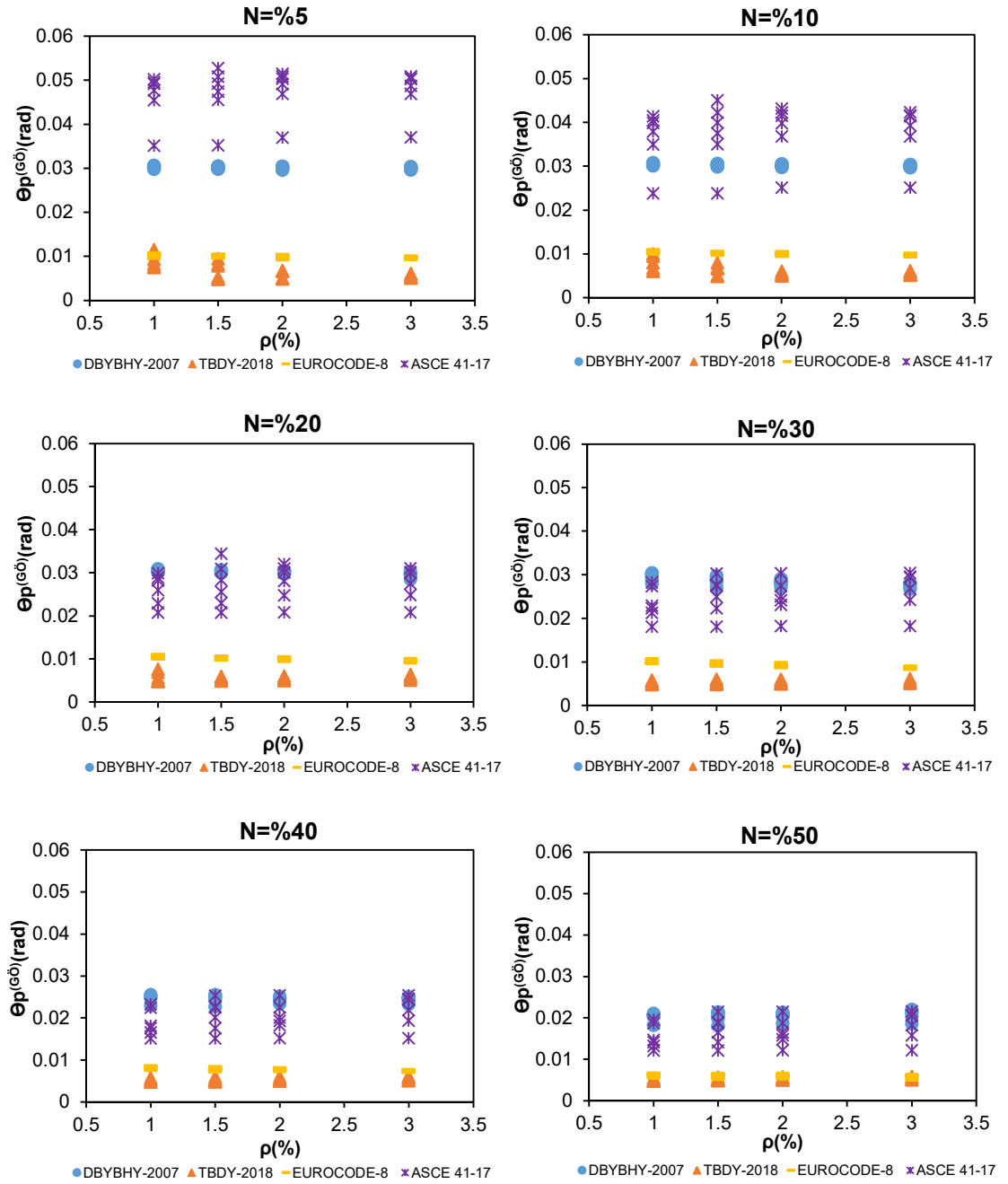
Şekil 4.1'de tüm aksenal yük oranlarında, en büyük dönme değerlerinin ASCE 41-17 yönetmeliğinde hesaplandığı, DBYBHY-2007 yönetmeliğinin ASCE 41-17'yi takip ettiği görülmektedir. EUROCODE-8 ve TBDY-2018'e göre hesaplanan dönme değerlerinin ASCE 41-17 ve DBYBHY-2007'ye göre hesaplanan dönme değerlerinin oldukça altında olduğu görülmektedir. Ayrıca TBDY-2018 ve EUROCODE-8 yönetmeliklerinin sonuçları benzerlik göstermektedir. Grafikler incelendiğinde, düşük aksenal yük oranlarında ASCE 41-17 yönetmeliğinde dönme değerleri arasındaki

saçılımının fazla olduğu görülmektedir. Artan eksenel yük ile birlikte standart sapmaların azaldığı anlaşılmaktadır. Bu durumun sebebi de eksenel yük oranının, dönme kapasitelerinin hesabında doğrudan kullanılmasıdır. Beklenildiği üzere; eksenel yük oranının artması ile birlikte tüm yönetmeliklerde dönme kapasitelerinin düştüğü görülmektedir. Kesitlerdeki boyuna donatı oranlarının değişmesi ile sonuçlarda dikkate değer bir değişimin olmadığı anlaşılmaktadır.



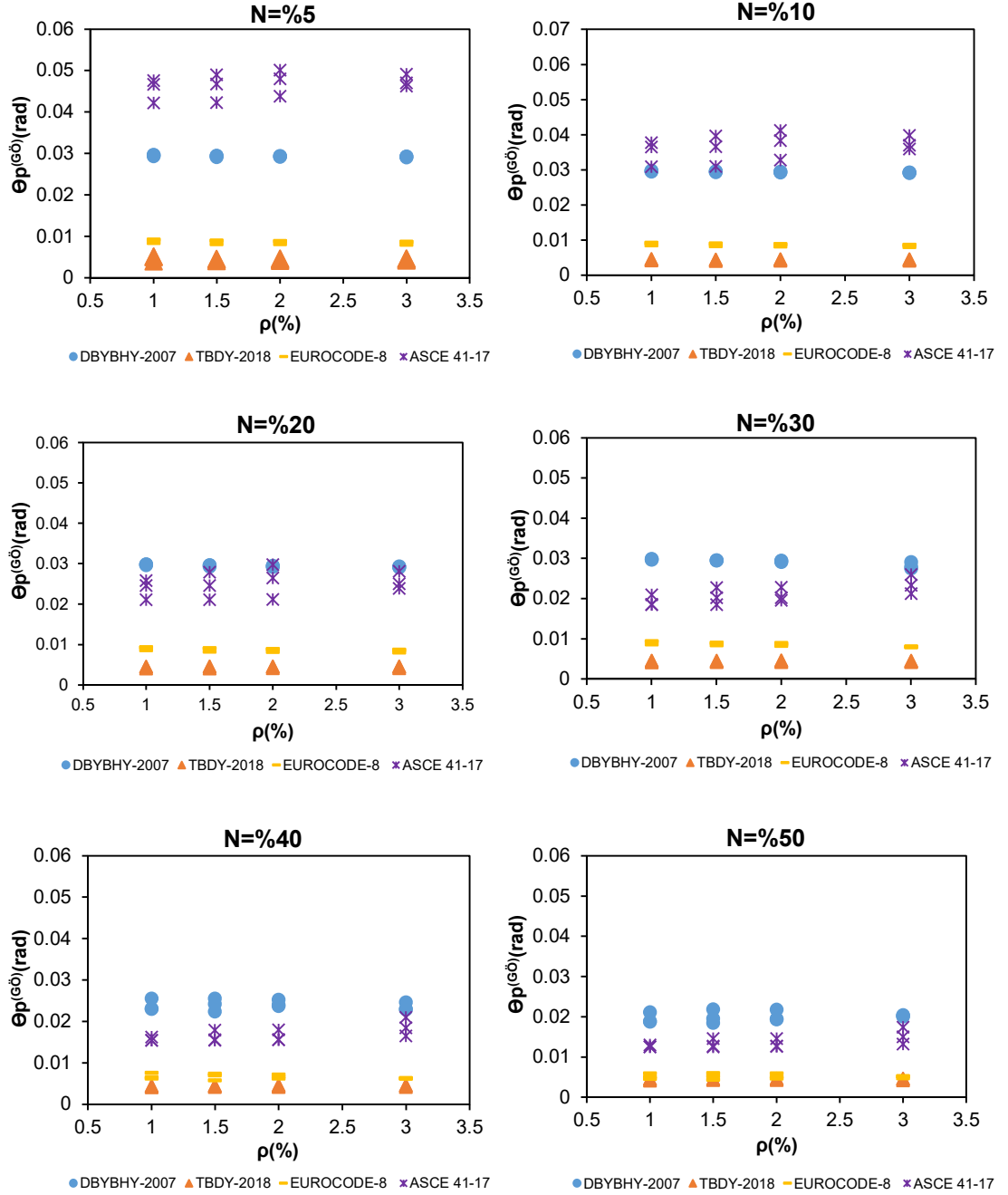
Şekil 4.1: Set-1 grubunun göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için dönme değerleri

Set-2 grubuna ait Göçmenin Önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için bulunan dönme değerleri Şekil 4.2’de verilmiştir. Kesit boyutlarının artması ile birlikte tüm yönetmelikler için dönme değerlerinde düşme söz konusu olmuştur. Yönetmelikler arasındaki kapasite değişiminin Set-1 grubundakine benzer olduğu görülmektedir. %5 ve %10 eksenel yük oranlarında ASCE 41-17 yönetmeliğine göre hesaplanan değerlerin, diğer yönetmeliklere göre hesaplanan değerlerin oldukça üstünde olduğu anlaşılmaktadır. Boyuna donatının kısıtlı etkisi bu sette de görülmektedir.



