

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME KOLONLAR İÇİN DBYBHY 2007, EUROCODE 8
VE FEMA 356 İLE YAPILAN PERFORMANS DEĞERLENDİRMELERİNİN
DENEY SONUÇLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Özgecan İŞILTAN**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME KOLONLAR İÇİN DBYBHY 2007, EUROCODE 8
VE FEMA 356 İLE YAPILAN PERFORMANS DEĞERLENDİRMELERİNİN
DENEY SONUÇLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Özgecan İŞILTAN
(501081092)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Haziran 2010

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Alper İLKİ (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Şevket ÖZDEN (KOÜ)
Yrd. Doç. Dr. Ercan YÜKSEL (İTÜ)**

HAZİRAN 2010

Sevgili anneme,

ÖNSÖZ

“Betonarme Kolonlar İçin DBYBHY 2007, Eurocode 8 ve FEMA 356 ile Yapılan Performans Değerlendirmelerinin Deney Sonuçlarıyla Karşılaştırılması” isimli yüksek lisans tezimi hazırlamam sırasında; engin bilgi birikimini benimle paylaşan, ufkumu genişleten değerli hocam Sayın Doç. Dr. Alper İLKİ’ye sonsuz teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Varlıklarıyla bana güç katan, yardım ve desteklerini esirgemeyen Kimya Mühendisi (Endüstri Yük. Mühendisi) Pınar KARATAY’a ve İnşaat Yük. Mühendisi-Mimar Özgün Onur POLAT’a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca maddi, manevi her türlü desteği veren ve her zaman yanımda olan sevgili aileme şükranlarımı sunarım.

Mayıs 2010

Özgecan İŞILTAN
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
SEMBOL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
2. MALZEME DAVRANIŞLARI	3
2.1 Yapı Malzemeleri İçin Matematiksel Modeller	4
2.1.1 Betonun gerilme-şekildeğiştirme özellikleri	4
2.1.2 Sargısız beton modelleri.....	6
2.1.2.1 Geliştirilmiş Hognestad modeli (Hognestad, 1951).....	6
2.1.2.2 Sargısız beton için Mander modeli (Mander ve diğ., 1988).....	7
2.1.3 Sargılı beton davranışı	9
2.1.3.1 Sargılı beton özelliklerini etkileyen faktörler.....	11
2.1.4 Sargılı beton modelleri.....	14
2.1.4.1 Geliştirilmiş Kent ve Park modeli (Kent ve Park, 1971).....	14
2.1.4.2 Sargılı beton için Mander modeli (Mander ve diğ., 1988).....	15
2.1.4.3 Saatcioglu ve Razvi modeli (Saatcioglu ve Razvi, 1992).....	17
2.1.4.4 Sheikh ve Uzumeri modeli (Sheikh ve Uzumeri, 1982).....	18
2.1.4.5 Thompson ve Park modeli (Thompson ve Park , 1980).....	19
2.1.5 Donatı modeli (Mander, 1984).....	20
2.2 Plastikleşme ve Plastik Mafsal	22
2.2.1 Moment-eğrilik ilişkisi.....	22
2.2.2 Plastik mafsal tanımı	23
2.2.3 Eğrilik-dönme ilişkisi.....	24
2.2.4 Eğrilik-dönme-yerdeğiştirme ilişkisi	26
2.2.5 Plastik mafsal uzunluğu hakkında çalışmalar	27
2.2.5.1 Baker (Baker, 1956)).....	27
2.2.5.2 Baker ve Amarokone (Baker ve Amarokone, 1964)	28
2.2.5.3 Mattock (Mattock, 1964).....	28
2.2.5.4 Corley (Corley, 1966).....	29
2.2.5.5 Mattock (Mattock, 1967).....	29
2.2.5.6 Park, Priestley ve Gill (Park, Priestley ve Gill, 1982).....	29
2.2.5.7 Park, Priestley (Park, Priestley, 1987).....	29
2.2.5.8 Park, Priestley (Park, Priestley, 1992).....	30
2.2.5.9 Sakai ve Sheikh (Sakai ve Sheikh, 1989).....	30

2.2.5.10 Sheikh ve diğ. (1993, 1994, 1998)	30
2.2.5.11 Mendis (Mendis, 2001).....	30
2.2.5.12 Bae (Bae, 2005)).....	30
2.2.6 Plastik mafsall uzunluğu için önerilen modellerinin karşılaştırılması	32
2.2.7 Yönetmeliklerde önerilen plastik mafsall uzunlukları	35
2.2.8 Plastik mafsall uzunluğu için önerilen modellerle ilgili değeriendirme.....	35
3. YÖNETMELİKLERİN İNCELENMESİ.....	37
3.1 Kapsam.....	37
3.2 Binalardan Bilgi Toplanması.....	39
3.2.1 Binalardan toplanacak bilginin kapsamı	39
3.2.2 Bilgi düzeyleri	40
3.2.3 Bilgi düzeyi katsayıları.....	46
3.3 Hesap Yöntemleri.....	46
3.3.1 Doğrusal elastik hesap yöntemleri	48
3.3.2 Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri.....	48
3.3.3 DBYBHY’de doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri	49
3.3.3.1 Genel ilke ve kurallar.....	49
3.3.3.2 Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi.....	50
3.3.3.3 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi.....	51
3.3.3.4 Artımsal mod birleştirme yöntemi ile itme analizi	51
3.3.3.5 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi.....	52
3.3.3.6 Birim şekildeğiştirme istemlerinin belirlenmesi.....	52
3.3.4 Eurocode’da doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri	53
3.3.4.1 Analiz modeli oluşturulması.....	53
3.3.4.2 Genel ilke ve kurallar.....	53
3.3.4.3 Artımsal itme analizi.....	54
3.3.4.4 Zaman tanım alanında hesap yöntemi.....	55
3.3.5 FEMA’da doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri	55
3.3.5.1 Genel ilke ve kurallar.....	55
3.3.5.2 Doğrusal elastik olmayan statik yöntem.....	57
3.3.5.3 Doğrusal elastik olmayan dinamik yöntem.....	58
3.3.5.4 Genelleştirilmiş kuvvet-şekildeğiştirme ilişkisi.....	59
3.4 Hedeflenen performansları düzeyleri	60
3.4.1 DBYBHY’de hedeflenen performans düzeyleri	60
3.4.1.1 Yapı elemanlarında hasar sınırları ve hasar bölgeler.....	60
3.4.1.2 Bina deprem performansının belirlenmesi.....	61
3.4.1.3 Binalar için hedeflenen deprem performansları.....	62
3.4.2 Eurocode’da hedeflenen performans düzeyleri.....	63
3.4.3 FEMA’da hedeflenen performans düzeyleri	64
3.4.3.1 Yapısal elemanlar için deprem performans düzeyleri ve aralıkları	64
3.4.3.2 Yapısal olmayan elemanlar için deprem performans düzeyleri ve aralıkları.....	66
3.4.3.3 Bina performans düzeyleri ve aralıkları..	67
3.4.3.4 Hedeflenen bina performans düzeyleri ve aralıkları.....	67
3.5 Betonarme elemanların hasar sınırları.....	69
3.5.1 DBYBHY’de betonarme elemanların kesit birim şekildeğiştirme üst sınırları	70
3.5.2 Eurocode’da betonarme elemanların eksen dönmesi üst sınırları.....	71
3.5.2.1 Minimum hasar bölgesi için eksen dönmesi sınırı.....	72
3.5.2.2 Belirgin hasar bölgesi için eksen dönmesi sınırı.....	72

3.5.2.3 Göçme öncesi hasar bölgesi için eksen dönmesi sınırı.....	72
3.5.3 FEMA’da betonarme kolonların kesit dönmesi sınırları.....	76
4. PEER VERİ TABANI	77
4.1 Veri Tabanı ve Deney Özellikleri	77
4.1.1 Malzeme özellikleri.....	77
4.1.2 Geometri özellikleri	78
4.1.3 Boyuna donatı özellikleri	78
4.1.4 Enine donatı özellikleri	79
4.2 Deney Biçimleri	81
4.3 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	81
4.3.1 Göçme biçimi	81
4.3.2 Eksenel kuvvet etkisi	83
4.3.3 Hasarlar	85
4.4 Çalışmada Kullanılan Deney Numunelerine Ait Bilgiler.....	87
5. NUMUNE PERFORMANSLARI VE HASAR ÜST SINIRLARI	89
5.1 L1N60 (Kono ve diğ., 2002)	90
5.2 L1D6B (Kono ve diğ., 2002)	91
5.3 C5-40N (Matamoros, 1999)	92
5.4 C5-40S (Matamoros, 1999).....	93
5.5 C1-1 (Mo ve Wang, 2000)	94
5.6 C1-2 (Mo ve Wang, 2000)	95
5.7 C1-3 (Mo ve Wang, 2000)	96
5.8 C2-1 (Mo ve Wang, 2000)	97
5.9 C2-2 (Mo ve Wang, 2000)	98
5.10 C2-3 (Mo ve Wang, 2000)	99
5.11 C3-1 (Mo ve Wang, 2000)	100
5.12 C3-2 (Mo ve Wang, 2000)	101
5.13 C3-3 (Mo ve Wang, 2000)	102
5.14 BG-1 (Saatcioglu ve Grira, 1999)	103
5.15 BG-2 (Saatcioglu ve Grira, 1999)	104
5.16 BG-3 (Saatcioglu ve Grira, 1999)	105
5.17 BG-4 (Saatcioglu ve Grira, 1999)	106
5.18 BG-5 (Saatcioglu ve Grira, 1999)	107
5.19 BG-6 (Saatcioglu ve Grira, 1999)	108
5.20 BG-7 (Saatcioglu ve Grira, 1999)	109
5.21 BG-8 (Saatcioglu ve Grira, 1999)	110
5.22 BG-9 (Saatcioglu ve Grira, 1999)	111
5.23 BG-10 (Saatcioglu ve Grira, 1999)	112
5.24 U3 (Saatcioglu ve Ozcebe, 1989).....	113
5.25 U4 (Saatcioglu ve Ozcebe, 1989).....	114
5.26 U6 (Saatcioglu ve Ozcebe, 1989).....	115
5.27 U7 (Saatcioglu ve Ozcebe, 1989).....	116
5.28 No.5 (Tanaka, 1990).....	117
5.29 No.6 (Tanaka, 1990).....	118
5.30 No.7 (Tanaka, 1990).....	119
5.31 No.8 (Tanaka, 1990).....	120
5.32 A2 (Wehbe ve diğ., 1998)	121
5.33 B2 (Wehbe ve diğ., 1998)	122
6. PERFORMANSLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	123

6.1 Yönetmeliklere Ait Hasar Sınırı Yerdeğıştirmeleri ile Deneysel Olarak Saptanmış Yerdeğıştirmelerin Karşılaştırılması.....	123
6.2 Yönetmeliklere Ait Hasar Sınırlarına ve Deneysel Olarak Saptanmış Hasarlara Karşı Gelen Görelî Kat Ötelemelerinin Boyutsuz Veriler İle Karşılaştırılması	136
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	143
KAYNAKLAR.....	147
EKLER.....	151
ÖZGEÇMİŞ.....	159

KISALTMALAR

DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007
Eurocode	: Eurocode 8: Design Of Structures for Earthquake Resistance
FEMA	: FEMA356: Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings
PEER	: Pacific Earthquake Engineering Research Center

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Sargılı beton davranışını etkileyen faktörler.	13
Çizelge 2.2 : Farklı donatı sınıflarına ait karakteristik özellikler (DBYBHY 2007). 21	
Çizelge 2.3 : Plastik mafsallık uzunluklarını karşılaştırılması (Bae, 2005).	33
Çizelge 2.4 : Plastik mafsallık uzunluklarının karşılaştırılması.	34
Çizelge 3.1 : Yönetmeliklerde bilgi düzeyleri.	40
Çizelge 3.2 : DBYBHY ve Eurocode'da geometrik özelliklerinin belirlenmesi.	41
Çizelge 3.3 : DBYBHY ve Eurocode'da eleman detaylarının belirlenmesi.	42
Çizelge 3.4 : DBYBHY ve Eurocode'da malzeme özelliklerinin belirlenmesi.	43
Çizelge 3.5 : FEMA'da bilgi toplanması (FEMA-356, 2000).	44
Çizelge 3.6 : DBYBHY'de detay ve malzeme kontrolü (DBYBHY, 2007).	45
Çizelge 3.7 : Eurocode'da detay ve malzeme kontrolü (EN 1998, 2005).	45
Çizelge 3.8 : FEMA'da detay ve malzeme kontrol (FEMA-356, 2000).	45
Çizelge 3.9 : Analiz yöntemleri ve bilgi düzeyi katsayıları.	46
Çizelge 3.10 : Etkili rijitlikler (FEMA-356, 2000).	57
Çizelge 3.11 : Bina deprem performansının belirlenmesi (DBYBHY, 2007).	61
Çizelge 3.12 : Hedeflenen deprem performansları (DBYBHY, 2007).	62
Çizelge 3.13 : Depremin istatistiksel olasılığı (DBYBHY, 2007).	63
Çizelge 3.14 : Depremin istatistiksel olasılığı (EN 1998, 2005).	64
Çizelge 3.15 : Yapısal elemanların performans düzeyleri (FEMA-356, 2000).	65
Çizelge 3.16 : Bina için göreceli kat yer değiştirme sınırları (FEMA-356, 2000).	66
Çizelge 3.17 : Taşıyıcı olmayan elemanlar için performans düzeyleri (FEMA-356, 2000).	66
Çizelge 3.18 : Bina performans düzeyleri (FEMA-356, 2000).	67
Çizelge 3.19 : Depremin istatistiksel olasılığı (FEMA-356, 2000).	68
Çizelge 3.20 : Hedeflenen bina performansları (FEMA-356, 2000).	69
Çizelge 3.21 : Kesit birim şekil değiştirme hasar sınırları (DBYBHY, 2007).	70
Çizelge 3.22 : Hasar sınırları için eksen dönmesi (EN 1998, 2005).	75
Çizelge 3.23 : Betonarme kolonlar için kesit dönmesi sınırları (FEMA-356, 2000). 76	
Çizelge 4.1 : Malzeme özellikleri için kullanılan simgeler (Berry ve diğ., 2004).	77
Çizelge 4.2 : Kolon geometrisi için kullanılan simgeler (Berry ve diğ., 2004).	78
Çizelge 4.3 : Enine donatı çeşitleri (Berry ve diğ., 2004).	79
Çizelge 5.1 : DBYBHY'de L1N60 performansı.	90
Çizelge 5.2 : Eurocode'da L1N60 performansı.	90
Çizelge 5.3 : FEMA'da L1N60 performansı.	90
Çizelge 5.4 : Hasar gözlemleri - L1N60.	90
Çizelge 5.5 : DBYBHY'de L1D6B performansı.	91
Çizelge 5.6 : Eurocode'da L1D6B performansı.	91
Çizelge 5.7 : FEMA'da L1D6B performansı.	91
Çizelge 5.8 : Hasar gözlemleri - L1D6B.	91
Çizelge 5.9 : DBYBHY'de C5-40N performansı.	92
Çizelge 5.10 : Eurocode'da C5-40N performansı.	92

Çizelge 5.11 : FEMA’da C5-40N performansı.....	92
Çizelge 5.12 : Hasar gözlemleri - C5-40N.	92
Çizelge 5.13 : DBYBHY’de C5-40S performansı.....	93
Çizelge 5.14 : Eurocode’da C5-40S performansı.	93
Çizelge 5.15 : FEMA’da C5-40S performansı.	93
Çizelge 5.16 : Hasar gözlemleri - C5-40S.	93
Çizelge 5.17 : DBYBHY’de C1-1 performansı.....	94
Çizelge 5.18 : Eurocode’da C1-1 performansı.	94
Çizelge 5.19 : FEMA’da C1-1 performansı.....	94
Çizelge 5.20 : Hasar gözlemleri - C1-1.	94
Çizelge 5.21 : DBYBHY’de C1-2 performansı.....	95
Çizelge 5.22 : Eurocode’da C1-2 performansı.	95
Çizelge 5.23 : FEMA’da C1-2 performansı.....	95
Çizelge 5.24 : Hasar gözlemleri - C1-2.	95
Çizelge 5.25 : DBYBHY’de C1-3 performansı.....	96
Çizelge 5.26 : Eurocode’da C1-3 performansı.	96
Çizelge 5.27 : FEMA’da C1-3 performansı.....	96
Çizelge 5.28 : Hasar gözlemleri - C1-3.	96
Çizelge 5.29 : DBYBHY’de C2-1 performansı.....	97
Çizelge 5.30 : Eurocode’da C2-1 performansı.	97
Çizelge 5.31 : FEMA’da C2-1 performansı.....	97
Çizelge 5.32 : Hasar gözlemleri - C2-1.	97
Çizelge 5.33 : DBYBHY’de C2-2 performansı.....	98
Çizelge 5.34 : Eurocode’da C2-2 performansı.	98
Çizelge 5.35 : FEMA’da C2-2 performansı.....	98
Çizelge 5.36 : Hasar gözlemleri - C2-2.	98
Çizelge 5.37 : DBYBHY’de C2-3 performansı.....	99
Çizelge 5.38 : Eurocode’da C2-3 performansı.	99
Çizelge 5.39 : FEMA’da C2-3 performansı.....	99
Çizelge 5.40 : Hasar gözlemleri - C2-3.	99
Çizelge 5.41 : DBYBHY’de C3-1 performansı.....	100
Çizelge 5.42 : Eurocode’da C3-1 performansı.	100
Çizelge 5.43 : FEMA’da C3-1 performansı.....	100
Çizelge 5.44 : Hasar gözlemleri - C3-1.	100
Çizelge 5.45 : DBYBHY’de C3-2 performansı.....	101
Çizelge 5.46 : Eurocode’da C3-2 performansı.	101
Çizelge 5.47 : FEMA’da C3-2 performansı.....	101
Çizelge 5.48 : Hasar gözlemleri - C3-2.	101
Çizelge 5.49 : DBYBHY’de C3-3 performansı.....	102
Çizelge 5.50 : Eurocode’da C3-3 performansı.	102
Çizelge 5.51 : FEMA’da C3-3 performansı.....	102
Çizelge 5.52 : Hasar gözlemleri - C3-3.	102
Çizelge 5.53 : DBYBHY’de BG-1 performansı.....	103
Çizelge 5.54 : Eurocode’da BG-1 performansı.	103
Çizelge 5.55 : FEMA’da BG-1 performansı.....	103
Çizelge 5.56 : Hasar gözlemleri - BG-1.	103
Çizelge 5.57 : DBYBHY’de BG-2 performansı.....	104
Çizelge 5.58 : Eurocode’da BG-2 performansı.	104
Çizelge 5.59 : FEMA’da BG-2 performansı.....	104
Çizelge 5.60 : Hasar gözlemleri - BG-2.	104

Çizelge 5.61 : DBYBHY’de BG-3 performansı.....	105
Çizelge 5.62 : Eurocode’da BG-3 performansı.	105
Çizelge 5.63 : FEMA’da BG-3 performansı.....	105
Çizelge 5.64 : Hasar gözlemleri - BG-3.	105
Çizelge 5.65 : DBYBHY’de BG-4 performansı.....	106
Çizelge 5.66 : Eurocode’da BG-4 performansı.	106
Çizelge 5.67 : FEMA’da BG-4 performansı.....	106
Çizelge 5.68 : Hasar gözlemleri - BG-4.	106
Çizelge 5.69 : DBYBHY’de BG-5 performansı.....	107
Çizelge 5.70 : Eurocode’da BG-5 performansı.	107
Çizelge 5.71 : FEMA’da BG-5 performansı.....	107
Çizelge 5.72 : Hasar gözlemleri - BG-5.	107
Çizelge 5.73 : DBYBHY’de BG-6 performansı.....	108
Çizelge 5.74 : Eurocode’da BG-6 performansı.	108
Çizelge 5.75 : FEMA’da BG-6 performansı.....	108
Çizelge 5.76 : Hasar gözlemleri - BG-6.	108
Çizelge 5.77 : DBYBHY’de BG-7 performansı.....	109
Çizelge 5.78 : Eurocode’da BG-7 performansı.	109
Çizelge 5.79 : FEMA’da BG-7 performansı.....	109
Çizelge 5.80 : Hasar gözlemleri - BG-7.	109
Çizelge 5.81 : DBYBHY’de BG-8 performansı.....	110
Çizelge 5.82 : Eurocode’da BG-8 performansı.	110
Çizelge 5.83 : FEMA’da BG-8 performansı.....	110
Çizelge 5.84 : Hasar gözlemleri - BG-8.	110
Çizelge 5.85 : DBYBHY’de BG-9 performansı.....	111
Çizelge 5.86 : Eurocode’da BG-9 performansı.	111
Çizelge 5.87 : FEMA’da BG-9 performansı.....	111
Çizelge 5.88 : Hasar gözlemleri - BG-9.	111
Çizelge 5.89 : DBYBHY’de BG-10 performansı.....	112
Çizelge 5.90 : Eurocode’da BG-10 performansı.	112
Çizelge 5.91 : FEMA’da BG-10 performansı.....	112
Çizelge 5.92 : Hasar gözlemleri - BG-10.	112
Çizelge 5.93 : DBYBHY’de U3 performansı.....	113
Çizelge 5.94 : Eurocode’da U3 performansı.	113
Çizelge 5.95 : FEMA’da U3 performansı.	113
Çizelge 5.96 : Hasar gözlemleri - U3.	113
Çizelge 5.97 : DBYBHY’de U4 performansı.....	114
Çizelge 5.98 : Eurocode’da U4 performansı.	114
Çizelge 5.99 : FEMA’da U4 performansı.	114
Çizelge 5.100 : Hasar gözlemleri - U4.	114
Çizelge 5.101 : DBYBHY’de U6 performansı.....	115
Çizelge 5.102 : Eurocode’da U6 performansı.	115
Çizelge 5.103 : FEMA’da U6 performansı.	115
Çizelge 5.104 : Hasar gözlemleri - U6.	115
Çizelge 5.105 : DBYBHY’de U7 performansı.....	116
Çizelge 5.106 : Eurocode’da U7 performansı.	116
Çizelge 5.107 : FEMA’da U7 performansı.	116
Çizelge 5.108 : Hasar gözlemleri - U7.	116
Çizelge 5.109 : DBYBHY’de No.5 performansı.....	117
Çizelge 5.110 : Eurocode’da No.5 performansı.	117

Çizelge 5.111 : FEMA’da No.5 performansı.....	117
Çizelge 5.112 : Hasar gözlemleri - No.5.	117
Çizelge 5.113 : DBYBHY’de No.6 performansı.....	118
Çizelge 5.114 : Eurocode’da No.6 performansı.	118
Çizelge 5.115 : FEMA’da No.6 performansı.....	118
Çizelge 5.116 : Hasar gözlemleri - No.6.	118
Çizelge 5.117 : DBYBHY’de No.7 performansı.....	119
Çizelge 5.118 : Eurocode’da No.7 performansı.	119
Çizelge 5.119 : FEMA’da No.7 performansı.....	119
Çizelge 5.120 : Hasar gözlemleri - No.7.	119
Çizelge 5.121 : DBYBHY’de No.8 performansı.....	120
Çizelge 5.122 : Eurocode’da No.8 performansı.	120
Çizelge 5.123 : FEMA’da No.8 performansı.....	120
Çizelge 5.124 : Hasar gözlemleri - No.8.	120
Çizelge 5.125 : DBYBHY’de A2 performansı.....	121
Çizelge 5.126 : Eurocode’da A2 performansı.	121
Çizelge 5.127 : FEMA’da A2 performansı.....	121
Çizelge 5.128 : Hasar gözlemleri - A2.	121
Çizelge 5.129 : DBYBHY’de B2 performansı.....	122
Çizelge 5.130 : Eurocode’da B2 performansı.....	122
Çizelge 5.131 : FEMA’da B2 performansı.....	122
Çizelge 5.132 : Hasar gözlemleri - B2.....	122
Çizelge A.1 : Numune bilgileri.....	152
Çizelge A.2 : Malzeme bilgileri.....	153
Çizelge A.3 : Geometrik özellikler.	154
Çizelge A.4 : Yükleme bilgileri.....	155
Çizelge A.5 : Boyutsuz veriler.....	156
Çizelge A.6 : Boyuna donatı özellikleri.....	157
Çizelge A.7 : Enine donatı özellikleri.....	158

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Tipik beton gerilme-şekildeğiştirme eğrisi.....	5
Şekil 2.2 : Beton dayanımının gerilme-şekildeğiştirme eğrisi ilişkisine etkisi (Celep ve Kumbasar, 2005).	5
Şekil 2.3 : Tekrarlanan yükler altında beton davranışı (Ersoy, 2007).	6
Şekil 2.4 : Geliştirilmiş Hognestad modeli (Hognestad, 1951).	6
Şekil 2.5 : Mander modeli (Mander ve diğ., 1988).	8
Şekil 2.6 : Mander modeli (DBYBHY, 2007).	8
Şekil 2.7 : Betonun üç eksenli gerilme altındaki davranışı (Ersoy, 2007).	9
Şekil 2.8 : Enine donatı uygulamaları.	10
Şekil 2.9 : Dairesel ve dikdörtgen kesit geometrisi için sargı etkisi (Celep ve Kumbasar, 2005).	11
Şekil 2.10 : Enine donatı düzeninin sargı etkisi üzerindeki önemi (Ersoy, 2007).	12
Şekil 2.11 : Kent ve Park beton modelleri (İnel ve diğ., 2008).	14
Şekil 2.12 : Saatcioglu ve Razvi beton modeli (İnel ve diğ., 2008).	17
Şekil 2.13 : Sheikh ve Uzumeri beton modeli (Ersoy, 2007)	19
Şekil 2.14 : Thompson ve Park beton modeli (Ersoy, 2007).	20
Şekil 2.15 : Donatı modeli (DBYBHY, 2007).	20
Şekil 2.16 : Betonarme kesitlerde moment-eğrilik ilişkisi (Özer, 2008).	23
Şekil 2.17 : Betonarme elemanlarda eğilme momenti-eğilme rijitliği ilişkisi(Celep ve Gençoğlu, 2008).	23
Şekil 2.18 : Kiriş mesnet ve açıklık kesitlerinde eğrilik ve plastik mafsalsal (Celep, 2007).	24
Şekil 2.19 : Eğilme etkisindeki betonarme kolonların moment ve eğrilik diyagramı (Özmen ve diğ., 2007).	25
Şekil 2.20 : İdealleştirilmiş eğrilik diyagramı (Celep ve Kumbasar, 2004).	25
Şekil 2.21 : Konsol kolonda plastik mafsalsal uzunluğu (Park ve Paulay, 1975).	27
Şekil 2.22 : z veya L; eğilme olmayan noktadan kritik kesite olan mesafe (Bae, 2005).	28
Şekil 2.23 : Eksenel yükün eğrilik ve basınç şekildeğiştirmesine etkisi (Bae, 2005).	31
Şekil 2.24 : Plastik mafsalsal uzunluğu-eksenel yük düzeyi ilişkisi (Bae, 2005).	31
Şekil 2.25 : Plastik mafsalsal uzunluğu-kesme açıklığı/kesit derinliği oranı ilişkisi (Bae, 2005).	32
Şekil 2.26 : Plastik mafsalsal uzunluğu-boyuna donatı oranı ilişkisi (Bae, 2005).	32
Şekil 2.27 : 40x40 cm betonarme kolon kesiti.	34
Şekil 3.1 : Moment-dönme ilişkisinde pekleşme etkisi (DBYBHY, 2007).	50
Şekil 3.2 : Moment statik itme eğrisi (Celep, 2008).	51
Şekil 3.3 : Modal kapasite eğrisi (Celep, 2008).	51
Şekil 3.4 : Pozitif eğimli idealleştirilmiş yatay kuvvet-şekildeğiştirme eğrisi (FEMA-356, 2000).	57

Şekil 3.5 : Negatif eğimli idealleştirilmiş yatay kuvvet-şekildeğiştirme eğrisi (FEMA-356, 2000).	58
Şekil 3.6 : Genelleştirilmiş kuvvet-şekildeğiştirme ilişkisi (FEMA-356, 2000).	59
Şekil 3.7 : Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri (DBYBHY, 2007).	60
Şekil 3.8 : Bina deprem performansı (Celep ve Gençoğlu, 2009).	62
Şekil 3.9 : Yapısal performans düzeyleri ve yerdeğiştirme (Yılmaz, 2006).	68
Şekil 3.10 : Bina performans ve deprem etki düzeyi (Celep ve Kumbasar, 2004).	69
Şekil 3.11 : Eurocode-eksen dönmesi (Özal, 2005).	71
Şekil 4.1 : Dikdörtgen kolona ait boyuna donatı düzeni (Berry ve diğ., 2004).	78
Şekil 4.2 : Enine donatı düzenleri I (Berry ve diğ., 2004).	79
Şekil 4.3 : Enine donatı düzenleri II (Berry ve diğ., 2004).	80
Şekil 4.4 : Deney biçimleri (Berry ve diğ., 2004).	82
Şekil 4.5 : Sünek göçme ve akma yerdeğiştirmesi tanımı (Berry, Eberharde, 2003)	83
Şekil 4.6 : Kuvvet-yerdeğiştirme düzeltmeleri (Berry ve diğ., 2004).	84
Şekil 4.7 : Hasar kabulü.	86
Şekil 6.1 : Yönetmeliklere ait minimum hasar sınırı yerdeğiştirmeleri ve deneysel olarak saptanmış olan akma yerdeğiştirmeleri.	126
Şekil 6.2 : DBYBHY'ye göre minimum hasar sınırı için aşılma oranı (Δ_{MN}/Δ_y).	127
Şekil 6.3 : Eurocode'a göre minimum hasar sınırı için aşılma oranı (Δ_{MN}/Δ_y).	127
Şekil 6.4 : FEMA'ya göre minimum hasar sınırı için aşılma oranı (Δ_{MN}/Δ_y).	127
Şekil 6.5 : Yönetmeliklere ait güvenlik sınırı yerdeğiştirmeleri ve deneysel olarak saptanmış olan beton hasarı yerdeğiştirmeleri.	131
Şekil 6.6 : DBYBHY'ye göre güvenlik sınırı için aşılma oranı ($\Delta_{GV}/\Delta_{\text{beton hasarı}}$). ..	132
Şekil 6.7 : Eurocode'a göre güvenlik sınırı için aşılma oranı ($\Delta_{GV}/\Delta_{\text{beton hasarı}}$).	132
Şekil 6.8 : FEMA'ya göre güvenlik sınırı için aşılma oranı ($\Delta_{GV}/\Delta_{\text{beton hasarı}}$).	132
Şekil 6.9 : Yönetmeliklere ait göçme sınırı yerdeğiştirmeleri ve deneysel olarak saptanmış olan ileri beton hasarı yerdeğiştirmeleri.	134
Şekil 6.10 : DBYBHY'ye göre göçme sınırı için aşılma oranı ($\Delta_{GC}/\Delta_{\text{İleri Beton H.}}$). ..	135
Şekil 6.11 : Eurocode'a göre göçme sınırı için aşılma oranı ($\Delta_{GC}/\Delta_{\text{İleri Beton H.}}$).	135
Şekil 6.12 : FEMA'ya göre göçme sınırı için aşılma oranı ($\Delta_{GC}/\Delta_{\text{İleri Beton H.}}$).	135
Şekil 6.13 : Minimum hasar sınırı için eksenel yük oranı-görelî kat ötelemesi ilişkisi.	137
Şekil 6.14 : Güvenlik sınırı için eksenel yük oranı-görelî kat ötelemesi ilişkisi.	137
Şekil 6.15 : Göçme sınırı için eksenel yük oranı-görelî kat ötelemesi ilişkisi.	137
Şekil 6.16 : Minimum hasar sınırı için açıklık/kesit derinliği oranı-görelî kat ötelemesi ilişkisi.	138
Şekil 6.17 : Güvenlik sınırı için açıklık/kesit derinliği oranı-görelî kat ötelemesi ilişkisi.	138
Şekil 6.18 : Göçme sınırı için açıklık/kesit derinliği oranı-görelî kat ötelemesi ilişkisi.	138
Şekil 6.19 : Minimum hasar sınırı için boyuna donatı oranı-görelî kat ötelemesi ilişkisi.	140
Şekil 6.20 : Güvenlik sınırı için boyuna donatı oranı-görelî kat ötelemesi ilişkisi.	140
Şekil 6.21 : Göçme sınırı için boyuna donatı oranı-görelî kat ötelemesi ilişkisi.	140
Şekil 6.22 : Minimum hasar sınırı için ρ_{wy}/f_c oranı-görelî kat ötelemesi ilişkisi. ..	141
Şekil 6.23 : Güvenlik sınırı için ρ_{wy}/f_c oranı-görelî kat ötelemesi ilişkisi.	141
Şekil 6.24 : Göçme sınırı için ρ_{wy}/f_c oranı-görelî kat ötelemesi ilişkisi.	141
Şekil A.1 : Boyuna donatı düzeni örnekleri.	157

SEMBOL LİSTESİ

a ,	komşu iki boyuna donatının eksenleri arası uzaklık;
a_x ,	b_x boyunca tutulan boyuna donatılar arası mesafe;
a_y ,	b_y boyunca tutulan boyuna donatılar arası mesafe;
b ,	kesit genişliği;
b_c ,	çekirdek betonun genişliği (enine donatının ekseninden, eksenine);
b_i ,	tutulu boyuna donatılar arası eksen uzaklığı;
b_k ,	çekirdek betonunun kısa kenarı;
b_x ,	enine donatı merkezinden ölçülen çekirdek betonun x doğrultusuna paralel boyutu;
b_y ,	enine donatı merkezinden ölçülen çekirdek betonun y doğrultusuna paralel boyutu;
c ,	tarafsız eksen derinliği;
d ,	kesit çapı;
d ,	çekme donatısı derinliği;
d_b ,	boyuna donatı çapı;
d' ,	basınç donatısı derinliği;
f_c ,	beton basınç dayanımı;
f_{cc} ,	sargılı betonun basınç dayanımı;
f_{co} ,	sargısız betonun basınç dayanımı;
f'_c ,	beton silindir basınç dayanımı;
f_e ,	etkin yanal sargı basıncı;
f_{eex} ,	x doğrultusunda oluşan etkin sargı basıncı;
f_{eey} ,	y doğrultusunda oluşan etkin sargı basıncı;
f_u ,	boyuna donatı kopma dayanımı;
f_{uw} ,	enine donatı kopma dayanımı;
f_y ,	boyuna donatı akma dayanımı;
f_{yw} ,	enine donatı akma dayanımı;
h ,	kesit derinliği;
h_c ,	çekirdek betonun derinliği (enine donatının ekseninden, eksenine);
h' ,	sargılı beton kısmının etriye dışından etriye dışına genişliği;
l_p ,	plastik mafsallık uzunluğu;
n ,	boyuna donatı sayısı;
q ,	çekme donatısı mekanik oranı;
q_b ,	dengeli çekme donatısı mekanik oranı;
q' ,	basınç donatısı mekanik oranı;
s ,	enine donatı aralığı;
s' ,	enine donatı net aralığı;
z ,	kuvvet kolu;
A_o ,	enine donatı kesit alanı;
A_{ck} ,	beton çekirdek alanı;
A_g ,	kesit brüt alanı;
A_s ,	toplam boyuna donatı alanı;

A_{sg} ,	gövde donatılarının alanlarının toplamı;
A_{shx} ,	x doğrultusunda uzanan toplam enine donatı kesit alanı;
A_{shy} ,	y doğrultusunda uzanan toplam enine donatı kesit alanı;
A_{sy} ,	toplam boyuna donatı alanı;
A_{s1} ,	çekmeye çalışan boyuna donatıların (gövde donatıları hariç) alanları toplamı;
A_{s2} ,	basınca çalışan boyuna donatıların alanlarının toplamı;
C_0 ,	tek serbestli dereceli sistemden elde edilen spektral yerdeğiştirmeyi çok serbestlik dereceli binanın hedef yerdeğiştirmesi ile ilişkilendiren katsayı;
C_1 ,	beklenen en büyük elastik ötesi yerdeğiştirmeyi doğrusal elastik davranış kabulü ile hesaplanan yerdeğiştirmeyle ilişkilendiren katsayı;
C_2 ,	deprem etkisindeki çevrimsel davranış şeklinin en büyük yerdeğiştirmeye olan etkisini temsil eden katsayı;
C_3 ,	dinamik P- Δ etkisi ile yerdeğiştirmedeki artışı göz önüne alan katsayı;
E_c ,	beton elastisite modülü;
E_s ,	donatı elastisite modülü;
E_{sh} ,	donatı pekleşme modülü;
F_{ab} ,	Δ_{ab} şekildeğiştirmesini oluşturan kuvvet;
F_{ci} ,	beton elastisite faktörü;
F_{eff} ,	maksimum kuvvet (taban momenti/kesme açıklığı);
F_H ,	net yatay kuvvet (kolon kesme kuvveti);
F_{rep} ,	rapor edilen yatay yük;
$F_{0.004}$,	akma yerdeğiştirmesine karşı gelen kuvvet;
K ,	yanal basınç katsayısı;
L ,	ankastre kolonun yüksekliği;
L ,	eğilme olmayan noktadan kritik kesite olan mesafe;
L_{alt} ,	kolon tabanı ile temel tabanı arasındaki düşey mesafe;
L_{hesap} ,	yerdeğiştirme etkisinin kolona uygulandığı noktadan, kolonun tabanına kadar olan mesafe;
$L_{üst}$,	eksenel yükün uygulandığı yer ile yatay yerdeğiştirmenin ölçüldüğü nokta arasındaki düşey mesafe;
L_V ,	kesme açıklığı;
M_{base} ,	taban momenti;
P ,	eksenel yük;
P ,	pekleşme bölgesi derecesi;
P_o ,	kesitin taşıyabileceği maksimum eksenel yük;
Q ,	genelleştirilmiş kuvvet;
Q_y ,	akma dayanımı;
R ,	gerekli elastik dayanımın akma dayanımına oranı;
S_a ,	etkili T_e periyoduna karşı gelen spektral ivme;
V ,	hesap kesme kuvveti;
V_y ,	akma dayanımı;
α ,	sargı etki faktörü;
α_v ,	eğilme momenti diyagramı düzeltmesi katsayısı;
α_x ,	enine donatı ve b_x arasındaki açı;
α_y ,	enine donatı ve b_y arasındaki açı;
β_x ,	x doğrultusundaki etkili sargı basıncı katsayısı;
β_y ,	y doğrultusundaki etkili sargı basıncı katsayısı;
γ_{el} ,	eleman önem katsayısı;
ε_c ,	beton birim şekildeğiştirmesi;
ε_{ce} ,	elastik beton basınç şekildeğiştirmesi;

ϵ_{cg} ,	GV ve GÇ için, etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi;
ϵ_{cc} ,	sargılı betonun maksimum gerilmeye ulaştığı birim şekildeğiştirmesi;
ϵ_{co} ,	sargısız betonun maksimum gerilmeye ulaştığı birim şekildeğiştirmesi;
ϵ_{cu} ,	betonun nihai birim şekildeğiştirmesi;
ϵ_{c1} ,	sargılı betonun maksimum gerilmeye ulaştığı birim şekildeğiştirmesi;
ϵ_{c2} ,	sargılı betonun maksimum gerilmeye yapabileceği maksimum birim şekildeğiştirmesi;
ϵ_{cu}' ,	sargısız betonda kabuk betonun dökülmesi sonrasında nihai birim şekildeğiştirmesi;
ϵ_s ,	donatı birim şekildeğiştirmesi;
ϵ_{sh} ,	donatının peklemeye başladığı birim şekildeğiştirmesi;
ϵ_{su} ,	donatı nihai birim şekildeğiştirmesi;
ϵ_{sy} ,	donatı akma birim şekildeğiştirmesi;
θ ,	kesit dönmesi;
θ_i ,	eksen dönmesi;
θ_p ,	plastik eksen dönmesi;
θ_y ,	akma anındaki eksen dönmesi;
λ_c ,	sargılı beton dayanımının sargısız beton dayanımına oranı;
μ_ϕ ,	yerdeğiştirme sünekliği;
μ ,	göçme yerdeğiştirme sünekliği;
v ,	eksenel yük oranı;
ρ_{cc} ,	toplam boyuna donatının beton çekirdek alanına oranı;
ρ_d ,	diagonal donatı oranı;
ρ_s ,	kesitte bulunan özel deprem etriye ve çirozları olarak düzenlenmiş enine donatının hacimsel oranı;
ρ_{s_e} ,	hacimsel enine donatı oranı;
ρ_{sm} ,	kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranı;
ρ_{sx} ,	yüklemeye doğrultusuna paralel enine donatı oranı;
σ_c ,	beton gerilmesi;
σ_s ,	donatı gerilmesi;
σ_l ,	yanal basınç gerilmesi;
ϕ ,	eğrilik;
ϕ_p ,	plastik eğriliği;
ϕ_t ,	toplam eğrilik;
ϕ_y ,	akma eğriliği;
ω_1 ,	çekmeye çalışan boyuna donatıların mekanik oranı;
ω_2 ,	basınca çalışan boyuna donatıların mekanik oranı;
Δ ,	maksimum tepe yerdeğiştirmesi;
Δ_{ab} ,	yatay kuvvet altındaki elemanda, akma başlangıcına karşı gelen birim şekildeğiştirmesi;
Δ_y ,	akma yerdeğiştirmesi.

BETONARME KOLONLAR İÇİN DBYBHY 2007, EUROCODE 8 VE FEMA 356 İLE YAPILAN PERFORMANS DEĞERLENDİRMELERİNİN DENEY SONUÇLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Yapı ve yapı elemanlarının doğrusal olmayan deprem performansının belirlenmesi ve değerlendirilmesi konusu son yıllarda önem kazanmıştır. Yapı ve yapı elemanlarının gerçekçi şekilde davranışının belirlenmesi; tasarım safhasında güvenli ve ekonomik bir tasarım imkanı sunarken, deprem sonrasında yapının değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi konularında belirleyici bir faktör olmaktadır.

Doğrusal elastik olmayan yöntemler; yapının elastik ötesi davranışını göz önünde bulundurarak yapının gerçeğe yakın davranışının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bununla beraber yapı ve yapı elemanlarının çeşitliliği, değişkenlerin fazlalığı göz önüne alındığında performansların belirlenmesinde doğrusal elastik olmayan yöntemler tarafından yapılan kabuller ve kriterler tartışmaya açılmaktadır.

Bu çalışmada; ilk olarak doğrusal elastik olmayan davranışın daha iyi anlaşılabilmesi için gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları, sargısız ve sargılı beton modelleri, moment-eğrilik ilişkisi, plastik mafsallı hipotezi, plastik mafsallı uzunluğu hakkında bilgi verilmiştir. Verilen bilgiler ışığında, mevcut yapı ve yapı elemanlarının deprem performansının belirlenmesi ve deprem güvenliği hususları; Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007, Eurocode 8 ve FEMA 356 yönetmelikleri dikkate alınarak karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Yönetmeliklerin karşılaştırılmasını takiben; PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) veri tabanında bulunan, farklı araştırmacılar tarafından yapılmış betonarme kolon deneyleri araştırılmış ve incelenmiştir. Yatay yükler etkisi altında bulunan, farklı özelliklere sahip sünek betonarme kolonların; Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007, Eurocode 8 ve FEMA 356'ya göre performansları belirlenmiştir. Betonarme kolonların gerçeğe en yakın davranışının deney sonuçlarıyla belirlendiği kabul edilerek, yönetmeliklere göre belirlenen performanslar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Belirtilen yönetmelikler kullanılarak elde edilen sonuçların deneysel sonuçlara yakınlığı, yönetmelikler arası farklılıklar ve yönetmeliklerin performans belirlemede etkili olan faktörler ortaya koyulmuştur. Bulgulara göre; hem yönetmelikler birbirinden çok farklı sonuçlar vermekte, hem de deneysel sonuçlar ile oldukça uyumsuz neticeler ortaya çıkmaktadır.

EVALUATION OF PERFORMANCE ASSESSMENTS OF DBYBHY 2007, EUROCODE 8 AND FEMA 356 FOR RC COLUMNS CONSIDERING EXPERIMENTAL DATA

SUMMARY

In recent years, performance assessment of structures and structural components through nonlinear analysis has been one of the main research areas of structural engineering. Nonlinear structural analysis is an important tool for both design of new structures economically and seismic safety assessment of existing structures.

While nonlinear inelastic analysis is preferred for being more realistic with respect to linear elastic analysis, many assumptions made for analysis, large variation of characteristics of structural members, and different approaches of the available standards make the nonlinear structural performance analysis results negotiable.

In this study, after a brief introduction of material stress-strain models, moment-curvature relationship and plastic hinge concept, Turkish Seismic Design Code (DBYBHY 2007), Eurocode 8, FEMA 356 are compared in terms of seismic performance assessment.

After comparison of codes, a number of experimental results obtained from PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) database are analyzed considering the damages and displacements of the specimens in a comparative manner with respect to the corresponding given limits in the codes mentioned above.

Finally, the predictions of the methods given in the codes are compared with each other as well as the experimental results. The comparisons showed that the performance predictions of the codes may remarkably differ and may significantly contradict with experimental results.

1. GİRİŞ

Yerkabuğu içindeki kırılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yeryüzeyini sarsma olayına deprem denir (Url-1, 2010). Depremlerin oluş anı; önceden kestirilemediği gibi, depremlerin yıkıcı etkilerinin önüne geçmek de kolay değildir. Yüzyıllardır dünya genelinde küçük, orta ve büyük ölçekli birçok deprem meydana gelmiş, can kayıpları yaşanmış, maddi hasarlar gerçekleşmiş, milyonlarca insan dolaylı ve dolaysız yollardan depremden etkilenmiştir.

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle en etkili deprem kuşaklarından birinin üzerinde yer almaktadır. Ciddi bir deprem potansiyeline sahip olan ülkemizde, yürürlükte olan Deprem Bölgeleri Haritası'na göre; yüzölçümümüzün %92'sinin deprem bölgeleri içerisinde olduğu, nüfusumuzun %95'inin deprem tehlikesi altında yaşadığı ve ayrıca büyük sanayi merkezlerinin %98'i ve barajlarımızın %93'ünün deprem bölgesinde bulunduğu bilinmektedir. Çok büyük bir bölümü deprem riski altında olan ülkemizde; son 58 yıl içerisinde depremlerden, 58202 vatandaşımız hayatını kaybetmiş, 122096 kişi yaralanmış ve yaklaşık olarak 411465 bina yıkılmış veya ağır hasar görmüştür (Url-1, 2010).

Bu gerçekler doğrultusunda, depreme dayanıklı yapı tasarımının ve deprem sonrası yapıların değerlendirilmesinin önemi bir kez daha gözler önüne serilmektedir. Dolayısıyla yapıların tasarımı ve değerlendirilmesi konularında yürürlükte olan mevcut yönetmeliklerin yaklaşımlarının gerçekçiliği büyük önem taşımaktadır.

Yapıların değerlendirilmesinde; deprem yükü etkisinde yapıda oluşabilecek hasarların ve binanın performansının mümkün olduğunca gerçeğe yakın bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Yapı ve yapı elemanlarının gerçekçi şekilde davranışının belirlenmesi; tasarım safhasında güvenli ve ekonomik bir tasarım imkanı sunarken, deprem sonrasında yapının değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi konularında belirleyici bir faktör olmaktadır.

Doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemler; yapının elastik ötesi davranışını çeşitli kabuller doğrultusunda göz önünde bulundurarak yapının davranışının gerçeğe en yakın şekilde belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bununla beraber yapı ve yapı elemanların çeşitliliği, değişkenlerin fazlalığı göz önüne alındığında performansların belirlenmesinde bu yöntemlerin daima doğru sonucu verdiğini söylemek doğru değildir.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmada; ilk olarak doğrusal elastik olmayan davranışın daha iyi anlaşılabilmesi için gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları, sargısız ve sargılı beton modelleri, moment-eğrilik ilişkisi, plastik mafsallı hipotezi, plastik mafsallı uzunluğu hakkında bilgi verilmiştir. Verilen bilgiler ışığında, mevcut yapı ve yapı elemanlarının deprem performansının belirlenmesi ve deprem güvenliği hususlarında; DBYBHY (2007), Eurocode (2005) ve FEMA (2000) yönetmeliklerinde kullanılan hesap yöntemleri, yapılan kabuller, performans hedefleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Yönetmeliklerin karşılaştırılmasını takiben; PEER veri tabanında (The Structural Performance Database, 2003) bulunan, farklı araştırmacılar tarafından yapılmış betonarme kolon deneyleri araştırılmış ve incelenmiştir. Deprem etkisini benzeştiren yatay yükler altında deneye tabi tutulan bulunan, farklı özelliklere sahip betonarme kolonların; DBYBHY, Eurocode ve FEMA'ya göre performans sınırları belirlenmiştir. Betonarme kolonların gerçeğe en yakın davranışının deney sonuçlarıyla belirlendiği kabul edilerek; yönetmeliklere göre belirlenen performans sınırları deneysel karşılaştırılmıştır. Performans sonuçlarının gerçeğe yakınlığı, yönetmelikler arası farklılıklar, yönetmeliklerde performans belirlemesine etkileyen faktörler, deprem güvenlikleri ve performans hedefleri karşılaştırılarak yönetmelikler arası farklılıklar ortaya konulmuştur.

Tez kapsamında incelenen üç farklı yönetmeliğin farklı özelliklere sahip kolonlar için tanımladığı performans sınırları birbirleri ile karşılaştırılmış, yönetmeliklerin verdiği sınırların birbirinden çok farklı olabildiği görülmüştür. Bunun da bir sonucu olarak yönetmeliklerce tahmin edilen performans sınırlarının yapılmış olan deneylerde elde edilen sonuçlar ile önemli düzeyde uyumsuz olabileceği görülmüştür.

2. MALZEME DAVRANIŞLARI

Betonarme; betonun içerisine çelik donatıların yerleştirilmesi sonucu elde edilen kompozit bir malzemedir. Betonarme, beton ile çeliğin birbirlerinin zayıf yönlerini tamamlayarak birlikte çalışması prensibine dayanır. Beton, basınç dayanımı yüksek fakat çekme dayanımı düşük bir malzemedir. Bu nedenle betonun içerisine çelik elemanlar yerleştirilerek betonda oluşan çekme gerilmeleri karşılanır. Ayrıca beton, çelik malzemeyi sararak; çeliği korozyon, yangın gibi dış etkilere korumaktadır. Kompozit malzemeler için en önemli hususlardan biri de malzemelerin beraber çalışmasıdır. Bu konuda beton ile çelik uyum içerisinde. Beton ile çelik arasında sıyrılma olmadan, farklı deformasyonlar olmadan oluşan gerilme geçişleri (aderans); bu iki farklı malzemenin bir birini tamamlamasını sağlamakta ve beraber çalışmalarını mümkün kılmaktadır.

Her malzeme gibi, betonun da kendine özgü ve dış etkenlerle bağlantılı özellikleri mevcuttur. Beton, çekme dayanımı düşük ve gevrek bir malzeme olduğundan depreme dayanıklı yapılarda kullanılabilmesi için sünekliğinin artırılması gerekmektedir. Bunun için farklı uygulamalar (Lifli polimer sargılama, çelik, tüp) mümkünse de yurdumuzda ve dünyada özellikle mevcut yapılarda kullanılan en yaygın yöntem, beton çekirdeğinin belirli aralıklarla enine donatılar vasıtasıyla sarılmasıdır. Bu enine donatı, sargı donatısı olarak da adlandırılmaktadır.

Sargı donatısı, eksenel gerilmeler altındaki çekirdek betonunun yanıl deformasyonunu sınırlar. Sınırlanan deformasyon nedeniyle çekirdekteki betona yanıl basınç uygulanır. Yanıl basınç; tek eksenli basınç durumunu üç eksenli basınç durumuna çevirerek betonun dayanımını ve özellikle sünekliğini önemli ölçüde artırır. Betonarme taşıyıcı elemanların tümel yapı malzemelerinden olan betonun dayanımı ve sünekliği, özellikle yön değıştiren tekrarlı yüklere maruz kalan yapılar için büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla yapının performansı ile yakından ilgilidir.

Sonuç itibarıyla çok değışkenli bir mukavemet problemi olan betonun davranışı, tek eksenli basınç durumu altında gerilme-şekildeğıştirme (σ - ϵ) ilişkisi ile modellenmiştir.

Sargılı betonun davranışı, sargısız betonun davranışından çok daha değişik olması nedeniyle betonu sargısız ve sargılı olarak olmak üzere iki farklı kategoride düşünmek mümkündür. Bu bölümde ilk olarak sargısız beton modelleri, devamında sargılı beton ve donatı modelleri incelenecektir. İkinci bölümde; plastik mafsal konusu üzerinde durulacak, moment eğrilik ilişkisi, plastik mafsal tanımı, plastik mafsal uzunluğu konuları ele alınacaktır.

2.1 Yapı Malzemeleri İçin Matematiksel Modeller

Yapı mühendisliğinde bir mekanik problemin çözümünde izlenecek yol, üç aşamada özetlenebilir;

- Denge koşullarının sağlanması,
- Uygunluk koşullarının sağlanması,
- Malzemeler için gerilme-birim şekildeğiştirme ilişkilerinin belirlenmesi.

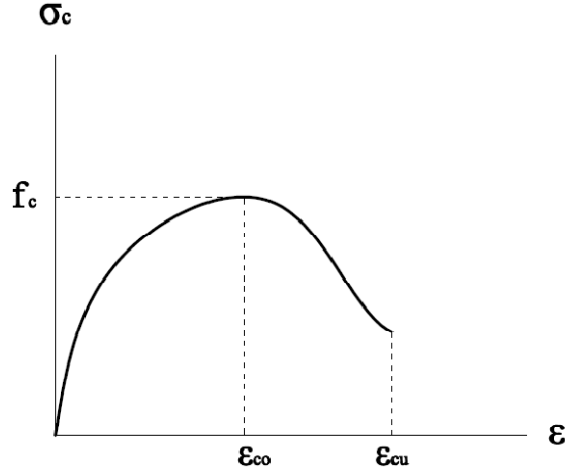
Bu üç aşamanın yalnızca son aşamasında malzeme özellikleri dikkate alınır ve malzeme özelliklerinin birim şekildeğiştirme ilişkisi üzerindeki etkisi büyüktür (Ersoy, 2007).

2.1.1 Betonun gerilme-şekildeğiştirme özellikleri

Betonun basınç dayanımının çekme dayanımı yanında çok yüksek olması ve betonun çekme dayanımının çok düşük olması nedeniyle betonun katkısı çoğu kez betonun sadece basınca maruz kalması durumunda dikkate alınır. Betonun gerilme-şekildeğiştirme özellikleri genellikle; taban çapı 150 mm, yüksekliği 300 mm olan, uygun koşullarda hazırlanmış silindir numunelerin tek eksenli yüklemeye maruz bırakılması sonucunda elde edilir.

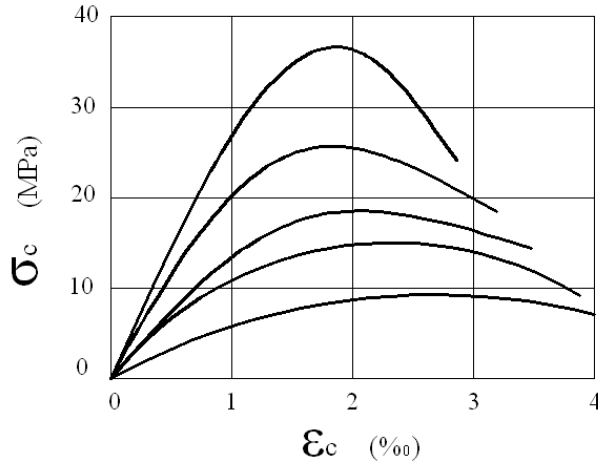
Betonun gerilme-şekildeğiştirme ilişkisine etki edecek birçok değişken olduğu bilinmektedir; betonun dayanımı, uygulanan yükün türü, yükün uygulama hızı, yük geçmişi, kesit geometrisi, sargı etkisi bu değişkenlerin en önemlileri arasındadır. Bu nedenle tek bir gerilme-şekildeğiştirme eğrisinden bahsetmek doğru değildir. Bununla beraber beton için genelleştirilmiş tipik bir gerilme-şekildeğiştirme eğrisinden bahsedilebilir.

Betona ait tipik gerilme-şekildeğiştirme eğrisi Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi eğri başlangıç kısımlarında doğrusala yakın davranmakla beraber doğrusal değil, paraboliktir. Devamında ise maksimum gerilmeye karşı gelen birim kısalma aşıldığında gerilme azalmasına rağmen deformasyon artmaktadır.



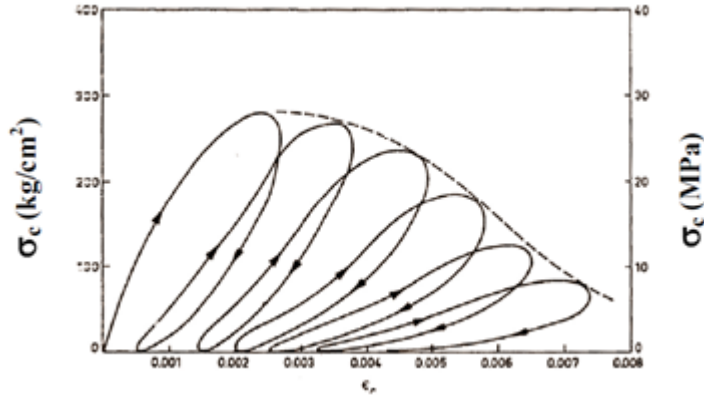
Şekil 2.1 : Tipik beton gerilme-şekildeğiştirme eğrisi.

Betona ait gerilme-şekildeğiştirme özellikleri, beton dayanımına göre değişmektedir. Beton dayanımı arttıkça, betonun şekildeğiştirme yeteneği azalmaktadır; bununla beraber gerilme-şekildeğiştirme eğrilerinin başlangıcındaki eğimi (elastisite modülü) artmakta ve tepe noktaları keskinleşmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 : Beton dayanımının gerilme-şekildeğiştirme eğrisi ilişkisine etkisi (Celep ve Kumbasar, 2005).

Deprem, rüzgar, mekanik titreşimler gibi yön değiştiren tekrarlı yükler altında betonun davranışı incelendiğinde elde edilen zarf eğrisi, monoton artan yükler altında elde edilen eğri ile özdeştir. Bununla beraber yükleme ve boşaltma aşamaları da incelendiğinde ciddi değişiklikler gözlemlenir (Şekil 2.3).

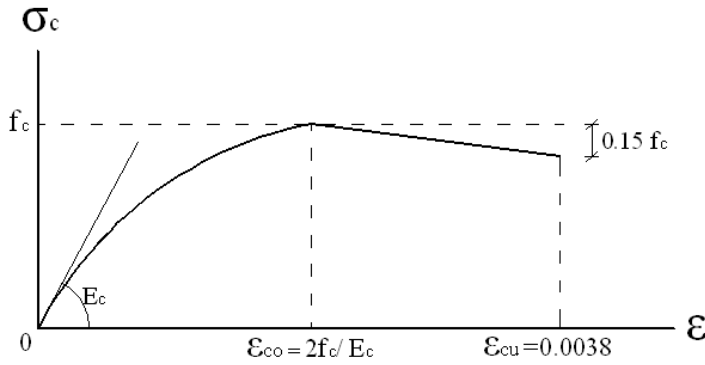


Şekil 2.3 : Tekrarlanan yükler altında beton davranışı (Ersoy, 2007).

2.1.2 Sargısız beton modelleri

2.1.2.1 Geliştirilmiş Hognestad modeli (Hognestad, 1951)

Geliştirilmiş Hognestad Modeli'nde maksimum gerilme için oluşan şekildeğiştirme değerine kadar parabolik artar, sonrasında doğrusal olarak düşer. Model 0.0038 nihai şekildeğiştirme değerine kadar geçerlidir (Hognestad, 1951).



Şekil 2.4 : Geliştirilmiş Hognestad modeli (Hognestad, 1951).

Şekil 2.4'te Geliştirilmiş Hognestad Modeli (1951) ile elde edilmiş olan bir gerilme-birim şekildeğiştirme eğrisi verilmiştir. Eğriye ait denklemler aşağıda verilmiştir.

$$\sigma_c = f_c \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} \right)^2 \right] \quad \varepsilon_c \leq \varepsilon_{co} \quad (2.1a)$$

$$\sigma_c = f_c \left[1 - \left(\frac{0.15(\varepsilon_c - \varepsilon_{co})}{\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{co}} \right) \right] \quad \varepsilon_{co} < \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu} \quad (2.1b)$$

$$f_c = 0.85 f'_c \text{ (MPa)} \quad (2.2)$$

$$\varepsilon_{co} = \frac{2 f_c}{E_c} \quad (2.3)$$

$$E_c = 12680 + 460f_c \text{ (MPa)} \quad (2.4)$$

Burada; σ_c , beton gerilmesi; ε_c , beton birim şekildeğiştirme; ε_{co} , sargısız betonun maksimum gerilmeye ulaştığı birim şekildeğiştirme değeri; ε_{cu} , betonun nihai birim şekildeğiştirme değeri; f_c , betonun basınç dayanımı; f'_c , beton silindir basınç dayanımı; E_c , beton elastisite modülüdür.

2.1.2.2 Sargısız beton için Mander modeli (Mander ve diğ., 1988)

Mander ve diğ. (1988) tarafından sargılı beton için geliştirilen teorik gerilme-şekildeğiştirme modelinde, sargı etkisinin göz önüne alınmaması durumunda bu model sargısız beton için de geçerli olmaktadır (Şekil 2.5). Bölüm 2.1.4.2’de sargılı beton için Mander modeli ayrıntılarıyla incelenmiştir. Sargısız beton için, sargılı beton modelindeki betonda etkin sargılama basıncı $f_c=0$ alınır ve Denklem 2.17’den $\lambda_c=1$ olur. $\lambda_c=1$ olması nedeniyle Denklem 2.18 ve Denklem 2.20’den $f_{cc}=f_{co}$ ve $\varepsilon_{cc}=\varepsilon_{co}$ değerleri elde edilir. Eğriye ait denklemler aşağıda verilmiştir.

$$\sigma_c = \frac{f_{co} x r}{r - 1 + x^r} \quad \varepsilon_c \leq 2 \varepsilon_{co} \quad (2.5a)$$

$$\sigma_c = f_{co} \left(\frac{2 r}{r - 1 + 2^r} \right) \left(1 - \frac{\varepsilon_c - 2 \varepsilon_{co}}{\varepsilon_{cu} - 2 \varepsilon_{co}} \right) \quad 2 \varepsilon_{co} < \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu} \quad (2.5b)$$

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} \quad (2.6)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (2.7)$$

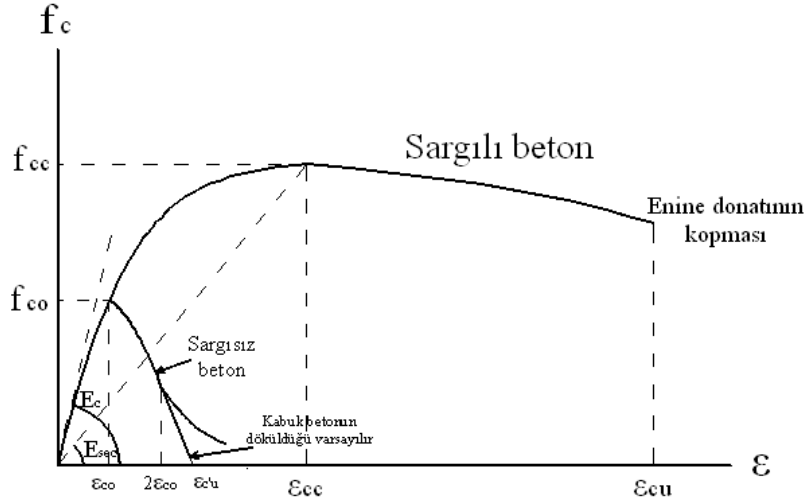
$$E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (2.8)$$

$$E_c = 5000\sqrt{f_c} \text{ (MPa)} \quad (2.9)$$

Burada; ε_{cc} , sargılı betonun maksimum gerilmeye ulaştığı birim şekildeğiştirme değeri; ε_{cu} , sargısız betonda kabuk betonun dökülmesi sonrasında nihai birim şekildeğiştirme değeri; f_{cc} , sargılı betonun basınç dayanımı; f_{co} , sargısız betonun basınç dayanımı; E_{sec} , beton kesitin sekant modülüdür.

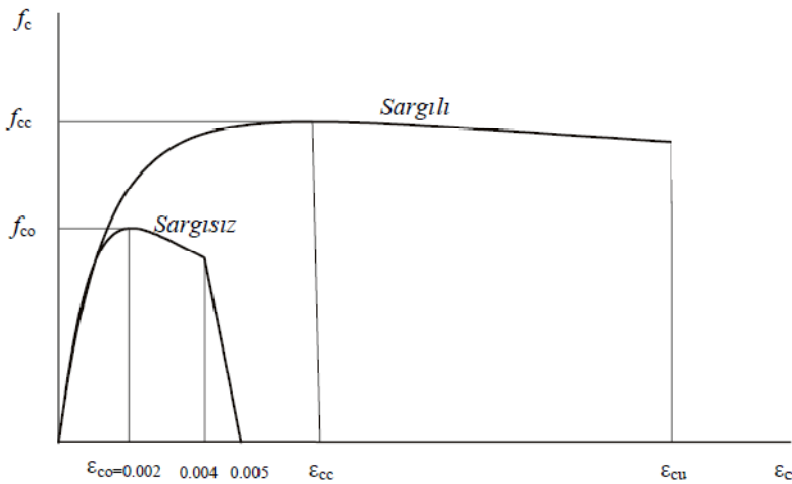
Şekil 2.5’te Mander beton modelinin sargısız beton ve sargılı beton için kullanımı karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Mander sargısız beton modelinde, betonun maksimum gerilmeye ulaştığı birim şekildeğiştirme değeri (ε_{co}) 0.002 olarak alınır.

Sargısız beton eğrisi, $2\varepsilon_{co}$ değerinden sonra kabuk betonunun döküldüğünü varsayarak doğrusal olarak nihai birim şekil değiştirme değerine ulaşır. Kabuk betonun dökülmediği düşünüldüğünde birim şekil değiştirme bir miktar daha artacaktır.



Şekil 2.5 : Mander modeli (Mander ve diğ., 1988).

DBYBHY; doğrusal elastik olmayan yöntemler ile performans değerlendirmesinde başka bir model seçilmediği takdirde Şekil 2.6'da verilen, DBYBHY tarafından değiştirilmiş Mander gerilme-şekil değiştirme bağıntılarının kullanılmasını önermektedir. Bu bağıntılar sargılı ve sargısız beton için geçerlidir.



Şekil 2.6 : Mander modeli (DBYBHY, 2007).

Şekil 2.6'da görüleceği gibi sargısız beton için eğri, $2\varepsilon_{co}=0.004$ değerine kadar parabolik olarak devam eder. Bu değerden sonra, $0.004 < \varepsilon_c \leq 0.005$ aralığında, gerilme-şekil değiştirme ilişkisi doğrusaldır ve $\varepsilon_c=0.005$ 'de beton dayanımı sıfırdır.

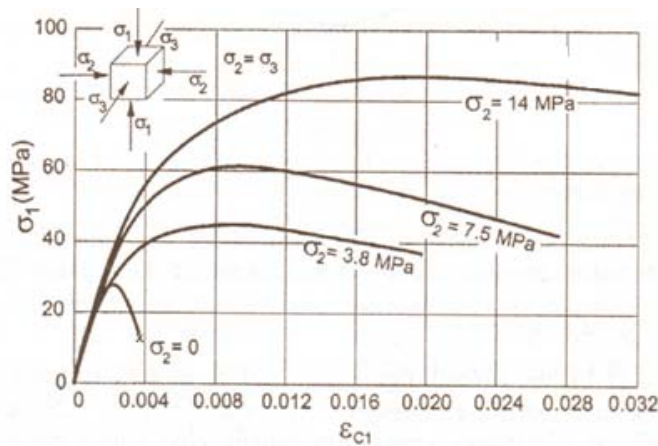
2.1.3 Sargılı beton davranışı

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, spiral donatı, dikdörtgen etriye uygulamalarıyla devam etmiştir. Yapılan araştırmalar sonucu uygulanan yanal basınç betonun dayanım ve sünekliğini attırdığı rapor edilmiştir (İnel ve diğ., 2008).

Sargısız betonun gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları tek eksenli yüklemeye göre incelenmekteydi, sargılı betonunki ise üç eksenli yükleme durumuna göre incelenmektedir. Üç eksenli yükleme deneylerindeki temel amaç, yanal basıncın eksenel basınç dayanımı üzerindeki etkisini belirlemektir. Bu durum; basit olarak, şeklinde ifade edilmektedir.

$$f_{cc} = f_c + K \sigma_l \quad (2.10)$$

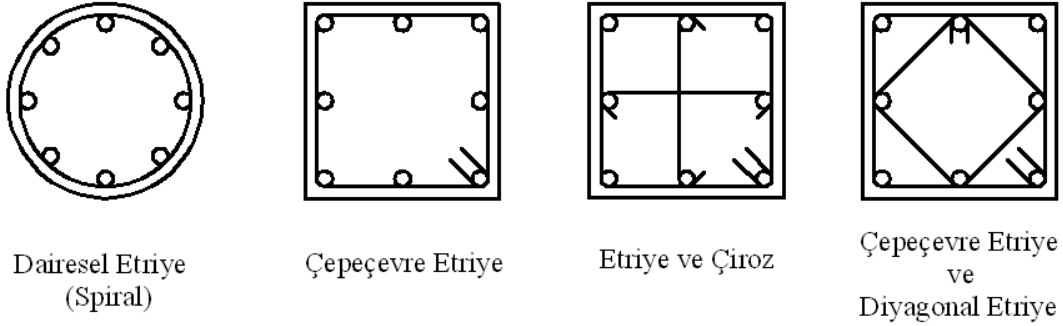
Burada; f_{cc} , eksenel basınç dayanımını; σ_l , yanal basınç gerilmesini; K ise yanal basınç katsayısını ifade etmektedir. Yapılan deneyler sonucu K katsayısının 4.50 ile 7.00 arasında değişen bir değer olduğu görülmüştür. Şekil 2.7’de üç eksenli gerilme altında, farklı yanal basınçlar etkisinde bulunan betonun gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi verilmiştir. Her iki doğrultuda yanal gerilmelerin birbirine eşit olduğu kabulü yapılmıştır ($\sigma_2=\sigma_3$), (Richart Deneyleri) (Ersoy, 2007).



Şekil 2.7 : Betonun üç eksenli gerilme altındaki davranışı (Ersoy, 2007).

Uygulamada, genellikle betonun sargılanması enine donatıyla sağlanır. Belirli aralıklarla kesit enine donatıyla sarılır. Daire kesitli betonarme elemanlarda dairesel etriye ya da spiral ile, dikdörtgen kesitli elemanlarda ise etriye ve çirozlarla

sarılmaktadır. Dikdörtgen kesitlerde, kesit geometrisi büyüdükçe donatıların tutulması için ve yanal şekildeğiştirmenin sınırlandırılması için çepeçevre etriyeye ek olarak çiroz, diyagonal etriye veya farklı bir etriye düzeni uygulanmalıdır. Şekil 2.8’de farklı yanal donatı uygulamaları görülmektedir



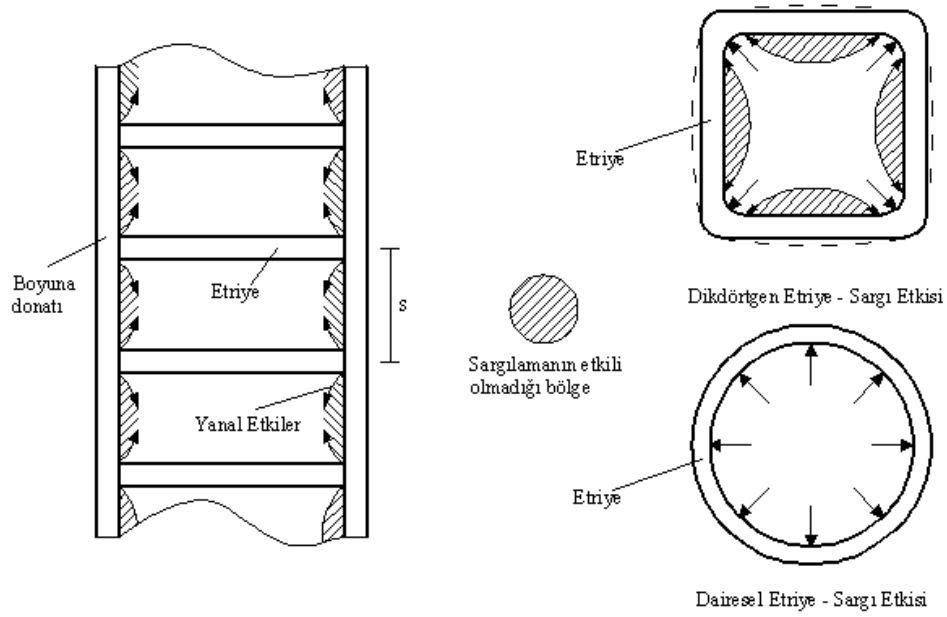
Şekil 2.8 : Enine donatı uygulamaları.

Dairesel etriye veya spirial ile sarılmış daire kesitli bir elemanda eksenel basınç altında davranış incelenecek olursa, ilk olarak kabuk beton diye adlandırabileceğimiz etriyenin dışında kalan, paspayı işlevi gören beton, sargısız beton dayanımına ulaşacak ve dökülecektir. Sonrasında beton çekirdek alanı dışa doğru genişlemeye çalışacak fakat dairesel enine donatılar bu genişlemeye karşı koyacaktır. Diğer bir anlatımla, dairesel donatı betona yanal basınç uygulayacaktır. Aynı şekilde beton da dairesel donatıya eşit büyüklükte ve ters bir kuvvet uygulayacaktır ve dairesel etriye eksenel çekmeye maruz kalacaktır. Bu eksenel çekme dairesel kesitin her yerinde eşit bir yanal basınç oluşturacaktır. Bu noktada önemli bir husus ise yanal basıncın dairesel etriye şekildeğiştirmesinin bir fonksiyonu olmasıdır.

Benzer bir durum dikdörtgen kesitli elemanlar için geçerlidir, etriyeler betona yanal basınç uygulamakta beton ise etriyelere ters kuvvet uygulamaktadır. Fakat dikdörtgen kesitlerde donatı şekildeğiştirmesinde eksenel çekmeyle birlikte eğilme davranışı da etkin olmaktadır. Bu davranış özellikle boyuna donatılar ile eğilme rijitliği düşük olan enine donatı arasında kendini göstermekte ve yanal şekildeğiştirmeyi arttırmaktadır. Yanal şekildeğiştirmenin artması ise sargı basıncını azaltmakta, dolayısıyla sargı etkisini zayıflatmaktadır. Bu nedenle dikdörtgen kesitli elemanlarda sargı etkisi, dairesel kesitli elemanlara göre daha düşüktür.

Şekil 2.9’da dairesel ve dikdörtgen kesit geometrisi olan elemanda sargı etkisi görülmektedir. Bu şekilde; s, etriyeler arası mesafeyi göstermektedir, 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); sargılamamanın 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.



Şekil 2.9 : Dairesel ve dikdörtgen kesit geometrisi için sargı etkisi (Celep ve Kumbasar, 2005).

2.1.3.1 Sargılı beton özelliklerini etkileyen faktörler

Sargı özelliklerini etkileyen en önemli faktörler aşağıda sıralanmıştır.

Enine Donatı Miktarı

Yönetmelikler ve kitaplarda enine donatı miktarı; boyutsuz bir şekilde, hacimsel enine donatı oranı olarak adlandırılır. Enine donatı miktarı (hacimsel enine donatı oranı) arttıkça betona uygulanan yanal basınç artacak, dolayısıyla betonun dayanımı ve sünekliği de artacaktır.

Enine Donatı Çapı

Özellikle dikdörtgen kesitli elemanlarda enine donatı çapının artması, eğilme rijitliğini arttırmaktadır. Dikdörtgen kesitlerde yanal şekildeğiştirmelerde enine donatının eğilme rijitliğinin de etkili olduğunu daha önce ifade edilmişti. Dolayısıyla

enine donatı çapının artması; eğilme rijitliğini arttırmakta, eğilme rijitliği de yanal şekildeğiştirmeleri azaltmakta ve sargı etkisinin artmasına yardımcı olmaktadır.

Enine Donatı Aralığı

Şekil 2.9’da görülebileceği gibi enine donatı aralığı azaldıkça; betonun yanal şekildeğiştirmesi daha fazla sınırlanmaktadır. Bu da sargı etkisini arttırmaktadır.

Enine Donatı Dayanımı

Yanal basınç etriyenin dayanımının da bir fonksiyonudur. Enine donatının akma dayanımının yüksek olması sargı etkisinin artmasında olumlu bir rol oynar.

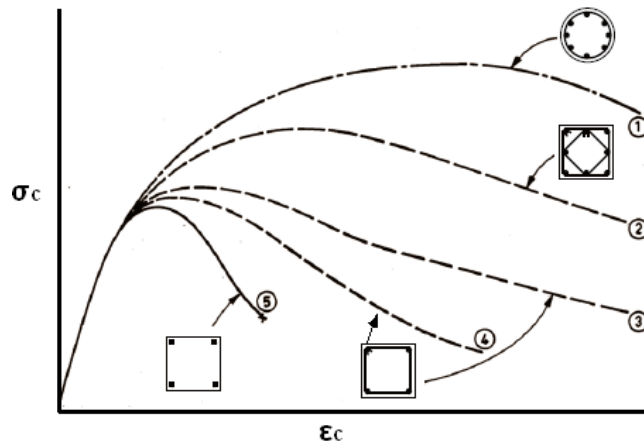
Enine Donatı Düzeni

Şekil 2.10’da enine donatı düzeninin gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi dairesel etriye (bir numaralı eğri) en etkili sargı donatısıdır.

İki numaralı eğri, çepeçevre etriye ile birlikte diyagonal etriye ile sarılmış dikdörtgen betonarme elemanı; üç ve iki numaralı eğri, çepeçevre etriye ile sarılmış dikdörtgen betonarme elemanı, bir numaralı eğri ise enine donatısı bulunmayan betonarme elemanı ifade etmektedir.

Üç numaralı eğride; enine donatı aralıkları (s), dört numaralı eğriye göre daha azdır. Bu nedenle üç numaralı eğride, hem gerilmeler hem de şekildeğiştirmeler daha yüksek değerlere ulaşabilmektedir.

Özetle, dikdörtgen elemanlar için sadece çepeçevre etriye düşük sargı etkisi oluşturmaktadır. Çepeçevre etriye ile birlikte çiroz, diyagonal etriyelerin kullanılması; elemanların sünekliğini ve dayanımını arttırmaktadır.



Şekil 2.10 : Enine donatı düzeninin sargı etkisi üzerindeki önemi (Ersroy, 2007).

Bununla beraber enine donatı düzeni, büyük ölçüde boyuna donatı düzenine bağlıdır. Örneğin; dört adet boyuna donatıya sahip olan dikdörtgen kesitli betonarme elemanda (Şekil 2.10’da dört numaralı eğriye ait kesit), Şekil 2.10’daki bir numaralı eğriye ait kesitin enine donatı düzeni uygulanamaz.

Boyuna Donatı Düzeni

Boyuna donatı düzeninin sargılama üzerinde etkisi çok büyük olmamakla beraber boyuna donatı düzeninin simetrik olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Beton çekirdeğini sarması ve daha etkili enine donatı düzeni oluşturabilmek açısından büyük çaplı az sayıda boyuna donatı yerine küçük çaplı fazla sayıda boyuna donatı kullanılması tercih edilmelidir.

Şekil 2.10’da tutulu boyuna donatılar arası mesafeler kısaldıkça sargı etkinliğinin arttığı görülmektedir.

Beton Dayanımı

Beton dayanımı arttıkça beton gevrekleşmekte ve yanal şekildeğiştirme yeteneği azalmaktadır; bu durum, etkili yanal sargı basıncının düşmesine, sargı etkisinin azalmasına neden olmaktadır.

Eksenel Yük Düzeyi

Araştırmacılar tarafından yapılan deneylerde, eksenel yük düzeyi arttıkça, aynı eğilme sünekliğinin sağlanabilmesi için enine donatı oranının da artırılması gerektiği görülmektedir (Sheikh, 1984).

Sargı etkisini etkileyen faktörler, karşılaştırmalı olarak Çizelge 2.1’de verilmiştir

Çizelge 2.1 : Sargılı beton davranışını etkileyen faktörler.

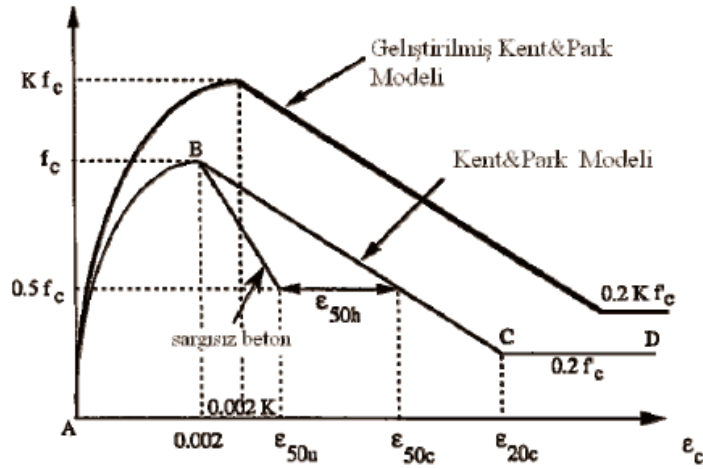
Faktörler	Faktörleri değişim	Sargı etkisi değişimi
Enine Donatı Miktarı	↑	↑
Enine Donatı Aralığı	↓	↑
Enine Donatı Çapı	↑	↑
Enine Donatı Dayanımı	↑	↑
Enine Donatı Düzeni	Dairesel Etriye > Sık Etriye > Etriye	
Boyuna Donatı Düzeni	Küçük çaplı, çok sayıda donatı > Büyük çaplı, az sayıda donatı	
Beton Dayanımı	↑	↓
Eksenel Yük Düzeyi	↑	↓

2.1.4 Sargılı beton modelleri

Önceki bölümlerde anlatılan hususlar ve diğer etkenler dikkate alınarak araştırmacılar tarafından birden fazla sayıda sargılı beton modeli geliştirilmiştir. Bu bölümde literatürde en çok kabul gören beton modelleri incelenecektir.

2.1.4.1 Geliştirilmiş Kent ve Park modeli (Kent ve Park, 1971)

Modelin ilk hali ve geliştirilmiş hali Şekil 2.11’de görülmektedir. Geliştirilmiş Kent ve Park Modeli (1971)’nde; sargısız betonda oluşan maksimum gerilmenin K katsayısı ile çarpımı sonucunda sargılı betonda oluşan maksimum gerilme elde edilmiştir. Bununla beraber maksimum gerilmeye karşı gelen birim şekildeğiştirme değeri de K katsayısı ile çarpılarak arttırılmıştır. Geliştirilmiş Kent ve Park Modeli (1971) gerilme-şekildeğiştirme eğrisi; maksimum gerilmeye kadar parabol olarak artmakta, maksimum gerilme değerinden sonra doğrusal olarak $0.2KxKf_c$ değerine kadar azalmaktadır. $0.2KxKf_c$ değerinden sonra güç tükenmesi anına kadar sabit gerilme altında şekildeğiştirmenin devam ettiği kabul edilmektedir.



Şekil 2.11 : Kent ve Park beton modelleri (İnel ve diğ., 2008).

Geliştirilmiş Kent ve Park beton modeline ait denklemler aşağıda verilmiştir.

$$\sigma_c = K f_c \left[\frac{2 \varepsilon_c}{0.002 K} - \left(\frac{\varepsilon_c}{0.002 K} \right)^2 \right] \quad \varepsilon_c \leq 0.002 K \quad (2.11a)$$

$$\sigma_c = K f_c [1 - Z(\varepsilon_c - 0.002 K)] \geq 0.2 K f_c \quad \varepsilon_c > 0.002 K \quad (2.11b)$$

$$\sigma_c = 0.2 K f_c \text{ (MPa)} \quad \varepsilon_c > \varepsilon_{20c} \quad (2.11c)$$

$$K = 1 + \frac{\rho_s f_{yw}}{f_c} \quad (2.12)$$

$$Z = \frac{0.5}{\varepsilon_{50u} + \varepsilon_{50h} - 0.002K} \quad (2.13)$$

$$\varepsilon_{50u} = \frac{3 + 0.29 f_c}{145 f_c - 1000} \quad (MPa) \quad (2.14)$$

$$\varepsilon_{50h} = \frac{3}{4} \rho_s \sqrt{\frac{h'}{s}} \quad (2.15)$$

Burada; ρ_s , hacimsel enine donatı oranı; f_{yw} , enine donatı akma dayanımı; h' , sargılı beton kısmının etriye dışından etriye dışına genişliği; K , sargılı beton dayanımının sargısız beton dayanımına oranı; s , enine donatı aralığı; ε_{20c} , Kent ve Park modelindeki sargılı betona ait gerilmenin, sargılı betonun maksimum gerilmesinin %20'sine eşit olduğu durumdaki birim şekildeğiştirme değeri; ε_{50u} , sargısız betona ait gerilmenin sargısız betonun maksimum gerilmesinin %50'sine eşit olduğu durumdaki birim şekildeğiştirme değeri, nihai birim şekildeğiştirme değeri olarak da düşünülebilir; ε_{50c} , Kent ve Park modelindeki sargılı betona ait gerilmenin, sargılı betonun maksimum gerilmesinin %50'sine eşit olduğu durumdaki birim şekildeğiştirme değeri; ε_{50h} , Kent ve Park beton modelinde ε_{50c} ile ε_{50u} arasındaki birim şekildeğiştirme farkıdır.

2.1.4.2 Sargılı beton için Mander modeli (Mander ve diğ., 1988)

Mander ve diğ. (1988) tarafından önerilen, sargısız ve sargılı beton için kullanılabilen beton modeli Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Sargılı beton modeli; sargısız beton modeli ile bulunan basınç dayanımının etkin sargı basıncının bir fonksiyonu olan λ_c katsayısıyla çarpılmasıyla elde edilir. Etkin sargı basıncı; enine donatıların, boyuna donatıların ve kesit geometri özelliklerinin bir fonksiyonudur. Sargılı beton için kullanılan formüller aşağıda verilmiştir.

$$\sigma_c = \frac{f_{cc} x r}{r - 1 + x^r} \quad \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu} \quad (2.16a)$$

$$\sigma_c = 0 \quad \varepsilon_c > \varepsilon_{cu} \quad (2.16b)$$

$$\lambda_c = \left[2.254 + \sqrt{\frac{7.94 f_e}{f_{co}}} - \frac{2f_e}{f_{co}} - 1.254 \right] \quad \varepsilon_c > \varepsilon_{cu} \quad (2.17)$$

$$f_{cc} = f_{co} \lambda_c \quad \varepsilon_c > \varepsilon_{cu} \quad (2.18)$$

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad (2.19)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} [1 + 5 (\lambda_c - 1)] \quad (2.20)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (2.21)$$

$$E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (2.22)$$

$$E_c = 5000 \sqrt{f_c} \text{ (MPa)} \quad (2.23)$$

$$f_e = \frac{f_{ex} + f_{ey}}{2} \quad (2.24)$$

$$f_{ex} = k_e \frac{A_{shx}}{s} f_{yw} \text{ (MPa)} \quad (2.25)$$

$$f_{ey} = k_e \frac{A_{shy}}{s} f_{yw} \text{ (MPa)} \quad (2.26)$$

$$k_e = \frac{\left(1 - \sum_{i=1}^n \frac{w_i^2}{6bh}\right) \left(1 - \frac{s'}{2b}\right) \left(1 - \frac{s'}{2h}\right)}{1 - \rho_{cc}} \quad (2.27)$$

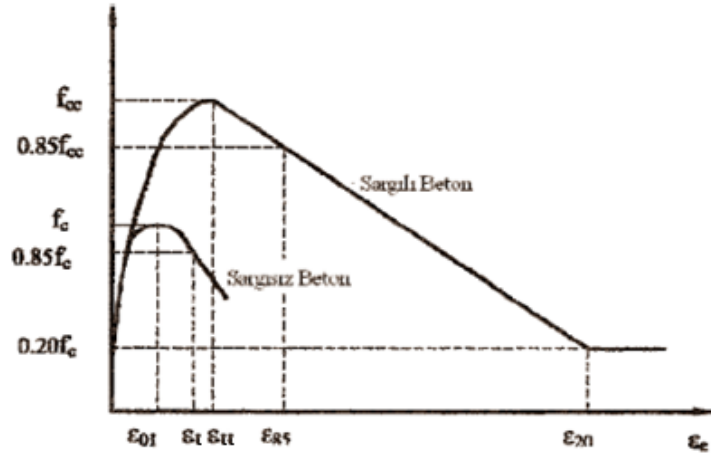
Burada; ε_{su} , enine donatı nihai çekme birim şekildeğiştirme değeri; λ_c , sargılı beton dayanımının sargısız beton dayanımına oranı; A_{shx} , x doğrultusunda uzanan toplam enine donatı kesit alanı; A_{shy} , y doğrultusunda uzanan toplam enine donatı kesit alanı; b , enine donatı merkezlerinden ölçülen çekirdek betonun x'e paralel boyutu; f_e , ortalama etkili sargı basıncı; f_{ex} , x doğrultusundaki etkili sargı basıncı; f_{ey} , y doğrultusundaki etkili sargı basıncı; h , enine donatı merkezlerinden ölçülen çekirdek betonun y'ye paralel boyutu; k_e , sargılamanın etkinliği ile ilgili katsayı; ρ_{cc} , toplam boyuna donatının beton çekirdek alanına oranı; n , boyuna donatı sayısı; s' , enine donatı net aralığı; w_i , kesit çerçevesindeki düşey donatıların eksenleri arasındaki uzaklıktır.

DBYBHY'de kullanılan Mander modelleri Şekil 2.6'da verilmiştir. DBYBHY'de kullanılan sargılı beton için Mander modeli ile sargılı beton için Mander modeli (1988) (Şekil 2.5) arasında fark bulunmamaktadır. Yalnızca; DBYBHY, sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirmesinin aşağıdaki gibi vermektedir.

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4 \rho_s f_{yw} \varepsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (2.28)$$

2.1.4.3 Saatcioglu ve Razvi modeli (Saatcioglu ve Razvi, 1992)

Saatcioglu ve Razvi (1992) tarafından önerilmiştir. Modelin başlangıç kısmında eğri; parabolik olarak artmakta, maksimum gerilmeden sonra doğrusal olarak düşmektedir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 : Saatcioglu ve Razvi beton modeli (İnel ve diğ., 2008).

Beton modeline ait denklemler aşağıda verilmiştir.

$$\sigma_c = f_{cc} \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{1+2\lambda}} \quad \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cc} \quad (2.29a)$$

$$\sigma_c = f_{cc} \left[1 - \frac{0.15(\varepsilon_c - \varepsilon_{cc})}{\varepsilon_{85} - \varepsilon_{cc}} \right] \quad (MPa) \quad \varepsilon_{20} > \varepsilon_c > \varepsilon_{cc} \quad (2.29b)$$

$$\sigma_c = 0.2f_{cc} \quad (MPa) \quad (2.29c)$$

$$f_{cc} = k_3 f_c + k_1 f_e \quad (2.30)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}(1 + 5\lambda) \quad (2.31)$$

$$\lambda = \frac{k_1 f_e}{k_3 f_c} \quad (2.32)$$

$$k_1 = 6.7(f_e)^{-0.17} \quad (MPa) \quad (2.33)$$

$$\varepsilon_{85} = 260 \rho_s \varepsilon_{cc} + \varepsilon_{085} \quad (2.34)$$

$$f_e = \frac{f_{eex} b_x + f_{eey} b_y}{b_x + b_y} \quad (2.35)$$

$$f_{eex} = \beta_x f_{ex} \quad (MPa) \quad (2.36)$$

$$f_{eey} = \beta_y f_{ey} \quad (MPa) \quad (2.37)$$

$$f_{ex} = \frac{\sum A_o f_{yw} \sin \alpha_x}{s b_x} \quad (MPa) \quad (2.38)$$

$$f_{ey} = \frac{\sum A_o f_{yw} \sin \alpha_y}{s b_y} \quad (MPa) \quad (2.39)$$

$$\beta_x = 0.26 \sqrt{\left(\frac{b_x}{a_x}\right) \left(\frac{b_x}{s}\right) \left(\frac{1.0}{f_{ex}}\right)} \quad (MPa) \quad (2.40)$$

$$\beta_y = 0.26 \sqrt{\left(\frac{b_y}{a_y}\right) \left(\frac{b_y}{s}\right) \left(\frac{1.0}{f_{ey}}\right)} \quad (MPa) \quad (2.41)$$

Burada; β_x , x doğrultusundaki etkili sargı basıncı katsayısı; β_y , y doğrultusundaki etkili sargı basıncı katsayısı; ρ_s , toplam enine donatının hacimsel oranı; A_o , enine donatı kesit alanı; f_e , etkin yanal sargı basıncı; f_{eex} , x doğrultusunda oluşan etkin sargı basıncı; f_{eey} , y doğrultusunda oluşan etkin sargı basıncı; k_3 , gerçek beton dayanımı ile deneysel dayanımın farkını yansıtan katsayı (~ 0.85); b_x , enine donatı merkezinden ölçülen çekirdek betonun x doğrultusuna paralel boyutu; b_y , enine donatı merkezinden ölçülen çekirdek betonun y doğrultusuna paralel boyutu; a_x , b_x boyunca tutulan boyuna donatılar arası mesafe; a_y , b_y boyunca tutulan boyuna donatılar arası mesafe; α_x , enine donatı ve b_x arasındaki açı; α_y , enine donatı ve b_y arasındaki açıdır.

2.1.4.4 Sheikh ve Uzumeri modeli (Sheikh ve Uzumeri, 1982)

Sheikh ve Uzumeri (1982) tarafından geliştirilen model Şekil 2.13'te verilmiştir. Gerilme-şekildeğiştirme eğrisi maksimum gerilmeye kadar parabol olarak artmaktadır. Eğri, maksimum gerilmeye (ϵ_{c1}) ulaştıktan sonra yatay paralel olarak birim şekildeğiştirme değeri ϵ_{c2} 'ye ulaşınca kadar devam etmektedir. Diğer bir deyişle beton sabit gerilme altında şekil değiştirmeye devam etmektedir. ϵ_{c2} değerinden sonra eğri, doğrusal olarak inişe geçmekte, bu sırada beton moment kapasitesi azalırken şekildeğiştirmeler devam etmektedir. Ayrıca çekirdek betonu sargı donatılarının eksenleri arasında kalan bölgedir (Ersoy, 2007).