Şekil 4.2: Set-2 grubunun göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için dönme değerleri

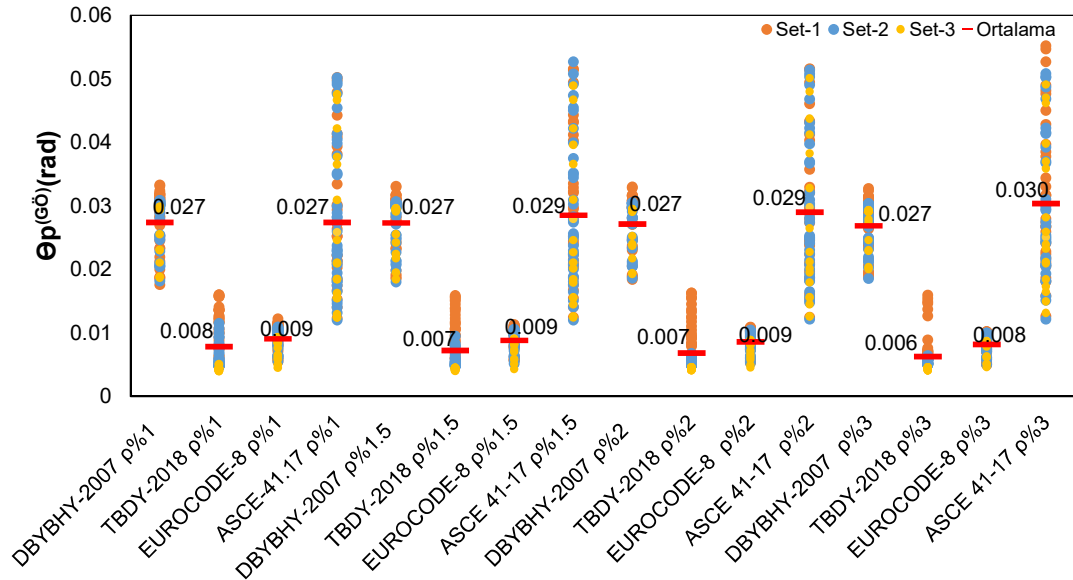
Set-3 grubuna ait Göçmenin Önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için hesaplanan dönme değerleri Şekil 4.3'te verilmiştir. Tüm eksenel yük oranlarında, EUROCODE-8 ve TBDY-2018 yönetmeliklerinin dönme değerlerindeki standart sapmaların oldukça düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca En büyük dönme değerlerinin; %5 ve %10 eksenel yük oranlarında ASCE 41-17 yönetmeliğinden, artan eksenel yük oranlarında ise DBYBHY-2007 yönetmeliğinden elde edildiği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.3: Set-3 grubunun göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için dönme değerleri

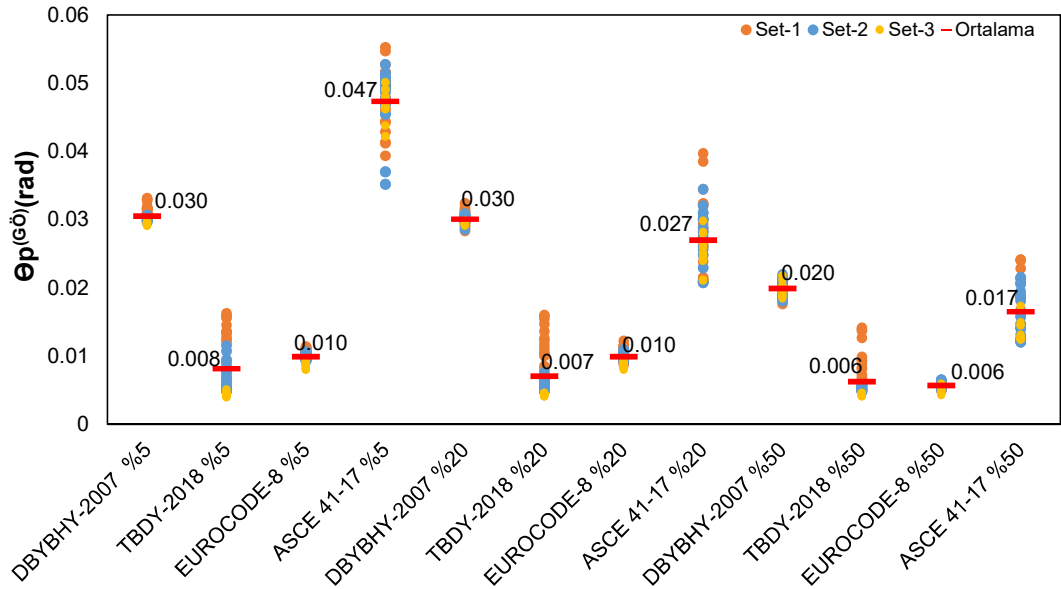
Setler üzerinde, genel olarak değerlendirme yapabilmek amacı ile elde edilen sonuçlar Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te birlikte verilmiştir.

Tüm setler için; %1, %1.5, %2, %3 boyuna donatı oranlarına göre elde edilen dönme değerlerinin dağılımı Şekil 4.4'te verilmiştir. DBYBHY-2007'de %1, %1.5, %2, %3 boyuna donatı oranları için ortalama dönme değeri 0.027 olarak elde edilmiştir. TBDY-2018'de %1, %1.5, %2, %3 boyuna donatı oranları için ortalama dönme değerleri sırası ile 0.008, 0.007, 0.007, 0.006 olarak, EUROCODE-8'de aynı donatı oranları için ortalama dönme değerleri sırası ile 0.009, 0.009, 0.009, 0.008 olarak, ASCE 41-17'de ise 0.027, 0.029, 0.029, 0.03 olarak elde edilmiştir. DBYBHY-2007 için boyuna donatı oranının artması ile ortalama dönme değerlerinin değişmediği; TBDY-2018, EUROCODE-8 ve ASCE 41-17 için yaklaşık 0.001'lik azalma ve artışlar olduğu ancak önemli derecede bir farkın olmadığı görülmüştür. Eksenel yük oranına bağlı olarak ASCE 41-17'deki dönme değerlerinde standart sapmaların fazla olduğu bu grafikten de görülmektedir. TBDY-2018 yönetmeliğinde de kesme kuvvetine bağlı olarak kapasiteler üzerinde azaltma uygulanması sebebi ile kapasiteler arasında saçılım oluşmaktadır. Ortalama değerlere bakıldığında, genel olarak EUROCODE-8 ve TBDY-2018'e göre hesaplanan dönme kapasitelerinin ASCE 41-17 ve DBYBHY-2007'ye göre oldukça düşük olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.4: Tüm setlerin boyuna donatı oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için dönme değerleri

Tüm setler için; %5, %20, %50 eksenel yük oranlarına göre elde edilen dönme değerlerinin dağılımı Şekil 4.5'te verilmiştir. 6 farklı eksenel yük oranı için dönme değerleri elde edilmiştir ancak sonuçların daha net görülebilmesi amacı ile bu üç oran kullanılmıştır. DBYBHY-2007'de %,5 %20, %50 eksenel yük oranları için ortalama dönme değerleri sırası ile 0.03, 0.03, 0.02 olarak elde edilmiştir. TBDY-2018'de ortalama dönme değerleri sırası ile 0.008, 0.007, 0.006; EUROCODE-8 için bu değerler sırası ile 0.01, 0.01, 0.006 olduğu, ASCE 41-17 için ise; 0.047, 0.027, 0.017 olduğu görülmüştür. TBDY-2018 ve EUROCODE-8'de hesaplanan dönme değerlerinin, ASCE 41-17 ve DBYBHY-2007'de hesaplanan değerlerin oldukça altında olduğu bu grafikte de görülmektedir. Eksenel yük oranının %5 olduğu durumda; TBDY-2018 ve EUROCODE-8'de hesaplanan ortalama dönme değerlerinin, ASCE 41-17'de hesaplanan değerlerinin oldukça altında olduğu, sırası ile %83 ve %78'lik farkların söz konusu olduğu görülmektedir. TBDY-2018 yönetmeliğinde kesme kuvvetine bağlı olarak kapasiteler üzerinde azaltma uygulanması sebebi ile kesit boyutlarının dönme kapasitesine etkisi ve setler arası geçiş daha net görülmektedir. Beklenildiği üzere eksenel yük oranının artması ile birlikte tüm yönetmelikler için dönme değerlerinde düşüş gerçekleşmiştir. Bu düşüşün ASCE 41.17'de daha belirgin görüldüğü, eksenel yük oranının bu yönetmeliğe göre hesaplanan dönme kapasiteleri için önemli bir parametre olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.5: Tüm setlerin eksenel yük oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için dönme değerleri

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te ifade edilen göçmenin önlenmesi hasar sınırı için ortalama dönme değerleri, iki ayrı tabloda verilmiştir (Tablo 4.1 ve Tablo 4.2).

Tablo 4.1: Tüm setlerin boyuna donatı oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için ortalama dönme değerleri

ρ (%)	GÖ Hasar Sınırı için Ortalama Dönme Değerleri (rad)			
	DBYBHY-2007	TBDY-2018	EUROCODE-8	ASCE 41-17
1	0.027	0.008	0.009	0.027
1.5	0.027	0.007	0.009	0.029
2	0.027	0.007	0.009	0.029
3	0.027	0.006	0.008	0.03

Tablo 4.2: Tüm setlerin eksenel yük oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için ortalama dönme değerleri