Beton modeline ait denklemler aşağıda verilmiştir.

$$\varepsilon_{c1} = 80 K_o f_c 10^{-6} (MPa) \quad (2.42)$$

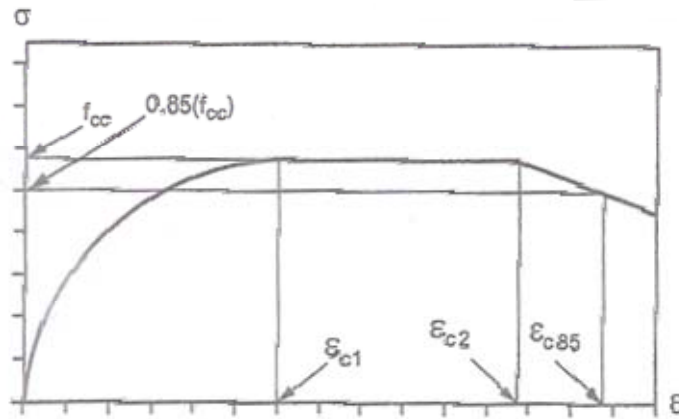
$$f_{cc} = 0.85 f_c K_o (MPa) \quad (2.43)$$

$$\varepsilon_{c2} = \varepsilon_{co} \left[1 + \frac{248}{a} \left(1 - 5.0 \left(\frac{s}{b_k} \right)^2 \right) \frac{\rho_s f_y}{\sqrt{f_c}} \right] (mm, MPa) \quad (2.44)$$

$$\varepsilon_{c85} = 0.225 \rho_s \sqrt{\frac{b_k}{s}} + \varepsilon_{c2} \quad (2.45)$$

$$K_o = 1 + \frac{b_k^2}{140 N_{oc}} \left[\left(1 - \frac{na^2}{5.5 b_k^2} \right) \left(1 - \frac{s}{2b_k} \right)^2 \right] \sqrt{\rho_s f_y (mm, kN, MPa)} \quad (2.46)$$

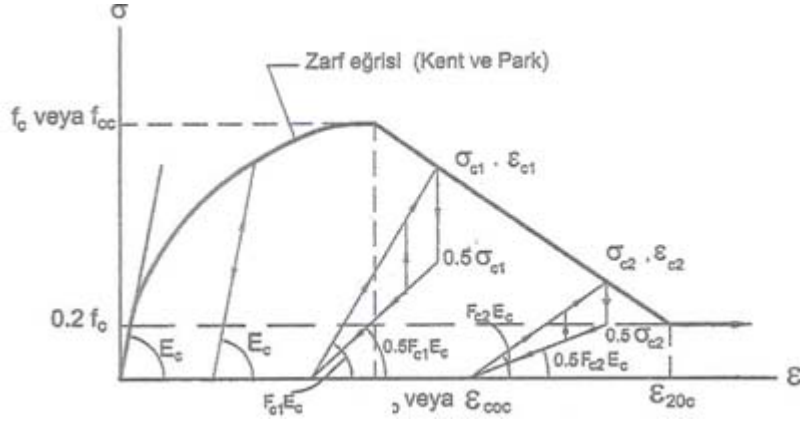
Burada; ε_{c1} , sargılı betonun maksimum gerilmeye ulaştığı birim şekildeğiştirme değeri; ε_{c2} , sargılı betonun maksimum gerilmeye yapabileceği maksimum birim şekildeğiştirme değeri; a, komşu iki boyuna donatının eksenleri arası uzaklık; A_{ck} , beton çekirdek alanı; A_{sy} , toplam boyuna donatı alanı; b_k , çekirdek betonunun kısa kenarı; n, boyuna donatı sayısı; N_{oc} , $0.85x f_c / (A_{ck} - A_s)$ 'dir.



Şekil 2.13 : Sheikh ve Uzumeri beton modeli (Ersoy, 2007)

2.1.4.5 Thompson ve Park modeli (Thompson ve Park , 1980)

Thompson ve Park Beton Modeli (1980), tersinir ve tekrar eden yükler etkisi altında boşaltma -yükleme kollarının tanımlanmasına yönelik olarak geliştirilmiştir (Ersoy, 2007). Bu modelde zarf eğrisi için Geliştirilmiş Kent ve Park Modeli (Kent ve Park, 1971) kullanılmaktadır, Şekil 2.14'te görüldüğü gibi $\varepsilon_c < \varepsilon_{co}$ olması durumunda yükün boşalma eğrisi, gerilme-şekildeğiştirme eğrisinin orijinle yaptığı teğete paralel olmaktadır. Yükleme tekrarlandıkça bu eğim giderek azalmaktadır.



Şekil 2.14 : Thompson ve Park beton modeli (Ersoy, 2007).

Beton modeline ait denklemler aşağıda verilmiştir.

$$E_c = 12680 + 460 f_c \text{ (MPa)} \quad (2.47)$$

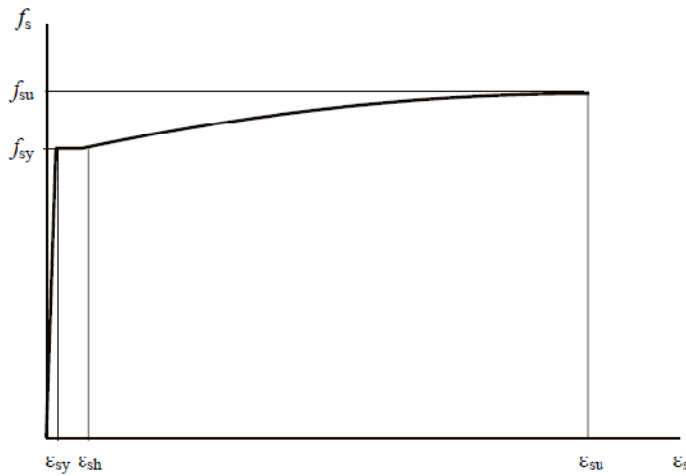
$$F_{ci} = 0.8 - \frac{0.7(\epsilon_{ci} - 0.002)}{\epsilon_{20c} - 0.002} \quad (2.48)$$

$$\epsilon_{20c} = 1.6 (\epsilon_{50u} + \epsilon_{50h}) - 0.6 \epsilon_{coc} \quad (2.49)$$

Burada; F_{ci} , beton elastisite faktörüdür. Beton elastisite faktörü, her yükleme aşamasında kullanılan elastisite modülünü vermektedir.

2.1.5 Donatı modeli (Mander, 1984)

Betonarmede kullanılan çeliğe donatı ismi verilir. Donatılar; farklı kalite üretiliyor olmasına rağmen, farklı tür donatı için uygulanabilecek bir çelik gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi modeli Mander (1984) tarafından önerilmiştir.



Şekil 2.15 : Donatı modeli (DBYBHY, 2007).

Bu modelde; akma birim şekildeğiştirme değerine kadar gerilme değeri doğrusal olarak artmakta; akma birim şekildeğiştirme değerinden sonra, sabit akma gerilmesi altında şekildeğiştirme devam etmektedir. Sonrasında malzeme pekleşerek nihai birim şekildeğiştirme değerine ulaşmaktadır (Şekil 2.15).

Genel kabul gören ve yaygın olarak kullanılan bir modelde ise donatının pekleşmesinin ihmal edilerek, nihai şekildeğiştirmeye değerine kadar akma gerilmesinin sabit kaldığı, diğer bir deyişle sabit akma gerilmesi altında donatının şekildeğiştirmeye devam ettiği, kabul edilmektedir.

Donatı modeline ait denklemler aşağıda verilmiştir.

$$\sigma_s = E_s \varepsilon_s \quad \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy} \quad (2.50a)$$

$$\sigma_s = f_{sy} \quad \varepsilon_{ys} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh} \quad (2.50a)$$

$$\sigma_s = f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_s)^P}{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})^P} \quad (2.51)$$

$$E_s = \frac{f_{sy}}{\varepsilon_{sy}} \quad (2.52)$$

$$P = E_{sh} \frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})}{(f_{su} - f_{sy})} \quad (2.53)$$

Burada; σ_s , donatı gerilmesi; ε_s , donatı birim şekildeğiştirmesi; ε_{sy} , donatı akma birim şekildeğiştirmesi; ε_{sh} , donatının pekleşmeye başladığı birim şekildeğiştirme değeri; ε_{su} , donatı nihai birim şekildeğiştirme değeri; f_y , donatı akma dayanımı; f_u , donatı nihai dayanımı; E_s , donatı elastisite modülü; E_{sh} , donatı pekleşme modülüdür, P ise pekleşme bölgesi derecesidir.

DBYBHY; Mander (1984) tarafından geliştirilen donatı modelinde, pekleşme bölgesi derecesini iki olarak almış, donatının elastisite modülünü $E_s=2 \times 10^5$ MPa olarak kabul etmiştir. Ayrıca DBYBHY’de; S220 ve S420 olmak üzere iki farklı donatı bulunmaktadır, bu donatı sınıflarına ait özellikler Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2 : Farklı donatı sınıflarına ait karakteristik özellikler (DBYBHY 2007).

Kalite	f_y (Mpa)	ε_{sy}	ε_{sh}	ε_{su}	F_u (Mpa)
S220	220	0.0011	0.011	0.16	275
S420	420	0.0021	0.008	0.10	550

2.2 Plastikleşme ve Plastik Mafsal

Yapının kullanım ömrü boyunca, meydana gelme ihtimali düşük olan fakat yapının karşılaşılabileceği en önemli yük olan deprem yükü altında; yapıda can güvenliğinin sağlanması gerekmektedir. Bunun için yapının kontrollü bir şekilde hasar görmesi sağlanmalı ve bu hasarın doğru şekilde öngörülmalıdır. Bu noktada yapı ve yapı elemanlarının elastik ötesi davranışı, plastikleşmesi, devreye girmektedir. Yapının gerçekçi davranışını öngörmek için yapı elemanlarının elastik ötesi davranışına hakim olmak gerekmektedir. Bu nedenle plastikleşme ve plastik mafsal kavramı yapı mühendisliğinde önemli bir yer tutmaktadır.

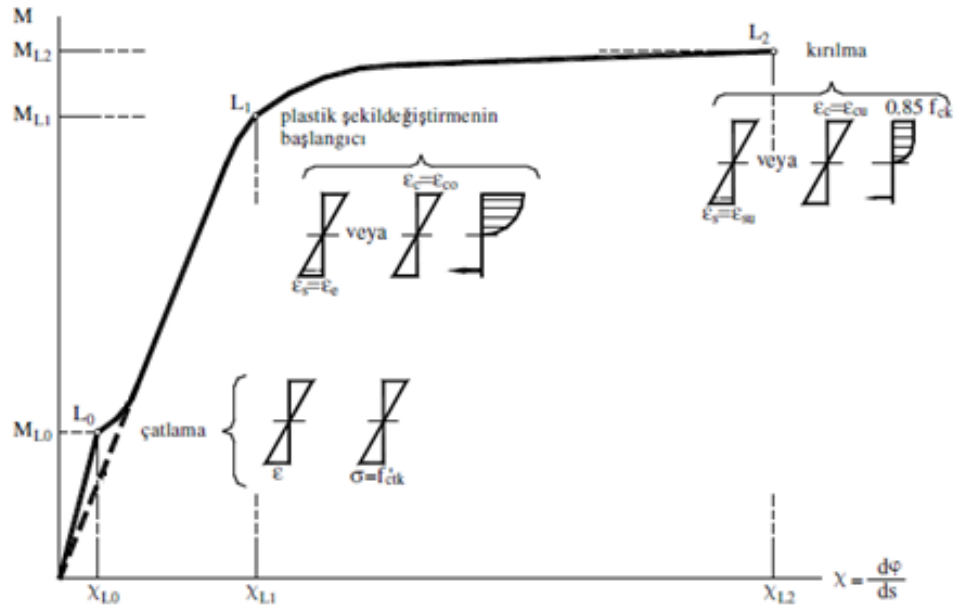
Yapı hasarının ölçüsü ise onu oluşturan elemanların, özellikle de düşey taşıyıcıların; almış olduğu hasar türü ve düzeyine bağlıdır.

Taşıyıcı elemanlarda oluşan bu hasarlar, yapıya kat ötelemeleri olarak yansır. Kat ötelemelerinin önemli bir bölümü, düşey taşıyıcı elemanlarda oluşan plastik mafsallar sonucu meydana gelmektedir. Düşey taşıyıcı elemanlarda oluşan hasar; yapının tümünü tehdit etmekte, yapının tümünden göçmesine sebep olabilmektedir. Bu nedenle özellikle düşey taşıyıcı elemanlarda oluşan hasarların gerçekçi şekilde öngörülmesi büyük önem taşır. Bu konunun doğrusal elastik olmayan yöntemlerle incelenmesi, eleman veya yapı davranışı hakkında daha gerçekçi sonuçlara ulaşılmasına imkan tanımaktadır.

2.2.1 Moment-eğrilik ilişkisi

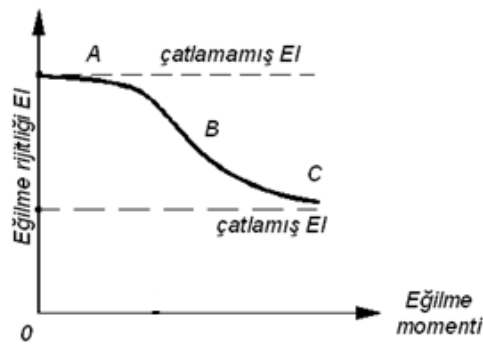
Yapının düşey taşıyıcı elemanları aksenal basınç ve eğilme momenti etkisi altında bulunurlar. Bu elemanlara ait tipik moment-eğrilik ilişkisi Şekil 2.16'da verilmiştir. Artan yük etkisinde betonun en dış çekme lifindeki normal kuvvet, çekme dayanımına eşit olduğu anda (M_{LO}) beton kabuğu çatlama başlar ve kabuk dökülür. Kabuğun dökülmesiyle kesit yüksekliği azalır ve kesitin eğilme rijitliği azalır, bunun etkisiyle kesit eğriliğinde ani bir artış (çok küçük bir artış) meydana gelir. Sonrasında kesit, plastik şekildeğiştirme başlangıcına kadar artan gerilmeler etkisinde elastik şekildeğiştirme yapar. Plastik şekildeğiştirme; betonun basınç lifinde veya çekme donatısında meydana gelir. Plastik şekildeğiştirmeyle beraber betonarme eleman bir miktar daha moment alarak moment taşıma kapasitesine ulaşır; bu arada plastik şekildeğiştirme başlangıcı ile kırılma anı arasında kesitte çok büyük şekildeğiştirmeler, büyük çatlamlar ve eğrilikler meydana gelir. Yataya yakın

seyreden bu kısımda plastik davranış etkili olur. Eleman moment taşıma kapasitesine ulaşınca göçme gerçekleşir.



Şekil 2.16 : Betonarme kesitlerde moment-eğrilik ilişkisi (Özer, 2008).

Betonarme elemanlara ait eğilme rijitliği-eğilme momenti ilişkisi Şekil 2.17'de verilmiştir. Görüldüğü gibi kesitin eğilme momenti etkisinde çatlamaıyla beraber kesite ait eğilme rijitliğinde önemli bir kayıp söz konusu olmaktadır. Yönetmelikler; çatlamış eğilme rijitliğinin brüt kesit eğilme rijitliğine oranını %40~%60 arasında kabul etmektedir. Şekilde; A, beton çatlamasını; B, akma durumunu; C, plastik şekil değiştirme başlangıcını ifade etmektedir.



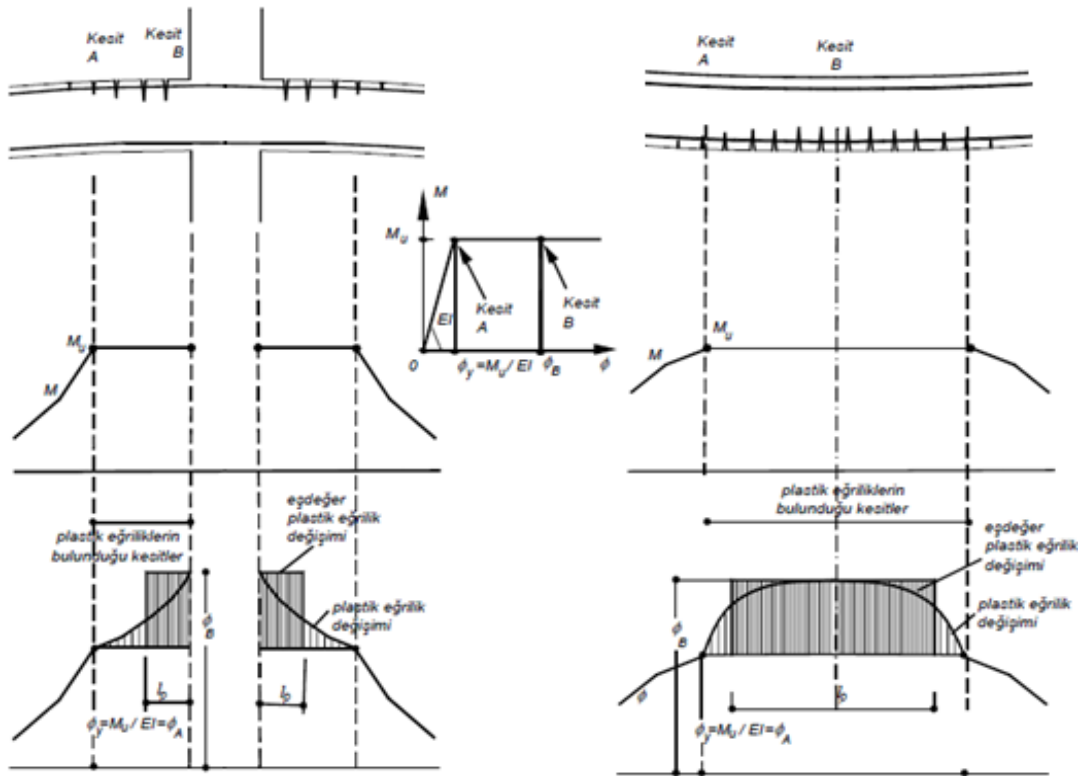
Şekil 2.17 : Betonarme elemanlarda eğilme momenti-eğilme rijitliği ilişkisi (Celep ve Gençoğlu, 2008).

2.2.2 Plastik mafsallık tanımı

Taşıma kapasitesine karşı gelen toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu ve

doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekildeğiştirmelerinin plastik mafsalları verilen I_p uzunluğundaki bir bölgede yoğunlaştığı kabul edilir (Özer, 2008) (Şekil 2.18).

Şekil 2.18’de, kiriş mesnet ve açıklık kesitlerinde moment-eğrilik-plastik mafsalları uzunluğu ilişkisi verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi plastik eğriliklerin yoğunlaştığı kesitlerde, bu eğriliklerin belirli bir bölgede toplandığı kabulü yapılmakta ve eşdeğer plastik eğrilikler tanımlanmaktadır.

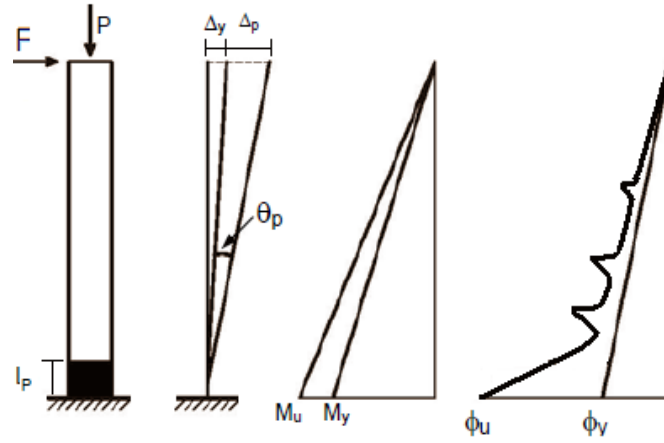


Şekil 2.18 : Kiriş mesnet ve açıklık kesitlerinde eğrilik ve plastik mafsalları (Celep, 2007).

Plastik mafsalları tanımı gereği, şekildeğiştirmelerin yoğunlaştığı bölgeler maksimum moment oluşan bölgelere tekabül etmektedir. Ayrıca plastik mafsallarda dönme, sabit sayılabilecek bir moment altında gerçekleşir. Eğriliğin tipik olarak plastik mafsalları bölgesinde sabit olduğu kabul edilir ve böylelikle plastik mafsalların dönmesi görece bir kolaylıkla hesaplanabilir (İnel ve diğ., 2008).

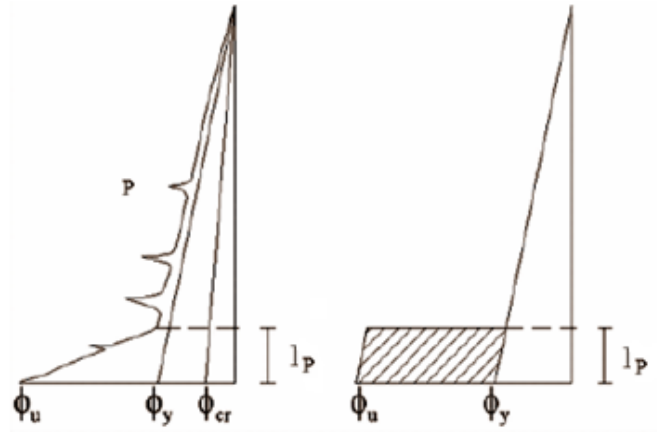
2.2.3 Eğrilik-dönme ilişkisi

Eğilme etkisindeki bir elemanda; momentini oluşturduğu normal gerilmeler altında elemanda farklı şekildeğiştirmeler meydana gelecektir, bu farklı şekildeğiştirmeler dönme olarak gözlemlenecektir (Şekil 2.19).



Şekil 2.19 : Eğilme etkisindeki betonarme kolonların moment ve eğrilik diyagramı (Özmen ve diğ., 2007).

Plastik mafsal hipotezi; doğrusal elastik olmayan şekildeğiştirmelerin belirli bir bölgede yoğunlaştığını, bu bölgeler dışında doğrusal-elastik davranışın söz konusu olduğu kabulüne dayanır. Eğriliklerin idealleştirilmesinde de aynı kabulünden yararlanarak Şekil 2.20’de görüldüğü gibi eğriliğin plastik mafsal bölgesinde aniden artış gösterdiği kabul edilir.



Şekil 2.20 : İdealleştirilmiş eğrilik diyagramı (Celep ve Kumbasar, 2004).

Eğilme momenti yükü, kesit üzerinde eğilme yerdeğiştirmelerine yol açarken, eleman üzerindeki etkisi dönme yerdeğiştirmesi şeklindedir. Eğilme plastik mafsalının dayanım-yerdeğiştirme bağıntısı karşılığı moment-dönme bağıntısıdır. Bu nedenle her bir eleman için moment-eğrilik ilişkisinin moment-dönme ilişkisine çevrilmesi gereklidir. Plastik mafsalda oluşan dönme miktarı tayini ise eğriliğin plastik mafsal boyunca integre edilmesiyle elde edilir.

$$\theta = \int_0^{L_P} \phi(x) dx \quad (2.54)$$

Şekil 2.20'deki gibi eğriliğin idealleştirilmesi neticesinde; dönme miktarı, eğrilik ile plastik mafsalsal boyunun çarpımına eşit olur.

$$\theta = \phi L_p \quad (2.55)$$

Burada; θ , dönme; ϕ , eğrilik; l_p , plastik mafsalsal uzunluğudur.

2.2.4 Eğrilik-dönme-yerdeğiştirme ilişkisi

Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekildeğiştirmelerinin bir bölgede yoğunlaştığı kabul edilir. Bu bölgenin uzunluğuna plastik mafsalsal uzunluğu denir. Başka bir anlatımla, Şekil 2.18'de görüldüğü gibi plastik eğrilikler; momentin yoğunlaştığı bölgelerde, eşdeğer plastik eğriliklere dönüştürülmekte ve bu eşdeğer plastik eğrilik uzunluğuna plastik mafsalsal uzunluğu adı verilmektedir.

Plastik mafsalsal uzunluğu bilinirse; kolonların uç yerdeğiştirmeleri, eğriliğin integrasyonu ile bulunabilir. Bundan dolayı; plastik mafsalsal uzunluğunun gerçekçi bir şekilde belirlenmesi, betonarme elemanların kesit seviyesinden eleman seviyesine olan davranışlarını belirlemede çok önemlidir. Araştırmacılar tarafından ilk olarak plastik mafsalların dönme kapasiteleri aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir (İnel ve diğ., 2008).

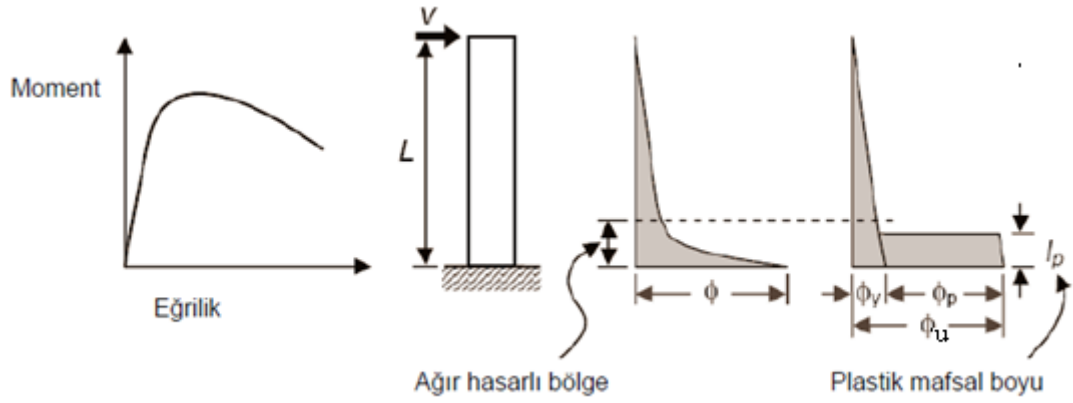
$$\theta_p = \frac{\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{ce}}{d} l_p \quad (2.56)$$

Burada; θ_p , plastik dönme; ε_{ce} , elastik beton basınç şekildeğiştirmesi; d , kesit faydalı derinliğidir.

Park ve Paulay (1975) bu kavramı konsol bir kolona genişletmişlerdir. Bu iki araştırmacı kolon uzunluğu boyunca oluşan eğrilik dağılımını tek bir plastik mafsalla basitleştirmişlerdir (Şekil 2.21).

Eğriliğin artan kısmı için daha gerçekçi olan ikinci moment-alan teoremini kullanarak, eğrilik ile yerdeğiştirme arasında bağlantıları elde etmişlerdir.

İdealleştirilmiş eğrilik diyagramı sayesinde dönme ve yerdeğiştirme değerlerinin hesabı kolaylaşmaktadır. Aşağıdaki kritik durumlara ait dönme ve şekildeğiştirme değerleri formülleştirilmiştir (Paulay ve Priestley, 1992).



Şekil 2.21 : Konsol kolonda plastik mafsallık uzunluğu (Park ve Paulay, 1975).

Akma anında eleman ucundaki dönme ve tepe deplasmanı

$$\theta_y = \frac{\phi_y L}{2} \quad (2.57)$$

$$\Delta_y = \frac{\phi_y L}{2} \frac{2L}{3} = \frac{\phi_y L^2}{3} \quad (2.58)$$

Eleman ucunda nihai dönme ve maksimum tepe deplasmanı

$$\theta = \frac{\phi_y L}{2} + (\phi - \phi_y) L_p \quad (2.59)$$

$$\Delta_u = \frac{\phi_y L^2}{3} + (\phi_u - \phi_y) L_p \left(L - \frac{L_p}{2} \right) \quad (2.60)$$

$$\Delta_u = 1 + 3(\mu_\phi - 1) \frac{l_p}{L} \left(1 - 0.5 \frac{l_p}{L} \right) \quad (2.61)$$

Burada; Δ_y , akma yerdeğiştirmesi; Δ maksimum tepe yerdeğiştirmesi; μ_ϕ ise yerdeğiştirme sünekliğidir.

2.2.5 Plastik mafsallık uzunluğu hakkında çalışmalar

Daha önceki yıllarda yapılmış olan deneyler sonucunda deneylere dayalı olarak elde edilen plastik mafsallık uzunlukları hakkında kısa bilgiler verilmiştir.

2.2.5.1 Baker (Baker, 1956)

Yapılan deneysel araştırmalar sonucunda Baker (1956) tarafından önerilen plastik mafsallık uzunluğu aşağıda verilmiştir. Bu deneysel araştırmalarda; beton dayanımı, 17.2 MPa ile 40 MPa arasında; çelik akma dayanımı, 275.7 MPa ile 586 MPa arasında; boyuna donatı oranı %0.25 ile %4.0 arasında değişmektedir.

$$l_p = k_1 k_2 k_3 \left(\frac{z}{d}\right)^{0.25} d \quad (2.62)$$

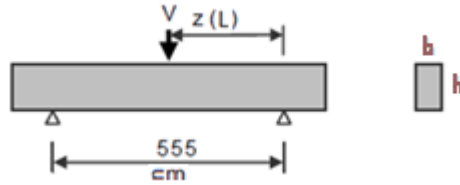
Denklemlerde kullanılan simgeler aşağıda açıklanmıştır.

k_1 = Çelik katsayısı; sıcakta haddelenmiş için 0.7, soğukta haddelenmiş için 0.9,

$$k_2 = 1 + 0.5 \left(\frac{P}{P_o}\right) \quad (2.63)$$

$$k_3 = 0.9 - \frac{0.3}{23.5} (f'_c - 11.7) \quad (MPa) \quad (2.64)$$

Burada; z , eğilme olmayan noktadan kritik kesite olan mesafe (Şekil 2.22); P , eksenel yük; P_o , kesitin taşıyabileceği maksimum eksenel yüküdür.



Şekil 2.22 : z veya L ; eğilme olmayan noktadan kritik kesite olan mesafe (Bae, 2005).

2.2.5.2 Baker ve Amarokone (Baker ve Amarokone, 1964)

Baker (1956) tarafından yapılan deneysel çalışmalar sonucunda önerilen plastik mafsal uzunluğu, Baker ve Amarokone (1964) tarafından sadeleştirilerek aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$l_p = 0.8 k_1 k_3 \left(\frac{z}{d}\right) c \quad (2.65)$$

k_1 ve k_3 katsayıları 2.2.5.1’de açıklandığı gibi dikkate alınacaktır. Burada; c , tarafsız eksen derinliğidir.

2.2.5.3 Mattock (Mattock, 1964)

Yapılan deneysel araştırmalar sonucunda Mattock (1964) tarafında önerilen plastik mafsal uzunluğu aşağıda verilmiştir. Bu deneysel araştırmalarda; beton dayanımı, 27.5 MPa ile 41.3 MPa arasında; çelik akma dayanımı, 324 MPa ile 413.6 MPa arasında; boyuna donatı oranı %1.0 ile %3.0 arasında; kesit derinliği, 25.4 cm ile 50.8 cm arasında; z/d değeri 2.75 ile 11 arasında değişmektedir.

$$l_p = \frac{d}{2} \left[1 + \left(1.14 \sqrt{\frac{z}{d}} - 1 \right) \left\{ 1 - \left(\frac{q - q'}{q_b} \right) \sqrt{\frac{d}{16.2}} \right\} \right] \quad (2.66)$$

Burada; q, çekme donatısı mekanik oranı; q', basınç donatısı mekanik oranı; q_b, dengeli çekme donatısı mekanik oranıdır ((A_b/(bxd))x(f_y/f')). Uzunluk birimleri inç'tir.

2.2.5.4 Corley (Corley, 1966)

Yapılan deneysel araştırmalar sonucunda Corley (1966) tarafında önerilen plastik mafsalsal uzunluğu aşağıda verilmiştir. Bu deneysel araştırmalarda; beton dayanımı, 27.5 MPa ile 41.3 MPa arasında; çelik akma dayanımı, 324 MPa ile 413.6 MPa arasında; boyuna donatı oranı %1.0 ile %3.0 arasında; enine donatı oranı %0.3 ile %9.0 arasında, kesit derinliği, 12.7 cm ile 76.2 cm arasında; kesit genişliği, 7.62 cm ile 30.48 cm arasında; kiriş açıklıkları, 91.44 cm ile 838.2 cm arasında değişmektedir.

$$l_p = \frac{d}{2} + 0.2 \frac{z}{\sqrt{d}} \quad (in\check{c}) \quad (2.67)$$

2.2.5.5 Mattock (Mattock, 1967)

Mattock (1967), Mattock (1964)'ta önerdiği plastik mafsalsal uzunluğu ifadesini basitleştirerek aşağıda şekilde vermiştir.

$$l_p = \frac{d}{2} + 0.05 z \quad (in\check{c}) \quad (2.68)$$

2.2.5.6 Park, Priestley ve Gill (Park, Priestley ve Gill, 1982)

Park, Priestley ve Gill (1982), yaptıkları deneysel araştırmalar dahilinde plastik mafsalsal uzunluğu olarak 0.42h sonucuna varmış, plastik mafsalsal uzunluğu için 0.4h önermiştir. Bu deneysel araştırmalarda; kolon boyutları 55x55 cm olup, açıklık/kesit derinliği oranı ikidir. Eksenel yük oranı, 0.2 ile 0.6 arasında değişmektedir. Burada; h, kesit derinliğidir.

2.2.5.7 Park, Priestley (Park, Priestley, 1987)

Park, Priestley ve Gill (1982)'e benzer bir yaklaşım kullanarak Park ve Priestley (1987) aşağıdaki formülü önermişlerdir.

$$l_p = 0.08 L + 6d_b \quad (MPa) \quad (2.69)$$

Burada; d_b , boyuna donatı çapı; L , eğilme olmayan noktadan kritik kesite olan mesafedir.

2.2.5.8 Park, Priestley (Park, Priestley, 1992)

Yapılan araştırmalar sonucunda Paulay ve Priestley (1992) aşağıdaki formülü önermişlerdir. Bu denklem betonarme kolonlar için yaklaşık 0.5h olarak önerilmiştir.

$$l_p = 0.08 L + 0.022d_b f_y \quad (MPa) \quad (2.70)$$

2.2.5.9 Sakai ve Sheikh (Sakai ve Sheikh, 1989)

Sakai ve Sheikh (1989) yaptıkları deneylerde, kesit en-boy oranının artması ile plastik mafsallık uzunluğunun artacağını rapor etmişlerdir. Ayrıca eksenel yük seviyesi ile enine donatı oranının plastik mafsallık uzunluğuna etkisi olduğunu sonucuna varmışlardır.

2.2.5.10 Sheikh ve diğ. (1993, 1994, 1998)

Sheikh ve Khoury (1993), Sheikh, Sakai ve Khoury (1994), Bayrak ve Sheikh (1998) tarafından yapılan çalışmalarda plastik mafsallık uzunluğunu 1.0h olarak önermişler. Yapılan deneyler yüksek eksenel kuvvet altında gerçekleştirilmiştir.

2.2.5.11 Mendis (Mendis, 2001)

Mendis (2001) tarafından yapılan deneysel araştırmalarda; kesme açıklığı-derinlik oranı veya boyuna donatı oranı arttıkça plastik mafsallık boyunun arttığı, ancak yanal donatı miktarı arttıkça plastik mafsallık boyunun azaldığını gözlemlenmiştir. Ayrıca Mendis, plastik mafsallık boyunun eksenel yüke karşı duyarsız olduğunu belirtmiştir.

2.2.5.12 Bae (Bae, 2005)

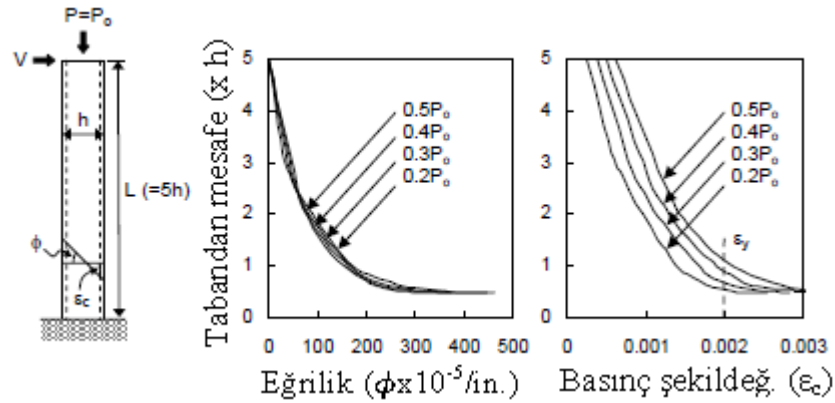
Bae tarafından (2005) yapılan deneylerde eksenel yük etkisi, kesme açıklığı-kesit derinliği oranı ve boyuna donatı miktarının plastik mafsallık uzunluğuna olan etkisi araştırılmıştır. Önerilen plastik mafsallık uzunluğu aşağıda verilmiştir.

$$\frac{l_p}{h} = \left[\left(0.3 \frac{P}{P_o} \right) + 3 \left(\frac{A_s}{A_g} \right) - 0.1 \right] \left(\frac{L}{h} \right) + 0.25 \geq 0.25 \quad (2.71)$$

Burada; A_s , toplam boyuna donatı alanı; A_g , kesit brüt alanı; L , kolon boyudur.

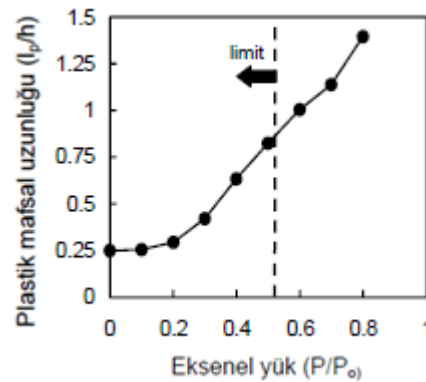
Eksenel Yük

Eksenel yük düzeyi (P/P_o) etkisi Şekil 2.23'te görülmektedir. Eksenel yük düzeyinin artması eğrilik üzerinde etkisi görülmezken, basınç şekildeğiştirmesini arttırdığı görülmektedir.



Şekil 2.23 : Eksenel yükün eğrilik ve basınç şekildeğiştirmesine etkisi (Bae, 2005).

Bae (2005), araştırmacıların önerdiği plastik mafsallarıyla eksenel yük düzeyi arasındaki ilişkiyle ilgili parametrik bir çalışma yapmıştır. Şekil 2.24'te eksenel yük düzeyi-plastik mafsallarıyla ilişkisi verilmiştir. Şekilde görüleceği gibi eksenel yük düzeyi arttıkça plastik mafsalları da artmaktadır. Bununla beraber düşük eksenel yük düzeylerinde, plastik mafsalları uzunluğunun fazla etkilenmediği görülmektedir.

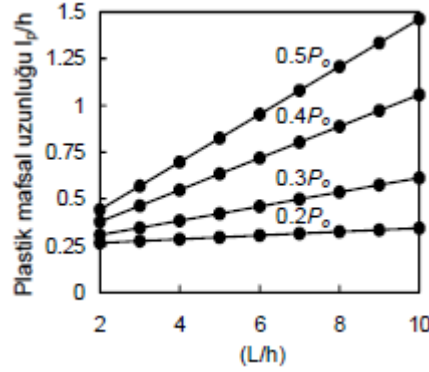


Şekil 2.24 : Plastik mafsalları uzunluğu-eksenel yük düzeyi ilişkisi (Bae, 2005).

Kesme Açıklığı-Kesit Derinliği Oranı

Bae (2005), araştırmacıların önerdiği plastik mafsallarıyla kesme açıklığı/kesit derinliği oranı arasındaki ilişkiyle ilgili parametrik bir çalışma yapmıştır. Kesme açıklığı-kesit derinliği oranı etkisi Şekil 2.25'te görülmektedir.

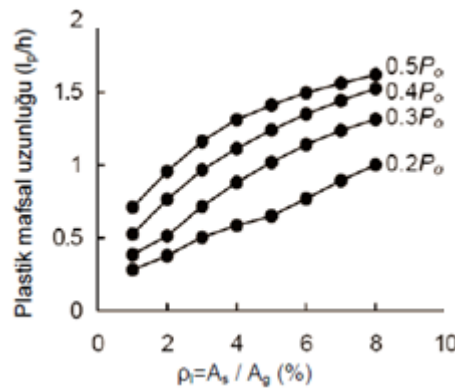
Belirli bir eksenel yük düzeyi için, kesme açıklığı/kesit derinliği oranının artması plastik mafsalları uzunluğunu arttırmaktadır. Ayrıca yüksek eksenel yük düzeyleri arttıkça, verilen plastik mafsalları uzunluğu-kesme açıklığı/kesit derinliği eğrilerinin eğiminin arttığı görülmektedir.



Şekil 2.25 : Plastik mafsalları uzunluğu-kesme açıklığı/kesit derinliği oranı ilişkisi (Bae, 2005).

Boyuna Donatı Oranı

Bae (2005), araştırmacıların önerdiği plastik mafsalları uzunluklarıyla boyuna donatı oranı arasındaki ilişkisiyle ilgili parametrik bir çalışma yapmıştır. Boyuna donatı oranının plastik mafsalları uzunluğuna etkisi Şekil 2.26'da görülmektedir. Tüm eksenel yük düzeyleri için, boyuna donatı oranının artması plastik mafsalları uzunluğunu arttırmaktadır. Bununla beraber aynı boyuna donatı oranı sahip kesitlerde, yüksek eksenel yük düzeyleri arttıkça plastik mafsalları uzunluğunun artmaktadır.



Şekil 2.26 : Plastik mafsalları uzunluğu-boyuna donatı oranı ilişkisi (Bae, 2005).

2.2.6 Plastik mafsalları uzunluğu için önerilen modellerinin karşılaştırılması

2.2.5'te incelendiği gibi araştırmacılar, yaptıkları deneylerde elde ettikleri sonuçlara dayanarak plastik mafsalları uzunluğu matematiksel olarak ifade etmeye çalışmışlardır.

Plastik mafsal uzunluğu; çok sayıda değişkenin fonksiyonu olup, her değişkenin plastik mafsal uzunluğuna etkisi birbirinden farklıdır ve diğer etkilere de bağlıdır. Genel olarak özetleyecek olursak, plastik mafsal uzunluğuna etkiyen faktörler;

- Eksenel yük düzeyi,
- Kesme açıklığı,
- Kesit geometrisi,
- Plastik mafsal bölgesindeki kayma gerilmesi seviyesi,
- Boyuna donatı oranı,
- Boyuna ve enine donatının mekanik özellikleri,
- Beton dayanımı,
- Potansiyel plastik mafsal bölgesindeki sargı donatısı ve etkinliği şeklinde sıralanabilir.

Bu konuda deneysel çalışma yapan araştırmacılardan biri olan Bae (2005) tamamladığı doktora çalışmasında, farklı araştırmacıların çalışmalarını kendi çalışmalarıyla karşılaştırmıştır. Diğer araştırmacıların önerdiği plastik mafsal uzunluklarından elde edilen sonuçlar, Bae tarafından beklenen plastik mafsal uzunlukları ve deneylerde ölçülen plastik mafsal uzunlukları Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3 : Plastik mafsal uzunluklarını karşılaştırılması (Bae, 2005).

Numune	Baker (1956)	Corley (1966)	Mattock (1967)	Park ve diğ. (1982)	Paulay ve Priestley (1992)	Sheikh ve diğ. (1993)	Bae (2005)	Deney Sonucu
S24- 2UT	0.60 h	0.49 h	0.70 h	0.40 h	0.80 h	1.00 h	0.69 h	0.66 h
S17- 3UT	0.65 h	0.52 h	0.80 h	0.40 h	0.96 h	1.00 h	0.86 h	0.91 h
S24- 4UT	0.62 h	0.49 h	0.70 h	0.40 h	0.72 h	1.00 h	0.25 h	0.49 h
S24- 5UT	0.56 h	0.49 h	0.70 h	0.40 h	0.72 h	1.00 h	0.25 h	0.47 h

Çizelge 2.3'ten de anlaşılacağı gibi araştırmacıların önermiş olduğu bağıntıların hiç biri deneysel sonuçlarla yeteri kadar uyumlu tahmin yapamamaktadır. Bazı

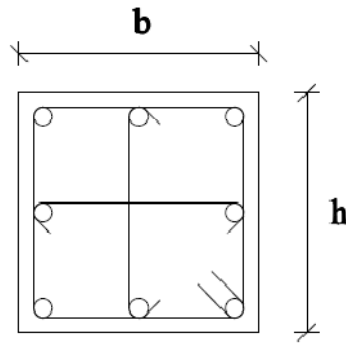
numuneler için yakınsayan tahminler diğer bazı numuneler için aynı yakınsaklığı gösterememektedir.

Benzer şekilde 2.2.5'te incelenen plastik mafsallı uzunluğu modelleri rastgele seçilen bir betonarme eleman üzerinde de kıyaslanmıştır.

Betonarme eleman ait özellikler aşağıda sıralanmıştır.

Eksenel yük oranı	= 0.3	d	= 350 mm
Boyuna donatı adedi	= 8	d'	= 50 mm
Boyuna donatı çapı	= 20 mm	L	= 1000 mm
Boyuna donatı oranı	= 0.018	f_y	= 365 MPa
b	= 400 mm	f_{yw}	= 365 MPa
h	= 400 mm	f_c	= 30 MPa

Elemana ait kesit, boyuna ve enine donatı düzeni Şekil 2.27'de verilmiştir.



Şekil 2.27 : 40x40 cm betonarme kolon kesiti.

Araştırmacıların yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda elde ettikleri ampirik plastik mafsallı uzunluğu formülleri Şekil 2.27'de kesiti verilen betonarme eleman için uygulanmış ve Çizelge 2.4'te verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 2.4 : Plastik mafsallı uzunluklarının karşılaştırılması.

Araştırmalar	Baker (1956)	Baker ve Amarokone (1964)	Mattock (1964)	Corley (1966)	Mattock (1967)	Park ve diğ. (1982)	Park ve Priestley (1987)	Paulay ve Priestley (1992)	Sheikh (1993, 1994, 1998)	Bae (2005)
Plastik Mafsallı Boyu	0.78h	0.46h	0.59h	0.57h	0.56h	0.42h	0.50h	0.60h	1.0h	0.36h

Çizelge 2.4'ten anlaşılacağı gibi araştırmacıların yapmış olduğu öneriler birbirinden çok farklı plastik mafsallık uzunlukları vermektedir. Tahmin edilen plastik mafsallık uzunlukları belirli bir sınır içerisinde (0.36~1.00 h) değişmektedir.

2.2.7 Yönetmeliklerde önerilen plastik mafsallık uzunlukları

DBYBHY'de doğrusal elastik olmayan yöntemlerle yapılacak hesaplarda, tüm taşıyıcı elemanlar için plastik mafsallık uzunluğu $l_p=0.5h$ alınmıştır (Bölüm 3.3.3.2).

Eurocode'da ise sünek betonarme elemanlarda minimum hasar sınırı için eksen dönmesi hesabında nihai eğrilik (ϕ_u) belirlenmesine göre iki farklı plastik mafsallık uzunluğu verilmiştir (Bölüm 3.5.2.3).

$$l_p = 0.1L_v + 0.17h + 0.24 \frac{d_{bL}f_y}{\sqrt{f_c}} \quad (2.72)$$

$$l_p = \frac{L_v}{30} + 0.2h + 0.11 \frac{d_{bL}f_y}{\sqrt{f_c}} \quad (2.73)$$

Burada; L_v kesme açıklığı; d_{bL} , boyuna donatının çapıdır.

FEMA'da; doğrusal olmayan statik yöntemle yapılacak hesaplarda, perdeler için plastik mafsallık uzunluğu $l_p=0.5h$ alınmıştır.

2.2.8 Plastik mafsallık uzunluğu için önerilen modellerle ilgili değerlendirme

Gerek yapılan çalışmalardan gerekse 2.2.7'inci bölümdeki plastik mafsallık uzunluklarının karşılaştırılmasında da görüleceği gibi plastik mafsallık uzunluğu önerilerinin sonuçları arasında belirgin çelişkiler bulunmaktadır. Plastik mafsallık uzunluğu hesabında kullanılacak ampirik formülün seçiminde; formüle esas olan deneyin hangi deney şartlarında yapıldığı, hangi değişkenin plastik mafsallık boyuna olan etkisinin araştırıldığı hususlarına dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu şekilde gerçeğe en yakın plastik mafsallık uzunluğuna yaklaşılabilecektir.

Plastik mafsallık uzunluğu; Baker (1956) tarafından z/d 'nin bir fonksiyonu olduğu düşünülmüş, eksenel yük oranı, çelik ve beton özelliklerinin bu katkısı göz önünde bulundurulmuştur. Sonrasında Eksenel yük katkısının zayıf olduğu düşünülerek Baker ve Amarokone (1964) tarafından çıkarılmıştır.

Mattock (1964), plastik mafsallık uzunluğunu; z/d oranı, faydalı yükseklik ve mekanik donatı oranının bir fonksiyonu olarak tanımlamıştır, sonrasında önerisini

basitleştirerek faydalı kesit ile moment sıfır noktası uzunluğunun bir fonksiyonu haline getirmiştir. Benzer bir öneri Corley (1966) tarafından da sunulmuştur.

Park, Priestley (1992) moment sıfır noktası uzunluğunun yanı sıra boyuna donatının önemli bir katkısı olduğunu belirtmişlerdir ve önerilen bu plastik mafsallık uzunluğu literatürde büyük kabul görmüştür.

Sakai ve Sheikh (1989), kesit en-boy oranının artması ile plastik mafsallık uzunluğunun artacağını ve eksenel yük ile enine donatının plastik mafsallık uzunluğuna katkısı olduğunu rapor etmişlerdir. Sheikh ve Khoury (1993), Sheikh, Sakai ve Khoury (1994), Bayrak ve Sheikh (1998) ise yüksek eksenel kuvvet altında plastik mafsallık uzunluğunun 1.0h'ya eşit olacağını önermişler. Bununla beraber Mendis (2001) de plastik mafsallık uzunluğuna eksenel yükün katkısının çok zayıf olduğunu belirtmiştir.

Bae (2005), plastik mafsallık uzunluğunun; eksenel kuvvet oranı, boyuna donatı oranı, kesme açıklığı/kesit derinliği oranının bir fonksiyonu olduğunu ve hepsinin katkısını göz önüne almıştır.

Görüldüğü gibi bazı araştırmacılar; eksenel yük oranının katkısını, bazıları boyuna donatının katkısını, ihmal etmekte veya farklı şekillerde ele almaktadır. Bununla beraber $z(L)$ ve d 'nin plastik mafsallık boyuna katkısını hemen hemen yer araştırmacı tarafından kabul edilerek dikkate alınmıştır. Son yıllarda yapılan araştırmalarda, enine donatının, boyuna donatının plastik mafsallık uzunluğuna katkısı araştırmacılar tarafından kabul edilmiştir.

3. YÖNETMELİKLERİN İNCELENMESİ

Bu bölümde mevcut binaların performansının değerlendirilmesi konusunda Türk Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007), Avrupa Yönetmeliği (EN 1998, 2005) ve Amerikan Afet Yönetmeliği (FEMA 356, 2000) verilen bilgiler karşılaştırmalı olarak incelenecektir.

3.1 Kapsam

Yapıların performans değerlendirmeleri yapılmadan önce; yönetmeliklerce belirlenen yaklaşımların, hesap yöntemlerinin, ilgili formüllerin hangi şartlar altında geçerli olduğunun belirtilmesi ve sınırlarının çizilmesi gerekmektedir. Bu nedenle tüm yönetmeliklerin başlangıç kısımlarında veya ilgili bölümlerinde ‘yönetmeliğin kapsamı’ bölümüne yer verilmektedir. Bu çalışmada incelenmekte olan yönetmeliklerin performans değerlendirmesiyle ilgili bölümlerinin kapsamı hakkında sırasıyla bilgi verilecektir.

DBYBHY

Türkiye Cumhuriyeti Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından yayımlanan DBYBHY (2007); yeni inşaa edilecek binaların depreme dayanıklı tasarımı konusundaki kurallar dışında, mevcut yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirilmesinde ve güçlendirilmesinde uygulanacak hesap kuralları ve ilkelerini de içermektedir. Deprem bölgelerinde bulunan mevcut ve güçlendirilecek binaların ve bina türü yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirilmesinde uygulanacak hesap kuralları, güçlendirme kararlarında esas alınacak ilkeler ve güçlendirilmesine karar verilen binaların güçlendirme tasarımı ilkeleri Bölüm 7: Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi’nde tanımlanmıştır. Bununla beraber, bu bölümde verilen hesap yöntemleri ve değerlendirmelerinin geçerli olmadığı durumlar aşağıda belirtilmiştir.

- Bu bölümde verilen kurallar, bina türünde olmayan yapılar için geçerli değildir.

- Verilen hesap yöntemleri ve değerlendirme esasları çelik ve yığma yapılar için geçerli değildir. Ancak mevcut çelik ve yığma binaların bilgileri bu bölüme göre toplanacaktır.
- Mevcut prefabrike betonarme binaların performanslarının belirlenmesinde doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri kullanılabilir. Ancak birleşim bölgelerinin değerlendirilmesinde yönetmelikte verilmiş olan ‘prefabrike binalara ilişkin özel koşullar’ geçerli olacaktır.
- Tarihi ve kültürel değeri olan tescilli yapıların ve anıtların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi bu yönetmelik kapsamı dışındadır.
- Binada hasara neden olan bir deprem sonrasında hasarlı binanın deprem performansı bu bölümde verilen yöntemlerle belirlenemez.

Eurocode

European Committee for Standardization (Avrupa Standartlaştırma Komitesi) tarafından yayımlanan Eurocode 8 (2005) standardı mevcut yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirilmesinde ve güçlendirilmesinde uygulanacak hesap kuralları ve ilkelerini içermektedir.

Betonarme, çelik ve kompozit yapılar, yığma yapılar için yapının deprem performansının değerlendirilmesi ve yapıların güçlendirilmesiyle ilgili hesap yöntemleri, kurallar ve ilgili konular Bölüm 3: Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi’nde (Part 3: Assessment and retrofitting of buildings) ele alınmıştır. Yalnızca tarihi değeri olan ve anıtsal özelliklere sahip olan yapıların değerlendirilmesi için yapının doğasına uygun, niteliklerine zarar vermeyecek özel yaklaşımlar, hükümler ve teknikler gerekmektedir.

Ayrıca genel olarak yapıların değerlendirmesinde aşağıda belirtilen ilkeler benimsenmiştir.

- Mevcut binaların deprem performansının belirlenmesi,
- Seçilen zorunlu önlemlerin tanımlanması,
- Değerlendirme ve güçlendirme için dört önemli ölçütün hazırlanması.
 - Tasarım kavramı,
 - Yapısal elemanların ölçümleri,
 - Yapısal analiz,
 - Yapısal elemanların detayları.

FEMA

Amerika Birleşik Devletleri Acil Durum Yönetim Merkezi (Federal Emergency Management Agency) tarafından yayımlanan FEMA 356 (2000) standardı, mevcut yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirilmesinde ve güçlendirilmesinde uygulanacak hesap kuralları ve ilkelerini içermektedir.

FEMA; çelik yapılar, betonarme yapılar, yığma yapılar, ahşap yapılar, hafif metal çerçeve yapılar olmak üzere yapıları farklı bölümlere ayrılmış olup, her yapıya ait değerlendirme kendi bölümü içerisinde vermektedir. Bölüm 6: Betonarme (Chapter 6: Concrete) olup betonarme yapı ve yapı elemanların performansları bu bölümde değerlendirilmektedir. Ayrıca kolon-kiriş, prefabrike elemanlar, gergili çerçeveler ve perdeler için ayrı ayrı değerlendirmeler yapılmaktadır.

3.2 Binalardan Bilgi Toplanması

Mevcut binaların deprem performansının değerlendirilmesinde binalardan bilgi toplanmasının önemi çok büyüktür. Yapılacak olan tüm değerlendirmeler, binalardan elde edilen bilgiler ışığında gerçekleştirilecektir. Yönetmeliklerde bu konu üzerinde önemle durulmakta olup bilgi toplanması, bina bilgi düzeyleri ve ilgili katsayılar ayrıntılarıyla anlatılmaktadır. Aşağıda DBYBHY, Eurocode ve FEMA çerçevesinde binalardan bilgi toplanması incelenecek ve yönetmeliklerle ilgili karşılaştırmalı bir değerlendirme yapılacaktır.

3.2.1 Binalardan toplanacak bilginin kapsamı

Binaların deprem performansının değerlendirilmesinde ilk adım olarak binaya ait bilgilerin toplanması gerekmektedir. Binadan elde edilen bilgiler doğrultusunda binanın matematik modeli kurulur, model kullanılarak binanın deprem etkisinde incelenmesi ve performans değerlendirmesi yapılır.

Binaya ait bilgiler;

- Binanın proje ve raporlarından,
- Bina hakkında yapılan gözlem ve ölçümlerden,
- Binadan alınan malzeme örnekleri üzerinde yapılacak deneylerden,
- Arazi araştırmalarından elde edilecektir.

Binadan bilgi toplanması kapsamında yapılması gereken işlemler aşağıda sıralanmıştır.

- Yapısal sistemin tanımlanması,
- Bina geometrisinin saptanması,
- Temel sisteminin saptanması,
- Zemin özelliklerinin saptanması,
- Varsa mevcut hasarın ve evvelce yapılmış olan değişiklik ve/veya onarımların belirlenmesi,
- Eleman boyutlarının ve donatıların belirlenmesi,
- Malzeme özelliklerinin saptanması,
- Yukarıda belirtilen ve sahada derlenen tüm bu bilgilerin binanın varsa projesine uygunluğu kontrol edilmelidir.

Binadan bilgi toplanması ile ilgili yukarıda verilmiş olan bilgiler; DBYBHY, FEMA ve Eurocode'da tam anlamıyla yer almakta ve açıklanmaktadır.

3.2.2 Bilgi düzeyleri

Binaların incelenmesinden elde edilecek bilgilerinin kapsamına göre, her bina türü için bilgi düzeyi ve buna bağlı olarak belirtilen bilgi düzeyi katsayıları tanımlanmaktadır. Değişik isimlendirmeler söz konusu olsa da yönetmeliklerde genel olarak bilgi düzeyleri sırasıyla sınırlı, orta ve kapsamlı olarak sınıflandırılmaktadır (Çizelge 3.1)

Çizelge 3.1 : Yönetmeliklerde bilgi düzeyleri.

	DBYBHY	Eurocode	FEMA
Bilgi Düzeyleri	Sınırlı	Sınırlı (Limited) (KL1)	Sınırlı (Minimum)
	Orta	Orta (Normal) (KL2)	Orta (Usual)
	Kapsamlı	Kapsamlı (Full) (KL3)	Kapsamlı (Enhanced)

Bilgi düzeyleri; geometri, eleman detayları ve malzeme özellikleri olmak üzere üç maddeye göre sınıflandırılırken yerinde yapılan ölçümler, eleman detaylandırma ölçümleri ve malzeme deneyleri bu sınıflandırmanın temelini teşkil etmektedir. DBYBHY ve Eurocode'da verilen bilgi düzeyleri; geometri, eleman detayları ve

malzeme özellikleri olmak üzere Çizelge 3.2, Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4’te verilmiştir. Yine benzer şekilde FEMA’da verilen bilgi düzeyleri Çizelge 3.5’te ayrı olarak ele alınmıştır.

Çizelge 3.2 : DBYBHY ve Eurocode’da geometrik özelliklerinin belirlenmesi.

Yönetmelik	Bilgi Düzeyi	Geometri
DBYBHY	Sınırlı	Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değildir, taşıyıcı sistem binada yapılacak ölçümlerle belirlenir.
	Orta	Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değilse, taşıyıcı sistem binada yapılacak ölçümlerle belirlenir. Projeler mevcut ise taşıyıcı sistem yeteri kadar ölçümle kontrol edilir.
	Kapsamlı	Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcuttur, taşıyıcı sistem yeteri kadar ölçümle kontrol edilir.
Eurocode	Sınırlı (KL1)	Proje çizimleri mevcut ise taşıyıcı sistem basit ölçümlerle kontrol edilerek belirlenir. Proje çizimler mevcut değilse taşıyıcı sistem tam ölçümlerle belirlenir.
	Orta (KL2)	
	Kapsamlı (KL3)	

Geometri; yapının taşıyıcı sistem planı ve özellikleri, taşıyıcı elemanların boyutları ve özellikleri, taşıyıcı olmayan elemanların planı, taşıyıcı sisteme katkısı ve özelliklerinin belirlenmesini içermektedir.

Eleman detayları; taşıyıcı elemanların enine ve boyuna donatı düzenleri, enine ve boyuna donatı adetleri, donatıların bindirme boyları ve şekilleri gibi taşıyıcı elemanlara ait ayrıntıları ortaya koymaktadır.

Malzeme özellikleri ise yapıda kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri hakkında bilgi vermektedir. Malzeme özellikleri, mevcut yapıdan alınan malzeme numunelerine yapılan deneyler sonucu elde edilir.

Çizelge 3.3 : DBYBHY ve Eurocode’da eleman detaylarının belirlenmesi.

Yönetmelik	Bilgi Düzeyi	Eleman Detayları
DBYBHY	Sınırlı	Betonarme projeler veya uygulama çizimleri mevcut değildir. Betonarme elemanlardaki donatı miktarı ve detaylarının binanın yapıldığı tarihteki minimum donatı koşullarını sağladığı varsayılır ve sınırlı sayıda ölçüm yapılır.
	Orta	Betonarme projeler veya imalat çizimleri mevcut değil ise 'Sınırlı Bilgi Düzeyi'ndeki hükümler geçerlidir ancak orta derecede ölçüm yapılır. Betonarme projeler veya imalat çizimleri mevcut ise donatı kontrolü için, 'Sınırlı Bilgi Düzeyi'nde belirtilen işlemler, aynı miktardaki betonarme elemanda uygulanacaktır ve sınırlı sayıda ölçümle kontrol edilecektir.
	Kapsamlı	Binanın betonarme detay projeleri mevcuttur. Donatının projeye uygunluğunun kontrolü için 'Orta Bilgi Düzeyi'nde belirtilen işlemler, aynı miktardaki betonarme elemanda uygulanacaktır.
Eurocode	Sınırlı (KL1)	Binanın projesi yoktur ve ilgili yönetmelikler dahilinde yapıya uygun bir proje tasarlanır ve yapıda sınırlı sayıda ölçümler yapılır.
	Orta (KL2)	Tamamlanmamış orijinal kapsamlı projeler mevcut ise proje çizimleri, sınırlı sayıda ölçümlerle kontrol edilir veya proje çizimleri mevcut değilse orta derecede ölçüm yapılır.
	Kapsamlı (KL3)	Orijinal kapsamlı proje çizimleri mevcuttur, proje sınırlı sayıda ölçümlerle kontrol edilir veya kapsamlı ölçümler yapılır.

Çizelge 3.4 : DBYBHY ve Eurocode’da malzeme özelliklerinin belirlenmesi.

Yönetmelik	Bilgi Düzeyi	Malzeme Özellikleri
DBYBHY	Sınırlı	Her katta düşey taşıyıcı elemanlardan en az iki adet karot alınır. Donatı sınıfı, paspayı sıyrılan yüzeylerde görsel inceleme sonucu tespit edilir.
	Orta	Her katta düşey taşıyıcı elemanlardan en az üç adet, binada toplam dokuz adetten az olmamak koşulu ile her 400 m ² 'den bir karot alınır. Donatı sınıfı, paspayı sıyrılan yüzeylerde görsel inceleme sonucu tespit edilir.
	Kapsamlı	Her katta düşey taşıyıcı elemanlardan en az üç adet, binada toplam dokuz adetten az olmamak üzere her 200m ² 'den bir karot alınır. Donatı sınıfı, paspayı sıyrılan yüzeylerden her çelik sınıfı için birer adet numune alınarak yapılır
Eurocode	Sınırlı (KL1)	İnşa sırasında yürürlükte olan yönetmeliklerde varsayılan olağan değerlere ve sınırlı sayıda alınan deney numunelerine göre malzeme özellikleri saptanır.
	Orta (KL2)	Orijinal tasarım şartnamesindeki değerler, sınırlı sayıdaki deney numunesiyle kontrol edilir veya orta derecede deney numunesi alınır.
	Kapsamlı (KL3)	Orijinal numune deney raporları sınırlı sayıda alınan karotlarla kontrol edilir veya kapsamlı deney numunesi alınır.

Yönetmeliklerde eleman detaylarının kontrolü ve/veya belirlenmesi işlemi için dikkate alınması gereken minimum eleman yüzdesi ve malzeme özelliklerinin deneyler sonucu tayini için alınması gereken minimum deney numunesi sayısı verilmiş olup bilgi düzeylerinin belirlenmesinde bu yüzde ve sayılara uyulması gerekmektedir.

Çizelge 3.5 : FEMA’da bilgi toplanması (FEMA-356, 2000).

Bilgi Düzeyi	Deney	Güçlendirme Hedefi	Projeler	Durum Değerlendirmesi	Malzeme Özellikleri
Sınırlı (Minimum)	-	Temel güçlendirme veya daha aşağısı	Tasarım projesinden yararlanılır.	Görsel	Projeden veya yönetmeliklerce varsayılan değerlerden elde edilir.
	-	Temel güçlendirme veya daha aşağısı	Tasarım projesine eşdeğer bir proje hazırlanır.	Kapsamlı	Yönetmeliklerce varsayılan değerlerden elde edilir.
Orta (Usual)	Orta Kapsamlı	Temel güçlendirme veya daha aşağısı	Tasarım projesinden yararlanılır.	Görsel	Projeden bilgilerinden ve yapılan deneylerden elde edilir.
	Orta Kapsamlı	Temel güçlendirme veya daha aşağısı	Tasarım projesine eşdeğer bir proje hazırlanır.	Kapsamlı	Orta kapsamlı yapılan deneylerden elde edilir.
Orta (Usual)	Orta Kapsamlı	Gelişmiş güçlendirme	Tasarım projesinden yararlanılır.	Görsel	Projeden bilgilerinden ve yapılan deneylerden elde edilir.
	Orta Kapsamlı	Gelişmiş güçlendirme	Tasarım projesine eşdeğer bir proje hazırlanır.	Kapsamlı	Orta kapsamlı yapılan deneylerden elde edilir.
Kapsamlı (Comprehensive)	Kapsamlı	Gelişmiş güçlendirme	Tasarım projesi ve inşaat dokümanlarından yararlanılır.	Görsel	Projeden bilgilerinden, proje raporlarından ve yapılan deneylerden elde edilir.
	Kapsamlı	Gelişmiş güçlendirme	Tasarım projesine eşdeğer bir proje hazırlanır.	Kapsamlı	Kapsamlı yapılan deneylerden elde edilir.

i. **Çizelge 3.20**’de verilen bina performanslarına göre; temel güçlendirme, k+p; temel güçlendirme aşağısı k veya p veya c,g,d,h,l; gelişmiş güçlendirme k+p ve a, e, i, b, f, j,n’den bir tanesi veya o veya n veya m olarak tanımlanır.

Çizelge 3.6’da DBYBHY’de eleman detayı için kontrol edilmesi gereken minimum eleman yüzdesi ve her katta alınması gereken minimum numune sayısı hakkında bilgi verilmiştir.

Çizelge 3.6 : DBYBHY’de detay ve malzeme kontrolü (DBYBHY, 2007).

DBYBHY Bilgi Düzeyi	Detay Kontrolü		Malzeme Kontrolü
	Kontrol Edilecek Eleman Yüzdesi		Her Katta Alınacak Minimum Numune
	Kolon	Kiriş	Sayısı
Sınırlı	10	5	2
Orta	20	10	3
Kapsamlı	20	10	3

DBYBHY’de kontrol edilecek elemanların paspayları sıyrılarak donatı ve donatı bindirme boyu tayini yapılacaktır. Paspayı sıyıramayan elemanlar için donatı sayısı ve yerleşimi tespit cihazlarıyla belirlenecektir.

Çizelge 3.7 ve Çizelge 3.8’de sırasıyla Eurocode ve FEMA’da eleman detayı için kontrol edilmesi gereken minimum eleman yüzdesi ve her katta alınması gereken minimum numune sayısı hakkında bilgi verilmiştir.

Çizelge 3.7 : Eurocode’da detay ve malzeme kontrolü (EN 1998, 2005).

Eurocode Bilgi Düzeyi	Detay Kontrolü		Malzeme Kontrolü
	Kontrol Edilecek Eleman Yüzdesi		Her Katta Alınacak Minimum Numune Sayısı
	Her Taşıyıcı Eleman İçin (Kolon, Kiriş, ve benzeri)		
Sınırlı	20		1
Orta	50		2
Kapsamlı	80		3

Çizelge 3.8 : FEMA’da detay ve malzeme kontrol (FEMA-356, 2000).

FEMA Bilgi Düzeyi	Detay Kontrolü		Malzeme Kontrolü
	Kontrol Edilecek Eleman Yüzdesi		Her Katta Alınacak Minimum Numune Sayısı
Görsel	20		-
Kapsamlı	25		3

Malzeme özelliklerinin belirlenmesi yapıdan numuneler alınarak yapılmaktadır; DBYBHY, malzeme özelliklerinin belirlenmesinde sadece düşey taşıyıcı elemanlardan yararlanırken, diğer yönetmelikler tüm taşıyıcı elemanların malzeme

özelliklerinin belirlenmesini istemektedir. Ayrıca FEMA’da; numuneler, düğüm noktalarından alınmaktadır.

3.2.3 Bilgi düzeyi katsayıları

İnceleme konusu yönetmeliklerde farklı bilgi düzeyleri için kullanılacak olan analiz yöntemleri ve bilgi düzeyi katsayıları Çizelge 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.9 : Analiz yöntemleri ve bilgi düzeyi katsayıları.

Yönetmelik	Bilgi Düzeyi	Analiz Yöntemi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
DBYBHY	Sınırlı	-	0.75
	Orta	-	0.90
	Kapsamlı	-	1.00
Eurocode	Sınırlı (KL1)	Doğrusal elastik	0.74
	Orta (KL2)	Doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan	0.83
	Kapsamlı (KL3)	Doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan	1.00
FEMA	Sınırlı (Minimum)	Doğrusal elastik	0.75
	Orta (Usual) (Tasarım Depremi ve aşağısı)	Doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan	0.75
	Orta (Usual) (En büyük deprem)	Doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan	1.00
	Kapsamlı (Comprehensive)	Doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan	1.00

Eleman performansları elde edilen bilgi düzeyi katsayıları ile çarpılarak azaltılmaktadır. Örneğin, bilgi düzeyi düşük olan bir binanın performansı, bilgi düzeyi katsayısı ile çarpılarak azaltılmaktadır.

3.3 Hesap Yöntemleri

Yönetmeliklerde kullanılan hesap yöntemleri ve hesap ilkeleri birbirinden farklı olmakla beraber yönetmeliklerin genel amacı mevcut yapıların deprem performansının belirlenmesi ve değerlendirilmesidir. Bu amaç doğrultusunda yönetmeliklerde doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri kullanılır. Yönetmelikler ve kullanılan yöntemler teorik olarak birbirinden farklı olmasına rağmen birbirlerine yakın sonuçlar vermelidirler.

Bu çalışmada incelenen üç yönetmelikte kullanılan hesap yöntemleri aşağıda sırasıyla verilmiştir.

DBYBHY

- Doğrusal Elastik Yöntemler
 - Eşdeğer deprem yükü yöntemi
 - Mod birleştirme yöntemi
 - Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler
 - Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi
 - Artımsal mod birleştirme yöntemi
 - Zaman tanım alanında hesap yöntemi
- } Artımsal itme analizi

Eurocode

- Doğrusal Elastik Yöntemler (Linear Analysis)
 - Eşdeğer deprem yükü yöntemi (Lateral force analysis)
 - Mod birleştirme yöntemi (Modal response spectrum analysis)
- Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler (Nonlinear Analysis)
 - Artımsal itme analizi (Nonlinear static, pushover, analysis)
 - Zaman tanım alanında hesap yöntemi (Nonlinear time history dynamic analysis)

FEMA

- Doğrusal Elastik Yöntemler (Linear Procedure)
 - Eşdeğer deprem yükü yöntemi (Linear static procedure) (LSP)
 - Doğrusal dinamik (Linear dynamic procedure) (LDP)
- Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler (Nonlinear Procedure)
 - Doğrusal olmayan statik yöntem (Nonlinear static procedure) (NSP)
 - Doğrusal olmayan dinamik yöntem (Nonlinear dynamic procedure) (NDP)

3.3.1 Doğrusal elastik hesap yöntemleri

Bu bölümde, doğrusal elastik hesap yöntemlerinin hesap esaslarına girilmeden yöntemler hakkında genel bilgi verilecektir. Doğrusal elastik hesap yöntemleri; eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemi olmak üzere iki genel gruba ayrılmaktadır.

Eşdeğer deprem yükü yönteminde, yapısal özellikler göz önünde bulundurularak depreme eşdeğer bir statik yük hesaplanır. Bu yükün deprem etkisine karşı geldiği kabul edilir. Elde edilen eşdeğer deprem yükü, statik yatay yük olarak yapıya etkililir. Sonrasında eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti), kat yüksekliği ve kat kütleleri oranınca her bir kata dağıtılır. Yatay yük ve düşey yükler altında sistem çözümlenir ve yapı elemanlardaki iç kuvvetler elde edilir.

Mod birleştirme yöntemi, binanın yeterli sayıdaki titreşim modunun her birinin katkılarıyla elde edilen iç kuvvetler neticesinde yapının performansının belirlenmesi ilkesine dayanır.

Doğrusal elastik yöntemlerle binaların deprem performansının belirlenmesinde, elemanların etki/kapasite oranları belirleyici etken olmaktadır. Doğrusal elastik yöntemlerle hesaplanmış eleman iç kuvvetlerinin eleman kapasitesine oranı yapının performansı ve güvenlik düzeyi hakkında bilgi vermektedir. Yönetmeliklerde taşıyıcı elemanlara ait etki/kapasite tabloları verilmiş olup bu tablolardan yararlanarak yapının hasar sınırları belirlenmektedir.

Ayrıca doğrusal elastik yöntemlerle yapılan hesaplarda; deprem doğrultusunda yapının göreceli kat ötelemelerinin kontrolü yapılmakta, bu kat ötelemeleri de sınır değerlerle karşılaştırılarak yapıların hasar sınırları belirlenmektedir.

3.3.2 Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri

Deprem etkisi altında mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme analizleri için kullanılacak doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin amacı, sünük davranışa ilişkin plastik şekil değiştirme istemlerinin ve gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanmasıdır. Daha sonra bu istem büyüklükleri, şekil değiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirmesi yapılır.

3.3.3 DBYBHY’de doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri

DBYBHY’de doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri; artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi, artımsal mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında hesap yöntemi olmak üzere üç kategoriye ayrılmıştır. DBYBHY’de, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve artımsal mod birleştirme yönteminden yararlanarak artımsal itme analizi yapılmaktadır. Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı bir doğrusal statik analiz yapılmakta ve bu analizin sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınmaktadır. Artımsal itme analizi sonrasında elastik ötesi davranışı gerçekleştirmiş kesitlerde plastik eğrilik istemleri ve toplam eğrilik istemleri elde edilerek bunlara bağlı olarak betonarme kesitlerde betonda ve donatı çeliğinde meydana gelen birim şekildeğiştirme istemleri hesaplanır. Elde edilen birim şekildeğiştirme kapasite ile sınır değerler karşılaştırılarak kesit performansı belirlenir.

3.3.3.1 Genel ilke ve kurallar

Bu bölümde verilmiş olan genel ilke ve kurallar doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri için geçerlidir.

Deprem etkisinin tanımında, elastik (azaltılmamış) ivme spektrumu kullanılacaktır ancak farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde hedeflenen bina performanslarına göre yapılan değişiklikler göz önüne alınacaktır.

Binaların deprem performansı, yapıya etkiyen düşey yüklerin ve deprem etkilerinin birleşik etkileri altında değerlendirilecektir. Deprem kuvvetleri binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etki ettirilecektir.

Bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki betonarme kesitlerin etkileşim diyagramlarının tanımlanmasına ilişkin koşullar aşağıda verilmiştir:

- Analizde beton ve donatı çeliğinin bilgi düzeyine göre belirlenen mevcut dayanımları esas alınacaktır.
- Betonun maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekildeğiştirmesi ise 0.01 alınabilir.
- Etkileşim diyagramları uygun biçimde doğrusallaştırılarak çok doğrulu veya çok düzlemlili diyagramlar olarak modellenebilir.

Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri $(EI)_e$ kullanılacaktır. Daha kesin bir hesap yapılmadıkça, etkin eğilme rijitlikleri için aşağıda verilen değerler kullanılacaktır:

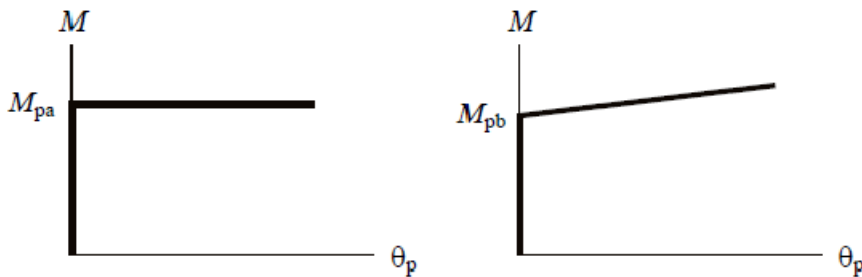
- Kirişlerde: $(EI)_e = 0.40 (EI)_o$
- Kolon ve perdelerde,
 - $N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.10$ olması durumunda: $(EI)_e = 0.40 (EI)_o$
 - $N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0.40$ olması durumunda: $(EI)_e = 0.80 (EI)_o$

3.3.3.2 Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi

Malzeme bakımında doğrusal elastik olmayan davranış, DBYBHY’de aşağıdaki şekilde idealleştirilmiştir.

- Plastik mafsallık hipotezi kullanılacaktır (Bölüm 2.2.2),
- Plastik mafsallık uzunluğu = $0.5h$ (h : Çalışan doğrultudaki kesit boyutu) alınacaktır,
- Başka bir modelin seçilmediği durumlarda; sargılı beton için Mander modeli (Mander ve diğ., 1988) (Bölüm 2.1.4.2), çelik için ise Mander donatı modeli (Mander, 1984) (Bölüm 2.1.5) kullanılacaktır.
- Plastik mafsallar; en çok zorlanacağı öngörülen kolon-kiriş birleşim bölgesinin hemen dışına, diğer deyişle kolon veya kirişlerin net açıklıklarının uçlarına konulabilir. Ayrıca düşey yükler etkisi altında kirişlerin açıklık bölgesinde de plastik mafsallık oluşabilir.

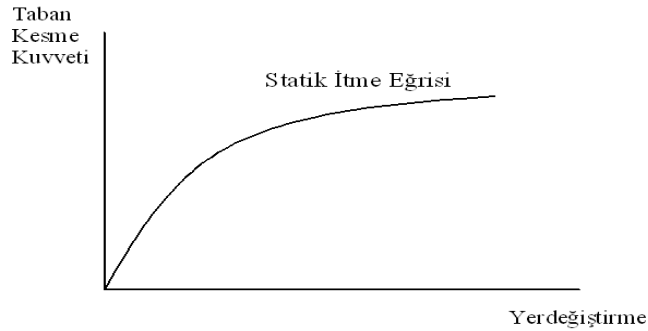
İç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi (plastik dönme artışına bağlı olarak plastik momentin artışı) yaklaşık olarak terk edilebilir. Pekleşme etkisinin göz önüne alınması durumunda plastik moment artışı gözlenir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : Moment-dönme ilişkisinde pekleşme etkisi (DBYBHY, 2007).

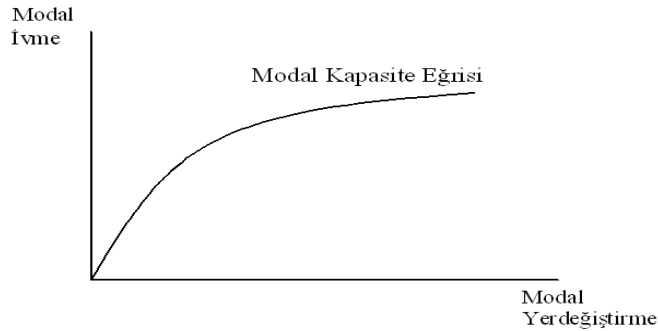
3.3.3.3 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi

Mevcut taşıyıcı sistem $G+nQ$ yükleri altında çözülerek kesit etkileri belirlenir. Taşıyıcı sistemde plastik mafsall oluşması beklenen kesitlerin $G+nQ$ yüklemedeki normal kuvvetler altında pozitif ve negatif eğilme moment kapasiteleri hesaplanır. Deprem etkisinde normal kuvvet değerlerinde değişiklik olacağı için bu değerlerde de değişiklikler olacaktır. Taşıyıcı sisteme birinci titreşim modu ve kat kütleleri ile orantılı uygulanan yatay yük etkisi altındaki statik itme eğrisi elde edilir (Şekil 3.2) (Celep, 2008).



Şekil 3.2 : Moment statik itme eğrisi (Celep, 2008).

Statik itme eğrisi modal kapasite eğrisine dönüştürülür (Şekil 3.3).Göz önüne alınan depreme bağlı olarak periyot-spektral ivme eğrisi oluşturulur ve bu eğriden spektral yerdeğiştirme eğrisine geçilir.



Şekil 3.3 : Modal kapasite eğrisi (Celep, 2008).

Deprem talep ve sistem kapasite eğrileri kullanılarak binanın performans noktası elde edilir. Performans noktasında bulunan modal yerdeğiştirme talebinden, taşıyıcı sisteme ait iç kuvvet, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme talebi belirlenir (Celep, 2008).

3.3.3.4 Artımsal mod birleştirme yöntemi ile itme analizi

Bu yöntem, genellikle birinci modal kütlenin binanın davranışına yeterli katkıda bulunmadığı (yüksek katlı binalar veya düzensiz binalar) yapılarda diğer modal

kütlelerin de katkısını göz önüne almaktadır. Artımsal itme analizinin artımsal mod birleştirme yöntemi ile yapılması durumunda, göz önüne alınan bütün modlara ait modal kapasite diyagramları ile birlikte modal yerdeğiştirme istemleri de elde edilecek, bunlara bağlı olarak taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dönmeler) ve iç kuvvet istemleri hesaplanacaktır.

Artımsal mod birleştirme yönteminin amacı, taşıyıcı sistemin davranışını temsil eden yeteri sayıda doğal titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde monotonik olarak adım adım arttırılan ve birbirleri ile uygun biçimde ölçeklendirilen modal yerdeğiştirmeler veya onlarla uyumlu modal deprem yükleri esas alınarak mod birleştirme yönteminin artımsal olarak uygulanmasıdır. Ardışık iki plastik kesit oluşumu arasındaki her bir itme adımında, taşıyıcı sistemde adım adım doğrusal elastik davranışın esas alındığı bir yöntem türüdür.

3.3.3.5 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi, taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranış göz önüne alınarak sistemin hareket denkleminin adım adım integre edilmesidir. Analiz sırasında her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır.

3.3.3.6 Birim şekildeğiştirme istemlerinin belirlenmesi

Doğrusal elastik olmayan yöntemlerle hesaplanan çıkış bilgisi olarak herhangi bir kesitte elde edilen, plastik dönme istemine (θ_p) bağlı olarak plastik eğrilik istemi, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanacaktır.

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (3.1)$$

Amaca uygun olarak seçilen bir beton modeli ile pekleşmeyi de göz önüne alan donatı çeliği modeli kullanılarak, kesitteki eksenel kuvvet istemi altında yapılan analizden elde edilen iki doğrulu moment-eğrilik ilişkisi ile tanımlanan eşdeğer akma eğriliği (ϕ_y), Denklem 3.1 ile tanımlanan plastik eğrilik istemine (ϕ_p) eklenerek, kesitteki toplam eğrilik istemi (ϕ_t) elde edilecektir:

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (3.2)$$

Betonun basınç birim şekildeğiştirme ve çeliğin birim şekildeğiştirme istemi, toplam eğrilik istemine göre belirlenecektir.

3.3.4 Eurocode’da doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri

3.3.4.1 Analiz modeli oluşturulması

Yapısal hesaplardan önce oluşturulması gereken analiz modeliyle ilgili uyulması gereken genel kurallar aşağıda sıralanmıştır. Bu kurallar, tüm analiz çeşitleri için geçerli olup yapısal modelin oluşturulmasıyla ilgilidir.

Yapısal model, kütle ve rijitlik dağılımlarını gerçekçi bir biçimde ifade etmelidir. Deprem etkisi altında şekildeğiştirmeler, atalet kuvvetleri uygun bir şekilde hesaplanmalıdır. Düğüm noktalarının yapının davranışına katkısı yapısal modelde hesaplanabilmelidir. Ayrıca yapısal model; elastik ötesi analizde, yapıların elastik ötesi dayanımlarını da göz önünde bulundurmalıdır

Genel olarak yapı, yatay diyaframlarla birbirine bağlı düşey ve yatay taşıyıcı sistemler bütünü olarak düşünülebilir. Yatay diyaframların rijit diyafram olması durumunda, her kata ait kütle ve atalet momentleri kat ağırlık merkezinde toplanabilir. Düzensizliklerin kabul edilebilir seviye olması, burulma etkisinin küçük olması ve basit yapı olması durumunda, yapı; iki ana doğrultuda düzlemsel olarak modellenebilir.

Kuvvet-şekildeğiştirme ilişkisi elemanların rijitliklerine bağlı olup elemanların çatlamış performanslarıyla ilgili gerçekçi hesap yapılmadığı takdirde; elemanların etkin rijitlikleri, elastik rijitliklerinin yarısı alınabilir.

Temel dönmeleri; hesaplarda göz önünde bulundurulmalıdır, gerekirse temel yapısal modele dahil edilmelidir.

Kütle hesaplanırken, hareketli yükün düşey yüke katkısı yönetmelikte verilen oranlarda yapılmalıdır.

3.3.4.2 Genel ilke ve kurallar

Eurocode’da yapısal analiz hakkında verilmiş bazı ilke ve kurallar aşağıda sıralanmıştır. Bu genel ilke ve kurallar doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri için geçerlidir, ayrıca her analiz türü kendi ilke ve kurallarına sahiptir.

Elastik hesap için kurulan yapısal model, elemanların elastik ötesi dayanımı ve davranışını kapsayacak şekilde genişletilmelidir. Eleman seviyesindeki kuvvet-şekildeğiştirme ilişkisi minimum iki doğrulu (bi-linear) olmalıdır. Betonarme elemanlardaki iki doğrulu kuvvet-şekildeğiştirme ilişkisine ait eğilme rijitliği, çatlama kesitin elastisite modülüne bağlıdır.

Akma sonrası rijitlik sıfır kabul edilebilir. Akma sonrası dayanım azalması bekleniyorsa, bu azalma kuvvet-şekildeğiştirme eğrisine yansıtılmalıdır.

Sisteme etkiyen deprem yükü her iki doğrultuda uygulanmalı ve hesaplarda elde edilen en büyük deprem etkisi kullanılmalıdır. Yapıda mevcut olan düşey yükler, deprem yükleriyle birleştirilerek yapısal modele etkitilmelidir. Sisteme etkiyen deprem yükünün düşey bileşeni söz konusu ise yatay ve düşey yüklerin kombinasyonuna depremin düşey bileşeni de eklenir.

Farklı kütle dağılımlarını göz önünde bulundurarak minimum dış merkezlik, deprem doğrultusuna dik kenar uzunluğunun $\pm 5\%$ 'i olmalıdır.

3.3.4.3 Artımsal itme analizi

Artımsal itme analizi (pushover analizi), sabit düşey yükler altında yatay yükün monotonik olarak arttırılması ilkesine dayanır. Mevcut yapıların yapısal performansının belirlenmesinde veya tasarımı yapılacak yapıların yapısal performansının doğrulanmasında aşağıdaki amaçlar doğrultusunda artımsal itme analizi kullanılmaktadır.

- Taşıyıcı sistem davranış faktörü çarpanının doğrulanması veya revize edilmesi,
- Potansiyel plastik mafsallı bölgelerinin belirlenerek mekanizma durumunun tahmin edilmesi ve hasarın dağılımının,
- Mevcut binaya ait yapısal performansın amacına uygun olarak değerlendirilmesi,

Eğer yapıdaki düzensizlikler izin verilen sınırlar içerisinde kalıyorsa; yapısal analiz, her iki yatay doğrultuda iki düzlemsel model kurularak yapılabilir. Düzensizlikler izin verilen sınırların dışında ise yapısal analiz üç boyutlu olarak yapılmalıdır. Yapıya, eşdeğer deprem yükünden elde edilen yatay yük veya mod birleştirme yönteminden elde edilen yükler olmak üzere birbirine dik en az iki doğrultuda

uygulanmalıdır. Yatay yükler, kütle merkezine uygulanmalıdır, ayrıca dış merkezlikler göz önünde bulundurulmalıdır.

Kapasite eğrisi, taban kesme kuvveti ile yerdeğiştirme ilişkisini vermekte olup yerdeğiştirmenin sıfır ile hedef yerdeğiştirmenin %150'si aralığında olduğu durumlar için artımsal itme analiziyle elde edilir. Yerdeğiştirme, yapının en üst katının kütle merkezinin yerdeğiştirmesi olarak kabul edilir.

Taşıyıcı sistem davranış faktörü çarpanı, artımsal itme analizi sonucunda elde edilir, küçük olan çarpan kullanılır.

Plastik mekanizma durumu, yatay yükler sisteme uygulandıktan sonra belirlenir. Plastik mekanizma durumu her iki doğrultu için belirlenmelidir.

Hedef yerdeğiştirme, itme analizinin ilk adımında doğrusal davranış esas alınarak birinci moda karşı gelen doğrusal spektral yerdeğiştirmeye bağılı olarak elde edilir.

Yapıda burulma modunun etkin olması durumunda, diğeri bir deyişle birinci modun veya ikinci modun burulma olması durumunda, yapının yüksek rijitliğe sahip olduğu doğrultudaki (X veya Y) yerdeğiştirme değerleri arttırılır.

3.3.4.4 Zaman tanım alanında hesap yöntemi

Zaman tanım alanında hesap yöntemi, hareket denkleminin adım adım integre edilmesiyle yapısal davranışı ortaya koyar.

Eğer en az yedi deprem kaydı kullanılarak yapının elastik ötesi davranışı belirleniyorsa, kullanılan deprem kayıtlarının ortalama etkisi göz önünde bulundurulur; aksi takdirde en elverişsiz duruma göre yapının analizi gerçekleştirilir.

3.3.5 FEMA'da doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri

3.3.5.1 Genel ilke ve kurallar

Doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemler için ortak olarak kullanılan hesap ilke ve kuralları aşağıda sıralanmıştır.

Yapının iki boyutlu matematik modeli kurulabilir fakat bu modelin kurulabilmesi için burulma etkisinin sınırlı düzeyde olması gerekmektedir. Yatay diyaframın bu kabulde etkisi büyüktür.

Yapının kat planındaki rijitlik merkezi ile kütle merkezinin çakışmaması sonucu dış merkezlilik oluşur ve bu dış merkezlilik sonucu burulma momenti meydana gelir. Burulma etkisi; maksimum kat yerdeğiştirmesinin, ortalama kat yerdeğiştirmesine oranı olan η_x 'in bir fonksiyonu ($A_x=(\eta_x/1.2)^2 \leq 3.0$) olarak göz önüne alınır. Bununla beraber istem dışı meydana gelebilecek dış merkezlik için hesaplarda %5'lik ilave bir dış merkezlik düşünülür.

Yapısal elemanlar; birincil ve ikincil elemanlar olmak üzere ikiye ayrılır. Birincil elemanlar, düşey yüklerle beraber deprem yüklerini karşılayan elemanlardır; ikincil elemanlar ise deprem yüklerinin karşılanmasında katkıları birincil elemanlara göre çok küçük olan elemanlardır. İkincil elemanlar, daha çok düşey yüklerin taşınmasında kullanılır. Bununla beraber deprem yükleri altında birincil elemanlara bağlı olarak yer ve şekildeğiştirmeler yaparlar.

Diyafram tanımı; rijit diyafram, yarı rijit diyafram, esnek diyafram olmak üzere üç farklı şekildedir. Rijit diyafram, diyaframın maksimum yatay yerdeğiştirmesinin alt katın ortalama görelî kat ötelemesinin yarısından küçük olması şeklinde tanımlanmaktadır. Esnek diyafram ise diyaframın maksimum yatay yerdeğiştirmesinin alt katın ortalama görelî kat ötelemesinin iki katından büyük olması durumu şeklinde tanımlanmaktadır. Diğer durumlar ise yarı rijit diyafram olarak tanımlanmaktadır. Diyaframlar; yatay yük aktarımı, burulma etkisinin hesaplanması konularında önemli bir role sahiptir.

Zemin-yapı etkileşimi, yapının deprem istemini zemin karakterine göre belirleyen bir hesap yöntemidir. Tüm binalar için uygulanması gerekli değildir.

Deprem hesabı yapılırken yatay yükler ile beraber mevcut bulunan düşey yüklerin hesaba katılması zorunludur. Yapılacak hesaplar, yatay ve düşey yüklerin bir kombinasyonu şeklinde olup yapıya etkiyecek tüm etkileri içermelidir. Ayrıca bir deprem doğrultusunda hesap yapılırken diğer doğrultudaki depremin %30'luk bir etkisi de göz önünde bulundurulmalıdır. Bununla beraber eğer depreme ait düşey bileşen söz konusu ise bu düşey bileşen göz önüne alınmalıdır.

Eğilme, kesme ve eksenel kuvvet etkisindeki elemanlarda çatlamış kesite ait etkin rijitlikler kullanılacaktır. Etkili rijitlikler, Çizelge 3.10'da verilen şekilde kullanılabilir. Çizelgede; E_c , beton elastisite modülü; E_s , çelik elastisite modülü; A_s , kesitteki toplam donatı alanıdır.

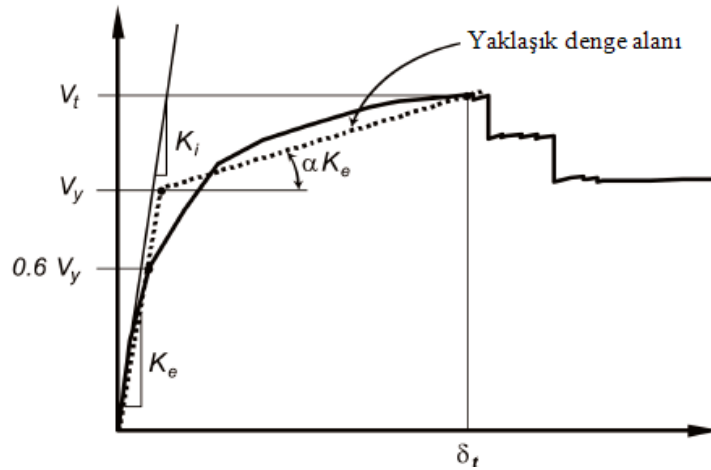
Çizelge 3.10 : Etkili rijitlikler (FEMA-356, 2000).