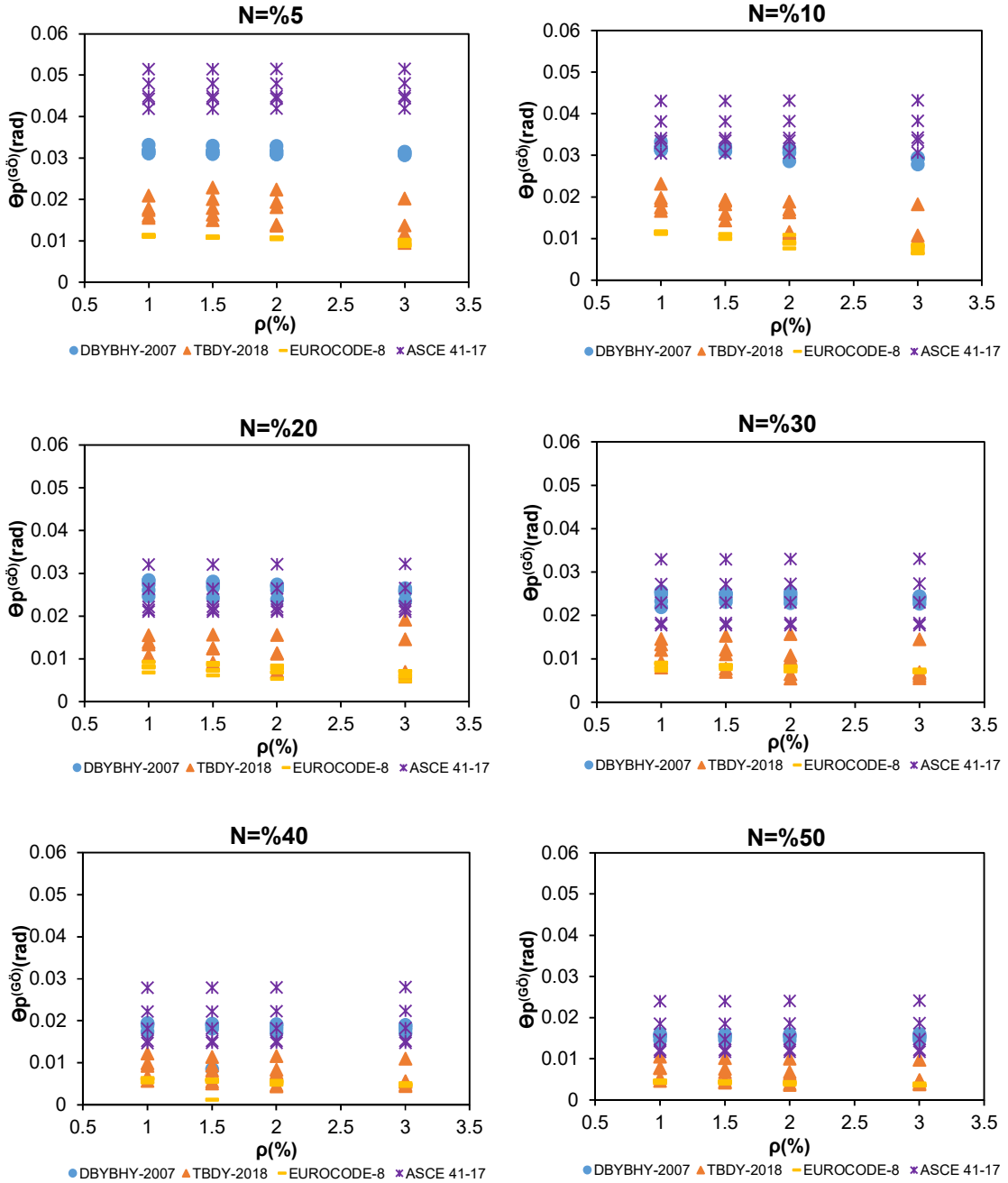
N (%)	GÖ Hasar Sınırı için Ortalama Dönme Değerleri (rad)			
	DBYBHY-2007	TBDY-2018	EUROCODE-8	ASCE 41-17
5	0.03	0.008	0.01	0.047
10	0.03	0.008	0.01	0.038
20	0.03	0.007	0.01	0.027
30	0.028	0.007	0.009	0.025
40	0.024	0.007	0.007	0.02
50	0.02	0.006	0.006	0.017

4.1.2 $\rho_s/\rho_{sm}=0.75$ için Analiz Sonuçları

Set-1 grubuna ait Göçmenin Önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için bulunan dönme değerleri Şekil 4.6'da verilmiştir. Kesitlerde, her bir eksenel yük oranında (% 5, %10, %20, %30, %40 ve %50), 4 farklı boyuna donatı oranı (%1, %1.5, %2 ve %3) kullanılarak elde edilen dönme değerleri incelenmiştir.

ASCE 41-17 yönetmeliğine göre hesaplanan dönme değerlerinin, tüm eksenel yük oranlarında diğer yönetmeliklere göre daha fazla olduğu görülmektedir. DBYBHY-2007 yönetmeliğinin de ASCE 41-17'yi takip ettiği, artan eksenel yük ile birlikte standart sapmanın azaldığı anlaşılmaktadır. TBDY-2018 ve EUROCODE-8 yönetmeliklerinin değerleri de özellikle artan eksenel yük ile birlikte benzerlik göstermektedir. Grafikler incelendiğinde, düşük eksenel yük oranlarında

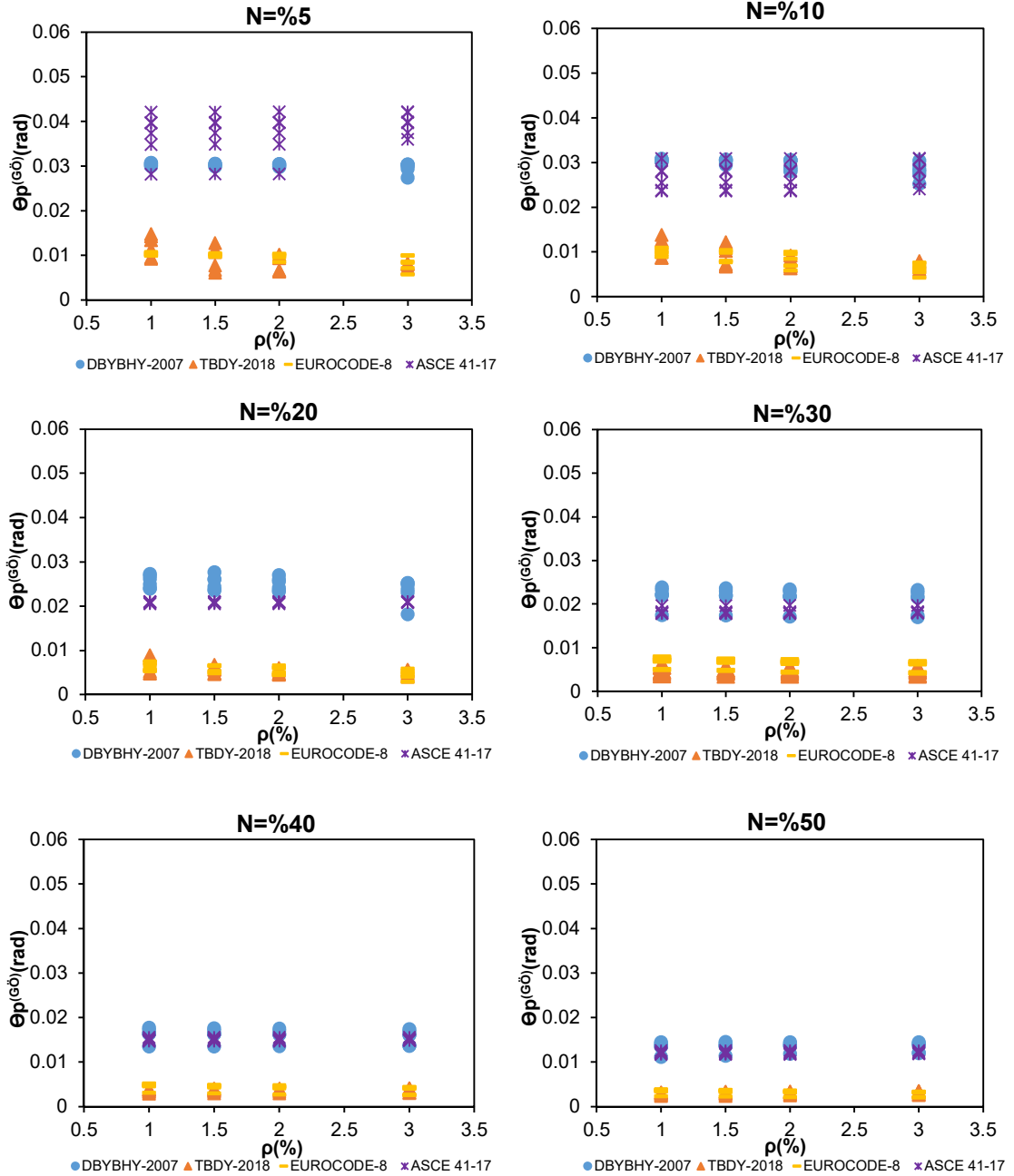
yönetmelikler arasındaki saçılımın daha fazla olduğu, eksenel yük oranının artması ile birlikte dönme kapasitelerinin düştüğü ve daha yakın değerler elde edildiği görülmektedir. Kesitlerdeki boyuna donatı oranlarının değişmesi ile sonuçlarda dikkate değer bir değişimin olmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.6: Set-1 grubunun göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için dönme değerleri

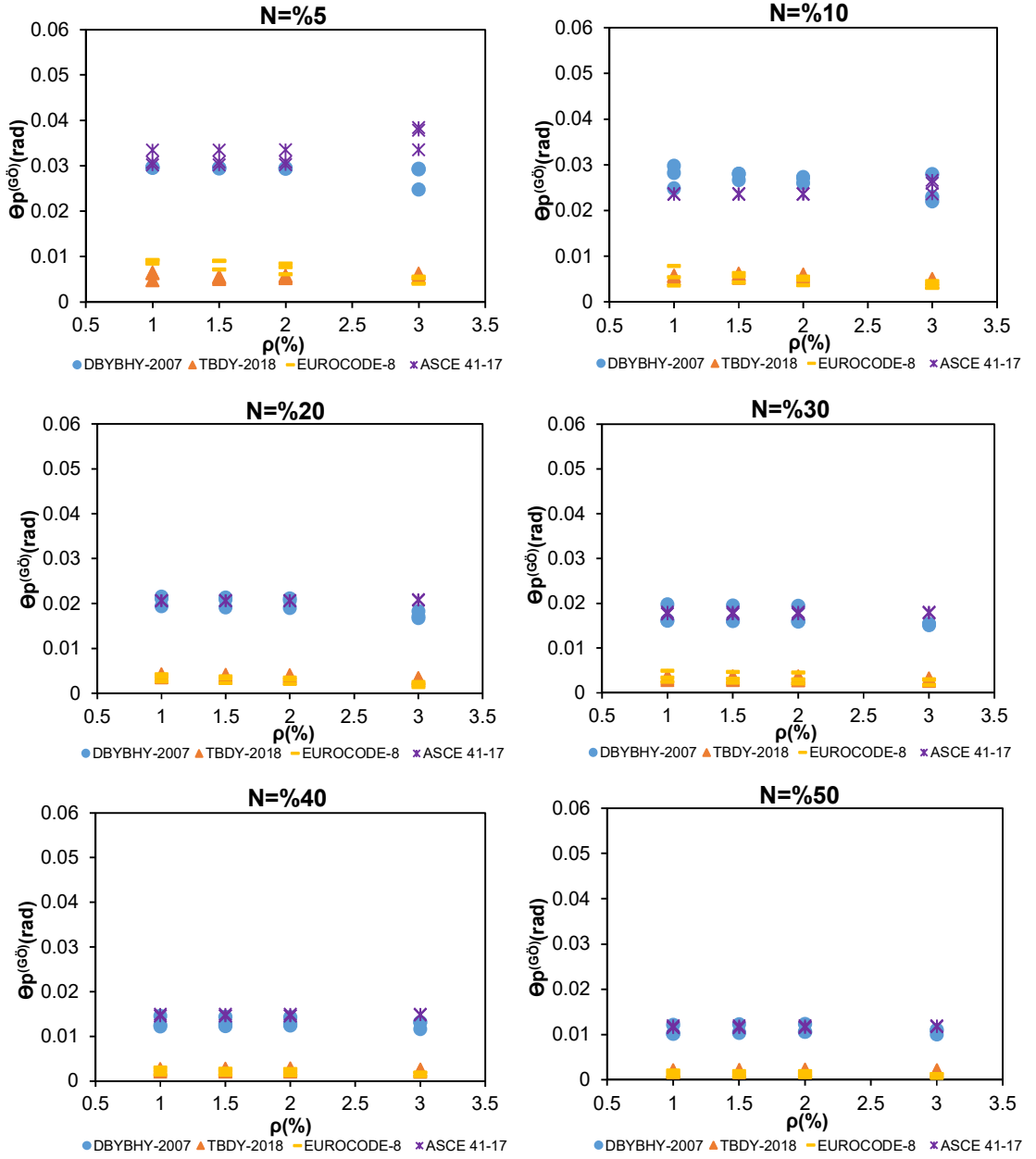
Set-2 grubuna ait Göçmenin Önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için bulunan dönme değerleri Şekil 4.7’de verilmiştir. Kesit boyutlarının artması ile birlikte dönme