Eleman	Eğilme Rijitliği	Kesme Rijitliği	Eksenel Rijitlik
Kolon $N_d/(A \cdot f_c) \geq 0.5$	$0.7 E_c I$	$0.4 E_c A$	$E_c A$
Kolon $N_d/(A \cdot f_c) \leq 0.3$	$0.5 E_c I$	$0.4 E_c A$	$E_s A_s$
Kiriş	$0.5 E_c I$	$0.4 E_c A$	-
Öngermeli Kiriş	$E_c I$	$0.4 E_c A$	-
Perde	$0.8 E_c I$	$0.4 E_c A$	$E_c A$
Perde (Çatlamış)	$0.5 E_c I$	$0.4 E_c A$	$E_c A$

3.3.5.2 Doğrusal elastik olmayan statik yöntem

Kurulan matematik model, yapı elemanları ile doğrudan ilişkili olup yapıya monotonik olarak artan yatay yükler uygulanır. Yapının artan yükler etkisi altında hedeflenen yerdeğiştirmeye erişimi incelenir. Hesaplar her iki doğrultuda ve her iki yön için yapılır. En üst katın kütle merkezinin yerdeğiştirmesi hedef yerdeğiştirme ile kıyaslanır.

Şekil 3.4'te görüldüğü gibi taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme eğrisi, iki doğru ile temsil edilebilir. Akmadan sonra itme eğrisinin düşüşe geçmesi durumunda eğrinin idealleştirilmesi Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Burada; K_i , taşıyıcı sistemin başlangıçtaki elastik yanal yerdeğiştirme rijitliği; K_e , etkili rijitlik, V_y , etkili akma dayanımıdır.

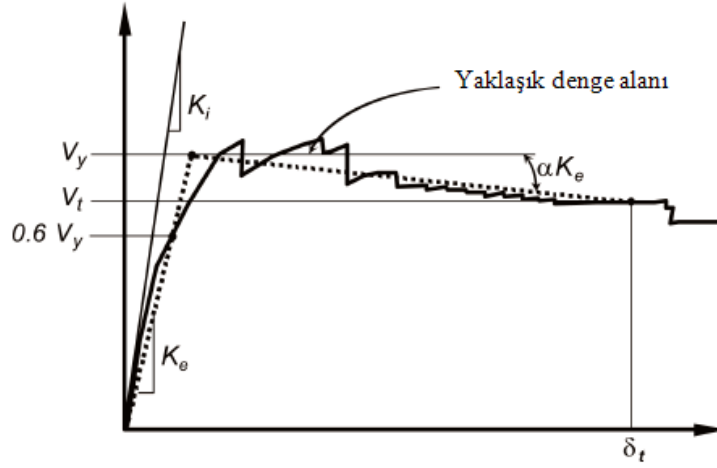


Şekil 3.4 : Pozitif eğimli idealleştirilmiş yatay kuvvet-şekildeğiştirme eğrisi (FEMA-356, 2000).

Bina periyodu, ilgili doğrultudaki yatay kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi kullanılarak elde edilir (Şekil 3.5).

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (3.3)$$

Burada; T_e , bina periyodu; T_i , taşıyıcı sistemin başlangıçtaki K_i elastik yanal yerdeğiştirme rijitliği göz önüne alınarak hesaplanan periyottur.



Şekil 3.5 : Negatif eğimli idealleştirilmiş yatay kuvvet-şekildeğiştirme eğrisi (FEMA-356, 2000).

Hedef yerdeğiştirme, her kat için öngörülen yerdeğiştirmenin katsayılar metodu ile hesaplanmasıyla elde edilir.

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (3.4)$$

Burada; C_0 , tek serbestli dereceli sistemden elde edilen spektral yerdeğiştirmeyi çok serbestlik dereceli binanın hedef yerdeğiştirmesi ile ilişkilendiren katsayı; C_1 , beklenen en büyük elastik ötesi yerdeğiştirmeyi doğrusal elastik davranış kabulü ile hesaplanan yerdeğiştirmeyle ilişkilendiren katsayı (eğer $T_e \geq T_s$ ise $C_1=1$; eğer $T_e < T_s$ ise $C_1=[1+(R-1)T_s/T_e]/R$); C_2 , deprem etkisindeki çevrimsel davranış şeklinin en büyük yerdeğiştirmeye olan etkisini temsil eden katsayı; C_3 , dinamik P- Δ etkisi ile yerdeğiştirmedeki artışı göz önüne alan katsayıdır. C_3 katsayısı, şu şekilde ifade edilir: $C_3=1+|\alpha|/T_e*(R-1)1.5$ ve $R=S_a*W/V_y/C_0$. R , gerekli elastik dayanımın akma dayanımına oranı; S_a , etkili T_e periyoduna karşı gelen spektral ivme; V_y , akma dayanımıdır.

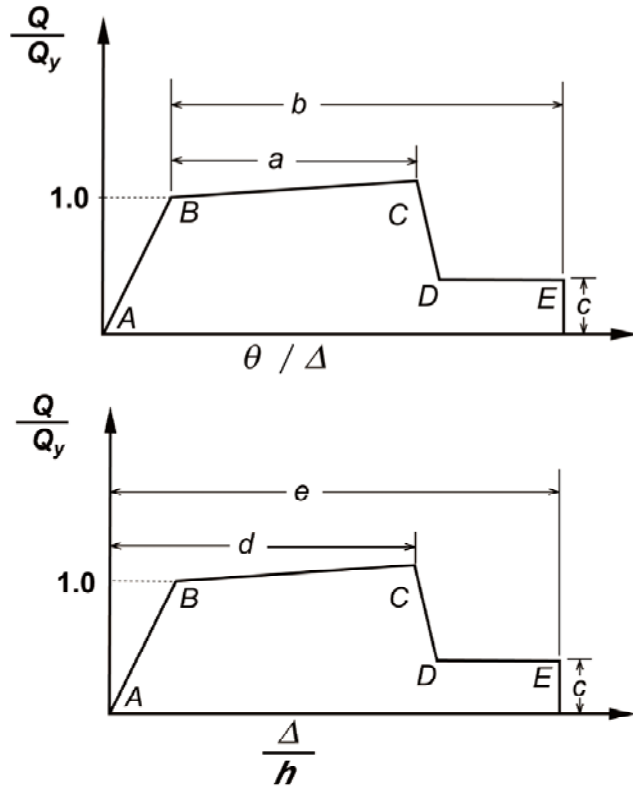
3.3.5.3 Doğrusal elastik olmayan dinamik yöntem

Doğrusal elastik olmayan dinamik yöntem, deprem kayıtlarından yararlanarak yapısal elemanların davranışlarını ortaya koymaktadır. Bu yöntem; doğrusal elastik

olmayan statik yöntemle benzer bir hesap yöntem kullanmakla birlikte aralarında bazı farklılıklar bulunmaktadır. Örneğin, tasarım yerdeğiştirmeleri hedef yerdeğiştirmelere göre değil direkt deprem kaydından elde edilmektedir. Ayrıca bu yöntemde, daha doğru bir hesap yapmak için birden fazla deprem kaydının kullanılması gerekmektedir. Sayısal modeller, kullanılan deprem kayıtlardan direkt etkilenmektedir. Bu göz önünde bulundurularak deprem kayıtları dikkatlice incelenmelidir.

3.3.5.4 Genelleştirilmiş kuvvet-şekildeğiştirme ilişkisi

Betonarme elemanlar için genelleştirilmiş kuvvet-şekildeğiştirme ilişkisi **şekil 3.6**'da verilmiştir. Q , genelleştirilmiş kuvvet olup, Q_y ise akma dayanımını temsil etmektedir. Akma dayanımına kadar olan istem doğrusal olarak devam ederken, akma dayanımı sonrasında çok küçük bir kuvvet artışı için büyük şekildeğiştirmeler meydana gelmektedir, bununla beraber artım C noktasında kadar doğrusal olarak devam etmektedir. C noktasından sonra ani bir düşüşle kapasite D noktasına gelmekte, sabit kuvvet altında bir miktar daha şekil değiştirerek eleman E noktasında göçmektedir.



şekil 3.6 : Genelleştirilmiş kuvvet-şekildeğiştirme ilişkisi (FEMA-356, 2000).

3.4 Hedeflenen performansları düzeyleri

Performansa dayalı tasarım, son yıllarda inşaat mühendisliği alanında büyük bir ilgi görmektedir. Yatak yükün yerdeğiştirmeyle olan ilişkisi ve yapı sistemlerinin davranışının daha iyi anlaşılması hakkında birçok araştırma yapılmaktadır. Mevcut yapıların performans değerlendirmesi; yapıda oluşan hasarın tahmin edilerek bu hasarın yönetmeliklerce belirlenen eşik değerlerle karşılaştırılması şeklindedir. Performansa dayalı tasarım, mevcut yapıların deprem sonrası performanslarının incelenmesinin yanı sıra yeni yapılacak yapılar için deprem güvenliğinin sağlanması ve ekonomik olarak boyutlandırılmasını da mümkün kılmaktadır.

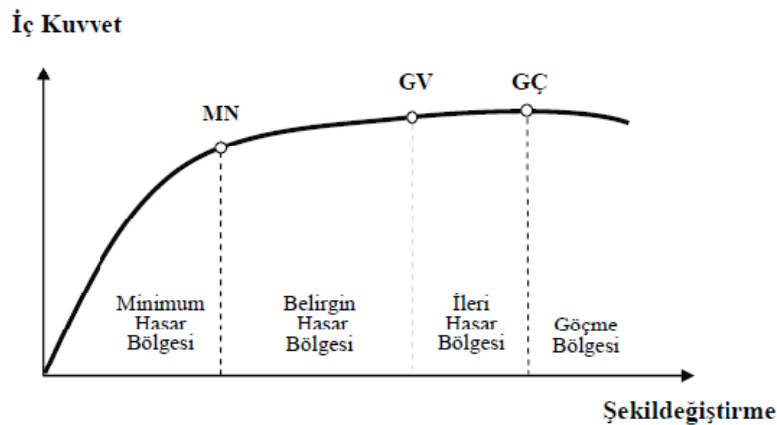
3.4.1 DBYBHY’de hedeflenen performans düzeyleri

3.4.1.1 Yapı elemanlarında hasar sınırları ve hasar bölgeler

DBYBHY’de sünek davranış gösteren elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu sınıflandırma geçerli değildir.

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

Minimum hasar sınırı (MN), ilgili kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını; güvenlik sınırı (GV), kesitin dayanımını güvenli olarak gerçekleştirebileceği elastik ötesi davranışın sınırını; göçme sınırı (GÇ) ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır.



Şekil 3.7 : Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri (DBYBHY, 2007).

Kritik kesitlerinin hasarı MN'ye ulaşmayan elemanlar, minimum hasar bölgesinde; MN ile GV arasında kalan elemanlar, belirgin hasar bölgesinde; GV ve GÇ arasında kalan elemanlar, ileri hasar bölgesinde; GÇ'yi aşan elemanlar ise göçme bölgesinde yer alırlar (Şekil 3.7).

Doğrusal elastik hesap yöntemi veya doğrusal olmayan hesap yöntemiyle hesaplanan iç kuvvetlerin ve/veya şekildeğiştirmelerin, kesit hasar sınırlarına karşı gelmek üzere tanımlanan sayısal değerler ile karşılaştırılması sonucunda, kesitlerin hangi hasar bölgelerinde olduğuna karar verilir. Eleman hasarı, elemanın en fazla hasar gören kesitine göre belirlenir.

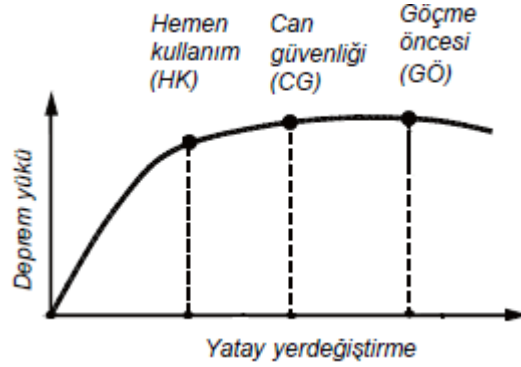
3.4.1.2 Bina deprem performansının belirlenmesi

Performans düzeylerinin belirlenmesi ile ilgili sınır değerler Çizelge 3.11'de verilmiştir.

Çizelge 3.11 : Bina deprem performansının belirlenmesi (DBYBHY, 2007).

Performans Düzeyi	Performans Düzeyinin Belirlenmesi
Hemen Kullanım (HK)	Kirişlerin en fazla %10'u MN-GV arasında olabilir. Diğer taşıyıcı elemanları tümü MN'yi geçmemelidir. Gevrek olarak hasar gören elemanlar varsa, bu elemanları güçlendirilmeleri gerekmektedir.
Can Güvenliği (CG)	Kirişlerin en fazla %30'u GV-GÇ arasında olabilir (İkincil kirişler hariç) GV-GÇ arasında olan kolonların kesme kuvveti, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetinin %20'sinin altında olmalıdır. Bu oran en üst katta %40'ın altında olmalıdır. Diğer taşıyıcı elemanlar GV'yi geçmemelidir. Her iki ucu MN'yi aşmış kolonlar tarafından taşınan kesme kuvveti, o kattaki kesme kuvvetinin %30'unun altında olmalıdır. Gevrek olarak hasar gören elemanlar varsa, bu elemanları güçlendirilmeleri gerekmektedir.
Göçme Öncesi (GÖ)	Kirişlerin en fazla %20'si GÇ'nin ilerisine geçebilir (İkincil kirişler hariç) Diğer taşıyıcı elemanlar GÇ'yi geçmemelidir. Her iki ucu MN'yi aşmış kolonlar tarafından taşınan kesme kuvveti, o kattaki kesme kuvvetinin %30'unun altında olmalıdır. Gevrek olarak hasar gören elemanlar varsa, göçme bölgesinde kabul edilir.
Göçme Durumu	Bina Göçme öncesi performans düzeyini aşıyorsa göçme durumundadır. Binanın kullanımı sakıncalıdır.

Binaların deprem performansları; hemen kullanım (HK), can güvenliği (CG), göçme öncesi (GÖ) ve göçme durumu olmak üzere dört performans düzeyine ayrılmıştır. Deprem yükü-yatay yerdeğiştirme eğrisi ve bu eğrinin bina deprem performans düzeyleriyle olan ilişkisi Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8 : Bina deprem performansı (Celep ve Gençoglu, 2009).

3.4.1.3 Binalar için hedeflenen deprem performansları

Mevcut binalarda öngörülen depremler için hedeflenen minimum deprem performansları Çizelge 3.12’de verilmiştir.

Çizelge 3.12 : Hedeflenen deprem performansları (DBYBHY, 2007).

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	Deprem Aşılma Olasılığı		
	50 yılda %50	50 yılda %10	50 yılda %2
Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri v.b.	-	HK	CG
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, v.b.	-	HK	CG
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri.	HK	CG	-
Tehlikeli Madde İçeren Binalar: Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	-	HK	GÖ
Diğer Binalar: Yukarıdaki tanımlara girmeye diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları v.b.)	-	CG	-

Yeni yapılacak binalar için DBYBHY’de tanımlanan ivme spektrumu, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremi esas almaktadır.

Bununla beraber mevcut yapıların değerlendirilmesi sırasında göz önüne alınacak depremler Çizelge 3.13’te verilmiştir.

Çizelge 3.13 : Deprem istatistiksel olasılığı (DBYBHY, 2007).

Deprem Türü	Deprem Etkisi Katsayısı	50 Yılda Aşılma Olasılığı	Ortalama Dönüş Periyodu
Kullanım Depremi	0.50	% 50	72 yıl
Tasarım Depremi	1.00	% 10	474 yıl
En Büyük Deprem	1.50	% 2	2475 yıl

3.4.2 Eurocode’da hedeflenen performans düzeyleri

Eurocode’da taşıyıcı elemanlar için üç farklı hasar sınırı tanımlanmıştır.

- Minimum Hasar Bölgesi (Limit State of Damage Limitation) (DL),
- Belirgin Hasar Bölgesi (Limit State of Significant Damage) (SD),
- Göçme Öncesi Hasar Bölgesi (Limit State of Near Collapse) (NC).

Minimum Hasar Bölgesi (DL): Binada hafif derecede hasar söz konusudur. Taşıyıcı elemanların yanal dayanımları ve rijitlikleri korunmakta olup elemanlarda ciddi bir plastikleşme söz konusu değildir. Taşıyıcı olmayan elemanlarda hasarlar söz konusu olabilir fakat bu hasarlar kolayca onarılabilir. Kalıcı yerdeğistirmeler ihmal edilecek kadar küçüktür. Binanın güçlendirilmesine gerek yoktur.

Belirgin Hasar Bölgesi (SD): Binada orta derecede hasar söz konusudur. Taşıyıcı elemanlarda yanal dayanım ve rijitlik kaybı olup düşey taşıyıcı elemanlar düşey yükler altında yük taşıyabilir durumdadır. Taşıyıcı olmayan elemanlar hasar görmüştür fakat bu elemanlar düzlemi doğrultusuna dik olarak yıkılmamıştır. Orta derecede kalıcı yerdeğistirmeler söz konusudur. Bina orta derecedeki artçı depremlerde ayakta kalabilecek vaziyettedir. Binanın güçlendirme işlemi ekonomik değildir.

Göçme Öncesi Hasar Bölgesi (NC): Binada ileri derecede hasar söz konusudur. Taşıyıcı elemanlarda ciddi yanal dayanım ve rijitlik kaybı olmasına rağmen düşey taşıyıcı elemanlar düşey yükler altında yük taşıyabilir durumdadır. Taşıyıcı olmayan elemanlar hasar görmüştür ve büyük bir kısmı yıkılmıştır. İleri derecede kalıcı yerdeğistirmeler söz konusudur. Bina göçme sınırında olup orta şiddetli bir depremde yıkılabilir durumdadır.

Eurocode’da yukarıda açıklanan her hasar sınırı öngörülen depremler Çizelge 3.14’te verilmiştir.

Çizelge 3.14 : Depremi istatistiksel olasılığı (EN 1998, 2005).

Hasar Bölgesi	50 Yılda Aşılma Olasılığı	Ortalama Dönüş Periyodu
Minimum Hasar Bölgesi (DL)	% 20	50 yıl
Belirgin Hasar Bölgesi (SD)	% 10	475 yıl
Göçme Öncesi Hasar Bölgesi (NC)	% 2	2475 yıl

3.4.3 FEMA’da hedeflenen performans düzeyleri

Deprem etkisi altında yapıdan beklenen performansın sadece taşıyıcı sistem performansı olmaması gerektiği ve kullanıma ara verilmesi, ekonomik kayıplar gibi sorunlara yol açacak diğer hususların da yapının performansının bir parçası olduğu görüşü doğrultusunda FEMA’da hedeflenen bina performansı; Bölüm 3.4.3.1’de tanımlanan yapısal elemanlar için deprem performans düzeyleri ve aralıkları ve Bölüm 3.4.3.2’de tanımlanan yapısal olmayan elemanlar için deprem performans düzeyleri ve aralıklarının birleştirilmesiyle elde edilir. Sonrasında Bölüm 3.4.3.3’te bina performans düzeyleri ve aralıkları tanımlanacaktır.

3.4.3.1 Yapısal elemanlar için deprem performans düzeyleri ve aralıkları

FEMA’da yapısal elemanlar için deprem performansları belirlenirken dört farklı sınır durum tanımlanmıştır (Çizelge 3.15).

- Kullanıma devam performans düzeyi (Immediate occupancy structural performance level) (S-1),
- Can güvenliği performans düzeyi (Life safety performance level) (S-3),
- Göçmenin önlenmesi performans düzeyi (Collapse prevention structural performance level) (S-5),
- Yapısal performansın hesaplanmadığı durum (Structural performance not considered) (S-6)

Kullanıma devam performans düzeyi (S-1): Binanın taşıyıcı sisteminde dayanım ve rijitlik kaybı söz konusu olmamıştır. Yapı; depremden sonra herhangi bir müdahale görmeden kullanılmaya devam edebilir.

Can güvenliği performans düzeyi (S-3): Binanın taşıyıcı elemanlarında yapısal hasarlar meydana gelmiştir. Bununla beraber binanın kısmi veya toptan göçmesi söz konusu değildir. Yapının güçlendirilmesi uygundur, fakat güçlendirmenin ekonomik açıdan düşünülmesi gerekmektedir.

Göçmenin önlenmesi performans düzeyi (S-5): Binada ciddi seviyede hasar söz konusudur. Yapının yanal rijitliği ve dayanımında önemli azalmalar vardır, buna rağmen bina düşey yükleri taşımaya devam etmektedir. Artçı depremlerin etkisinde binanın toptan göçme ihtimali söz konusudur. Binanın güçlendirilmesi teknik ve ekonomik açıdan mümkün değildir.

Yapısal performansın hesaplanmadığı durum (S-6), binaya ait performansın hesaplanmadığı, binanın göçme durumunda olduğu durumdur.

Yapısal elemanlar için hedeflenen performans aralıkları iki farklı şekilde tanımlanmıştır (Çizelge 3.15).

- Hasar kontrolü performans aralığı (Damage control structural performance range) (S-2),
- Sınırlı güvenli performans aralığı (Limited safety structural performance range) (S-4).

Hasar kontrolü performans aralığı (S-2), can güvenliği performans düzeyi (S-3) ile kullanıma devam performans düzeyi (S-1) arasında kalmaktadır.

Sınırlı güvenli performans aralığı (S-4), göçmenin önleme performans (S-5) ile can güvenliği performans düzeyi (S-3) arasında kalmaktadır.

Çizelge 3.15 : Yapısal elemanların performans düzeyleri (FEMA-356, 2000).

Performans Düzeyi	Performans Aralığı	Performans Düzeyi Tanımı
S-1		Kullanıma Devam
	S-2	Hasar kontrolü performans aralığı
S-3		Can güvenliği performans düzeyi
	S-4	Sınırlı güvenli performans aralığı
S-5		Göçmenin önlenmesi performans düzeyi
S-6		Yapısal performansın hesaplanmadığı durum

Yapısal elemanların performans düzeylerine bağlı olarak bina görece kat yer değiştirme sınırları Çizelge 3.16’da verilmiştir.

Çizelge 3.16 : Bina için görel kat yerdeğiştirme sınırları (FEMA-356, 2000).

Görel Kat Yerdeğiştirmesi	Performans Düzeyleri		
	S-1	S-3	S-5
Maksimum toplam yerdeğiştirme oranı	% 1	% 2	% 4
Maksimum elastik ötesi yerdeğiştirme oranı	İhmal edilebilir.	% 1	% 4

3.4.3.2 Yapısal olmayan elemanlar için deprem performans düzeyleri ve aralıkları

Yapısal olmayan elemanlar; mimari elemanlar, mekanik elemanlar, elektrik tesisatları, kaplama ve benzer malzemeler, su tesisatı, havalandırma sistemleri, yangın sistemleri, aydınlatma ve benzeri taşıyıcı olmayan olarak sıralanabilir.

Yapısal olmayan elemanlara ait performans düzeyleri ve ilgili simgeleri Çizelge 3.17’de verilmiştir.

Çizelge 3.17 : Taşıyıcı olmayan elemanlar için performans düzeyleri (FEMA-356, 2000).

Performans Düzeyi	Performans Düzeyi Simgesi
Kullanıma devam performans düzeyi	N-A
Hemen kullanım performans düzeyi	N-B
Can güvenliği performans düzeyi	N-C
Azaltılmış hasar performans düzeyi	N-D
Yapısal performansın hesaplanmadığı durum	N-E

Kullanıma devam performans düzeyinde (N-A), deprem sonrasında yapısal olmayan elemanlarda hasar meydana gelmemiştir.

Hemen kullanım performans düzeyinde (N-B) deprem sonrasında yapısal olmayan elemanlarda küçük hasarlar meydana gelmiştir fakat kolaylıkla onarılabılır.

Can güvenliği performans düzeyinde (N-C), deprem sonrasında yapısal olmayan elemanlarda can güvenliğini tehlikeye atmayacak hasarlar meydana gelmiştir. Mekanik ekipmanlarda onarım gerektirmektedir.

Azaltılmış hasar performans düzeyinde (N-D), deprem sonrasında yapısal olmayan elemanlarda büyük hasarlar meydana gelmiştir. Fakat bu hasarlar sonucunda yapısal olmayan elemanların can güvenliğini tehdit edecek şekilde düşmesi söz konusu değildir.

Yapısal performansın hesaplanmadığı durumda (N-E), yapısal elemanlarda ciddi hasarlar meydana gelmiş ve performans değerlendirmesi yapılmamaktadır.

3.4.3.3 Bina performans düzeyleri ve aralıkları

Yapısal ve yapısal olmayan elemanların performans düzeyleri bu bölümde birleştirilerek yapının tümüne ait, binaya ait, performans düzeyleri ve aralıkları belirlenmiştir (Çizelge 3.18).

Çizelge 3.18 : Bina performans düzeyleri (FEMA-356, 2000).

Yapısal Olmayan Elemanların Performans Düzeyleri	Yapısal Elemanların Performans Düzeyleri ve Aralıkları					
	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6
N-A	1-A (Kullanıma Devam)	2-A	Tavsiye edilmiyor	Tavsiye edilmiyor	Tavsiye edilmiyor	Tavsiye edilmiyor
N-B	1-B (Hemen Kullanım)	2-B	3-B	Tavsiye edilmiyor	Tavsiye edilmiyor	Tavsiye edilmiyor
N-C	1-C	2-C	3-C (Can Güvenliği)	4-C	5-C	6-C
N-D	Tavsiye edilmiyor	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
N-E	Tavsiye edilmiyor	Tavsiye edilmiyor	Tavsiye edilmiyor	4-E	5-E (Göçmenin önlenmesi)	Yapı göçer

Çizelge 3.18’de görüldüğü gibi çizelge köşegeninde kalan performans düzeyleri FEMA tarafından tavsiye edilirken; köşegen dışında kalan durumlar, yapısal elemanların veya yapısal olmayan elemanların ağır hasar aldığı durumlar, FEMA tarafından kullanılması önerilmeyen bina performans düzeyleridir.

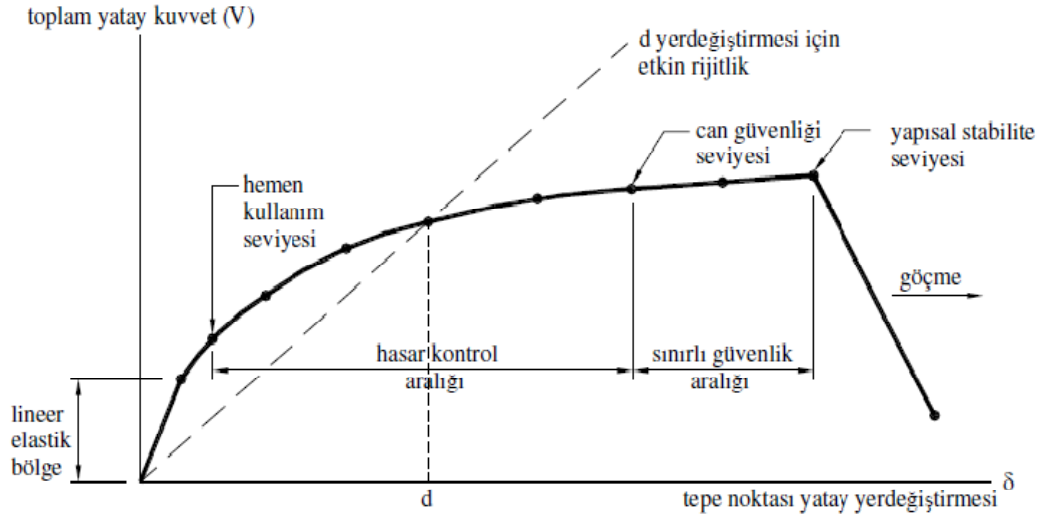
3.4.3.4 Hedeflenen bina performans düzeyleri ve aralıkları

Performans hedefinin belirlenmesinde, depremin meydana gelme olasılığı ve depremin etkisinin önemi çok büyüktür. Bu nedenle FEMA tarafından hedeflenen bina performansı için öngörülen depremler ve depremlerin olma olasılığı Çizelge 3.19’da verilmiştir. Çizelge 3.19’da; BSE-1, temel güvenlik depremi 1, (Basic safety earthquake 1); BSE-2; Temel güvenlik depremi 2, (Basic safety earthquake 2)’yi ifade etmektedir.

Çizelge 3.19 : Depremi istatistiksel olasılığı (FEMA-356, 2000).

Deprem Türü	50 Yılda Aşılma Olasılığı	Ortalama Dönüş Periyodu
50 Yılda Aşılma Olasılığı %50	% 50	72 yıl
50 Yılda Aşılma Olasılığı %20	% 20	225 yıl
BSE-1 (50 Yılda Aşılma Olasılığı ~%10)	% 10	474 yıl
BSE-2 (50 Yılda Aşılma Olasılığı ~%2)	% 2	2475 yıl

BSE-1; tasarım depremi olarak da isimlendirilebilir, yeni yapılacak binalar için kullanılan depremdir. BES-2; maksimum deprem olarak da nitelendirilebilir, elli yılda aşılma olasılığı çok düşük (~%2) olan depremdir. Şekil 3.9’da yatay kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi, performans düzeyleriyle birlikte verilmiştir.



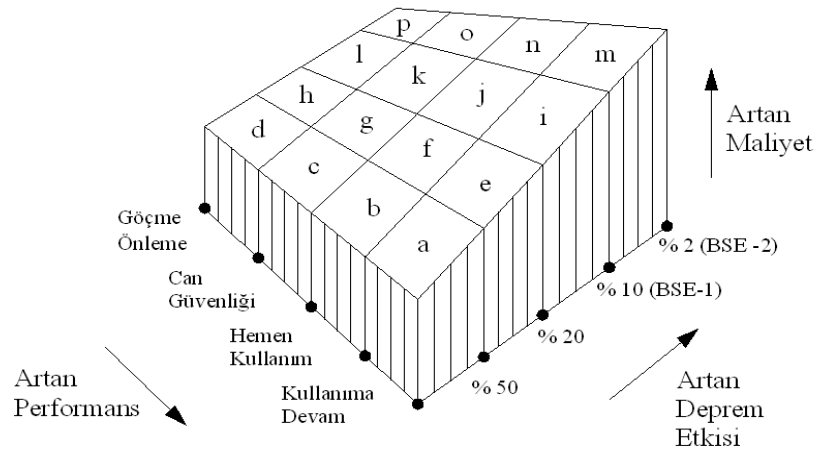
Şekil 3.9 : Yapısal performans düzeyleri ve yerdeğiştirme (Yılmaz, 2006).

Hedeflenen bina performansları; öngörülen deprem etkisi altında binanın göstereceği performans olarak tanımlanabilir. Yapısal ve yapısal olmayan elemanlara ait hasarlar göz önünde bulundurularak bina performans düzeyleri; 1-A, 1-B, 3-C, 5-E olmak üzere dört ana performans düzeyi olarak belirlenmiştir (Çizelge 3.18). Bu performans düzeylerinin deprem etkisi ile olan ilişkisi, diğer bir deyişle hedeflenen bina performansları, Çizelge 3.20’de verilmiştir. Şekil 3.10’da performans-deprem etkisi-maliyet ilişkileri verilmiştir. Deprem sonrası yüksek performans beklenen binaların yapım maliyetin arttığı görülmektedir. Ana köşegende bulunan performans düzeyleri,

a, f, k, p; normal öneme sahip binalar (ev, işyeri v.b) için; o, j, e; önemli binalar için; i, n ise çok önemli binalar için kullanılmaktadır (Celep, 2004). m ise en büyük depremde kullanıma devam performansı sergilemektedir bu nedenle çok üst düzey binalar için, bir anlamda yıkılmaz bina için, kullanılmalıdır.

Çizelge 3.20 : Hedeflenen bina performansları (FEMA-356, 2000).

Deprem Türü	Kullanıma Devam Performans Düzeyi (1-A)	Hemen Kullanım Performans Düzeyi (1-B)	Can Güvenliği Performans Düzeyi (3-C)	Göçmenin önlenmesi Performans Düzeyi (5-E)
50 Yılda Aşılma Olasılığı %50	a	b	c	d
50 Yılda Aşılma Olasılığı %20	e	f	g	h
BSE-1 (50 Yılda Aşılma Olasılığı~%10)	i	j	k	l
BSE-2 (50 Yılda Aşılma Olasılığı~%2)	m	n	o	p



Şekil 3.10 : Bina performans ve deprem etki düzeyi (Celep ve Kumbasar, 2004).

3.5 Betonarme elemanların hasar sınırları

Betonarme elemanların yönetmelikçe hesaplanan elastik ötesi deprem istemi, yine ilgili yönetmeliklerce belirlenen eleman üst hasar sınırları ile karşılaştırılarak betonarme elemanların performansları belirlenir ve elemanın değerlendirilmesi yapılır. Fakat betonarme elemanların performanslarının ve hasar sınırlarının ifade edilmesi yönetmeliklere göre farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar aşağıda sıralanmıştır.

- DBYBHY; beton ve çeliğin birim şekildeğiştirmelerine göre,
- Eurocode; elemanda eksen dönmesine (chord rotation) (Şekil 3.11) göre,
- FEMA; kesit dönmesine (rotation) göre hasar sınırlarını ifade etmektedir.

Ayrıca yönetmeliklerce belirlenen ve yukarıda açıklanan hasar (şekildeğiştirme, eksen dönmesi, dönme) üst sınırları elemanlara göre farklılıklar göstermektedir. Hasar üst sınırları, DBYBHY’de, tüm taşıyıcı betonarme elemanlar için geçerlidir. Eurocode’da betonarme kolon, kiriş ve perdeler için; FEMA’da betonarme kolon, kiriş ve kolon-kiriş birleşim bölgeleri için ayrı ayrı hasar üst sınırları verilmektedir.

3.5.1 DBYBHY’de betonarme elemanların kesit birim şekildeğiştirme üst sınırları

Beton ve donatı çeliğinin birim şekildeğiştirmeleri cinsinde elde edilen deprem hasarları yönetmelikçe belirlenen birim şekildeğiştirme sınırları (Çizelge 3.21) ile karşılaştırılarak kesit düzeyinde taşıyıcı eleman performansı belirlenir.

Sünek özellik gösteren ve elastik ötesi davranış yapan betonarme elemanların kesit hasar sınırlarına göre izin verilen maksimum birim şekildeğiştirmeleri Çizelge 3.21’de verilmiştir.

Çizelge 3.21 : Kesit birim şekildeğiştirme hasar sınırları (DBYBHY, 2007).

Hasar Sınırı	ϵ_c	ϵ_s
MN	0.0035	0.010
GV	$0.0035 + 0.0100 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135$	0.040
GÇ	$0.0040 + 0.0140 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0180$	0.060

Burada; ϵ_c , beton basınç birim şekildeğiştirmesini; ϵ_s donatı çeliğinin birim şekildeğiştirmesini; ρ_s , kesitte bulunan özel deprem etriye ve çirozları olarak düzenlenmiş enine donatının hacimsel oranını; ρ_{sm} , kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranını ifade etmektedir.

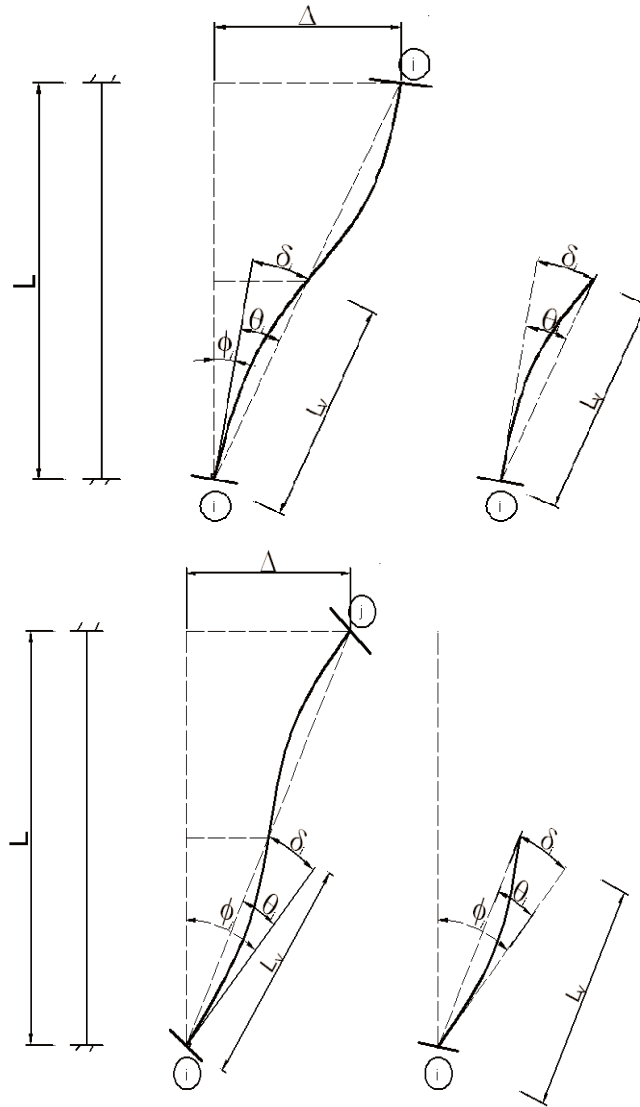
ϵ_c , beton basınç birim şekildeğiştirmesi; MN için, kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi (ϵ_{cu}); GV ve GÇ için, etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesini (ϵ_{cg}) ifade etmektedir.

3.5.2 Eurocode'da betonarme elemanların eksen dönmesi üst sınırları

Eurocode'da tekrarlı yükler altındaki sünek betonarme elemanlar için deprem hasarları ve performans değerlendirmeleri, eksen dönmesi (chord rotation) ile ifade edilmektedir (Şekil 3.11). Eksen dönmesi şu şekilde tanımlanabilir.

$$\theta_i = \frac{\delta_i}{L_{vi}} = \left| \frac{\Delta}{L} - \phi_i \right| \quad (3.5)$$

Burada; θ_i , eksen dönmesidir.



Şekil 3.11 : Eurocode-eksen dönmesi (Özal, 2005).

Eurocode'da performans değerlendirmelerinde kullanılacak olan hasar sınır değerleri deneysel sonuçlar doğrultusunda belirlenen çok sayıda değişkenin fonksiyonudur.

3.5.2.1 Minimum hasar bölgesi için eksen dönmesi sınırı

Minimum hasar bölgesi (DL) için hesaplanan eksen dönmesinin, akma anındaki eksen dönmesinden küçük olması ($\theta_{DL} \leq \theta_y$) istenir. Sünek betonarme elemanlar için akma anındaki eksen dönmesi aşağıda verilmiştir.

$$\theta_y = \phi_y \frac{L_V + \alpha_V z}{3} + 0.00135 \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_V} \right) + \frac{\varepsilon_y}{d - d'} \frac{d_b f_y}{6 \sqrt{f_c}} \quad (3.6)$$

Burada; d, çekme donatısı derinliği; d', basınç donatısı derinliği; d_b, boyuna donatı çapı; L_V, kesme açıklığı (M/V) (Şekil 3.11); α_Vz, eğilme momenti diyagramı düzeltmesi olup sünek elemanlar için α_V=0'dır; z ise kuvvet kolu olup kolonlar için d-d''ye eşittir. Bu denklemlerde kullanılan gerilme birimi MPa'dır.

Denklem 3.6'ya alternatif olarak aşağıda verilen denklem kullanılabilir.

$$\theta_y = \phi_y \frac{L_V + \alpha_V z}{3} + 0.0013 \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_V} \right) + 0.13 \phi_y \frac{d_b f_y}{\sqrt{f_c}} \quad (3.7)$$

Denklem 3.6 ve Denklem 3.7'de kullanılan birinci terim, sünekliğin katkısını; ikinci terim, kesme şekil değiştirmesinin katkısını; üçüncü terim ise donatı sıyrılmasının katkısını ifade etmektedir. Ayrıca bu denklemler; nervürlü donatılar dışında minimum bindirme boyunun sağlandığı, uçları kanca olarak bükülmüş nervürsüz boyuna donatılar için de kullanılabilir.

3.5.2.2 Belirgin hasar bölgesi için eksen dönmesi sınırı

Belirgin hasar bölgesi (SD) için hesaplanan eksen dönmesinin, Bölüm 3.5.2.3'te verilen nihai eksen dönmesinin ¾'ünden küçük olması ($\theta_{SD} \leq \frac{3}{4} \theta_{um}$) istenir.

3.5.2.3 Göçme öncesi hasar bölgesi için eksen dönmesi sınırı

Göçme öncesi hasar bölgesi (NC) için hesaplanan eksen dönmesinin, toplam nihai eksen dönmesinden küçük olması ($\theta_{NC} \leq \theta_{um}$) istenir. Sünek betonarme elemanlar için toplam nihai (elastik ve plastik) eksen dönmesi aşağıda verilmiştir.

$$\theta_{um} = \frac{1}{\gamma_{el}} 0.016 (0.3^v) \left[\frac{\max(0.01, \omega_2)}{\max(0.01, \omega_1)} f_c \right]^{0.225} \left(\frac{L_V}{h} \right)^{0.35} \quad (3.8)$$
$$25 \left(\alpha_{\rho_{sx}} \frac{f_{yw}}{f_c} \right) (1.25^{100} \rho_d)$$

Burada; γ_{el} , eleman önem katsayısı (birincil elemanlar için 1.50; ikincil elemanlar için 1.00 alınır); ρ_{sx} , yükleme doğrultusuna paralel enine donatı oranı ρ_d , diyagonal donatı oranıdır.

Eksenel kuvvet oranı denklemi aşağıda verilmiştir.

$$v = \frac{P}{f_c b h} \quad (3.9)$$

Burada; v, eksenel yük oranıdır.

ω_1 , çekmeye çalışan boyuna donatıların mekanik oranı olup denklemi aşağıda verilmiştir.

$$\omega_1 = \frac{(A_{s1} + A_{sg}) f_y}{b h f_c} \quad (3.10)$$

Burada; A_{s1} , çekmeye çalışan boyuna donatıların (gövde donatıları hariç) alanları toplamı; A_{sg} , gövde donatılarının alanlarının toplamıdır.

ω_2 , basınca çalışan boyuna donatıların mekanik oranı olup denklemi aşağıda verilmiştir.

$$\omega_2 = \frac{(A_{s2}) f_y}{b h f_c} \quad (3.11)$$

Burada; A_{s2} , basınca çalışan boyuna donatıların alanlarının toplamıdır.

α , sargı etki faktörü olup aşağıdaki denklemle elde edilir.

$$\alpha = \left(1 - \frac{s_h}{2b_c}\right) \left(1 - \frac{s_h}{2h_c}\right) \left(1 - \frac{\sum b_i^2}{6h_c b_c}\right) \quad (3.12)$$

Burada; b_c , çekirdek betonun genişliği (enine donatının ekseninden, eksenine); h_c , çekirdek betonun derinliği (enine donatının ekseninden, eksenine); b_i , tutulu boyuna donatılar arası eksen uzaklığı; s_h ise enine donatı aralığıdır.

Denklem 3.8’de verilen toplam eksen dönmesi; perde elemanlar için 1.60’a bölünerek, özel deprem detaylandırılması yapılmamış elemanlar için 0.825 ile çarpılarak hesaplanır. Nervürsüz donatı kullanılması ve donatı sıyrılması olmaması durumunda; Denklem 3.8’de verilen eksen dönmesi, 0.575 ile çarpılır. Bu çarpan

(0.575), özel deprem detaylandırılması yapılmamış elemanlar için kullanılan çarpanı (0.825) içermektedir.

Göçme öncesi hasar bölgesi (NC) için, tekrarlı yükler altında sünek betonarme elemanlara ait plastik nihai eksen dönmesi aşağıda verilmiştir.

$$\theta_{um}^{pl} = \theta_{um} - \theta_y = \frac{1}{\gamma_{el}} 0.0145 (0.25^v) \left[\frac{\max(0.01, \omega_2)}{\max(0.01, \omega_1)} \right]^{0.3} \quad (3.13)$$

$$f_c^{0.2} \left(\frac{L_V}{h} \right)^{0.35} 25^{\left(\alpha_{psx} \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} (1.275^{100} \rho_d)$$

Burada; γ_{el} , eleman önem katsayısı, birincil elemanlar için 1.80; ikincil elemanlar için 1.00 alınır. θ_y , hesabı için Bölüm 3.5.2.1'den yararlanılmalıdır.

Denklem 3.13'te verilen plastik eksen dönmesi; perde elemanlar için 0.60 ile çarpılarak, özel deprem detaylandırılması yapılmamış elemanlar için 0.825 ile çarpılarak hesaplanır. Nervürsüz donatı kullanılması ve donatı sıyrılması olmaması durumunda; Denklem 3.13'te verilen plastik eksen dönmesi, 0.375 ile çarpılır. Bu çarpan (0.375), özel deprem detaylandırılması yapılmamış elemanlar için kullanılan çarpanı (0.825) içermektedir.

Nihai toplam eksen dönmesi için alternatif bir eşitlik aşağıda verilmiştir. Bu eşitlik eğrilik ve plastik mafsallık uzunluğunu baz almaktadır.

$$\theta_{um} = \frac{1}{\gamma_{el}} \left[\theta_y + (\phi_u - \phi_y) L_{pl} \left(1 - \frac{0.5 l_p}{L_V} \right) \right] \quad (3.14)$$

Burada; ϕ_u , plastik mafsallık bölgesindeki nihai eğriliktir.

Alternatif olarak verilen nihai toplam eksen dönmesinde kullanılan ϕ_u ve l_p 'nin hesapları iki farklı şekilde yapılır.

Birinci hesap yönteminde; ϕ_u , hesabı yapılırken Eurocode 1992-1-1'de bulunan malzeme özellikleri tablosundan yararlanılarak kopma birim şekildeğiştirmeleri (A sınıfı çelik: %2.5, B sınıfı çelik: %5, C sınıfı çelik: %6) elde edilir. Sonrasında matematiksel model olarak EN 1992-1-1: 2004'te bulunan sargılı beton modelinden yararlanılır. Bu hesap yaklaşımı kapsamında, Denklem 3.14'te geçen plastik mafsallık uzunluğu aşağıdaki gibi alınabilir.

$$l_p = 0.1L_V + 0.17h + 0.24 \frac{d_{bL}f_y}{\sqrt{f_c}} \quad (3.15)$$

Bu hesap için; γ_{el} , eleman önem katsayısı, birincil elemanlar için 2.00; ikincil elemanlar için 1.00 alınır. Burada gerilme birimi MPa'dır.

İkinci hesap yönteminde; ϕ_u hesabı için kullanılacak malzeme özellikleri, yukarıda belirtildiği gibi Eurocode 1992-1-1'de bulunan malzeme özellikleri tablosundan alınır. Sonrasında aşağıda açıklanan matematiksel model kullanılır. Beton modeline ait sargılı beton dayanımı, Denklem 3.16'de verilmiştir.

$$f_{cc} = f_c \left[1 + 3.7 \left(\frac{\alpha \rho_{sx} f_{yw}}{f_c} \right)^{0.86} \right] \quad (3.16)$$

Sargılı beton dayanımının maksimum ulaştığı birim şekildeğiştirme değeri:

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{c2} \left[1 + 5 \left(\frac{f_{cc}}{f_c} - 1 \right) \right] \quad (3.17)$$

Betonun en dış lifindeki birim şekildeğiştirme şu şekilde ifade edilmiştir.

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + 0.5 \frac{\alpha \rho_{sx} f_{yw}}{f_{cc}} \quad (3.18)$$

Bu hesap yaklaşımı kapsamında, Denklem 3.14'te geçen plastik mafsal uzunluğu aşağıda verilmiştir.

$$l_p = \frac{L_V}{30} + 0.2h + 0.11 \frac{d_{bL}f_y}{\sqrt{f_c}} \quad (3.19)$$

Bu hesap için; γ_{el} , eleman önem katsayısı, birincil elemanlar için 1.70; ikincil elemanlar için 1.00 alınır. Burada gerilme birimi MPa'dır.

Eurocode'da tanımlanan hasar sınırları için eksen dönmeleri Çizelge 3.22'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.22 : Hasar sınırları için eksen dönmesi (EN 1998, 2005).

Minimum Hasar Bölgesi (DL)	Belirgin Hasar Bölgesi (SD)	Göçme Öncesi Hasar Bölgesi (NC)
$\theta_{DL} \leq \theta_y$	$\theta_{SD} \leq 0.75 \theta_{um}$	$\theta_{NC} \leq \theta_{um}$

3.5.3 FEMA’da betonarme kolonların kesit dönmesi sınırları

FEMA’da doğrusal olmayan hesap yöntemleriyle analizi yapılmış sünek betonarme kolonlar için deprem hasarları ve performans değerlendirmeleri, kesit dönmesi (rotation) ile ifade edilmektedir (Çizelge 3.23). Diğer elemanlar ve gevrek hasar gören elemanlar için de çizelgeler mevcut olup burada yer verilmemiştir.

Kesit dönmeleri radyan cinsinden ifade edilmiş olup eksenel yük, kesit alanı ve özellikleri, beton dayanımı, enine donatı özelliklerinin katkısı göz önüne alınmıştır.

Çizelge 3.23 : Betonarme kolonlar için kesit dönmesi sınırları (FEMA-356, 2000).

Kesit Özellikleri			Hasar Sınırları (plastik dönme açısı, radyan)				
P / ($A_g \cdot f_c$)	Sargı özellği	V / ($b_w \cdot d \cdot \sqrt{f_c}$)	IO	Yapı elemanı çeşidi			
				Birincil		İkincil	
				LS	CP	LS	CP
≤ 0.1	C	≤ 3	0.005	0.015	0.020	0.020	0.030
≤ 0.1	C	≥ 6	0.005	0.012	0.016	0.016	0.024
≥ 0.4	C	≤ 3	0.003	0.012	0.015	0.018	0.025
≥ 0.4	C	≥ 6	0.003	0.010	0.012	0.013	0.020
≤ 0.1	NC	≤ 3	0.005	0.005	0.006	0.010	0.015
≤ 0.1	NC	≥ 6	0.005	0.004	0.005	0.008	0.012
≥ 0.4	NC	≤ 3	0.002	0.002	0.003	0.006	0.010
≥ 0.4	NC	≥ 6	0.002	0.002	0.002	0.005	0.008

Burada; A_g , brüt kesit alanı; V, hesap kesme kuvveti; b_w , kesit genişliğidir. IO, kullanıma devam performans düzeyi (immediate occupancy structural performance level); LS, can güvenliği performans düzeyi (life safety performance level); CP, göçmenin önlenmesi performans düzeyidir (collapse prevention structural performance level). Performans düzeyleriyle ilgili bilgiler Bölüm 3.4.3’te verilmiştir. C, sargı özelliği yüksek betonu; NC, sargılı özelliği düşük betonu ifade etmektedir. Çizelge 3.23’te kabul edilen sargı özelliği yüksek beton şu şekilde tanımlanmaktadır: Plastik mafsallarda, etriye aralığı faydalı yüksekliğin üçte birinden küçük olmalı ($s \leq d/3$) ve eleman yüksek süneklikte olmalıdır. Ayrıca etriyeler, hesap kesme kuvvetinin en az dörtte üçünü karşılamalıdır. Aksi takdirde eleman, sargı özelliği düşük olarak tanımlanır.

4. PEER VERİ TABANI

Berkeley Üniversitesi Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi Yapısal Performans Veri Tabanı (Pacific Earthquake Engineering Research Center Structural Performance Database); betonarme kolonların deprem performansının değerlendirilmesi ve geliştirilmesi amacıyla oluşturulmuştur. Veri tabanı, Ulusal Standart ve Teknoloji Enstitüsü'nün (National Institute of Standards and Technology) eski çalışmalarından yararlanarak bugünkü haline getirilmiştir. Washington Üniversitesi araştırmacıları tarafından eklenen yeni deneylerle birlikte veri tabanında; Ocak 2004 tarihi itibarıyla 274 dikdörtgen betonarme kolon, 160 dairesel betonarme kolon deney verisi bulunmaktadır (Berry ve diğ., 2004).

Veri tabanındaki bilgiler; betonarme kolonun özelliklerini (malzeme özellikleri, geometrisi, enine donatı düzeni ve özellikleri, boyuna donatı düzeni ve özellikleri, eleman yüksekliği), yükleme bilgileri ve deney sonuçlarını (göçme modları, kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri ve hasar gözlemleri) içermektedir. Bununla beraber bazı deneyler numunelerinde, kolona ait özellikler ve deney sonuçları bulunmamaktadır. Bu deney numuneleri için ilgili makalelerden bilgiler derlenmiştir.

4.1 Veri Tabanı ve Deney Özellikleri

4.1.1 Malzeme özellikleri

Beton ve çelik malzemelerin karakteristik özellikleri için kullanılan simgeler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Malzeme özellikleri için kullanılan simgeler (Berry ve diğ., 2004).

Malzeme	Simge	Tanım	Kolon Kesiti
Beton	f_c	Karakteristik beton basınç dayanımı	Dikdörtgen, Daire
Boyuna Donatı	f_y	Boyuna donatı akma dayanımı	Dikdörtgen, Daire
	f_u	Boyuna donatı kopma dayanımı	Dikdörtgen, Daire
Enine Donatı	f_{yw}	Enine donatı akma dayanımı	Dikdörtgen, Daire
	f_{uw}	Enine donatı kopma dayanımı	Dikdörtgen, Daire

4.1.2 Geometri özellikleri

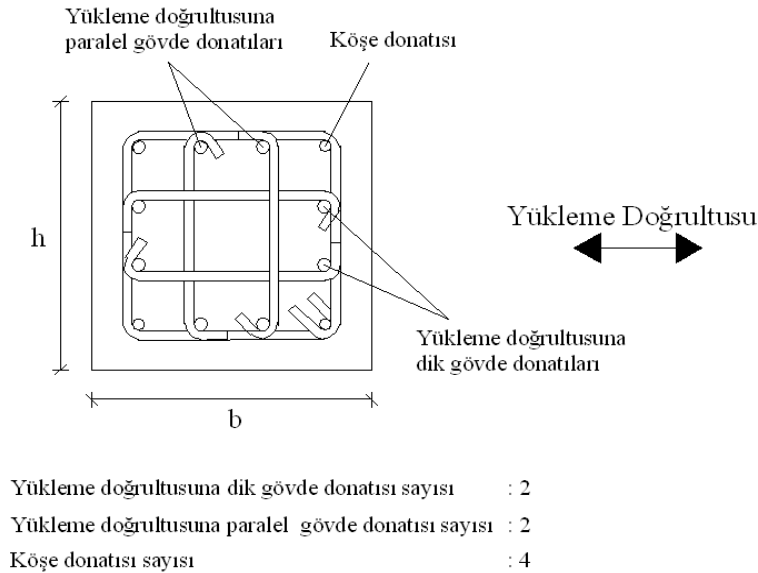
Daire ve dikdörtgen kesitli olmak üzere iki çeşit kolon geometrisi mevcuttur. Kolon geometrileri için kullanılan simgeler Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Kolon geometrisi için kullanılan simgeler (Berry ve diğ., 2004).

Simge	Tanım	Kolon Kesiti
h	Kesit derinliği	Dikdörtgen
b	Kesit genişliği	Dikdörtgen
d	Kesit çapı	Daire
L	Kolon yüksekliği	Dikdörtgen, Daire
A_g	Brüt kesit alanı	Dikdörtgen, Daire

4.1.3 Boyuna donatı özellikleri

Dikdörtgen kesitli kolonlara ait boyuna donatı düzenini sözel ifadeler veya çizelge olarak tanımlayabilmek için boyuna donatıları köşe donatısı ve gövde donatısı olmak üzere iki farklı şekilde düşünmek gerekmektedir. Benzer şekilde gövde donatılarının yerleşiminin daha net anlaşılması için gövde donatılarını yükleme doğrultusuna dik gövde donatıları ve yükleme doğrultusuna paralel gövde donatıları olarak tanımlanmaktadır (Şekil 4.1) (Berry ve diğ., 2004).



Şekil 4.1 : Dikdörtgen kolona ait boyuna donatı düzeni (Berry ve diğ., 2004).

Yükleme doğrultusuna dik gövde donatısı sayısı (veya yükleme doğrultusuna paralel gövde donatısı sayısı), yükleme doğrultusuna dik (veya paralel) her bir yüzdeki donatı adedini vermektedir. Ayrıca her köşeye birer adet donatı gelmektedir.

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi donatı adetleri: Toplam boyuna donatı adeti, 12; köşe donatısı, 4; gövde donatısı, 8; yükleme doğrultusuna dik gövde donatısı, 2x2; yükleme doğrultusuna paralel gövde donatısı, 2x2 şeklindedir.

Daire kesitli kolonlarda, sadece boyuna donatı çapı ve adeti verilmesi yeterlidir. Verilen donatılar eşit açılarla daire kesite dağıtılmaktadır.

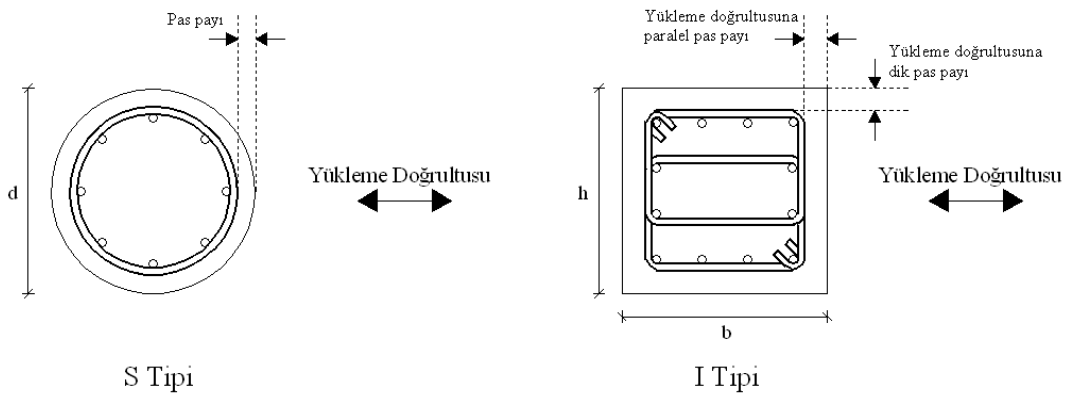
4.1.4 Enine donatı özellikleri

Bölüm 2.1.3’te, beton sargılaması uygulamalarının enine donatıyla sağlandığı belirtilmişti. Dairesel kolonlarda, dairesel etriye ile; dikdörtgen kolonlarda çeşitli etriye biçimleriyle beton sargılaması yapılmaktadır. Kolonların geometrik özelliklerine göre çeşitli etriye düzenleri kullanılmaktadır. PEER veri tabanındaki deneylerde Çizelge 4.3’te verilen etriye düzenleri kullanılmıştır.

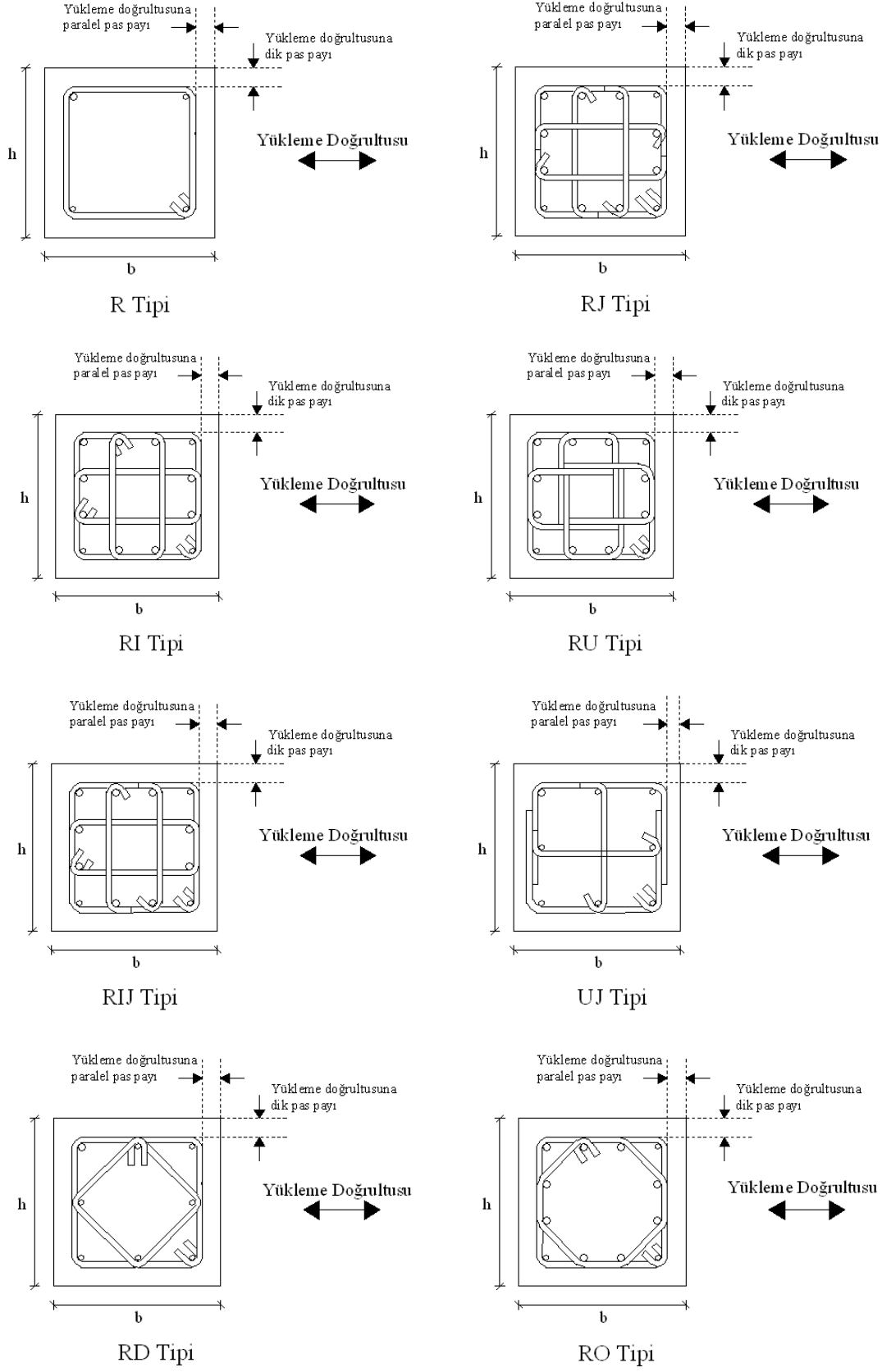
Çizelge 4.3 : Enine donatı çeşitleri (Berry ve diğ., 2004).

Simge	Enine Donatı Düzeni
S	Dairesel etriye
I	İç etriye
R	Çepeçevre etriye
RJ	Çepeçevre etriye ve çiroz
RI	Çepeçevre etriye ve iç etriye
RU	Çepeçevre etriye ve U etriye
RIJ	Çepeçevre etriye, iç etriye ve çiroz
UJ	U etriye ve çiroz
RD	Çepeçevre etriye ve diyagonal etriye
RO	Çepeçevre etriye ve ortagonal etriye

Çizelge 4.3’te verilen enine donatı düzeni bilgileri sırasıyla Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’te verilmiştir.



Şekil 4.2 : Enine donatı düzenleri I (Berry ve diğ., 2004).



Şekil 4.3 : Enine donatı düzenleri II (Berry ve diğ., 2004).

Paspayı; betonarme kolonun dış yüzeyinden enine donatının dış yüzeyine olan mesafe olarak tanımlanmaktadır. Farklı enine donatı düzenleri için alınacak paspayları Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te görülmektedir.

Hacimsel enine donatı oranı; bir etriye adımındaki enine donatı hacminin beton hacmine oranı olarak tanımlanır. PEER veri tabanında yer alan oranlar, araştırmacılar tarafından rapor edilmiş olan hacimsel enine donatı oranlarıdır.

4.2 Deney Biçimleri

PEER veri tabanında bulunan numuneler için kullanılan deney düzenekleri farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle Şekil 4.4'te farklı deney düzenekleri kullanılarak yapılan deneylerde kolonlara uygulanan kuvvet-yerdeğiştirme, yatay yük, mesnet şartları açıklanmaktadır.

L , ankastre kolonun uzunluğu; L_{hesap} , yerdeğiştirme etkisinin kolona uygulandığı noktadan, kolonun tabanına kadar olan mesafedir. Şekil 4.4'te görüldüğü gibi ankastre kolon hariç diğer deney düzeneklerinde $L=L_{hesap}$ 'tır.

4.3 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

4.3.1 Göçme biçimi

PEER veri tabanında kolonların göçme biçimleri üçe ayrılmıştır.

- Sünek göçme,
- Gevrek göçme,
- Sünek-gevrek arası göçme.

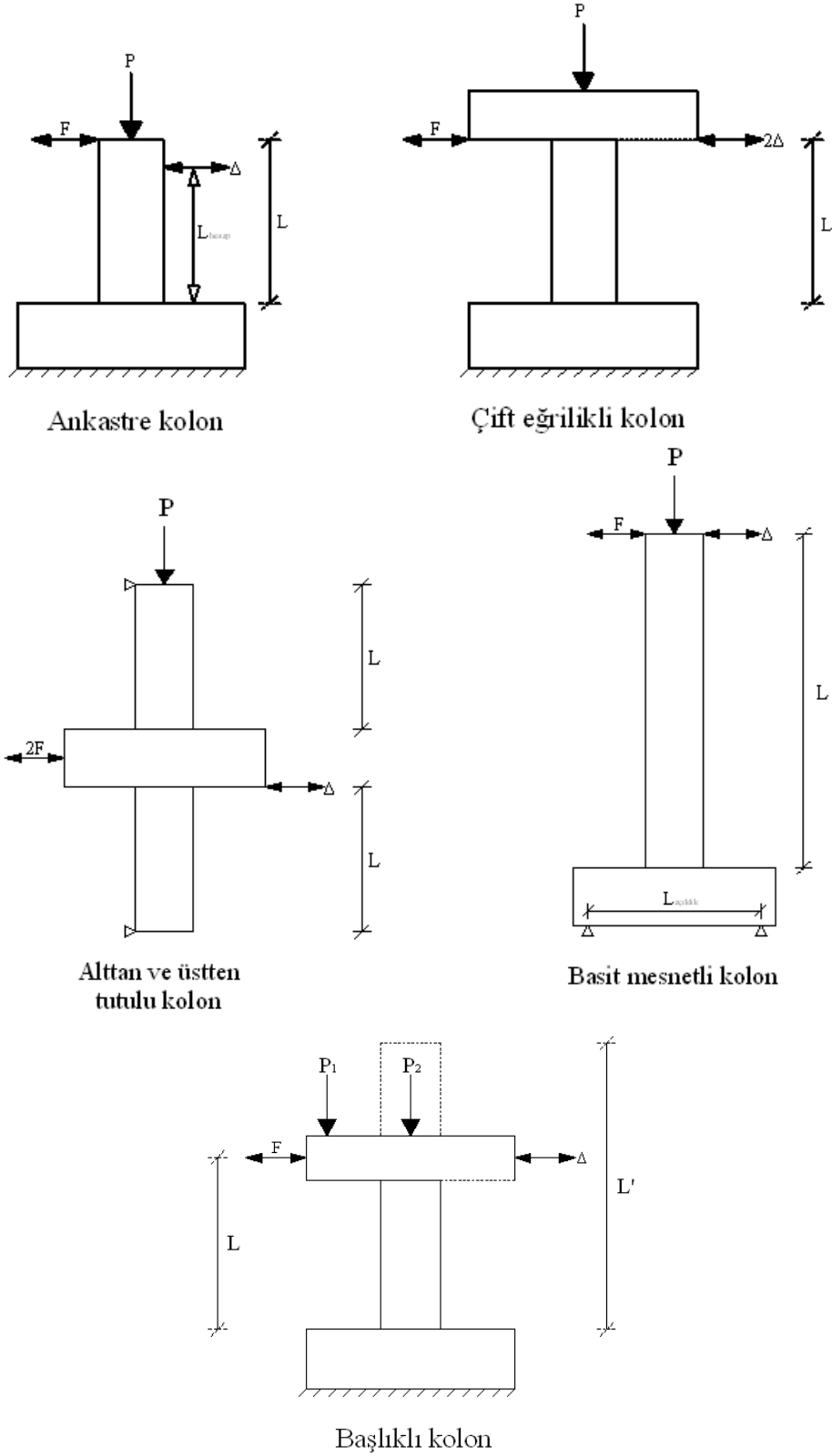
PEER tarafından göçme biçimi tanımları şu şekilde yapılmıştır;

Sünek göçme, araştırmacılar tarafından kesme hasarı rapor edilmediği durum;

Gevrek göçme, $F_{eff} < 0.95 F_{0.004}$ veya $\mu_{göçme} \leq 2$ olması durumu;

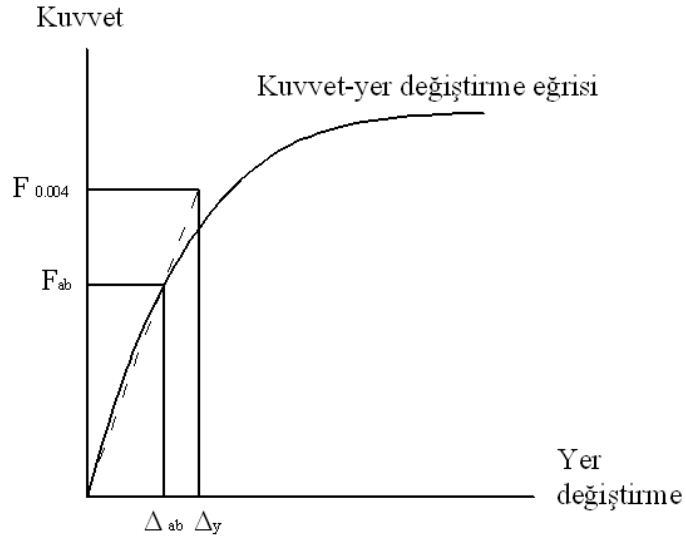
Sünek-gevrek arası göçme, $F_{eff} > 0.95 F_{0.004}$ veya $\mu_{göçme} > 2$ olması durumu olarak nitelendirilmektedir.

Burada; $F_{0.004}$, akma yerdeğiştirmesine karşı gelen kuvvet veya 0.004 birim şekildeğiştirmeye karşı gelen kuvvet; F_{eff} , maksimum kuvvet (taban momenti/kesme



Şekil 4.4 : Deney biçimleri (Berry ve diğ., 2004).

açıklığı), μ göçme yerdeğiştirme sünekliğidir. Şekil 4.5'te görüldüğü gibi deney sırasında elde edilen F_{eff} , Denklem 4.1'de verilen $F_{0.004}$ 'ün %95'inden küçük olduğu takdirde oluşan hasar gevrek göçme olarak tanımlanmaktadır (Berry ve diğ., 2004).



Şekil 4.5 : Sünnek göçme ve akma yerdeğiştirmesi tanımı (Berry, Eberharde, 2003).

$F_{0.004}$ 'ün akmayla olan ilişkisi Şekil 4.5'te verilmiştir. Δ_{ab} , yatay kuvvet altındaki elemanda, akma başlangıcına karşı gelen birim şekildeğiştirme ve F_{ab} , bu şekildeğiştirmeyi oluşturan kuvvettir. Akma başlangıcı; elemanın en dıştaki donatısının akması veya beton basınç şekildeğiştirme oranının 0.002'ye ulaşması olarak tanımlanır. Bu durumda akma yerdeğiştirmesi şu şekilde ifade edilir (Berry, Eberharde, 2003).

$$\Delta_y = \frac{F_{0.004} \Delta_{ab}}{F_{ab}} \quad (4.1)$$

4.3.2 Eksenel kuvvet etkisi

Kolonlara etkiyen yük, düşey ve yatay olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Düşey bileşen yaklaşık olarak P, eksenel yük, kabul edilebilir. Fakat yatay yük, düşey yükün uygulama şekline göre değişmektedir. Şekil 4.6'da dört farklı durum için eksenel yükün yataya yüke olan etkisi görölmektedir. Bu etki çerçevesinde gerçek yatay yükü hesaplanmak için bazı düzeltmeler yapılmaktadır (Berry ve diğ., 2004).

Durum I:

Deney sırasında uygulanan yatay kuvvetten eksenel yükün yatay bileşeni çıkarılır.

$$F_H = F_{eff} - \frac{P \Delta}{L_{hesap}} \quad (4.2)$$

Durum II:

Deney sırasında uygulanan yatay kuvvet, net yatay kuvvete eşittir.

$$F_{rep} = F_H \quad (4.3)$$

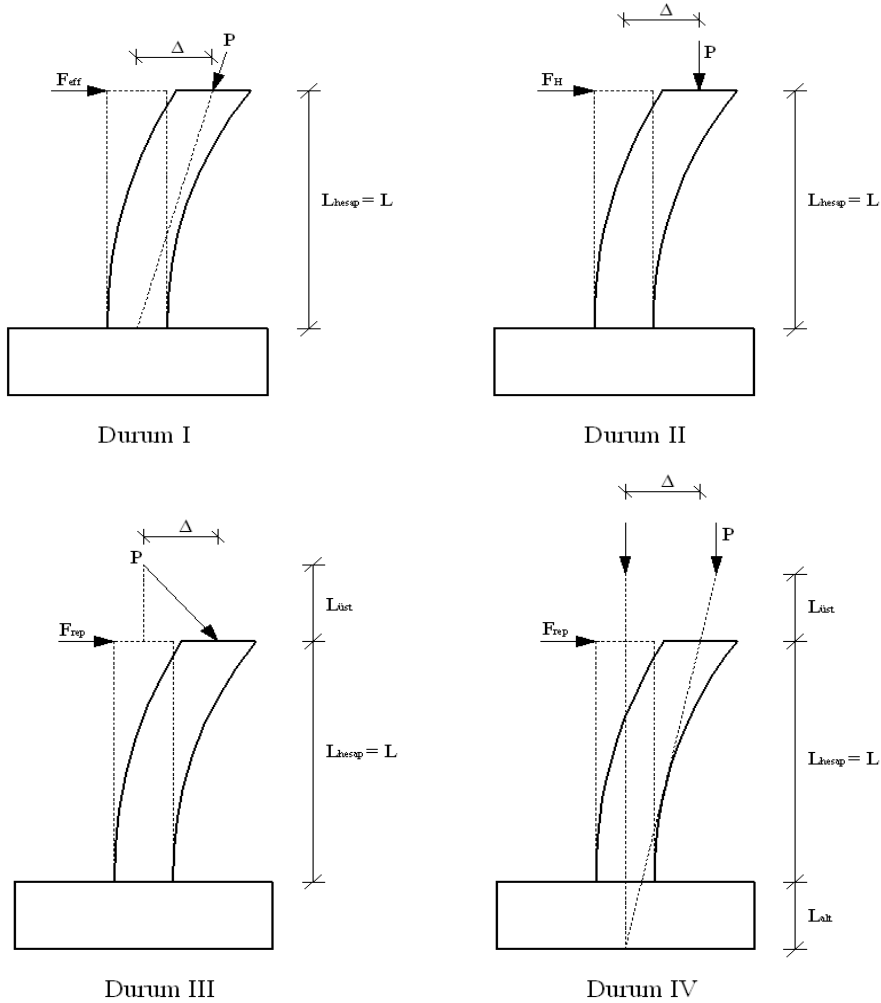
Durum III:

Deney sırasında uygulanan yatay kuvvete eksenel yükün yatay bileşeni eklenir.

$$F_H = F_{rep} + \frac{P L_{üst}}{\Delta} \quad (4.4)$$

Durum IV:

Deney sırasında uygulanan yatay kuvvet ile eksenel kuvvet aynı yükseklikten etkimemiştir ve eksenel yük doğrultusu kolon tabanı ile çakışmamaktadır. Bu nedenle ilk olarak rapor edilen yatay yükten, eksenel yükün yatay bileşeni çıkarılır.



Şekil 4.6 : Kuvvet-yerdeğiştirme düzeltmeleri (Berry ve diğ., 2004).

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{\Delta \left(\frac{L + L_{üst}}{L} \right)}{L + L_{alt} + L_{üst}} \right] \quad (4.5)$$

$$P_H = P \sin \alpha \quad (4.6)$$

$$F_H = F_{rep} - P_H \quad (4.7)$$

Düşey yükün ve yatay yükün taban momentine katkısı göz önünde bulundurularak taban momenti hesaplanır. Taban momentinden net yatay yük elde edilir.

$$M_{base} = F_H L + P \Delta \frac{L_{üst} + L}{L_{hesap}} \quad (4.8)$$

$$F_H = \frac{M_{base}}{L} \quad (4.9)$$

Şekil ve denklemlerde kullanılan simgeler aşağıda sıralanmıştır.

Δ , L_{hesap} 'ta ölçülen yerdeğiştirme; F_H , net yatay kuvvet (kolon kesme kuvveti); F_{eff} , taban momenti/kesme açıklığı; F_{rep} , rapor edilen yatay yük; L , kesme açıklığı; L_{alt} , kolon tabanı ile temel tabanı arasındaki düşey mesafe; L_{hesap} yatay yerdeğiştirmenin ölçüldüğü yükseklik; $L_{üst}$, aksel yükün uygulandığı yer ile yatay yerdeğiştirmenin ölçüldüğü nokta arasındaki düşey mesafe; M_{base} , taban momenti; P ise düşey yükür.

4.3.3 Hasarlar

Deneyler sırasında gözlemlenen hasarlar, özelliklerine farklı kategorilere ayrılmıştır (Berry ve diğ., 2004).

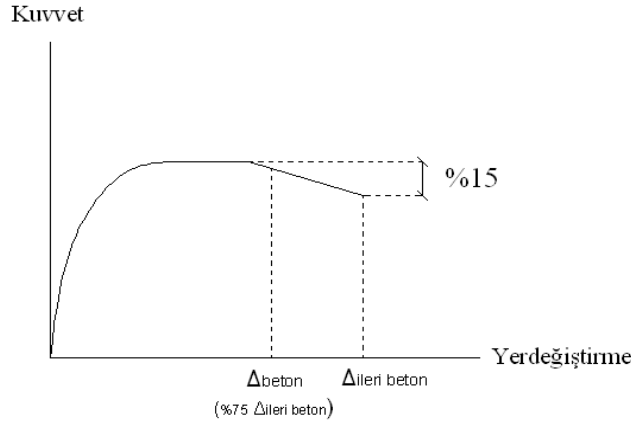
- Akma, Denklem 4.1'de açıklanmıştır,
- Beton hasarı, betonda gözlemlenen ilk hasardır.

Bazı deney numunelerinin beton hasarı için yerdeğiştirme verisi bulunmamaktadır. Bazı deney numunelerinde beton hasarına karşı gelen yerdeğiştirme verileri bulunmamaktadır. Bu numunelerde; kuvvet-yerdeğiştirme verilerinden yararlanılarak dayanımın %15 azaldığı yerdeğiştirme değerinin %75'ine denk gelen yerdeğiştirme değeri, beton hasarı yerdeğiştirmesi olarak kabul edilmiştir (Şekil 4.7).

- İleri beton hasarı, betonda gözlemlenen önemli derecedeki hasar veya beton hasar boyunun en kesit derinliğinin en az %10'u büyüklüğünde olması

durumudur. Bazı deney numunelerinde, ileri beton hasarına karşı gelen yerdeğiştirme verileri bulunmamaktadır. Bu numunelerde; kuvvet-yerdeğiştirme verilerinden yararlanarak dayanımın %15 azaldığı yerdeğiştirme değeri, ileri beton hasarı yerdeğiştirmesi olarak kabul edilmiştir (Şekil 4.7).

- Boyuna donatı burkulması, boyuna donatıda gözlemlenen ilk burkulma;
- Boyuna donatı hasarı, boyuna donatıda gözlemlenen ilk kırılma;
- Enine donatı hasarı, enine donatıda gözlemlenen ilk kırılma veya enine donatının açılması, boyuna donatılara tutulu halde olmaması;
- Eksenel yük kapasitesi kaybı, kolonun eksenel yük taşıma kapasitesinin sona ermesi;
- Kolon göçmesi, kolonun tamamen göçme durumu olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.7 : Hasar kabulü.

Şekil 4.7’de; $\Delta_{\text{ileri beton}}$, ileri beton hasarının meydana geldiği yerdeğiştirme değerini; Δ_{beton} , beton hasarının meydana geldiği yerdeğiştirme değerini; %15 ise dayanımın %15 azalmasını ifade etmektedir.

Tanımlanan hasarların ve bu hasarlara karşı gelen yerdeğiştirmelerin yönetmeliklerce belirlenen hasar sınırı değeriyle olan ilişkisi aşağıdaki gibi kabul edilmiştir.

- Akma yerdeğiştirmesi, minimum hasar sınırı yerdeğiştirmesi;
- Beton hasarı yerdeğiştirmesi, güvenlik sınırı yerdeğiştirmesi;
- İleri beton hasarı yerdeğiştirmesi, göçme sınırı yerdeğiştirmesi;
- Boyuna veya enine donatının hasar görmesi veya eksenel yük kapasitesi kaybına karşı gelen yerdeğiştirme ise göçme bölgesini karşılamaktadır.

4.4 Çalışmada Kullanılan Deney Numunelerine Ait Bilgiler

Bu çalışma kapsamında kullanılan deneyler ve bu deney numunelerine ait bilgiler EK A.1’de verilmiştir. Bilgiler elde edilirken PEER veri tabanı ve deneylerle ilgili makalelerden yararlanılmıştır.

Bu çalışmada değerlendirilen numuneler aşağıda verilen sınır şartları çerçevesinde derlenmiştir.

- Dikdörtgen kesitli,
- Sünek göçme tipine sahip,
- Beton basınç dayanımı 40 MPa’ı geçmeyen,
- Eksenel yük oranı; 0.1 ile 0.6 arasında değişen,
- Boyuna donatı oranı; 0.01 ile 0.04 arasında değişen,
- Enine donatı oranı; 0.01 ile 0.03 arasında değişen
- Konsol betonarme kolon.

5. NUMUNE PERFORMANSLARI VE HASAR ÜST SINIRLARI

Bu bölümde ilk olarak ilgili numunelerin DBYBHY, Eurocode ve FEMA yönetmeliklerinde verilen hasar üst sınırları belirlenecektir. Sonrasında belirlenen bu hasar üst sınırları, yerdeğiştirmelere dönüştürülerek yönetmeliklerden elde edilen sonuçlar deney sonuçları karşılaştırılabilir hale getirilecektir.

DBYBHY'ye ait hasar sınırları ve hasar sınırlarına bağlı olarak yerdeğiştirmeler hesaplanırken; ilk olarak kesitlere ait moment-eğrilik diyagramları elde edilmiştir. Moment-eğrilik diyagramlarında sargılı beton modeli olarak Geliştirilmiş Kent ve Park Modeli (1971) kullanılmıştır. Donatı modeli olarak üç doğrudan oluşan bir eğri göz önüne alınmıştır (Ersoy, 2007). Hesaplarda, akma yerdeğiştirmesi ve plastik yerdeğiştirme ayrı ayrı hesaplanıp buradan toplam yerdeğiştirmeye geçilmiştir. İncelenen numunelerin sünek olması ve dolayısıyla beton ezilmesinin meydana geleceği düşünülerek, DBYBHY'de tanımlanan sınır şartlarına ait en büyük beton birim şekildeğiştirmesine karşı gelen eğrilik bulunmuştur (çelik birim şekildeğiştirmesinin sınır şartları içerisinde kaldığı ayrıca kontrol edilmiştir). Bu eğrilikten akma eğriliği çıkartılarak plastik eğrilik elde edilmiştir. Plastik mafsal uzunluğu (0.5h) ile plastik eğrilik çarpılarak plastik dönme elde edilmiştir (Denklem 3.12). Akma eğriliğini ve plastik dönmenin yapacağı yerdeğiştirme hesaplanarak toplam kolon tepe yerdeğiştirmesi elde edilmiştir.

Eurocode 8'de tanımlanan ampirik eksen dönmesi denklemleri uygulanarak ilgili hasar sınırları için eksen dönmeleri bulunmuştur. Numunelerin konsol kolon olması ve deney düzenekleri göz önünde bulundurularak i düğüm noktasının (kolon alt ucunun) hareket etmeyeceği varsayılmıştır. Bu bağlamda hesaplanan eksenel dönmelerinden kolon tepe yerdeğiştirmeleri elde edilmiştir.

FEMA 356'da tarafından kesit dönmesi sınırları için verilen çizelgeden (Çizelge 3.23) yararlanarak her performans düzeyi için kesitlere ait dönmeler elde edilmiştir. Bu dönmeler, kolon boyları ile çarpılarak kolon tepe yerdeğiştirmesi hesaplanmıştır.

5.1 L1N60 (Kono ve diğ., 2002)

Kono ve diğ. (2002) tarafından yapılan deneylerde; L1N60 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.1, Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'te verilmiştir. Çizelge 5.4'te deney sırasında gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.1 : DBYBHY'de L1N60 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0135	0.040	-	0.0180	0.060	-
Hesap	0.0035	0.001	3.9	0.0135	0.005	16.2	0.0180	0.007	21.1

Çizelge 5.2 : Eurocode'da L1N60 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0055	6.6	0.0128	15.3	0.0170	20.4

Çizelge 5.3 : FEMA'da L1N60 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliği Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0030	3.6	0.0100	12.0	0.0120	14.4

Çizelge 5.4 : Hasar gözlemleri - L1N60.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
3.8	18.0	24.0	0	0	0

5.2 L1D6B (Kono ve diğ., 2002)

Kono ve diğ. (2002) tarafından yapılan deneylerde; L1D6B isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.5, Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7’de verilmiştir. Çizelge 5.8’de deney sırasında gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.5 : DBYBHY’de L1D6B performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0135	0.040	-	0.0180	0.060	-
Hesap	0.0035	0.002	4.5	0.0135	0.007	17.3	0.0180	0.009	22.1

Çizelge 5.6 : Eurocode’da L1D6B performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0062	7.4	0.0130	15.6	0.0174	20.8

Çizelge 5.7 : FEMA’da L1D6B performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliği Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0030	3.6	0.0100	12.0	0.0120	14.4

Çizelge 5.8 : Hasar gözlemleri - L1D6B.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
3.7	25.5	34.0	0	0	0

5.3 C5-40N (Matamoros, 1999)

Matamoros (1999) tarafından yapılan deneylerde; C5-40N isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.9, Çizelge 5.10 ve Çizelge 5.11’de verilmiştir. Çizelge 5.12’de deney gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.9 : DBYBHY’de C5-40N performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0093	0.040	-	0.0121	0.060	-
Hesap	0.0035	0.002	3.9	0.0093	0.0062	11.3	0.0121	0.008	13.5

Çizelge 5.10 : Eurocode’da C5-40N performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0128	7.8	0.0195	11.9	0.0259	15.8

Çizelge 5.11 : FEMA’da C5-40N performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliği Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0043	2.6	0.0039	2.4	0.0048	2.9

Çizelge 5.12 : Hasar gözlemleri - C5-40N.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
8.2	14.0	18.7	0	0	0

5.4 C5-40S (Matamoros, 1999)

Matamoros (1999) tarafından yapılan deneylerde; C5-40S isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.13, Çizelge 5.14 ve Çizelge 5.15'te verilmiştir. Çizelge 5.16'da deney gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.13 : DBYBHY'de C5-40S performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0093	0.040	-	0.0121	0.060	-
Hesap	0.0035	0.002	3.9	0.0093	0.006	11.2	0.0121	0.008	13.5

Çizelge 5.14 : Eurocode'da C5-40S performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0130	7.9	0.0194	11.8	0.0259	15.8

Çizelge 5.15 : FEMA'da C5-40S performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliği Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0043	2.6	0.0039	2.4	0.0048	2.9

Çizelge 5.16 : Hasar gözlemleri - C5-40S.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
8.1	14.0	18.6	0	0	0

5.5 C1-1 (Mo ve Wang, 2000)

Mo ve Wang (2000) tarafından yapılan deneylerde; C1-1 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.17, Çizelge 5.18 ve Çizelge 5.19’da verilmiştir. Çizelge 5.20’de deney gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.17 : DBYBHY’de C1-1 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0135	0.040	-	0.0180	0.060	-
Hesap	0.0035	0.007	12.4	0.0135	0.021	46.9	0.0180	0.027	59.6

Çizelge 5.18 : Eurocode’da C1-1 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0099	13.8	0.0248	34.7	0.0330	46.2

Çizelge 5.19 : FEMA’da C1-1 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliği Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0034	4.8	0.0116	16.2	0.0145	20.3

Çizelge 5.20 : Hasar gözlemleri - C1-1.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
15.0	42.5	69.5	0	0	0

5.6 C1-2 (Mo ve Wang, 2000)

Mo ve Wang (2000) tarafından yapılan deneylerde; C1-2 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.21, Çizelge 5.22 ve Çizelge 5.23'te verilmiştir. Çizelge 5.24'te deney gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.21 : DBYBHY'de C1-2 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	Δ_{MN} (mm)	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	Δ_{GV} (mm)	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ}$ (mm)
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0135	0.040	-	0.0180	0.060	-
Hesap	0.0035	0.006	12.3	0.0135	0.019	45.3	0.0180	0.025	57.4

Çizelge 5.22 : Eurocode'da C1-2 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
θ_{DL} (radyan)	Δ_{DL} (mm)	θ_{SD} (radyan)	Δ_{SD} (mm)	θ_{NC} (radyan)	Δ_{NC} (mm)
0.0105	14.7	0.0234	32.8	0.0312	43.7

Çizelge 5.23 : FEMA'da C1-2 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliği Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
θ_{DL} (radyan)	Δ_{DL} (mm)	θ_{SD} (radyan)	Δ_{SD} (mm)	θ_{NC} (radyan)	Δ_{NC} (mm)
0.0036	5.1	0.0118	16.5	0.0149	20.9

Çizelge 5.24 : Hasar gözlemleri - C1-2.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
14.8	37.0	63.0	0	104	0

5.7 C1-3 (Mo ve Wang, 2000)

Mo ve Wang (2000) tarafından yapılan deneylerde; C1-3 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.25, Çizelge 5.26 ve Çizelge 5.27’de verilmiştir. Çizelge 5.28’de deney gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.25 : DBYBHY’de C1-3 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0135	0.040	-	0.0180	0.060	-
Hesap	0.0035	0.005	11.4	0.0135	0.017	41.3	0.0180	0.023	52.8

Çizelge 5.26 : Eurocode’da C1-3 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0102	14.3	0.0219	30.6	0.0292	40.8

Çizelge 5.27 : FEMA’da C1-3 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliği Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0040	5.6	0.0123	17.2	0.0158	22.1

Çizelge 5.28 : Hasar gözlemleri - C1-3.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
14.9	36.0	62.0	0	111	0

5.8 C2-1 (Mo ve Wang, 2000)

Mo ve Wang (2000) tarafından yapılan deneylerde; C2-1 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.29, Çizelge 5.30 ve Çizelge 5.31’de verilmiştir. Çizelge 5.32’de deney gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.29 : DBYBHY’de C2-1 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	Δ_{MN} (mm)	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	Δ_{GV} (mm)	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ}$ (mm)
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0135	0.040	-	0.0180	0.060	-
Hesap	0.0035	0.007	13.2	0.0135	0.021	47.6	0.0180	0.027	60.1

Çizelge 5.30 : Eurocode’da C2-1 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
θ_{DL} (radyan)	Δ_{DL} (mm)	θ_{SD} (radyan)	Δ_{SD} (mm)	θ_{NC} (radyan)	Δ_{NC} (mm)
0.0105	14.7	0.0245	34.3	0.0327	45.8

Çizelge 5.31 : FEMA’da C2-1 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliği Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
θ_{DL} (radyan)	Δ_{DL} (mm)	θ_{SD} (radyan)	Δ_{SD} (mm)	θ_{NC} (radyan)	Δ_{NC} (mm)
0.0034	4.8	0.0115	16.1	0.0144	20.2

Çizelge 5.32 : Hasar gözlemleri - C2-1.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
16.7	37.0	63.0	0	113	0

5.9 C2-2 (Mo ve Wang, 2000)

Mo ve Wang (2000) tarafından yapılan deneylerde; C2-2 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.33, Çizelge 5.34 ve Çizelge 5.35'te verilmiştir. Çizelge 5.36'da deney gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.33 : DBYBHY'de C2-2 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0135	0.040	-	0.0180	0.060	-
Hesap	0.0035	0.006	12.3	0.0135	0.019	44.8	0.0180	0.025	56.7

Çizelge 5.34 : Eurocode'da C2-2 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0102	14.2	0.0232	32.5	0.0310	43.4

Çizelge 5.35 : FEMA'da C2-2 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliği Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0036	5.0	0.0117	16.4	0.0148	20.7

Çizelge 5.36 : Hasar gözlemleri - C2-2.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
15.6	35.0	68.0	0	110	0

5.10 C2-3 (Mo ve Wang, 2000)

Mo ve Wang (2000) tarafından yapılan deneylerde; C2-3 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.37, Çizelge 5.38 ve Çizelge 5.39’da verilmiştir. Çizelge 5.40’ta deney gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.37 : DBYBHY’de C2-3 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0133	0.040	-	0.0177	0.060	-
Hesap	0.0035	0.005	11.5	0.0133	0.017	41.6	0.0177	0.023	52.9

Çizelge 5.38 : Eurocode’da C2-3 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0107	14.9	0.0218	30.5	0.0290	40.6

Çizelge 5.39 : FEMA’da C2-3 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliği Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0040	5.6	0.0122	17.1	0.0157	22.0

Çizelge 5.40 : Hasar gözlemleri - C2-3.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
13.5	38.0	58.0	0	109	0

5.11 C3-1 (Mo ve Wang, 2000)

Mo ve Wang (2000) tarafından yapılan deneylerde; C3-1 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.41, Çizelge 5.42 ve Çizelge 5.43'te verilmiştir. Çizelge 5.44'te deney gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.41 : DBYBHY'de C3-1 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0135	0.040	-	0.0180	0.060	-
Hesap	0.0035	0.007	12.5	0.0135	0.021	47.7	0.0180	0.027	59.8

Çizelge 5.42 : Eurocode'da C3-1 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0101	14.2	0.0244	34.1	0.0325	45.5

Çizelge 5.43 : FEMA'da C3-1 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliği Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0033	4.6	0.0114	15.9	0.0142	19.8

Çizelge 5.44 : Hasar gözlemleri - C3-1.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
17.9	48.8	65.0	0	0	0

5.12 C3-2 (Mo ve Wang, 2000)

Mo ve Wang (2000) tarafından yapılan deneylerde; C3-2 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.45, Çizelge 5.46 ve Çizelge 5.47’de verilmiştir. Çizelge 5.48’de deney gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.45 : DBYBHY’de C3-2 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	Δ_{MN} (mm)	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	Δ_{GV} (mm)	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ}$ (mm)
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0135	0.040	-	0.0180	0.060	-
Hesap	0.0035	0.006	12.3	0.0135	0.019	45.5	0.0180	0.025	57.2

Çizelge 5.46 : Eurocode’da C3-2 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
θ_{DL} (radyan)	Δ_{DL} (mm)	θ_{SD} (radyan)	Δ_{SD} (mm)	θ_{NC} (radyan)	Δ_{NC} (mm)
0.0107	15.0	0.0231	32.3	0.0307	43.0

Çizelge 5.47 : FEMA’da C3-2 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliği Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
θ_{DL} (radyan)	Δ_{DL} (mm)	θ_{SD} (radyan)	Δ_{SD} (mm)	θ_{NC} (radyan)	Δ_{NC} (mm)
0.0035	5.0	0.0117	16.3	0.0147	20.6