kapasitelerinde genel olarak azalmalar görülmektedir. Grafikler incelendiğinde; %5 ve %10 eksenel yük oranlarında en fazla dönme kapasitesinin ASCE 41-17’de olduğu gözlenirken, %20 ve üzeri eksenel yük oranlarında DBYBHY-2007’de daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca DBYBHY-2007 için standart sapmanın, %20 ve %30 eksenel yük oranlarında diğer oranlara göre belirgin olması dikkat çekmektedir.



Şekil 4.7: Set-2 grubunun göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için dönme değerleri

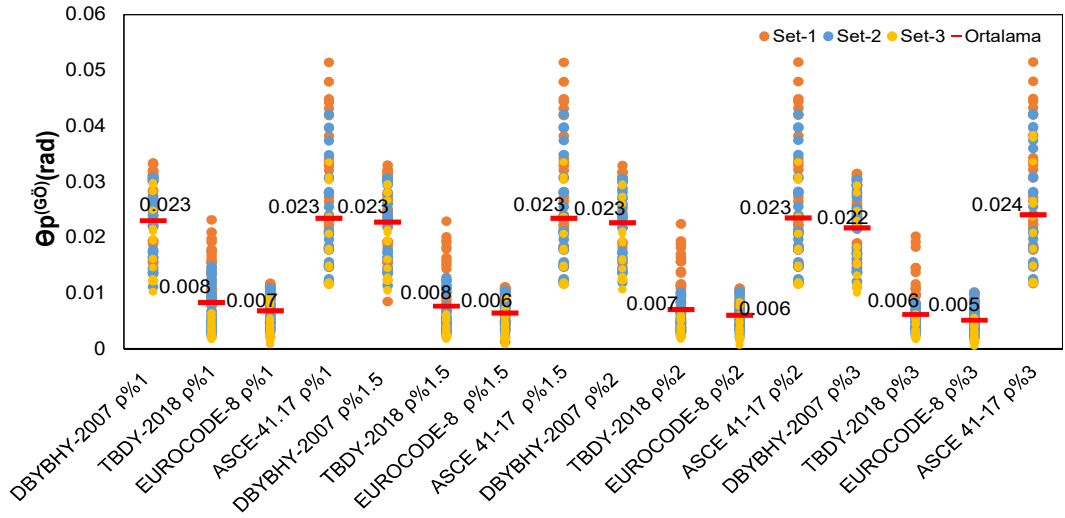
Set-3 grubuna ait Göçmenin Önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için bulunan dönme değerleri Şekil 4.8’de verilmiştir. Kesit boyutlarının artması ile birlikte dönme kapasitelerinde genel olarak azalmalar görülmektedir. Grafikler incelendiğinde; ASCE 41-17 ile DBYBHY-2007 yönetmelikleri arasında ve TBDY-2018 ile EUROCODE-8 yönetmelikleri arasında standart sapmaların azaldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.8: Set-3 grubunun göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için dönme değerleri

Setlere göre elde edilen sonuçlar Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da topluca verilmiştir. Tüm Setler için; %1, %1.5, %2, %3 boyuna donatı oranlarına göre elde edilen dönme

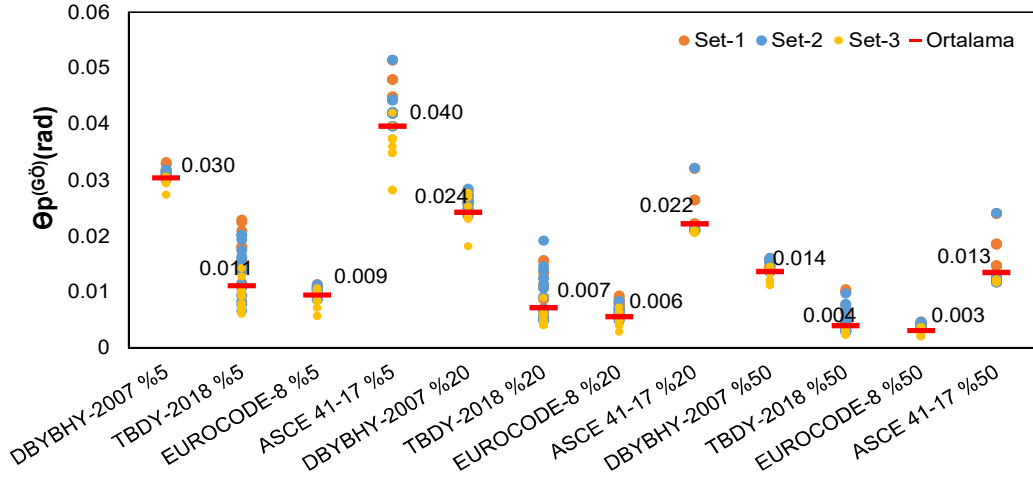
değerlerinin dağılımı Şekil 4.9’da verilmiştir. DBYBHY-2007’de %1, %1.5, %2, %3 boyuna donatı oranları için ortalama dönme değerleri 0.023, 0.023, 0.023, 0.022 olarak elde edilmiştir. TBDY-2018’de %1, %1.5, %2, %3 boyuna donatı oranları için ortalama dönme değerleri sırası ile 0.008, 0.008, 0.007, 0.006 olarak elde edilmiştir. EUROCODE-8’de aynı boyuna donatı oranları için ortalama dönme değerleri sırası ile 0.007, 0.006, 0.006, 0.005 olarak bulunmuştur. ASCE 41-17’de aynı donatı oranları için sırası ile ortalama dönme değerleri 0.023, 0.023, 0.023, 0.024 olarak elde edilmiştir. Tüm yönetmelikler için artan donatı oranlarında sırası ile yaklaşık 0.001’lik değişim olduğu ancak önemli derecede bir farkın olmadığı görülmüştür. Genel olarak ortalamalara bakıldığında EUROCODE-8 ve TBDY-2018’e göre hesaplanan dönme kapasitelerinin ASCE ve DBYBHY-2007’ye göre oldukça düşük olduğu anlaşılmaktadır. Tüm yönetmelikler bazında değerlendirme yapıldığında; boyuna donatı oranının, göçmenin önlenmesi hasar sınırı için hesaplanan dönme değerlerinin üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.9: Tüm setlerin boyuna donatı oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için dönme değerleri

Tüm setler için; %5, %20, %50 eksenel yük oranlarına göre elde edilen dönme değerlerinin dağılımı Şekil 4.10’da verilmiştir. DBYBHY-2007’de %5, %20, %50 eksenel yük oranları için ortalama dönme değerleri sırası ile 0.03, 0.024, 0.014 olarak elde edilmiştir. TBDY-2018’de ortalama değerler sırası ile 0.011, 0.007, 0.004 olarak bulunmuştur. EUROCODE-8 için bu değerler sırası ile 0.009, 0.006, 0.003, ASCE 41-17 için ise; 0.04, 0.022, 0.013 olarak elde edilmiştir. TBDY-2018 ve EUROCODE-8’de hesaplanan dönme değerlerinin, ASCE 41-17 ve DBYBHY-2007’de hesaplanan değerlerin oldukça altında olduğu bu grafikte de görülmektedir. Beklenildiği üzere

eksenel yük oranının artması ile birlikte tüm yönetmelikler için dönme değerlerinde önemli derecede düşüş gerçekleşmiştir. Bu durum, eksenel yük oranının, kapasiteleri üzerinde etkili bir parametre olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.10: Tüm setlerin eksenel yük oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için dönme değerleri

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da ifade edilen göçmenin önlenmesi hasar sınırı için ortalama dönme değerleri, iki ayrı tabloda verilmiştir (Tablo 4.3 ve Tablo 4.4).