Çizelge 5.48 : Hasar gözlemleri - C3-2.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
17.9	52.5	70.0	0	0	0

5.13 C3-3 (Mo ve Wang, 2000)

Mo ve Wang (2000) tarafından yapılan deneylerde; C3-3 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.49, Çizelge 5.50 ve Çizelge 5.51’de verilmiştir. Çizelge 5.52’de deney gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.49 : DBYBHY’de C3-3 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0133	0.040	-	0.0177	0.060	-
Hesap	0.0035	0.005	11.4	0.0133	0.017	41.2	0.0177	0.022	52.3

Çizelge 5.50 : Eurocode’da C3-3 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0104	14.5	0.0216	30.2	0.0287	40.2

Çizelge 5.51 : FEMA’da C3-3 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliğı Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0039	5.5	0.0122	17.1	0.0156	21.9

Çizelge 5.52 : Hasar gözlemleri - C3-3.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
15.4	51.0	68.0	0	0	0

5.14 BG-1 (Saatcioglu ve Grira, 1999)

Saatcioglu ve Grira (1999) tarafından yapılan deneylerde; BG-1 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.53, Çizelge 5.54 ve Çizelge 5.55'te verilmiştir. Çizelge 5.56'da deney gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.53 : DBYBHY'de BG-1 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0114	0.040	-	0.0151	0.060	-
Hesap	0.0035	0.002	10.7	0.0114	0.006	27.0	0.0151	0.006	31.6

Çizelge 5.54 : Eurocode'da BG-1 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0088	14.6	0.0176	29.0	0.0235	38.7

Çizelge 5.55 : FEMA'da BG-1 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliği Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0020	3.3	0.0020	3.3	0.0021	3.5

Çizelge 5.56 : Hasar gözlemleri - BG-1.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
10.0	26.3	35.0	0	0	0

5.15 BG-2 (Saatcioglu ve Grira, 1999)

Saatcioglu ve Grira (1999) tarafından yapılan deneylerde; BG-2 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.57, Çizelge 5.58 ve Çizelge 5.59’da verilmiştir. Çizelge 5.60’ta deney gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.57 : DBYBHY’de BG-2 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0135	0.040	-	0.0180	0.060	-
Hesap	0.0035	0.002	13.6	0.0135	0.009	38.0	0.0180	0.012	47.2

Çizelge 5.58 : Eurocode’da BG-2 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0112	18.4	0.0205	33.8	0.0274	45.1

Çizelge 5.59 : FEMA’da BG-2 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliği Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0030	4.9	0.0102	16.7	0.0122	20.1

Çizelge 5.60 : Hasar gözlemleri - BG-2.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
9.6	39.8	53.0	82.2	0	0

5.16 BG-3 (Saatcioglu ve Grira, 1999)

Saatcioglu ve Grira (1999) tarafından yapılan deneylerde; BG-3 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.61, Çizelge 5.62 ve Çizelge 5.63'te verilmiştir. Çizelge 5.64'te deney gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.61 : DBYBHY’de BG-3 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0135	0.040	-	0.0180	0.060	-
Hesap	0.0035	0.005	17.2	0.0135	0.018	56.9	0.0180	0.023	70.4

Çizelge 5.62 : Eurocode’da BG-3 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0118	19.4	0.0270	44.5	0.0361	59.3

Çizelge 5.63 : FEMA’da BG-3 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliği Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0037	6.0	0.0130	21.4	0.0167	27.4

Çizelge 5.64 : Hasar gözlemleri - BG-3.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
15.4	82.5	110.0	0	0	0

5.17 BG-4 (Saatcioglu ve Grira, 1999)

Saatcioglu ve Grira (1999) tarafından yapılan deneylerde; BG-4 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.65, Çizelge 5.66 ve Çizelge 5.67’de verilmiştir. Çizelge 5.68’de deney gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.65 : DBYBHY’de BG-4 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0135	0.040	-	0.0180	0.060	-
Hesap	0.0035	0.002	13.2	0.0135	0.005	30.6	0.0180	0.006	37.9

Çizelge 5.66 : Eurocode’da BG-4 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0110	18.2	0.0169	27.9	0.0226	37.2

Çizelge 5.67 : FEMA’da BG-4 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliği Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0020	3.3	0.0020	3.3	0.0021	3.5

Çizelge 5.68 : Hasar gözlemleri - BG-4.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
11.0	35.3	47.0	65.8	0	0

5.18 BG-5 (Saatcioglu ve Grira, 1999)

Saatcioglu ve Grira (1999) tarafından yapılan deneylerde; BG-5 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.69, Çizelge 5.70 ve Çizelge 5.71’de verilmiştir. Çizelge 5.72’de deney gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.69 : DBYBHY’de BG-5 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0135	0.040	-	0.0180	0.060	-
Hesap	0.0035	0.002	14.4	0.0135	0.009	38.9	0.0180	0.011	54.2

Çizelge 5.70 : Eurocode’da BG-5 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0121	19.9	0.0213	35.0	0.0284	46.7

Çizelge 5.71 : FEMA’da BG-5 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliği Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0030	4.9	0.0103	16.9	0.0124	20.4

Çizelge 5.72 : Hasar gözlemleri - BG-5.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
13.8	65.3	87.0	115.2	0	0

5.19 BG-6 (Saatcioglu ve Grira, 1999)

Saatcioglu ve Grira (1999) tarafından yapılan deneylerde; BG-6 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.73, Çizelge 5.74 ve Çizelge 5.75'te verilmiştir. Çizelge 5.76'da deney gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.73 : DBYBHY'de BG-6 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0135	0.040	-	0.0180	0.060	-
Hesap	0.0035	0.002	14.5	0.0135	0.009	40.2	0.0180	0.011	49.7

Çizelge 5.74 : Eurocode'da BG-6 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0139	22.9	0.0219	36.0	0.0292	48.0

Çizelge 5.75 : FEMA'da BG-6 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliği Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0030	4.9	0.0105	17.3	0.0127	21.0

Çizelge 5.76 : Hasar gözlemleri - BG-6.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
11.3	61.5	82.0	0	0	0

5.20 BG-7 (Saatcioglu ve Grira, 1999)

Saatcioglu ve Grira (1999) tarafından yapılan deneylerde; BG-7 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.77, Çizelge 5.78 ve Çizelge 5.79’da verilmiştir. Çizelge 5.80’de deney gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.77 : DBYBHY’de BG-7 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0135	0.040	-	0.0180	0.060	-
Hesap	0.0035	0.002	13.0	0.0135	0.005	30.2	0.0180	0.007	37.3

Çizelge 5.78 : Eurocode’da BG-7 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0109	18.0	0.0177	29.2	0.0237	38.9

Çizelge 5.79 : FEMA’da BG-7 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliği Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0030	4.9	0.0103	16.9	0.0125	20.5

Çizelge 5.80 : Hasar gözlemleri - BG-7.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
12.0	63.0	84.0	0	0	0

5.21 BG-8 (Saatcioglu ve Grira, 1999)

Saatcioglu ve Grira (1999) tarafından yapılan deneylerde; BG-8 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.81, Çizelge 5.82 ve Çizelge 5.83'te verilmiştir. Çizelge 5.84'te deney sırasında gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.81 : DBYBHY’de BG-8 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0135	0.040	-	0.0180	0.060	-
Hesap	0.0035	0.005	17.2	0.0135	0.010	38.6	0.0180	0.011	45.7

Çizelge 5.82 : Eurocode’da BG-8 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0121	20.0	0.0234	38.5	0.0312	51.4

Çizelge 5.83 : FEMA’da BG-8 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliği Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0036	5.9	0.0118	19.3	0.0149	24.4

Çizelge 5.84 : Hasar gözlemleri - BG-8.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
20.7	72.0	96.0	115.2	0	0

5.22 BG-9 (Saatcioglu ve Grira, 1999)

Saatcioglu ve Grira (1999) tarafından yapılan deneylerde; BG-9 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.85, Çizelge 5.86 ve Çizelge 5.87’de verilmiştir. Çizelge 5.88’de deney sırasında gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.85 : DBYBHY’de BG-9 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0135	0.040	-	0.0180	0.060	-
Hesap	0.0035	0.002	13.6	0.0135	0.005	30.6	0.0180	0.007	37.5

Çizelge 5.86 : Eurocode’da BG-9 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0109	17.9	0.0174	28.6	0.0232	38.2

Çizelge 5.87 : FEMA’da BG-9 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliği Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0030	4.9	0.0104	17.1	0.0126	20.7

Çizelge 5.88 : Hasar gözlemleri - BG-9.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
12.4	55.5	74.0	68.8	0	0

5.23 BG-10 (Saatcioglu ve Grira, 1999)

Saatcioglu ve Grira (1999) tarafından yapılan deneylerde; BG-10 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.89, Çizelge 5.90 ve Çizelge 5.91’de verilmiştir. Çizelge 5.92’de deney sırasında gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.89 : DBYBHY’de BG-10 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0135	0.040	-	0.0180	0.060	-
Hesap	0.0035	0.002	16.2	0.0135	0.009	39.6	0.0180	0.012	48.1

Çizelge 5.90 : Eurocode’da BG-10 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0126	20.8	0.0212	34.9	0.0283	46.5

Çizelge 5.91 : FEMA’da BG-10 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliğı Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0030	4.9	0.0103	16.9	0.0124	20.5

Çizelge 5.92 : Hasar gözlemleri - BG-10.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
13.6	66.8	89.0	0	0	0

5.24 U3 (Saatcioglu ve Ozcebe, 1989)

Saatcioglu ve Ozcebe (1989) tarafından yapılan deneylerde; U3 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.93, Çizelge 5.94 ve Çizelge 5.95'te verilmiştir. Çizelge 5.96'da deney sırasında gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.93 : DBYBHY'de U3 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0135	0.040	-	0.0180	0.060	-
Hesap	0.0035	0.006	7.9	0.0135	0.019	31.6	0.0180	0.023	38.2

Çizelge 5.94 : Eurocode'da U3 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0093	9.3	0.0213	21.3	0.0283	28.3

Çizelge 5.95 : FEMA'da U3 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliği Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0038	3.8	0.0121	12.1	0.0154	15.4

Çizelge 5.96 : Hasar gözlemleri - U3.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
20.8	33.8	45.0	0	0	0

5.25 U4 (Saatcioglu ve Ozcebe, 1989)

Saatcioglu ve Ozcebe (1989) tarafından yapılan deneylerde; U4 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.97, Çizelge 5.98 ve Çizelge 5.99’da verilmiştir. Çizelge 5.100’de deney sırasında gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.97 : DBYBHY’de U4 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0135	0.040	-	0.0180	0.060	-
Hesap	0.0035	0.006	6.9	0.0135	0.021	33.3	0.0180	0.026	42.0

Çizelge 5.98 : Eurocode’da U4 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0092	9.2	0.0222	22.2	0.0296	29.6

Çizelge 5.99 : FEMA’da U4 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliğı Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0034	3.4	0.0104	10.4	0.0127	12.7

Çizelge 5.100 : Hasar gözlemleri - U4.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
13.1	48.8	65.0	0	0	0

5.26 U6 (Saatcioglu ve Ozcebe, 1989)

Saatcioglu ve Ozcebe (1989) tarafından yapılan deneylerde; U6 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.101, Çizelge 5.102 ve Çizelge 5.103'te verilmiştir. Çizelge 5.104'te deney sırasında gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.101 : DBYBHY'de U6 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0135	0.040	-	0.0180	0.060	-
Hesap	0.0035	0.006	7.8	0.0135	0.021	34.4	0.0180	0.027	42.6

Çizelge 5.102 : Eurocode'da U6 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0093	9.3	0.0238	23.8	0.0317	31.7

Çizelge 5.103 : FEMA'da U6 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliği Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0032	3.2	0.0102	10.2	0.0124	12.4

Çizelge 5.104 : Hasar gözlemleri - U6.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
13.6	51.0	68.0	0	0	0

5.27 U7 (Saatcioglu ve Ozcebe, 1989)

Saatcioglu ve Ozcebe (1989) tarafından yapılan deneylerde; U7 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.105, Çizelge 5.106 ve Çizelge 5.107’de verilmiştir. Çizelge 5.108’de deney sırasında gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.105 : DBYBHY’de U7 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0135	0.040	-	0.0180	0.060	-
Hesap	0.0035	0.006	7.9	0.0135	0.022	36.0	0.0180	0.027	43.5

Çizelge 5.106 : Eurocode’da U7 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0093	9.3	0.0240	24.0	0.0320	32.0

Çizelge 5.107 : FEMA’da U7 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliğı Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0032	3.2	0.0102	10.2	0.0123	12.3

Çizelge 5.108 : Hasar gözlemleri - U7.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
13.6	48.0	64.0	0	0	0

5.28 No.5 (Tanaka, 1990)

Tanaka ve Park (1990) tarafından yapılan deneylerde; No.5 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.109, Çizelge 5.110 ve Çizelge 5.111’de verilmiştir. Çizelge 5.112’de deney sırasında gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.109 : DBYBHY’de No.5 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0135	0.040	-	0.0180	0.060	-
Hesap	0.0035	0.009	15.9	0.0135	0.030	72.6	0.0180	0.038	89.1

Çizelge 5.110 : Eurocode’da No.5 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0089	14.7	0.0227	37.4	0.0302	49.8

Çizelge 5.111 : FEMA’da No.5 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliği Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0050	8.3	0.0121	19.9	0.0161	26.5

Çizelge 5.112 : Hasar gözlemleri - No.5.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
No. 5	13.6	22.0	46.0	73.8	0

5.29 No.6 (Tanaka, 1990)

Tanaka ve Park (1990) tarafından yapılan deneylerde; No.6 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler **Çizelge 5.113**, **Çizelge 5.114** ve **Çizelge 5.115**'te verilmiştir. **Çizelge 5.116**'da deney sırasında gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.113 : DBYBHY'de No.6 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0135	0.040	-	0.0180	0.060	-
Hesap	0.0035	0.009	15.6	0.0135	0.030	73.6	0.0180	0.039	92.6

Çizelge 5.114 : Eurocode'da No.6 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0083	13.7	0.0227	37.4	0.0302	49.8

Çizelge 5.115 : FEMA'da No.6 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliği Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0050	8.3	0.0123	20.2	0.0163	27.0

Çizelge 5.116 : Hasar gözlemleri - No.6.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
12.0	19.0	32.0	67.2	0	0

5.30 No.7 (Tanaka, 1990)

Tanaka ve Park (1990) tarafından yapılan deneylerde; No.7 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.117, Çizelge 5.118 ve Çizelge 5.119’da verilmiştir. Çizelge 5.120’de deney sırasında gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.117 : DBYBHY’de No.7 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	Δ_{MN} (mm)	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	Δ_{GV} (mm)	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ}$ (mm)
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0135	0.040	-	0.0180	0.060	-
Hesap	0.0035	0.004	11.2	0.0135	0.016	41.9	0.0180	0.021	54.5

Çizelge 5.118 : Eurocode’da No.7 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
θ_{DL} (radyan)	Δ_{DL} (mm)	θ_{SD} (radyan)	Δ_{SD} (mm)	θ_{NC} (radyan)	Δ_{NC} (mm)
0.0088	14.5	0.0186	30.7	0.0248	40.9

Çizelge 5.119 : FEMA’da No.7 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliği Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
θ_{DL} (radyan)	Δ_{DL} (mm)	θ_{SD} (radyan)	Δ_{SD} (mm)	θ_{NC} (radyan)	Δ_{NC} (mm)
0.0042	7.0	0.0125	20.7	0.0162	26.8

Çizelge 5.120 : Hasar gözlemleri - No.7.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
9.7	19.0	29.0	82.4	0	0

5.31 No.8 (Tanaka, 1990)

Tanaka ve Park (1990) tarafından yapılan deneylerde; No.8 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.121, Çizelge 5.122 ve Çizelge 5.123'te verilmiştir. Çizelge 5.124'de deney sırasında gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.121 : DBYBHY'de No.8 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0135	0.040	-	0.0180	0.060	-
Hesap	0.0035	0.004	10.7	0.0135	0.016	42.0	0.0180	0.022	55.3

Çizelge 5.122 : Eurocode'da No.8 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0084	13.8	0.0186	30.7	0.0248	40.9

Çizelge 5.123 : FEMA'da No.8 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliği Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0043	7.1	0.0126	20.8	0.0164	27.1

Çizelge 5.124 : Hasar gözlemleri - No.8.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
8.4	13.0	25.0	78	0	0

5.32 A2 (Wehbe ve diğ., 1998)

Wehbe ve diğ. (1998) tarafından yapılan deneylerde; A2 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.125, Çizelge 5.126 ve Çizelge 5.127’de verilmiştir. Çizelge 5.128’de deney sırasında gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.125 : DBYBHY’de A2 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0084	0.040	-	0.0108	0.060	-
Hesap	0.0035	0.005	14.7	0.0084	0.010	17.5	0.0108	0.013	20.6

Çizelge 5.126 : Eurocode’da A2 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0078	15.9	0.0158	32.4	0.0211	43.2

Çizelge 5.127 : FEMA’da A2 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliği Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0031	6.4	0.0029	6.0	0.0036	7.4

Çizelge 5.128 : Hasar gözlemleri - A2.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
22.0	40.0	62.0	102	0	121

5.33 B2 (Wehbe ve diğ., 1998)

Wehbe ve diğ. (1998) tarafından yapılan deneylerde; B2 isimli numuneye ait veriler doğrultusunda, deprem yönetmeliklerindeki sınır değerler ve bu değerlere karşı gelen yerdeğiştirmeler Çizelge 5.129, Çizelge 5.130 ve Çizelge 5.131’de verilmiştir. Çizelge 5.132’de deney sırasında gözlemlenen hasarlara ait yerdeğiştirme değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.129 : DBYBHY’de B2 performansı.

	Min. Hasar Sınırı (MN)			Güvenlik Sınırı (GV)			Göçme Sınırı (GÇ)		
	$\epsilon_{cu}(MN)$	$\epsilon_s(MN)$	$\Delta_{MN} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GV)$	$\epsilon_s(GV)$	$\Delta_{GV} (mm)$	$\epsilon_{cg}(GÇ)$	$\epsilon_s(GÇ)$	$\Delta_{GÇ} (mm)$
Sınır	0.0035	0.010	-	0.0104	0.040	-	0.0136	0.060	-
Hesap	0.0035	0.005	16.7	0.0104	0.014	22.5	0.0136	0.018	26.7

Çizelge 5.130 : Eurocode’da B2 performansı.

Minimum Hasar Sınırı (DL)		Güvenlik Sınırı (SD)		Göçme Sınırı (NC)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0089	18.2	0.0198	40.5	0.0263	54.0

Çizelge 5.131 : FEMA’da B2 performansı.

Kullanıma Devam Performansı Sınırı (IO)		Can Güvenliğı Performansı Sınırı (LS)		Göçmenin önlenmesi Performansı Sınırı (CP)	
$\theta_{DL} (radyan)$	$\Delta_{DL} (mm)$	$\theta_{SD} (radyan)$	$\Delta_{SD} (mm)$	$\theta_{NC} (radyan)$	$\Delta_{NC} (mm)$
0.0038	7.8	0.0120	24.6	0.0153	31.3

Çizelge 5.132 : Hasar gözlemleri - B2.

Akma	Beton Hasarı	İleri beton hasarı	Boyuna Donatı Burkulması	Boyuna Donatı Kopması	Eksenel Yük Kapasitesi Kaybı
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
B2	26.9	53.0	74.0	128	0

6. PERFORMANSLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada, sünek betonarme kolonların performans analizi değerlendirilmiş; DBYBHY, Eurocode, FEMA yönetmelikleri tarafından belirlenen hasar sınırı değerleri, PEER veri tabanında bulunan deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Deneylerde gözlemlenen hasarlar ve bu hasarlara karşı gelen yerdeğiştirmeler; PEER veri tabanından ve ilgili makalelerden yararlanılarak derlenmiştir. Betonarme kolonların gerçeğe en yakın davranışının deney sonuçlarıyla belirlendiği göz önünde bulundurularak; deneylerde, gözlemlenen hasarın yönetmeliklerde öngörülmüş olan hasar ve hasar düzeyleri ile olan uyumu araştırılmıştır.

Yönetmeliklerin performans değerlendirmesinde temel yaklaşım farklılıkları şu şekilde özetlenebilir: DBYBHY, kesit birim şekildeğiştirmesini; Eurocode, eksen dönmesini; FEMA ise kesit dönmesini performans kriteri olarak kullanmaktadır. Hasar üst sınırları, DBYBHY’de enine donatı miktarının beton birim şekildeğiştirme kapasitesine katkısının da dikkate alındığı malzeme limit şekildeğiştirme sınırlarından, Eurocode’da deneysel çalışmalar sonucu elde edilen formüllerden ve FEMA’da genelleştirilmiş kesit dönmesi tablolarından elde edilmektedir.

Yapılan değerlendirmelerde; DBYBHY ve Eurocode yalnızca yapısal elemanların performans ve hasarlarını göz önünde bulundurmaktadır. FEMA ise değerlendirmeyi, deprem etkisi altında yapıdan beklenen performansın sadece taşıyıcı sistem performansı olmaması gerektiği ve kullanıma ara verilmesi, ekonomik kayıplar gibi sorunlara yol açacak diğer hususların da yapının performansının bir parçası olduğu düşüncesiyle, yapısal ve yapısal olmayan elemanların performans ve hasarlarını birleştirerek yapmaktadır.

6.1 Yönetmeliklere Ait Hasar Sınırı Yerdeğiştirmeleri ile Deneysel Olarak Saptanmış Yerdeğiştirmelerin Karşılaştırılması

Minimum Hasar Sınırı

Şekil 6.1’de minimum hasar sınırı için yönetmeliklerce izin verilen maksimum yerdeğiştirmeler ve deneysel olarak saptanmış akma yerdeğiştirmeleri (Şekil 4.5)

karşılaştırmalı olarak verilmiştir. İzin verilen yerdeğiştirmeler, iki numune haricinde, küçükten büyüğe doğru sırasıyla FEMA, DBYBHY, Eurocode şeklindedir. İlgili iki numunede, sınır yerdeğiştirme sıralaması küçükten büyüğe FEMA, Eurocode ve DBYBHY şeklinde olup DBYBHY ve Eurocode’a ait yerdeğiştirmeler birbirine çok yakındır. Genel olarak bakıldığında, minimum hasar sınırı için; FEMA, en az; Eurocode ise en çok hasara veya yerdeğiştirmeye izin vermektedir. Şekilde görüldüğü gibi FEMA tarafından minimum hasar sınırı için tanımlanan yerdeğiştirmeler, daima akma yerdeğiştirmelerinden büyük kalmaktadır. Eurocode ve DBYBHY tarafından minimum hasar sınırı için tanımlanan yerdeğiştirmeler, numunelerin bir kısmında akma yerdeğiştirmelerini aşmış, bir kısmında ise akma yerdeğiştirmelerine yeterince yaklaşmıştır.

Şekil 6.2’de görüldüğü gibi aşılma oranı, DBYBHY için gibi %50 mertebesine kadar çıkmaktadır. Bununla beraber DBYBHY’de, ortalama aşılma oranı 0.90 ve aşılma oranının standart sapması 0.28’dir.

Şekil 6.3’te görüldüğü gibi aşılma oranı, Eurocode için gibi %100 mertebesine kadar çıkmaktadır. Bununla beraber Eurocode’da, ortalama aşılma oranı 1.17 ve aşılma oranının standart sapması 0.42’dir.

Şekil 6.4’te görüldüğü gibi aşılma oranı, FEMA için gibi %60 mertebesine kadar çıkmaktadır. Bununla beraber FEMA’da, ortalama aşılma oranı 0.41 ve aşılma oranının standart sapması 0.20’dir.

Özetle, minimum hasar sınırı için;

- DBYBHY tarafından minimum hasar sınırı için tanımlanan yerdeğiştirmeler, numunelerin %46’sında akma yerdeğiştirmesine ulaşmakta ve numuneler, belirgin hasar bölgesine geçmektedir. Tanımlanan yerdeğiştirmeler, numunelerin %54’ünde akma yerdeğiştirmesine ulaşmamakta ve numuneler, minimum hasar bölgesinde kalmaktadır (ortalama aşılma oranı: 0.90).
- Eurocode tarafından minimum hasar sınırı için tanımlanan yerdeğiştirmeler, numunelerin %58’inde akma yerdeğiştirmesine ulaşmakta ve numuneler, belirgin hasar bölgesine geçmektedir. Tanımlanan yerdeğiştirmeler, numunelerin %42’sinde akma yerdeğiştirmesine ulaşmamakta ve

numuneler, minimum hasar bölgesinde kalmaktadır (ortalama aşılma oranı: 1.17).

- Eurocode tarafından minimum hasar sınırı için tanımlanan yerdeğiştirmeler, No.8 numunesinde beton hasarı yerdeğiştirmesini aşmakta olup bu numune ileri hasar bölgesine geçmiştir. Diğer iki yönetmelik için böyle bir durum söz konusu değildir.
- FEMA tarafından minimum hasar sınırı için tanımlanan yerdeğiştirmeler, daima akma yerdeğiştirmelerinden büyük kalmaktadır (ortalama aşılma oranı: 0.41).
- Minimum hasar sınırı için No.8 numunesi haricinde hiç bir numunede beton hasarı meydana gelmemektedir.

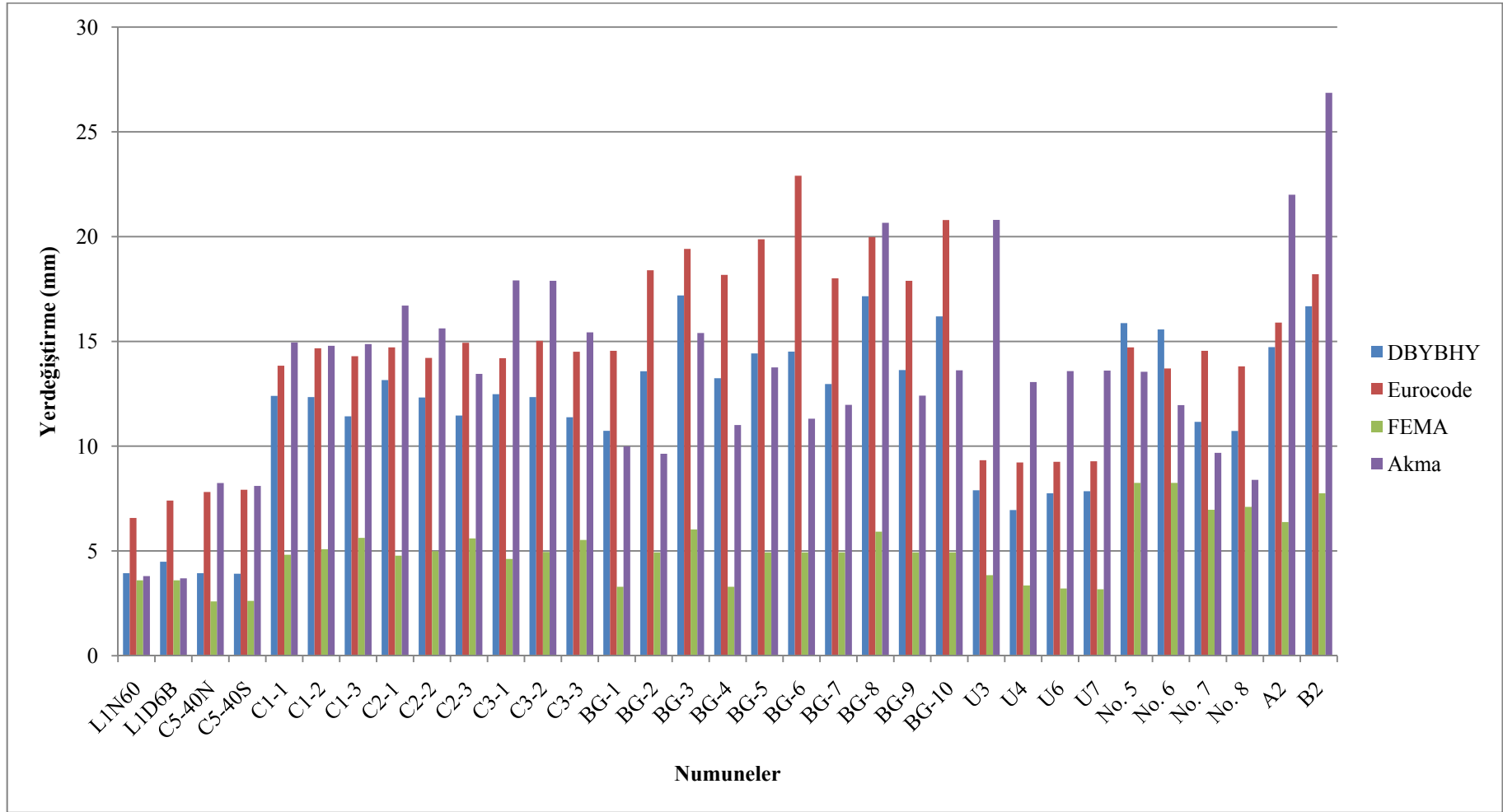
Sonuç olarak, minimum hasar sınırı için yönetmeliklere ve deney sonuçlarına göre;

- DBYBHY, tüm numuneler için tutarlı bir eğilim vermekte olup bununla beraber aşılma oranı %50 mertebelerine çıkmaktadır.
- Eurocode, ortalama aşılma oranı bire yakın olmasına rağmen bazı numunelerde büyük aşılma oranları söz konusudur. Bu nedenle değişik özelliklere sahip elemanlar için vereceği sonuçlar tartışmaya açıktır.
- FEMA, aşırı güvenli tarafta kalmaktadır. Bununla beraber FEMA da kendi içerisinde tutarlı bir eğilim sergilemekte olup ortalama aşılma oranının standart sapması küçüktür.

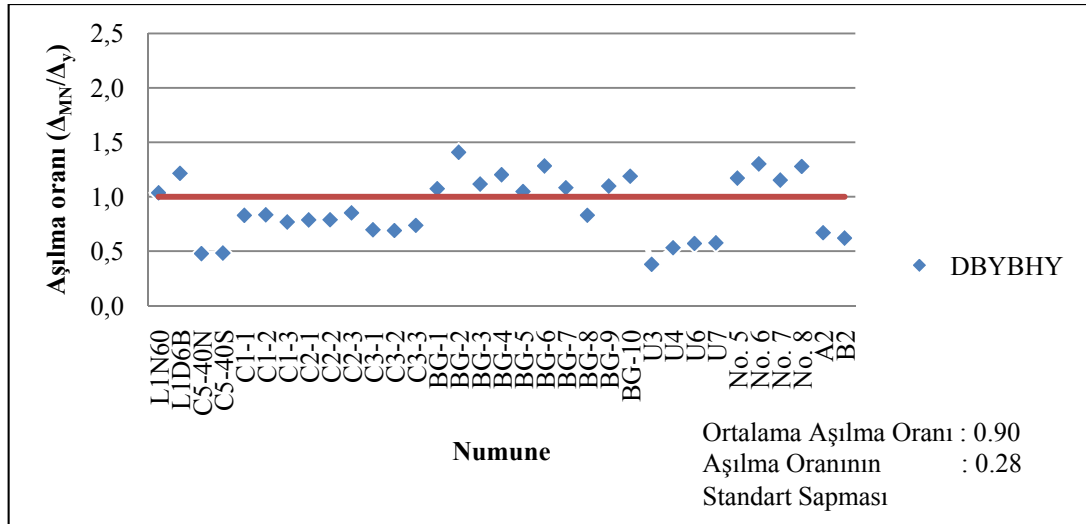
Tüm bu veriler ışığında minimum hasar sınırı için; DBYBHY'nin diğer iki yönetmelikten daha başarılı olduğu, Eurocode'un sonuçlarının tam olarak güvenilir olmadığı, FEMA'nın aşırı güvenli tarafta kaldığı söylenebilir.

Güvenlik Sınırı

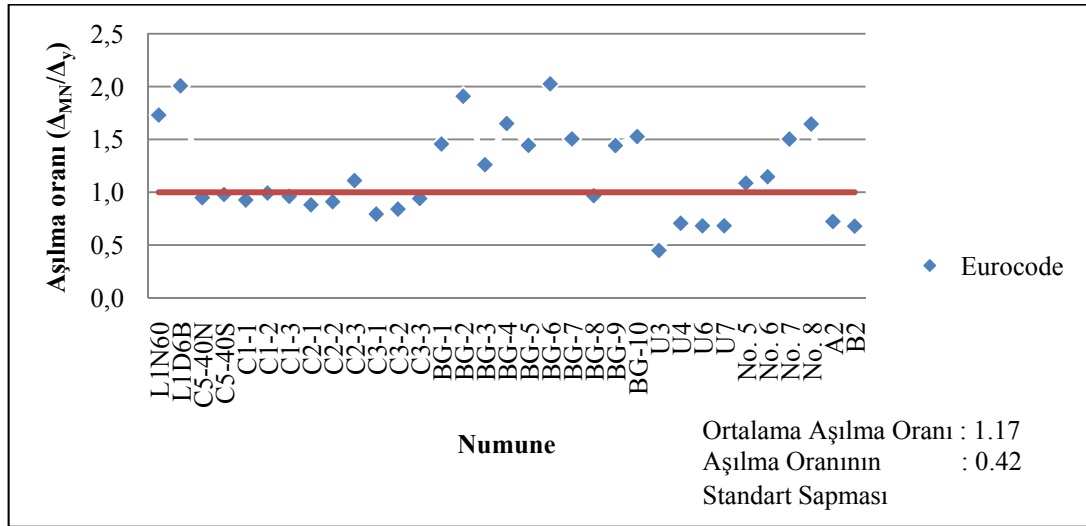
Şekil 6.5'te güvenlik sınırı için yönetmeliklerce izin verilen maksimum yerdeğiştirmeler ve deneysel olarak saptanmış beton hasarı yerdeğiştirmeleri (Bölüm 4.3.3) karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. İzin verilen yerdeğiştirmeler, numunelere göre farklılıklar göstermekle birlikte genel anlamda, güvenlik sınırı için; FEMA, en az; DBYBHY ise en çok hasara veya yerdeğiştirmeye izin vermektedir. Şekilde görüldüğü gibi FEMA tarafından güvenlik sınırı için tanımlanan yerdeğiştirmelerin



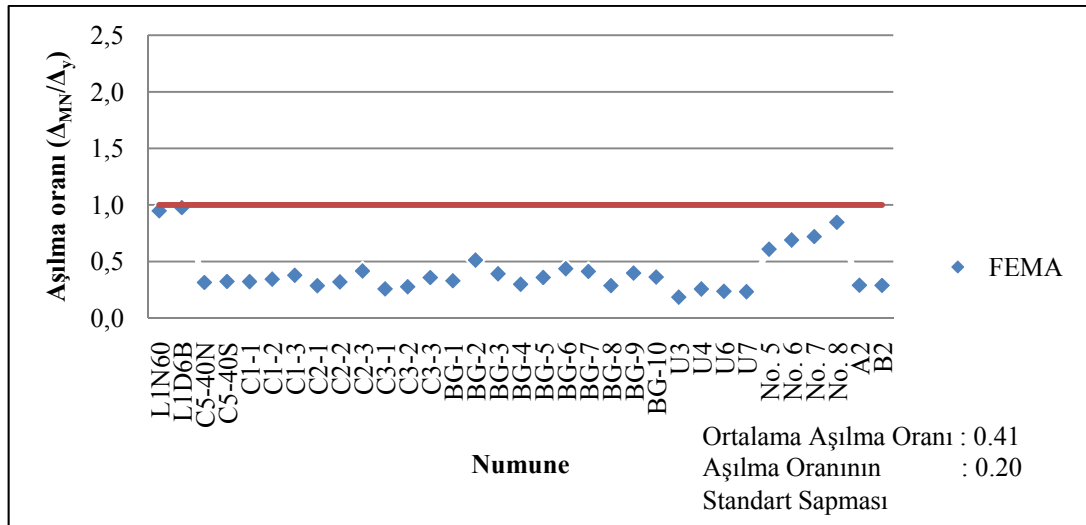
Şekil 6.1 : Yönetmeliklere ait minimum hasar sınırı yerdeğiştirmeleri ve deneysel olarak saptanmış olan akma yerdeğiştirmeleri.



Şekil 6.2 : DBYBHY’ye göre minimum hasar sınırı için aşılma oranı (Δ_{MN}/Δ_y).



Şekil 6.3 : Eurocode’a göre minimum hasar sınırı için aşılma oranı (Δ_{MN}/Δ_y).



Şekil 6.4 : FEMA’ya göre minimum hasar sınırı için aşılma oranı (Δ_{MN}/Δ_y).

büyük bir kısmı beton hasarı yerdeğiştirmesine ulaşmamaktadır. Eurocode ve DBYBHY tarafından güvenlik sınırı için tanımlanan yerdeğiştirmeler, numunelerin bir kısmında beton hasarı yerdeğiştirmelerini aşmıştır.

Şekil 6.6’da görüldüğü gibi No.5, No.6, No.7, No.8 (Tanaka, 1990) isimli numuneler haricinde aşılma oranı, DBYBHY için ortalama %20 mertebesindedir. Bununla beraber yukarıda ismi geçen numunelerin aşılma yüzdesi çok büyüktür. Tüm numuneler dahil edilerek yapılan hesapta, DBYBHY için ortalama aşılma oranı 1.10 ve aşılma oranının standart sapması 0.83’dür (No.5, No.6, No.7, No.8’in standart sapmaya katkısı büyüktür).

Şekil 6.7’de görüldüğü gibi No.5, No.6, No.7, No.8 (Tanaka, 1990) isimli numuneleri haricinde aşılma oranı, Eurocode için ortalama %30 mertebesindedir. Bununla beraber yukarıda ismi geçen numunelerin aşılma yüzdesi çok büyüktür. Tüm numuneler dahil edilerek yapılan hesapta, Eurocode için ortalama aşılma oranı 0.85 ve aşılma oranının standart sapması 0.44’tür (No.5, No.6, No.7, No.8’in standart sapmaya katkısı büyüktür).

Şekil 6.8’de görüldüğü gibi No.5, No.6, No.7, No.8 (Tanaka, 1990) isimli numuneleri haricinde aşılma oranı, FEMA için ortalama -%70 mertebesindedir. Bununla beraber yukarıda ismi geçen numunelerin aşılma yüzdesi küçüktür. Tüm numuneler dahil edilerek yapılan hesapta; FEMA için ortalama aşılma oranı 0.42 ve aşılma oranının standart sapması 0.32’dir.

Özetle, güvenlik sınırı için;

- DBYBHY tarafından güvenlik sınırı için tanımlanan yerdeğiştirmeler, numunelerin %33’ünde beton hasarı yerdeğiştirmesine ulaşmakta ve numuneler, ileri hasar bölgesine geçmektedir. Tanımlanan yerdeğiştirmeler, numunelerin %67’sinde beton hasarı yerdeğiştirmesine ulaşmamakta ve numuneler, belirgin hasar bölgesinde kalmaktadır (ortalama aşılma oranı: 1.10). Beton hasarı yerdeğiştirmesine ulaşan numunelerin %37’si (toplam numuneye oranı %12) (No.5, No.6, No.7, No.8) ileri beton hasarı yerdeğiştirmesine (Bölüm 4.3.3) ulaşmaktadır ve göçme bölgesine geçmektedir. Ayrıca No.6 isimli numunede boyuna donatı burkulması gözlemlenmiştir.

- Eurocode tarafından güvenlik sınırı için tanımlanan yerdeğiş-tirmeler, numunelerin %15'inde beton hasarı yerdeğiş-tirmesine ulaşmakta ve numuneler, ileri hasar bölgesine geçmektedir. No.5, No.6, No.7, No.8 (Tanaka, 1990) isimli numuneler haricinde sadece bir numune beton hasarı yerdeğiş-tirmesine ulaşmaktadır. Tanımlanan yerdeğiş-tirmeler, numunelerin %85'inde beton hasarı yerdeğiş-tirmesine ulaşmamakta ve numuneler, belirgin hasar bölgesinde kalmaktadır (ortalama aşılma oranı: 0.85). Ayrıca beton hasarı yerdeğiş-tirmesine ulaşan numunelerin %60'ı (toplam numuneye oranı %9) (No.5, No.6, No.8) ileri beton hasarı yerdeğiş-tirmesine ulaşmaktadır ve göçme bölgesine geçmektedir.
- FEMA tarafından güvenlik sınırı için tanımlanan yerdeğiş-tirmeler, numunelerin %9'unda beton hasarı yerdeğiş-tirmesine ulaşmakta ve numuneler, ileri hasar bölgesine geçmektedir. Tanımlanan yerdeğiş-tirmeler, numunelerin %91'inde beton hasarı yerdeğiş-tirmesine ulaşmamakta ve numuneler, belirgin hasar bölgesinde kalmaktadır (ortalama aşılma oranı: 0.42). Ayrıca hiçbir numunede; FEMA tarafından tanımlanan yerdeğiş-tirmeler, ileri beton hasarı yerdeğiş-tirmesine ulaşmamaktadır.
- FEMA tarafından güvenlik sınırı için tanımlanan yerdeğiş-tirmeler, numunelerin %58'inde akma yerdeğiş-tirmesine ulaşmamaktadır.

Sonuç olarak, güvenlik sınırı için yönetmeliklere ve deney sonuçlarına göre;

- Her üç yönetmelik tarafından; No.5, No.6, No.7, No.8 isimli numuneler için gö-reli olarak daha fazla beton hasarı yerdeğiş-tirmelerine izin verilmektedir.. Fakat izin verilen bu yerdeğiş-tirmelerin deney sonuçları ile uyumlu olmadığı görülmüştür. Yönetmelikler tarafından izin verilen ileri beton hasarı yerdeğiş-tirmelerinde enine donatı dayanımının belirgin bir etkisi söz konusudur.
- No.5, No.6, No.7, No.8 isimli numuneler haricinde; DBYBHY, tüm numuneler için tutarlı bir eğilim vermekte olup bununla beraber aşılma oranı %50 mertebelerine çıkmaktadır. Bununla beraber ortalama aşılma oranı birin altında inmektedir.
- No.5, No.6, No.7, No.8 isimli numuneler haricinde; Eurocode, ortalama aşılma oranı birin altındadır ve dolayısıyla güvenli tarafta kalmaktadır.

Ayrıca numuneler kendi içlerinde tutarlı bir eğilim göstermektedir.

- No.5, No.6, No.7, No.8 isimli numuneler haricinde; FEMA minimum hasar sınırında olduğu gibi güvenlik sınırında da, aşırı güvenli tarafta kalmaktadır. Bununla beraber FEMA da kendi içerisinde tutarlı bir eğilim sergilemekte olup ortalama aşılma oranının standart sapması küçüktür. Ayrıca numunelerin %58'inde, FEMA tarafından güvenlik sınırı için tanımlanan yerdeğiştirmelerin akma yerdeğiştirmelerinden büyük olduğu görülmüştür.

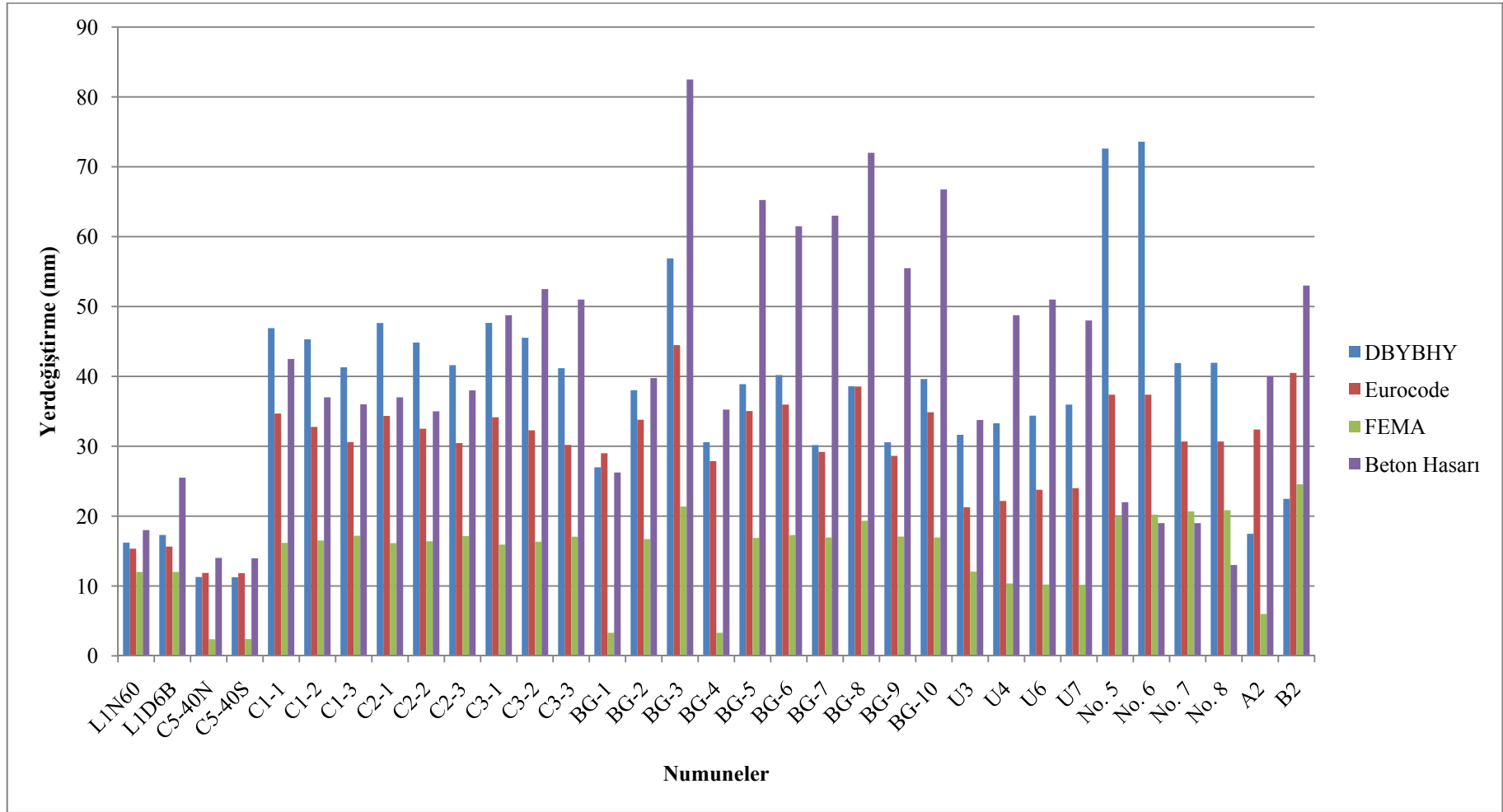
Tüm bu veriler ışığında; DBYBHY'in başarılı olduğu, Eurocode'un güvenli tarafta kaldığı ve FEMA'nın aşırı güvenli tarafta kaldığı söylenebilir.