Tablo 4.3: Tüm setlerin boyuna donatı oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için ortalama dönme değerleri

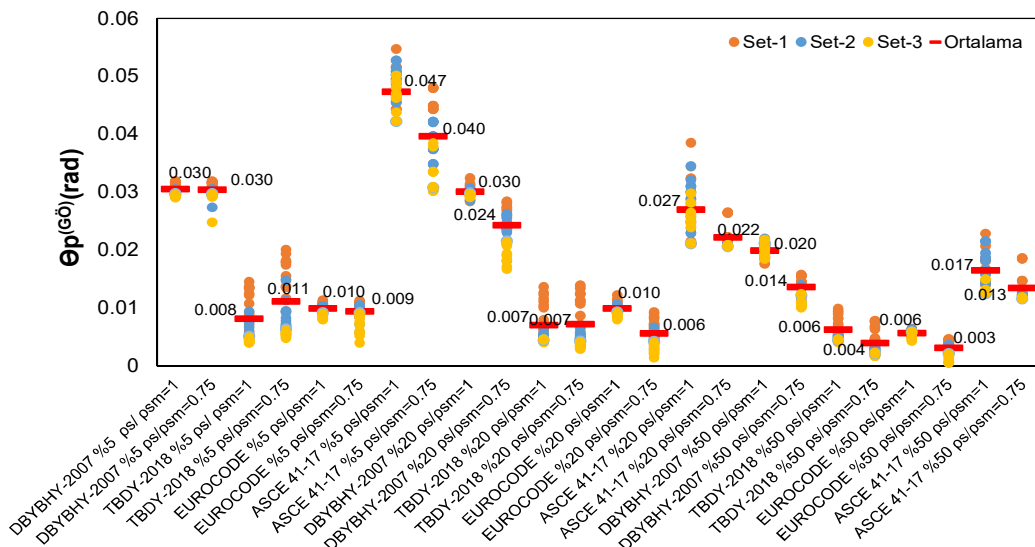
ρ (%)	GÖ Hasar Sınırı için Ortalama Dönme Değerleri (rad)			
	DBYBHY-2007	TBDY-2018	EUROCODE-8	ASCE 41-17
1	0.023	0.008	0.007	0.023
1.5	0.023	0.008	0.006	0.023
2	0.023	0.007	0.006	0.023
3	0.022	0.006	0.005	0.024

Tablo 4.4: Tüm setlerin eksenel yük oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için ortalama dönme değerleri

N (%)	GÖ Hasar Sınırı için Ortalama Dönme Değerleri (rad)			
	DBYBHY-2007	TBDY-2018	EUROCODE-8	ASCE 41-17
5	0.030	0.011	0.009	0.040
10	0.029	0.010	0.008	0.03
20	0.024	0.007	0.006	0.022
30	0.021	0.006	0.006	0.020
40	0.016	0.005	0.004	0.017
50	0.014	0.004	0.003	0.013

Kesitlerde, enine donatının yönetmeliğe uygun ($\rho_s/\rho_{sm}=0.75$) ve uygun olmayacak şekilde ($\rho_s/\rho_{sm}=1$) kullanılmasının birlikte değerlendirilmesi amacı ile elde edilen göçmenin önlenmesi hasar sınırı dönme değerleri kıyaslamalı olarak Şekil 4.11’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde; %5 eksenel yük oranı için, ρ_s/ρ_{sm} oranının azalması, tüm yönetmeliklerde dikkate değer bir değişime sebep olmamıştır. ASCE 41-17’de %15’lik bir azalma söz konusudur. %20 eksenel yük oranı için; DBYBHY-2007’de; %20’lik, EUROCODE-8’de %40’lık ve ASCE 41-17’de %19’lük bir azalma görülmüştür. TBDY-2018’de ortalama bazında bir değişim olmamıştır. %50 eksenel yük oranı için bakıldığında; DBYBHY-2007’de; %30’lük, TBDY-2018’de %33’lük, EUROCODE-8’de %50’lik ve ASCE 41-17’de %24’lük bir azalma söz konusudur.

Genel olarak sonuçlara bakıldığında; azalan enine donatı oranı ile birlikte, eksenel yük seviyesi arttıkça tüm yönetmelikler için dönme değerlerinde genel olarak bir düşüş görülmüştür. Özellikle EUROCODE-8’de, enine donatı oranı azaldığında dönme değerlerinde dikkate değer bir azalmanın olması, enine donatı oranının hesaplanan dönme kapasiteleri için belirleyici bir parametre olduğunu göstermektedir. EUROCODE-8 için dönme kapasitesi formülasyonunda göçme eğriliğinin kullanılması; sünekliğin azalması ile kapasitenin doğrudan etkilenmesine sebebiyet vermektedir. TBDY-2018 yönetmeliğinde benzer formül tanımlanmış olmasına rağmen, donatı göçme sınır değeri oldukça küçük hesapladığı için dönme değerlerindeki azalma göze çarpmamaktadır.



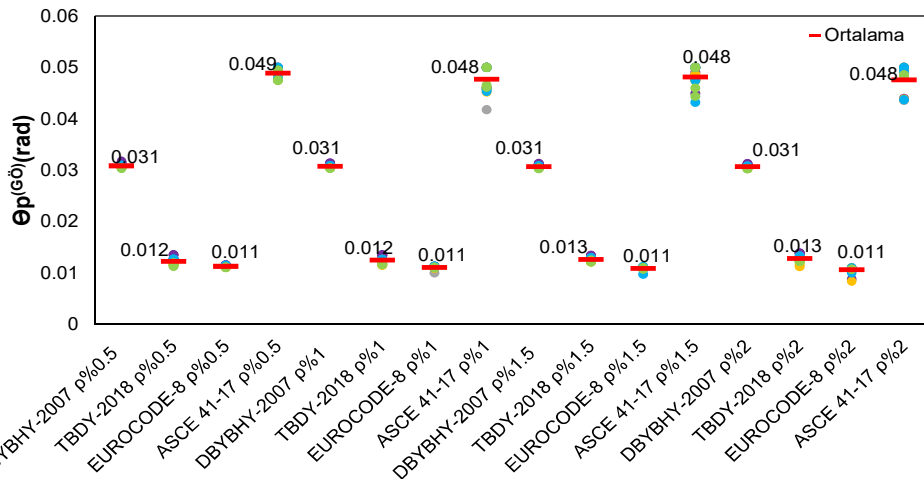
Şekil 4.11: Tüm Setlerin ρ_s/ρ_{sm} oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için dönme değerleri

4.2 Kiriş Kesit Sonuçları

Kiriş kesitlerine (25*50, 25*60, 25*65, 30*60 ve 30*70) ait sonuçlar, ρ_s/ρ_{sm} oranlarına göre gruplandırılarak verilmiştir. Boyuna donatı ve enine donatı oranının sonuçlar üzerindeki etkisinin görülebilmesi için grafikler ile kıyaslama yapılmıştır. Grafiklerde, yukarıdan aşağıya; 25*50 kesitinden 30*70 kesitine doğru dizilim uygulanmıştır.

4.2.1 $\rho_s/\rho_{sm}=1$ için Analiz Sonuçları

$\rho_s/\rho_{sm}=1$ için kiriş kesitlerine ait Göçmenin Önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için dönme değerleri boyuna donatı oranlarına göre Şekil 4.12’de verilmiştir Kesitler için, 4 farklı boyuna donatı oranı (%0.5, 1, 1.5 ve 2) kullanılarak elde edilen dönme değerleri incelenmiştir. DBYBHY-2007’de %0.5, %1, %1.5, %2 boyuna donatı oranları için ortalama dönme değerleri 0.031; TBDY-2018’de sırası ile 0.012, 0.012, 0.013, 0.013 olarak elde edilmiştir. EUROCODE-8’de aynı boyuna donatı oranları için ortalama dönme değerleri sırası ile 0.011, 0.011, 0.011, 0.010 olarak bulunmuştur. ASCE 41-17’de sırası ile ortalama dönme değerleri 0.049, 0.048, 0.048, 0.048 olarak elde edilmiştir. DBYBHY-2007 ve ASCE 41-17 için göçmenin önlenmesi hasar sınırına ait dönme değerleri, diğer yönetmeliklere göre oldukça büyüktür. ASCE 41-17 yönetmeliği için elde edilen ortalama dönme değerleri, TBDY-2018’in yaklaşık 4 katı; EUROCODE-8’in yaklaşık 4.5 katı olarak bulunmuştur. Kirişlerdeki donatı oranındaki artış, tüm yönetmelikler için önemli bir farklılık oluşturmamıştır.

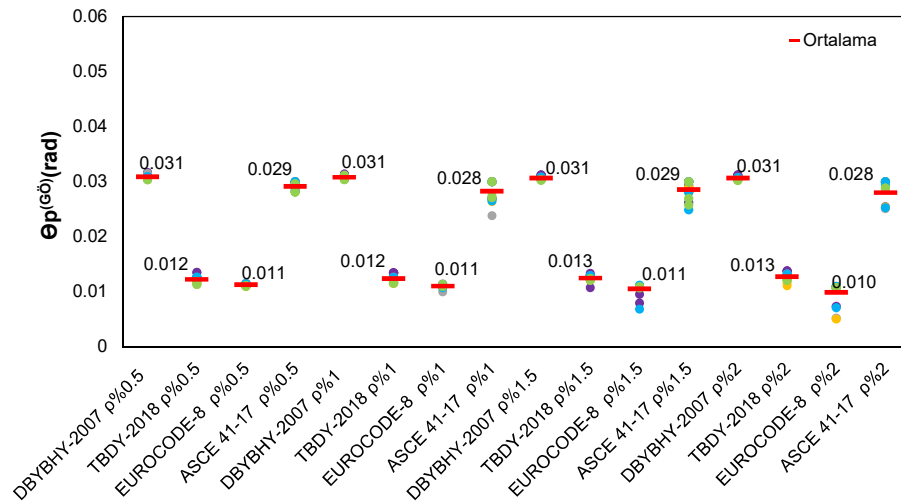


Şekil 4.12: Kiriş kesitlerinin, boyuna donatı oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı dönme değerleri

4.2.2 $\rho_s/\rho_{sm}=0.75$ için Analiz Sonuçları

$\rho_s/\rho_{sm}=0.75$ için kiriş kesitlerine ait Göçmenin Önlenmesi (GÖ) hasar sınırı için dönme değerleri boyuna donatı oranlarına göre Şekil 4.13'te verilmiştir. Kesitler için, 4 farklı boyuna donatı oranı (%0.5, 1, 1.5 ve 2) kullanılarak elde edilen dönme değerleri incelenmiştir. DBYBHY-2007'de %0.5, %1, %1.5, %2 boyuna donatı oranları için ortalama dönme değerleri 0.031; TBDY-2018'de sırası ile 0.012, 0.012, 0.013, 0.013 olarak elde edilmiştir. EUROCODE-8'de aynı boyuna donatı oranları için ortalama dönme değerleri sırası ile 0.011, 0.011, 0.011, 0.010 olarak bulunmuştur. ASCE 41-17'de aynı donatı oranları için sırası ile ortalama dönme değerleri 0.029, 0.028, 0.029, 0.028 olarak elde edilmiştir.

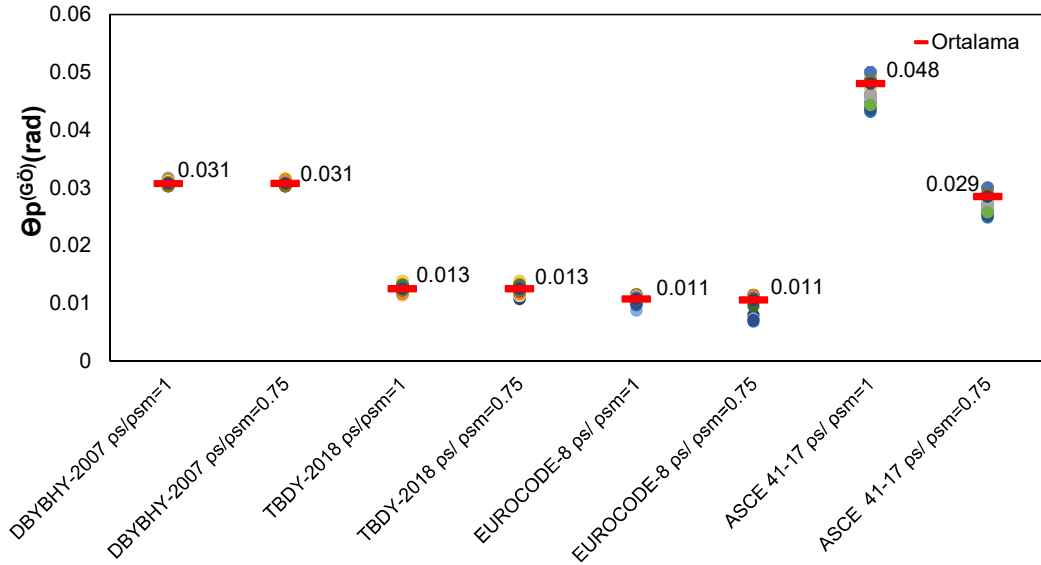
Genel olarak değerlendirme yapıldığında, tüm kiriş kesitleri için boyuna donatı oranının, hasar sınırı üzerindeki etkisinin oldukça az olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 4.13: Kiriş kesitlerinin boyuna donatı oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı dönme değerleri

Kiriş kesitlerinin ρ_s/ρ_{sm} oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı dönme değerleri Şekil 4.14'te verilmiştir. ASCE 41-17'de dönme değerlerinde enine donatıdaki azalma ile yaklaşık 1.65 kat azalma gerçekleşirken diğer yönetmelikler için dikkate değer bir değişim olmamıştır. Enine donatının, ASCE 41-17 yönetmeliğine göre göçmenin önlenmesi hasar sınırı için oldukça önemli bir parametre olduğu görülmektedir. Bu durum, ASCE 41-17'de kiriş kesitleri için dönme değerlerinin doğrudan tablodan alınması ve bu tabloya göre; donatı detaylandırmasının

yönetmeliğe uygun yapılmaması durumunda kapasitenin daha düşük tutulmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.14: Kiriş kesitlerinin ρ_s/ρ_{sm} oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı dönme değerleri

4.3 TBDY-2018 Yönetmeliğinde Tanımlı Donatı Şekil Değiştirme Üst Sınırı Değeri ($\varepsilon_s^{(G\ddot{O})}$) İçin Farklı Bir Yaklaşım

TBDY-2018 yönetmeliğine göre Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi için donatı birim şekil değiştirmesi olarak tanımlanan $\varepsilon_s^{(G\ddot{O})}$ değeri Denklem 4.1’de verildiği gibi hesaplanmaktadır. Yukarıda verilen sonuçlar bu değer alınması ile hesaplanmıştır.

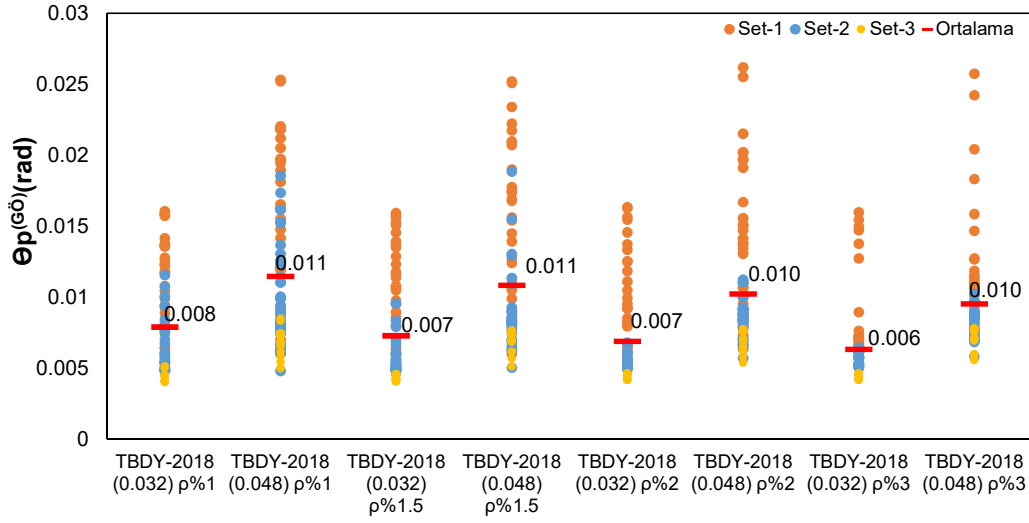
$$\varepsilon_s^{(G\ddot{O})} = 0.4\varepsilon_{su} \quad (4.1)$$

ε_{su} değeri, S420 donatı çeliği için 0.08 alınarak $\varepsilon_s^{(G\ddot{O})}$ değeri 0.032 olarak elde edilmektedir. Tez kapsamında, dönme kapasitelerinin düşüklüğü sebebi ile bu sınır değeri için alternatif bir yaklaşım sunulmuştur. Denklem 4.2’de verildiği gibi hesap yapılarak, her iki sınırdan elde edilen dönme değerleri kıyaslanmıştır. Denklem 4.2’ye göre hesap yapıldığında; $\varepsilon_s^{(G\ddot{O})}$ değeri 0.048 olarak elde edilmiştir.

$$\varepsilon_s^{(G\ddot{O})} = 0.6\varepsilon_{su} \quad (4.2)$$

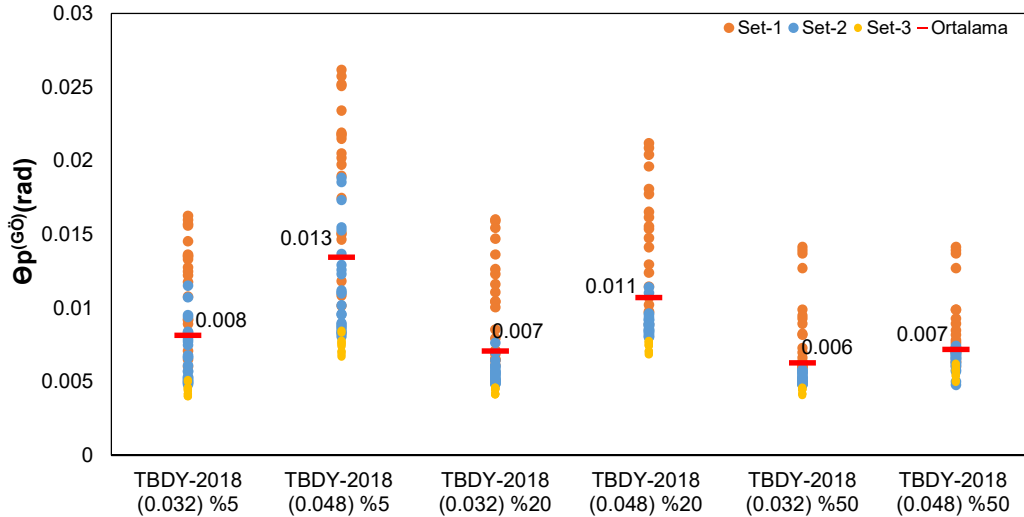
Şekil 4.15’te kolon kesitlerinde, boyuna donatı oranlarına göre göçmenin önlenmesi hasar sınırı için dönme değerleri verilmiştir. TBDY-2018 için $\varepsilon_s^{(G\ddot{O})}$

değerinin, 0.032 alınması durumuna göre %1, %1.5, %2, %3 boyuna donatı oranlarında sırası ile %38'lik, %57'lik, %43'lük, %67'lik artış görülmüştür.



Şekil 4.15: $\rho_s/\rho_{sm}=1$ için kolon kesitlerinin boyuna donatı oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı dönme değerleri

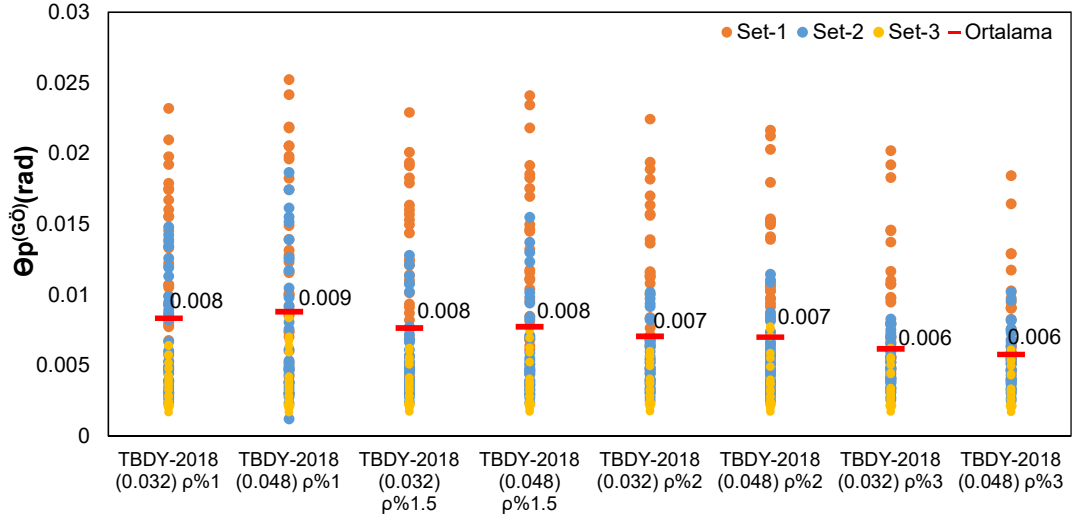
Şekil 4.16'da kolon kesitlerinde eksenel yük oranlarına göre dönme değerleri verilmiştir. %5, %20 ve %50 eksenel yük oranlarında $\epsilon_s^{(G\ddot{O})}$ değerinin 0.032 alınması durumuna göre sırası ile %63'lük, %57'lik ve %17'lik artış görülmektedir. Özellikle düşük eksenel yük oranlarında kapasitelerde dikkate değer bir artış söz konusudur.



Şekil 4.16: $\rho_s/\rho_{sm}=1$ için kolon kesitlerinin eksenel yük oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı dönme değerleri

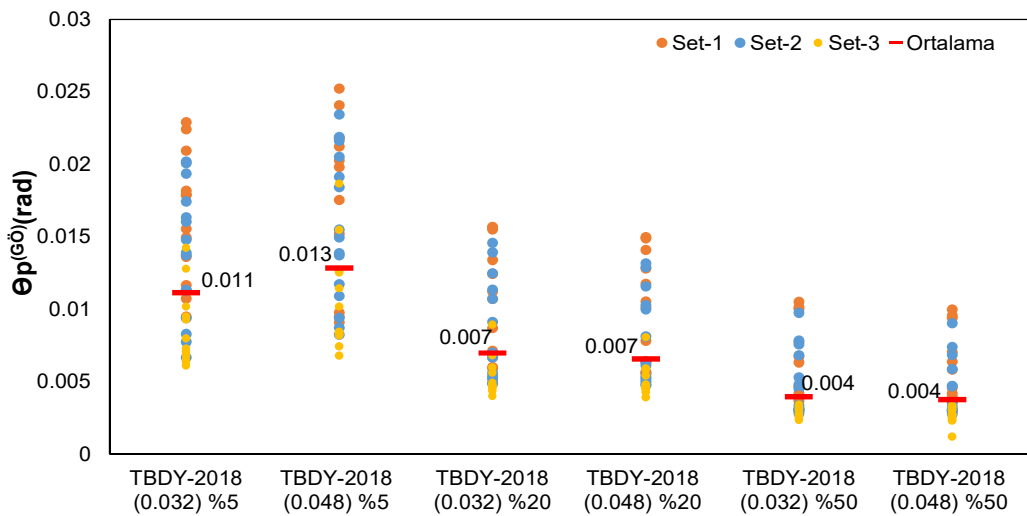
Şekil 4.17'de $\rho_s/\rho_{sm}=0.75$ için; kolon kesitlerinde boyuna donatı oranlarına göre göçmenin önlenmesi hasar sınır dönme değerleri verilmiştir. TBDY-2018 için $\epsilon_s^{(G\ddot{O})}$ değerinin 0.032 alınması durumuna göre %1 boyuna donatı oranında %13'lük

artış görülmüştür. Diğer donatı oranlarında ortalama dönme değerlerinde değişim olmamıştır. Enine donatının azalması ile birlikte kesit davranışında beton şekil değiştirme üst sınırının belirleyici olması sebebi ile kapasitedeki azalma daha sınırlı düzeyde olmaktadır.



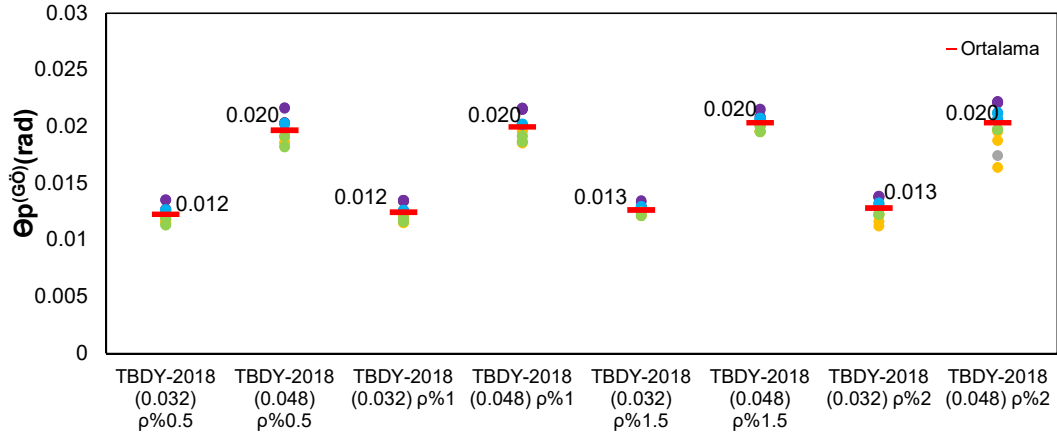
Şekil 4.17: $\rho_s/\rho_{sm}=0.75$ için kolon kesitlerinin eksenel yük oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı dönme değerleri

Şekil 4.18’de kolon kesitlerinde $\rho_s/\rho_{sm}=0.75$ için; eksenel yük oranlarına göre göçmenin önlenmesi hasar sınır dönme değerleri verilmiştir. %5 eksenel yük oranında $\epsilon_s^{(G\ddot{O})}$ değerinin 0.032 alınması durumuna göre %18’lik artış görülmektedir. Diğer eksenel yük oranlarında, TBDY-2018 için ortalama dönme değerlerinde değişim görülmemektedir. Sonuçlara bakıldığında, enine donatının azalması ile kesit davranışında beton şekil değiştirme üst sınırının belirleyici olduğu anlaşılmaktadır.

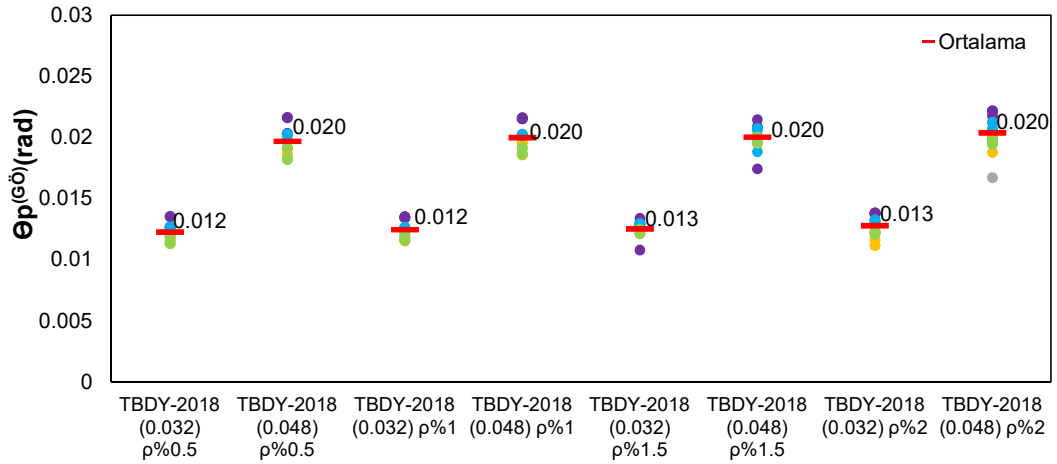


Şekil 4.18: $\rho_s/\rho_{sm}=0.75$ için kolon kesitlerinin eksenel yük oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı dönme değerleri

Kiriş kesitlerinde, sırası ile $\rho_s/\rho_{sm}=1$ ve $\rho_s/\rho_{sm}=0.75$ için Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de boyuna donatı oranlarına göre göçmenin önlenmesi hasar sınır dönme değerleri verilmiştir. Her iki enine donatı oranı için; %0.5 ve %1 boyuna donatı oranında $\epsilon_s^{(G\ddot{O})}$ değerinin 0.032 alınması durumuna göre kapasitede %67’lik, %1.5 ve %2 boyuna donatı oranlarında ise %54’lük artış görülmektedir.



Şekil 4.19: $\rho_s/\rho_{sm}=1$ için kiriş kesitlerinin boyuna donatı oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı dönme değerleri



Şekil 4.20: $\rho_s/\rho_{sm}=0.75$ için kiriş kesitlerinin boyuna donatı oranlarına göre göçmenin önlenmesi (GÖ) hasar sınırı dönme değerleri

Genel bir değerlendirme yapıldığında; donatı şekil değiştirme üst sınırının dönme kapasiteleri üzerinde etkisinin dikkate değer olduğu; yönetmelikte tanımlı olarak verilen formüle, alternatif olarak verilen formülün kapasiteyi daha az kısıtlayacağı görülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışması kapsamında, DBYBHY-2007, TBDY-2018, EUROCODE-8 ve ASCE 41-17 yönetmeliklerine göre tanımlanan hasar sınırları incelenmiştir. Bu incelemeler yapılırken, farklı en kesit alanı, farklı eksenel yük, farklı enine ve boyuna donatı oranına sahip kolon ve kiriş kesitleri kullanılmıştır. Kesitler için hesaplanan göçmenin önlenmesi hasar sınır değerleri, kesit ve yönetmelik bazında kıyaslamalı olarak elde edilmiştir.

- İncelenen kolon kesitlerinin boyutları arttıkça dönme kapasitelerinde belirli düzeyde azalma görülmüştür.
- Tüm kolon kesitleri için donatı oranının, dönme kapasitesi üzerindeki etkisinin oldukça az olduğu görülmüştür.
- Eksenel yükün değişmesine bağlı olarak ASCE 41-17, DBYBHY-2007, TBDY-2018 yönetmeliklerine göre hesaplanan dönme değerlerinde saçılım söz konusu olmaktadır. Bu durumun sebebi; ASCE 41-17’de dönme değerlerinin doğrudan eksenel yüke bağlı formülasyonla elde edilmesi, TBDY-2018’de ise kesme kuvvetine bağlı olarak kapasiteler üzerinde azaltma uygulanması, DBYBHY-2007’de ise formülasyonda doğrudan göçme eğriliğinin kullanılmasıdır.
- TBDY-2018 yönetmeliğinde kesme kuvvetine bağlı olarak kapasiteler üzerinde azaltma uygulanması sebebi ile kesit boyutlarının dönme kapasitesine etkisi ve setler arası geçiş daha net görülmektedir.
- Beklenildiği üzere eksenel yük oranının artması ile birlikte tüm yönetmelikler için dönme değerlerinde düşüş gerçekleşmiştir.
- Enine donatı oranının düşürülmesi ile birlikte, eksenel yük seviyesi arttıkça tüm yönetmelikler için dönme değerlerinde genel olarak bir düşüş görülmüştür.

- Eksenel yük seviyesinin %20'nin altında olması durumunda tüm yönetmelikler için enine donatı oranındaki azalma, dönme kapasitesinde dikkate değer bir değişime sebep olmamıştır.
- Eksenel yük seviyesi %20 ve %50 olması durumunda; azalan enine donatı oranı, göçme hasar sınırını sırası ile DBYBHY-2007 için; %20 ve %30, TBDY-2018 için %0 ve %33, EUROCODE-8 için %40 ve %50, ASCE 41-17 için ise %19 ve %24 bandında azaltmıştır. Enine donatının, EUROCODE-8 yönetmeliğine göre hesaplanan dönme değerleri üzerinde daha etkili olmasının sebebi de formülasyonda doğrudan göçme eğriliğinin kullanılmasıdır. TBDY-2018 yönetmeliğinde benzer formül tanımlanmış olmasına rağmen, donatı göçme sınır değeri oldukça küçük hesaplandığı için dönme değerlerindeki azalma dikkate değer olmamaktadır.
- Tüm sonuçlara bakıldığında, EUROCODE-8 ve TBDY-2018'e göre hesaplanan dönme kapasitelerinin ASCE 41-17 ve DBYBHY-2007'ye göre oldukça düşük olduğu, dolayısı ile EUROCODE-8 ve TBDY-2018 yönetmeliklerinin daha güvenli tarafta kalacak şekilde sınırlandırılışı anlaşılmaktadır.
- İncelenen kiriş kesitlerinde, kolon kesitlerinde olduğu gibi boyuna donatının etkisinin önemsenmeyecek düzeyde olduğu görülmüştür.
- Kiriş kesitleri için tüm sonuçlara bakıldığında; DBYBHY-2007 ve ASCE 41-17 için göçmenin önlenmesi hasar sınırına ait dönme değerleri, diğer yönetmeliklere göre oldukça büyüktür. ASCE 41-17 yönetmeliği için elde edilen ortalama dönme değerleri, TBDY-2018'e göre elde edilen ortalama dönme değerlerinin yaklaşık 4 katı; EUROCODE-8'e göre elde edilen ortalama dönme değerlerinin yaklaşık 4.5 katı olarak bulunmuştur. Dolayısı ile bu sonuçlardan da TBDY-2018 ve EUROCODE-8 yönetmeliklerinin kapasiteler üzerinde daha sınırlayıcı olduğu ve güvenli tarafta kalma eğiliminde olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumun kapasitelerin kullanımını konusunda kısıtlayıcı bir etkiye neden olacağı da unutulmamalıdır.
- Enine donatıdaki %25 azalma ile ASCE 41-17' de dönme kapasitesinde yaklaşık 1.65 kat azalma gerçekleşirken diğer yönetmelikler için

dikkate değer bir değişme olmamıştır. Bu durum, ASCE 41-17 yönetmeliğinde, kiriş kesitleri için değerlerin doğrudan tablodan alınması ve bu tabloda donatı detaylandırmasının yönetmeliğe uygun yapılmaması durumunda kapasitenin daha düşük tutulmasından kaynaklanmaktadır. Yönetmeliğe uygun olmaması durumu net bir oran belirtmediği için kapasite üzerindeki etkinin enine donatı oranındaki azalma oranı ile net olarak değerlendirilmesi mümkün değildir.

- TBDY-2018 yönetmeliğinde, Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi için donatı birim şekil değiştirmesi olarak tanımlanan $\epsilon_s^{(G\ddot{O})}$ değeri alternatif bir yaklaşımla, S420 donatı çeliği için 0.048 olarak alınarak elde edilen değerler irdelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; sınır değerinin 0.032 olarak alınması halinde elde edilen sonuçlara kıyasla; kolon kesitlerinin dönme kapasitelerinde %1, %1.5, %2, %3 boyuna donatı oranlarında; sırası ile %38'lik, %57'lik, %43'lük, %67'lik artış görülmüştür.
- Enine donatının azalması ile birlikte kesit davranışında beton şekil değiştirme üst sınırının belirleyici olması sebebi ile kapasitedeki azalma daha sınırlı düzeyde olmaktadır.
- Kiriş kesitlerinde, 0.048 donatı birim şekil değiştirmesi ile birlikte dönme kapasitesinde ortalama %60 oranında artış görülmüştür.
- Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere; TBDY-2018 yönetmeliğinde verilen donatı birim şekil değiştirmesi dönme kapasitesini oldukça azaltmakta ve sınırlayıcı etkiye sebep olmaktadır.
- Çalışma kapsamında önerilen, Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi için donatı birim şekil değiştirmesinin 0.048 alınması halinde; dönme kapasitelerinin diğer yönetmeliklere göre de makul düzeylerde olabileceği görülmüştür.

5.2 Sonraki Çalışmalar ile İlgili Öneriler

- Bu çalışmada kesit hasar sınırları değerlendirilmiş olup, çalışmada kullanılan yönetmelik sınırları ile sistem bazında davranışın incelenerek kesit hasar sınırı tanımlamasının sistem performansı

zerindeki etkileri değerlendirilebilir. Bu amaç için farklı kat sayısına sahip betonarme binalar kullanılabilir.

6. KAYNAKLAR

ASCE/SEI 41-17, Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers, Virginia, (2017).

Aksoylu, C., Mobark, A., Arslan, M. H., Erkan, İ. E., “A CoMParative Study on ASCE 7-16, TBEC-2018 and TEC-2007 For Reinforced Concrete Buildings”, *Revista de la Construcción*, 19(2), 282-305, (2020).

ATC-40, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council, Redwood City, California, (1996).

Balıkçı, İ., “Mevcut Binaların Deprem Performanslarının 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerine Göre Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Denizli, (2019).

Canbay, E., Ersoy U., Özcebe G., Sucuoğlu H., Wasti S. T., *Binalar İçin Deprem Mühendisliği Temel İlkeler*, Ankara: ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık (2008).

Celep, Z., “Betonarme Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış: Plastik Mafsallı Kabulü ve Çözümleme”, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, (2007).

Celep, Z., Kumbasar N., *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*, İstanbul: Beta Dağıtım, (2004).

Celep, Z., Kumbasar N., *Betonarme Yapılar*, İstanbul: Beta Dağıtım, (2005).

DBYYHY-2007, *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, (2007).

Ekici, E., “CoMParison Of Observed Structural Damages and Code Given Structural Performance Limits”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2011).

Eldemir, O., “DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 Yönetmeliklerinin Mevcut Yapıların Sismik Davranış Özellikleri Açısından Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, (2019).

Ersoy, U., Özcebe G., “Sarılmış Betonarme Kesitlerde Moment Eğrilik İlişkisi Analitik Bir İrdeleme”, *İmo Teknik Dergi*, 1799-1827, (1998).

Eurocode 8, Design of Structures for Earthquake Resistance Part 3: Assessment and Retrofitting of Buildings, European Standards, Brussels, (2005).

Fardis, M. N., Seismic Design, *Assessment and Retrofitting of Concrete Buildings, Based on EN-Eurocode 8*, New York: Springer, (2009).

FEMA-356, Prestandard and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, (2000).

FEMA-440, Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, Federal Emergency Management Agency, Washington, (2005).

Foroughi, S., Yüksel, S. B., “Betonarme Kolonların Şekil Değiştirme Esaslı Hasar Sınırlarının Araştırılması”, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 11(2), 584-601, (2019).

Giannopoulos, I. P., “Seismic Assessment of a RC Building according to FEMA 356 and Eurocode 8”, *16. Earthquake Conference*, Paphos Cyprus, (2009).

Işıltan Ö., “Betonarme Kolonlar için DBYBHY 2007, EUROCODE-8 ve FEMA 356 İle Yapılan Performans Değerlendirmelerinin Deney Sonuçlarıyla Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2010).

İnel M., Ozmen, H. B., “Effects of Plastic Hinge Properties In Nonlinear Analysis Of Reinforced Concrete Buildings”, *Engineering Structures*, 28 (11), 1494-1502, (2006).

İnel, M., Özmen, H.B., Bilgin, H., Sargı Etkisi Modelleme Analiz Programı Kullanım Kılavuzu, Denizli, (2008).

Jamal, R., Yüksel, B., “TBDY 2018 ve ASCE 41-17’e Göre Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri İle Yapı Sistemlerinin Performans Analizinin Elde Edilmesi ve Karşılaştırması”, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8 (1), 432-444, (2021).

Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2010).

Karabulut, A., “TDY 2007 Yönetmeliği ve Fema 440 Raporunda Tanımlanan Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemlerinin Mevcut Betonarme Binalar için Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2011).

Karasu, A., “Betonarme Bir Yapının Türk, Avrupa ve Amerikan Yönetmeliklerine Göre Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2015).

Korkmaz, K.A., Düzgün M., “Statik Artımsal İtme Analizinde Kullanılan Yük Dağılımlarının Değerlendirilmesi”, *İmo Teknik Dergi*, 255, 3873-3878, (2006).

Kop, M., “Mevcut Binaların Değerlendirilmesinde Yeni Deprem Yönetmeliği Yaklaşımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum, (2020).

Mander, J.B., Priestley, M.J.N. and Park, R., “Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete”, *J Struct Eng, ASCE*, 114 (8),1804-1826, (1988).

Özmen, H. B., “Düşük ve Orta Yükseklikteki Betonarme Yapıların Deprem Performanslarını Etkileyen Faktörlerin İrdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, (2011).

Özmen, H. B., İnel, M., Bilgin, H., “Sargılı Beton Davranışının Betonarme Eleman ve Sistem Davranışına Etkisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (2), 375-383, (2007).

PEER-Database. <http://nisee.berkeley.edu/spl/> (2011).

SAP2000 CSI., Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual, Berkeley, USA, (2013).

SeismoMatch, Earthquake Engineering Software Solutions. Chalkida, Greece. <http://www.seismosoft.com>, (2011).

Semap, Sargı Etkisi Modelleme Analiz Programı; Tubitak Proje No: 105M024, (2008).

Sinani, B.,”Mevcut Betonarme Yapıların Deprem Performanslarının Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Niğde, (2014).

Sönmez, M., “DBYBHY-07 ve ASCE 41-06’da Tanımlanan Doğrusal Olmayan Performans Değerlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması” Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2012).

TBDY-2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Başkanlığı, Ankara, Türkiye, (2018).

Türk Standardı-TS498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, (1997).

Türk Standardı-TS500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, (2000).

Türk Standardı-TS708, Çelik-Betonarme İçin-Donatı Çeliği, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, (2010).

Ulutaş, H., “DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) Deprem Yönetmeliklerinin Kesit Hasar Sınırları Açısından Kıyaslanması”, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 17, 351-359, (2019).