Göçme Sınırı

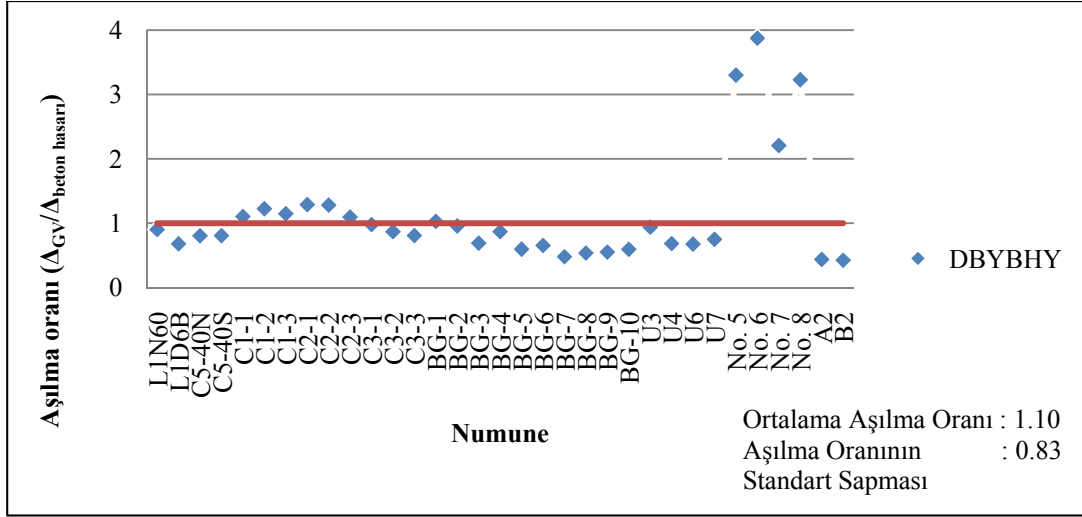
Şekil 6.9'da göçme sınırı için yönetmeliklerce izin verilen maksimum yerdeğiştirmeler ve deneysel olarak saptanmış ileri beton hasarı yerdeğiştirmeleri (Bölüm 4.3.3) karşılaştırmalı olarak verilmiştir. İzin verilen yerdeğiştirmeler; numunelere göre farklılıklar göstermekle birlikte genel anlamda, göçme sınırı için; FEMA, en az; Eurocode ise en çok hasara veya yerdeğiştirmeye izin vermektedir. Şekilde görüldüğü gibi FEMA tarafından göçme sınırı için tanımlanan yerdeğiştirmelerin büyük bir kısmı ileri beton hasarı yerdeğiştirmesine hatta beton hasar yerdeğiştirmesine ulaşmamaktadır. Eurocode ve DBYBHY tarafından göçme sınırı için tanımlanan yerdeğiştirmeler, az sayıda numunede ileri beton hasarı yerdeğiştirmelerini aşmıştır.

Şekil 6.10'da görüldüğü gibi No.5, No.6, No.7, No.7 (Tanaka, 1990) isimli numuneler haricinde aşılma oranı, DBYBHY için ortalama -%30 mertebesinde. Bununla beraber yukarıda ismi geçen numunelerin aşılma yüzdesi çok büyüktür. Tüm numuneler dahil edilerek yapılan hesapta; DBYBHY için ortalama aşılma oranı 0.90 ve aşılma oranının standart sapması 0.55'tir (No.5, No.6, No.7, No.8'in standart sapmaya katkısı büyüktür).

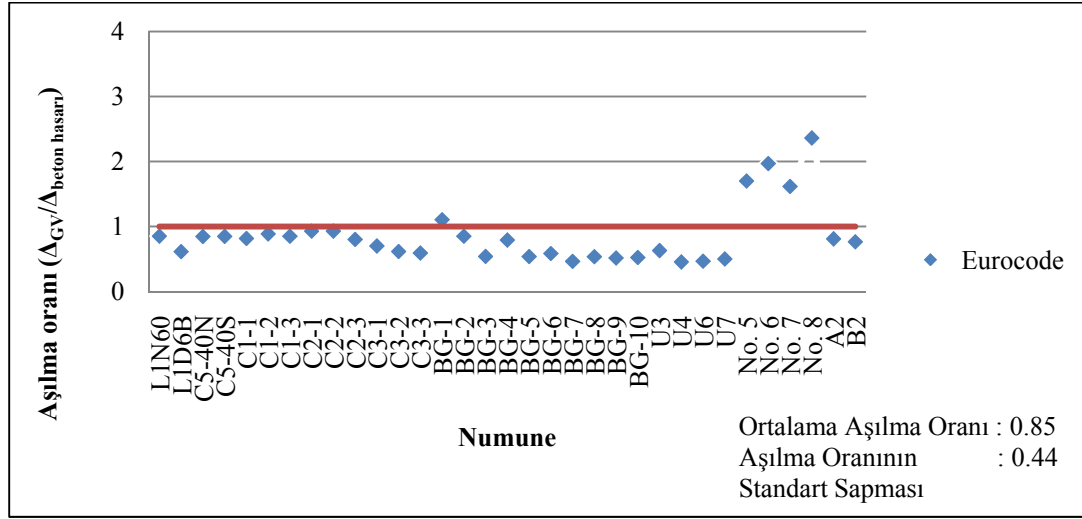
Şekil 6.11'de görüldüğü gibi No.5, No.6, No.7, No.8 (Tanaka, 1990) isimli numuneler haricinde aşılma oranı, Eurocode için ortalama -%35 mertebesinde. Bununla beraber yukarıda ismi geçen numunelerin aşılma yüzdesi çok büyüktür. Tüm numuneler dahil edilerek yapılan hesapta; Eurocode için ortalama aşılma oranı 0.75 ve aşılma oranının standart sapması 0.30'dur (No.5, No.6, No.7, No.8'in



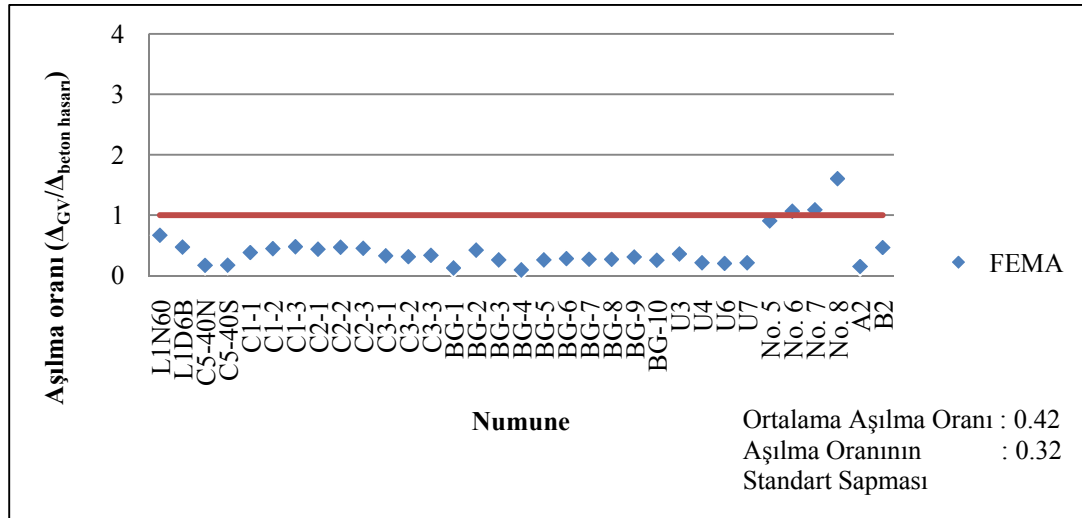
Şekil 6.5 : Yönetmeliklere ait güvenlik sınırı yerdeğiştirmeleri ve deneysel olarak saptanmış olan beton hasarı yerdeğiştirmeleri.



Şekil 6.6 : DBYBHY'ye göre güvenlik sınırı için aşılma oranı ($\Delta_{GV}/\Delta_{beton\ hasarı}$).



Şekil 6.7 : Eurocode'a göre güvenlik sınırı için aşılma oranı ($\Delta_{GV}/\Delta_{beton\ hasarı}$).



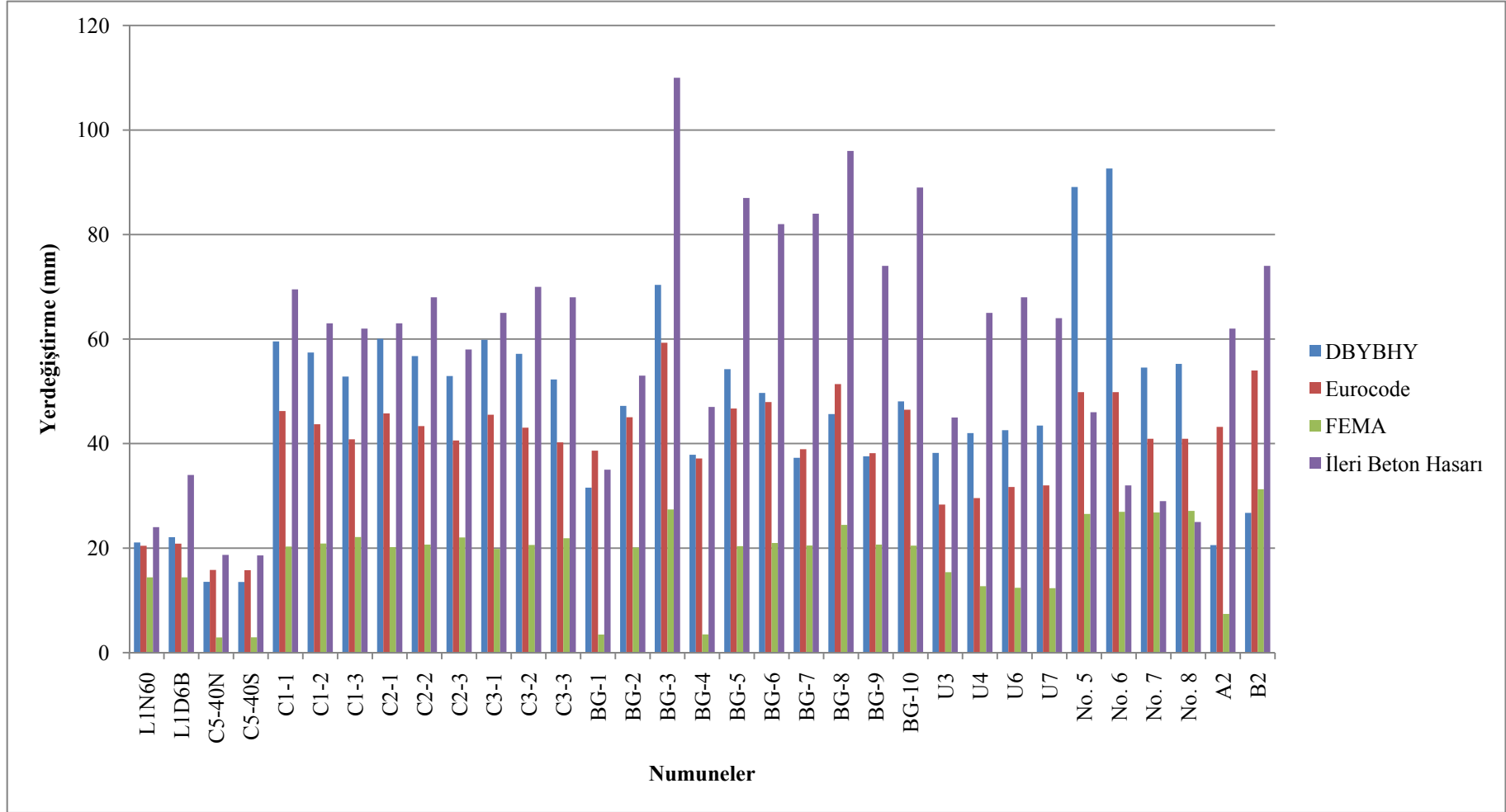
Şekil 6.8 : FEMA'ya göre güvenlik sınırı için aşılma oranı ($\Delta_{GV}/\Delta_{beton\ hasarı}$).

standart sapmaya katkısı büyüktür).

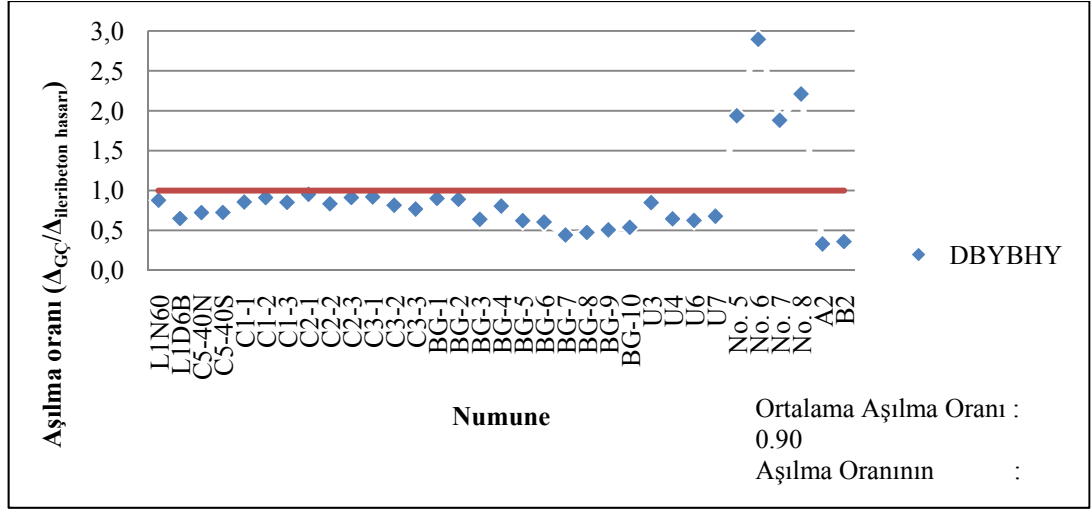
Şekil 6.12’de görüldüğü gibi No.5, No.6, No.7, No.8 (Tanaka, 1990) isimli numuneler haricinde aşılma oranı, FEMA için ortalama -%70 mertebesinde. Bununla beraber yukarıda ismi geçen numunelerin aşılma yüzdesi küçüktür. Tüm numuneler dahil edilerek yapılan hesapta; FEMA için ortalama aşılma oranı 0.35 ve aşılma oranının standart sapması 0.23’tür.

Özetle, göçme sınırı için;

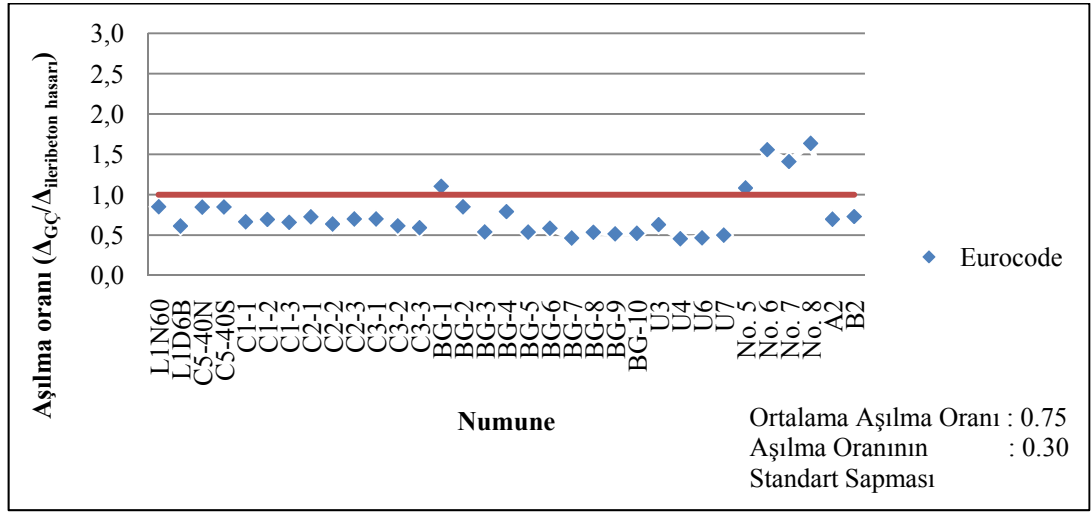
- DBYBHY tarafından göçme sınırı için tanımlanan yerdeğiştirmeler, numunelerin %12’sinde ileri beton hasarı yerdeğiştirmesine ulaşmakta ve numuneler, göçme bölgesine geçmektedir. Tanımlanan yerdeğiştirmeler; numunelerin %88’inde ileri beton hasarı yerdeğiştirmesine ulaşmamakta ve numuneler, ileri hasar bölgesinde ve belirgin hasar bölgesinde kalmaktadır (ortalama aşılma oranı: 0.90). İleri beton hasarı yerdeğiştirmesine ulaşın numuneler; No.5, No.6, No.7, No.8 isimli numunelerdir. Ayrıca No. 5 ve No.6 isimli numunelerde boyuna donatı burkulması gözlemlenmiştir.
- DBYBHY tarafından göçme sınırı için tanımlanan yerdeğiştirmeler, numunelerin %45’inde beton hasarı yerdeğiştirmesine ulaşmamakta ve numuneler, belirgin hasar bölgesine kalmaktadır.
- Eurocode tarafından göçme sınırı için tanımlanan yerdeğiştirmeler, numunelerin %15’inde ileri beton hasarı yerdeğiştirmesine ulaşmakta ve numuneler, göçme bölgesine geçmektedir. No.5, No.6, No.7, No.8 isimli numuneler haricinde sadece bir numune ileri beton hasarı yerdeğiştirmesine ulaşmaktadır (ortalama aşılma oranı: 0.75). Tanımlanan yerdeğiştirmeler, numunelerin %45’inde beton hasarı yerdeğiştirmesine ulaşmamakta ve numuneler, belirgin hasar bölgesinde kalmaktadır. Ayrıca hiçbir numunede, boyuna donatı kopması görülmemektedir.
- FEMA tarafından göçme sınırı için tanımlanan yerdeğiştirmeler, sadece No.8 isimli numunede ileri beton hasarı yerdeğiştirmesine ulaşmakta ve numune, göçme bölgesine geçmektedir. Tanımlanan yerdeğiştirmeler, numunelerin %88’inde beton hasarı yerdeğiştirmesine ulaşmamakta ve numuneler, belirgin hasar bölgesinde kalmaktadır (ortalama aşılma oranı: 0.35). Ayrıca hiçbir numunede, boyuna donatı kopması görülmemektedir.



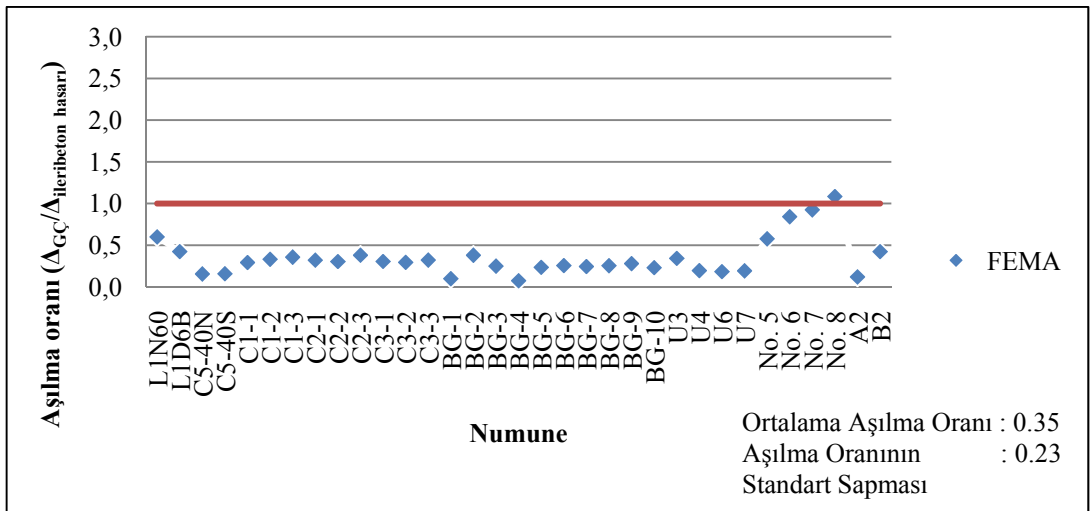
Şekil 6.9 : Yönetmeliklere ait göçme sınırı yerdeğıştirmeleri ve deneysel olarak saptanmış olan ileri beton hasarı yerdeğıştirmeleri.



Şekil 6.10 : DBYBHY'ye göre göçme sınırı için aşılma oranı ($\Delta_{GÇ}/\Delta_{İleri\ Beton\ H.}$).



Şekil 6.11 : Eurocode'a göre göçme sınırı için aşılma oranı ($\Delta_{GÇ}/\Delta_{İleri\ Beton\ H.}$).



Şekil 6.12 : FEMA'ya göre göçme sınırı için aşılma oranı ($\Delta_{GÇ}/\Delta_{İleri\ Beton\ H.}$).

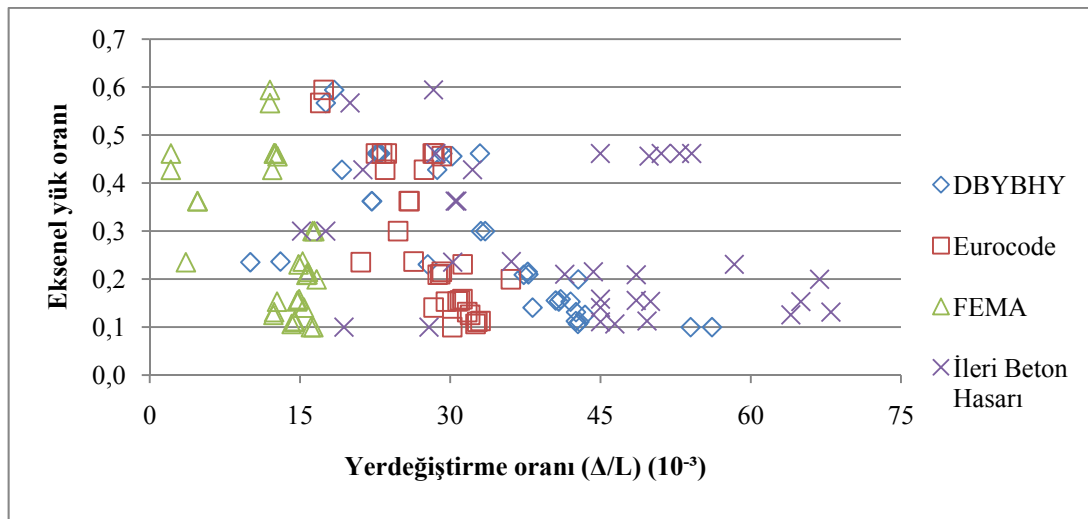
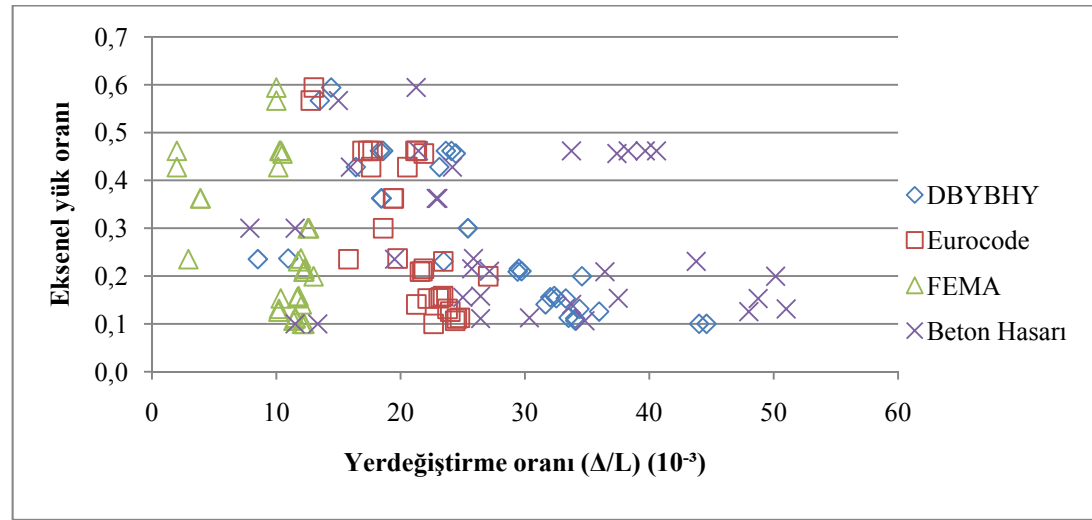
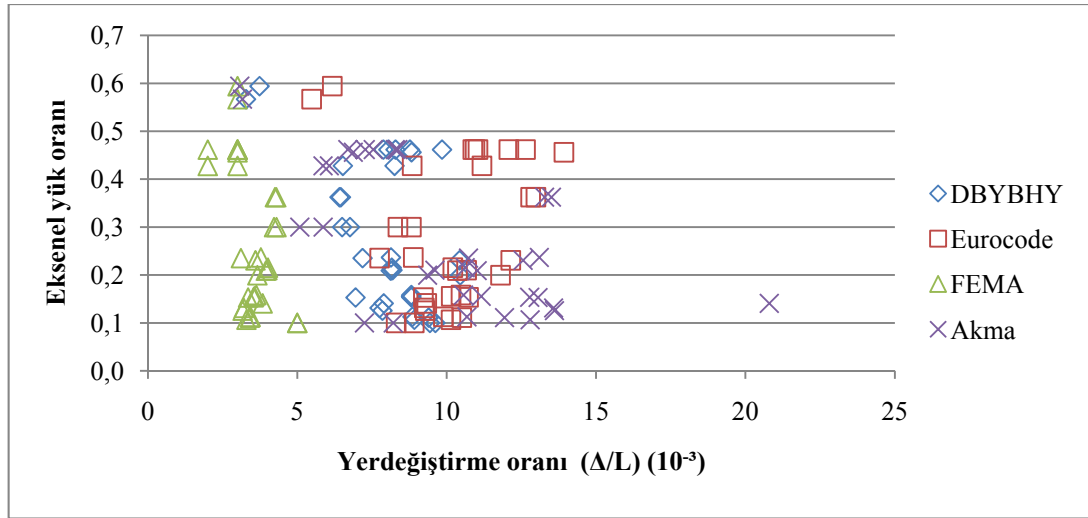
Sonuç olarak, göçme sınırı için yönetmeliklere ve deney sonuçlarına göre;

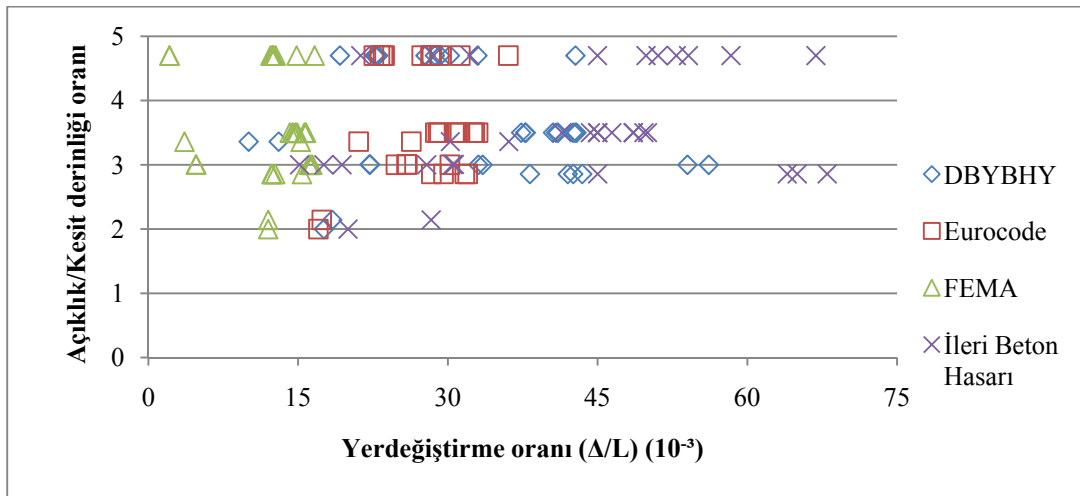
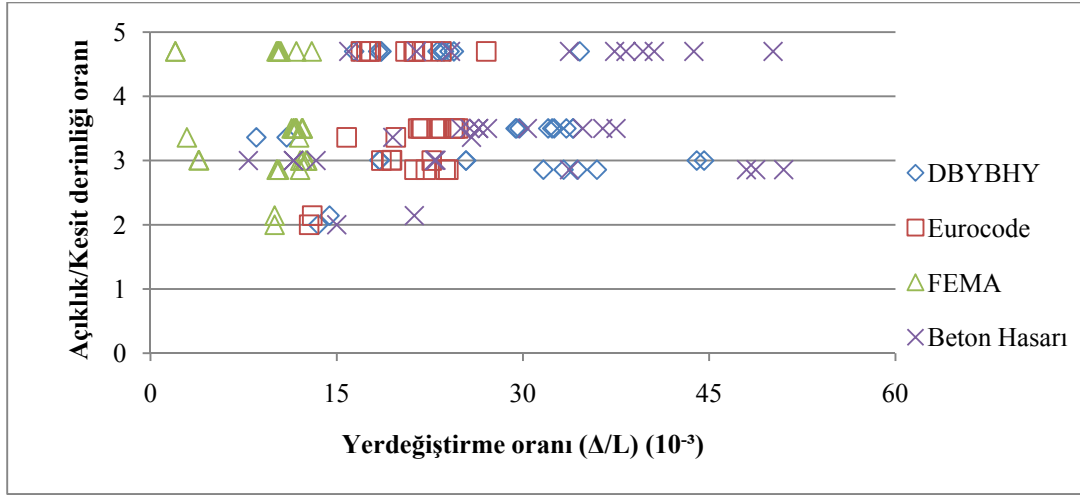
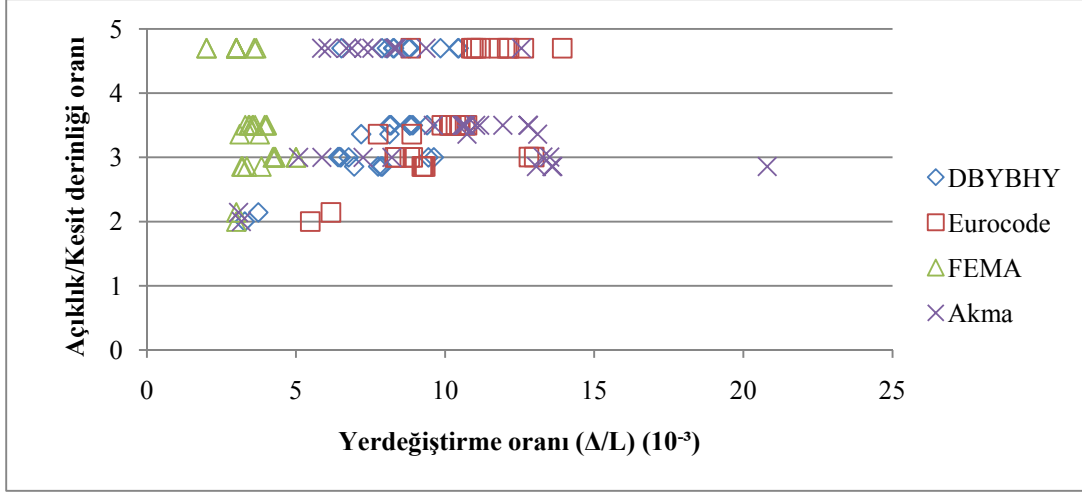
- Her üç yönetmelik tarafından; No.5, No.6, No.7, No.8 isimli numuneler için göreceli olarak daha fazla ileri beton hasarı yerdeğiştirmelerine izin verilmektedir. Fakat izin verilen bu yerdeğiştirmelerin deney sonuçları ile uyumlu olmadığı görülmüştür. Yönetmelikler tarafından izin verilen ileri beton hasarı yerdeğiştirmelerinde enine donatı dayanımının belirgin bir etkisi söz konusudur.
- No.5, No.6, No.7, No.8 isimli numuneler haricinde; DBYBHY, tüm numuneler için tutarlı bir eğilim vermekte olup bununla beraber aşılım oranı %25 mertebelerine çıkmaktadır. Bununla beraber ortalama aşılma oranı birin altında inmektedir.
- No.5, No.6, No.7, No.8 isimli numuneler haricinde; Eurocode, ortalama aşılım oranı birin altındadır ve dolayısıyla güvenli tarafta kalmaktadır. Ayrıca numuneler kendi içlerinde tutarlı bir eğilim göstermektedir.
- No.5, No.6, No.7, No.8 isimli numuneler haricinde; FEMA minimum hasar sınırında, göçme sınırında olduğu gibi güvenlik sınırında da, aşırı güvenli tarafta kalmaktadır. Bununla beraber FEMA da kendi içerisinde tutarlı bir eğilim sergilemekte olup ortalama aşılma oranının standart sapması küçüktür.

Tüm bu veriler ışığında; DBYBHY'in ve Eurocode güvenli tarafta kalmadığı fakat buna rağmen başarılı sayılabileceği, FEMA'nın aşırı güvenli tarafta kaldığı söylenebilir.

6.2 Yönetmeliklere Ait Hasar Sınırlarına ve Deneysel Olarak Saptanmış Hasarlara Karşı Gelen Göreceli Kat Ötelemelerinin Boyutsuz Veriler İle Karşılaştırılması

Şekil 6.13, Şekil 6.14 ve Şekil 6.15'te; yönetmeliklerce tanımlanan farklı hasar sınırlarına ve deneysel olarak saptanmış hasaralar karşı gelen göreceli kat ötelemelerinin eksenel yük oranı ile olan ilişkisi verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi; yerdeğiştirmeler her üç sınır durum (minimum hasar sınırı, güvenlik sınırı ve göçme sınırı) için de eksenel yük oranının azalmasıyla artmaktadır. Yerdeğiştirme açısından, özellikler güvenlik sınırı ve göçme sınırı için eksenel yük oranı belirleyici bir faktördür.



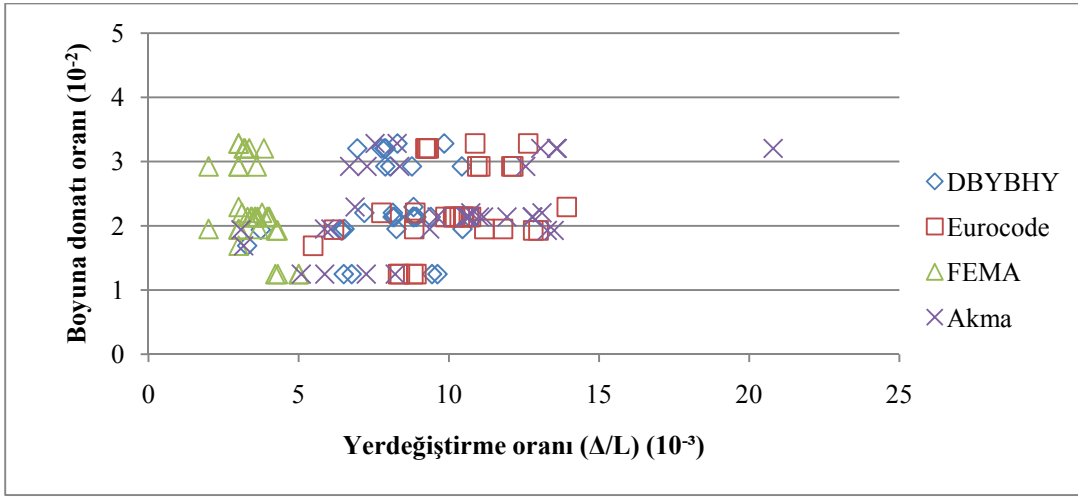


Şekil 6.16, Şekil 6.17 ve Şekil 6.18’de; yönetmeliklerce tanımlanan farklı hasar sınırlarına ve deneysel olarak saptanmış hasaralar karşı gelen görelî kat ötelemelerinin açıklık/kesit derinliği oranı ile olan ilişkisi verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi; her üç sınır durum (minimum hasar sınırı, güvenlik sınırı ve göçme sınırı) için de açıklık/kesit derinliğinin yerdeğiştirmelere belirgin bir etkisi bulunmamaktadır. Bu çalışmada incelenen numunelerin tümünde sünek göçme (Bölüm 4.3.1) rapor edilmiş olup eğilme etkileri altında hasar gördüğü söylenebilir. Bu nedenle beklendiğı gibi açıklık/kesit derinliği oranının yerdeğiştirmelere belirgin bir etkisi bulunmamaktadır.

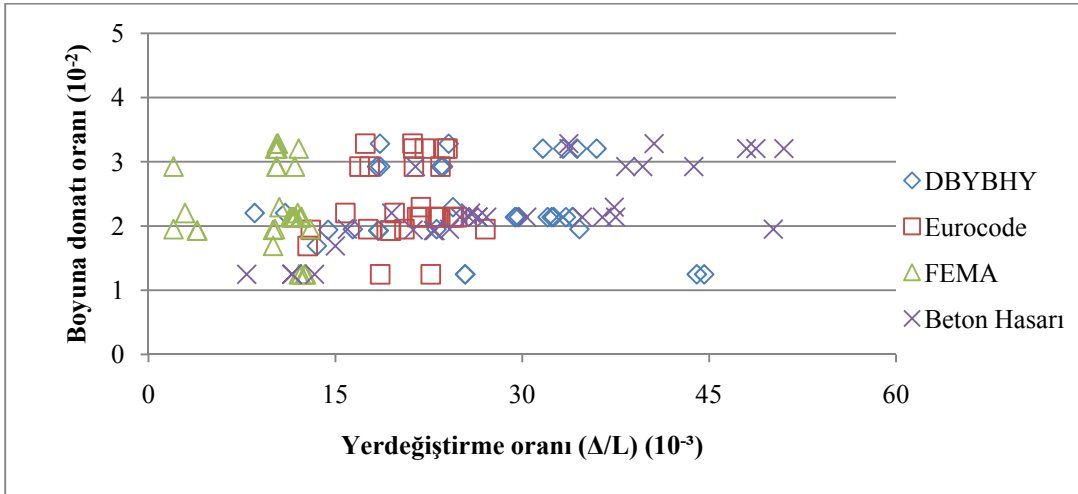
Şekil 6.19, Şekil 6.20 ve Şekil 6.21’de; yönetmeliklerce tanımlanan farklı hasar sınırlarına ve deneysel olarak saptanmış hasaralar karşı gelen görelî kat ötelemelerinin boyuna donatı oranı ile olan ilişkisi verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi; her üç sınır durum (minimum hasar sınırı, güvenlik sınırı ve göçme sınırı) için de boyuna donatı oranının yerdeğiştirmelere belirgin bir etkisi bulunmamaktadır. Bununla beraber minimum hasar sınırında; FEMA’nın hasar sınırları yerdeğiştirmeleri boyuna donatı oranı ile ters orantılı olarak arttığı, güvenlik sınır ve göçme sınırını için boyuna donatı oranı ile deneysel hasar yerdeğiştirmeleri doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir.

Şekil 6.22, Şekil 6.23 ve Şekil 6.24’te; yönetmeliklerce tanımlanan farklı hasar sınırlarına ve deneysel olarak saptanmış hasaralar karşı gelen görelî kat ötelemelerinin ρ_{fyw}/f_c oranı ile olan ilişkisi verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi; her üç sınır durum (minimum hasar sınırı, güvenlik sınırı ve göçme sınırı) için de ρ_{fyw}/f_c oranının yerdeğiştirmelere belirgin bir etkisi bulunmamaktadır. Bununla beraber güvenlik sınır ve göçme sınırını için boyuna donatı oranı ile Eurocode’a ait hasar sınırları yerdeğiştirmeleri ile doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca güvenlik sınır ve göçme sınırını için deneysel hasar yerdeğiştirmelerinin yönetmeliklerce tanımlanan hasar sınırları yerdeğiştirmelerine göre daha fazla yerdeğiştirmeye izin verdiğı görülmektedir.

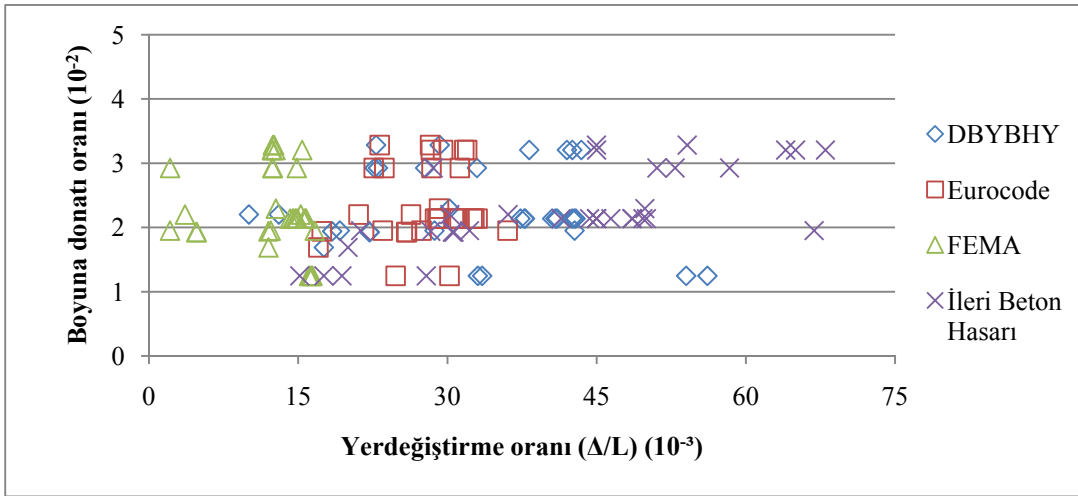
Bu çalışma kapsamında incelenen numune özelliklerinin birbirinden farklı ve parametrelerin çok sayıda olması nedeniyle; sonuçların eksenel yük oranı, açıklık-kesit derinliği oranı, boyuna donatı oranı, mekanik enine donatı oranı gibi verilerle tutarlı veya belirgin bir eğilime sahip olmadığı görülmektedir.



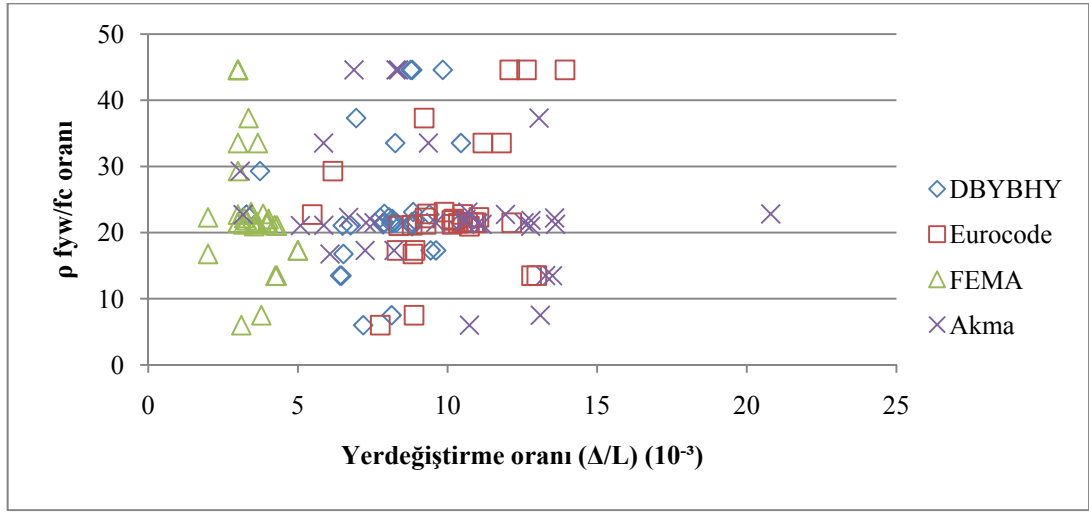
Şekil 6.19 : Minimum hasar sınırı için boyuna donatı oranı-görelî kat ötelemesi ilişkisi.



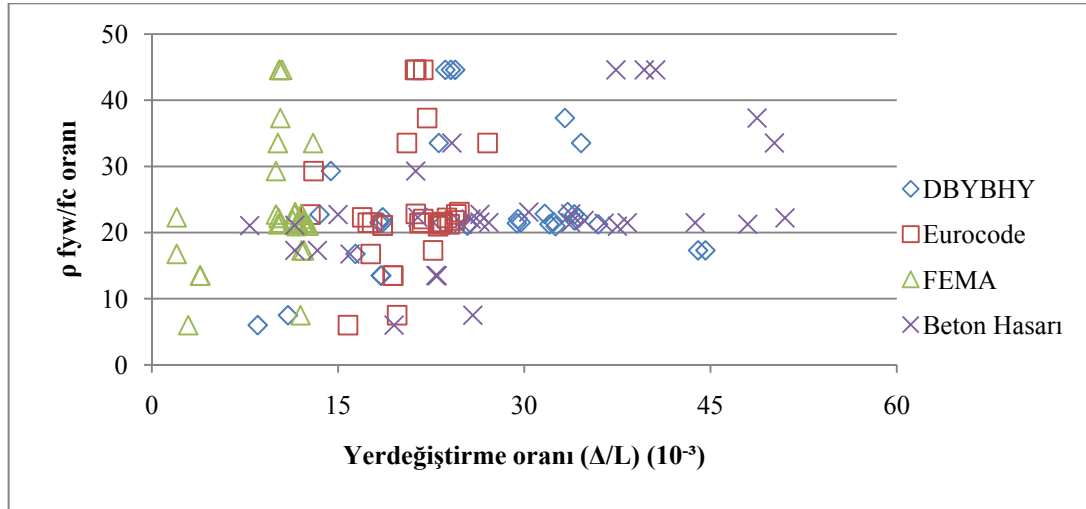
Şekil 6.20 : Güvenlik sınırı için boyuna donatı oranı-görelî kat ötelemesi ilişkisi.



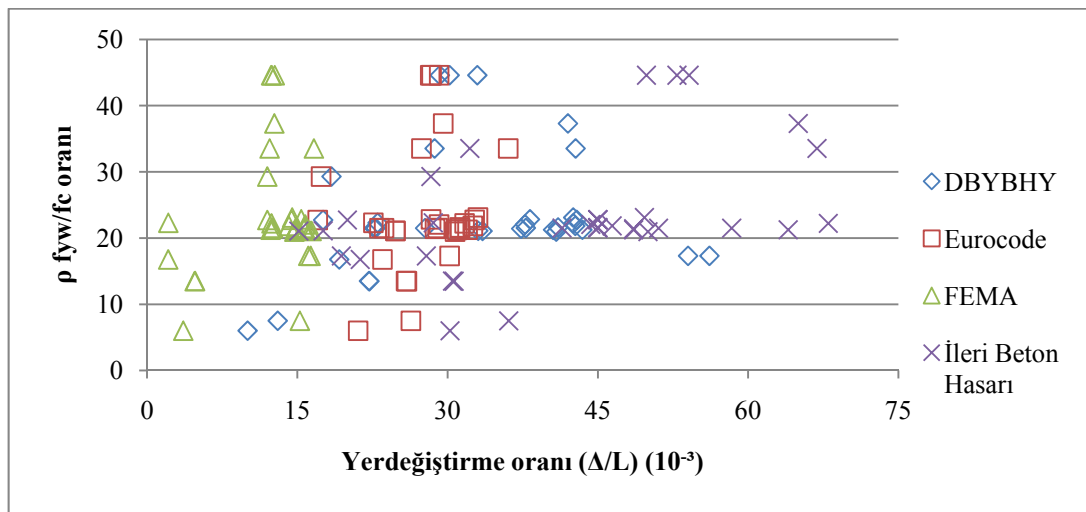
Şekil 6.21 : Göçme sınırı için boyuna donatı oranı-görelî kat ötelemesi ilişkisi.



Şekil 6.22 : Minimum hasar sınırı için $\rho f_{wy}/f_c$ oranı-görelî kat ötelemesi ilişkisi.



Şekil 6.23 : Güvenlik sınırı için $\rho f_{wy}/f_c$ oranı-görelî kat ötelemesi ilişkisi.



Şekil 6.24 : Göçme sınırı için $\rho f_{wy}/f_c$ oranı-görelî kat ötelemesi ilişkisi.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez kapsamında incelenen üç farklı yönetmeliğin farklı özelliklere sahip kolonlar için tanımladığı performans sınırları birbirleri ile karşılaştırılmış, yönetmeliklerin verdiği sınırların birbirinden çok farklı olabildiği görülmüştür. Bunun da bir sonucu olarak yönetmeliklerce tahmin edilen performans sınırlarının yapılmış olan deneylerde elde edilen sonuçlar ile önemli düzeyde uyumsuz olabileceği görülmüştür. Özetle; hem yönetmelikler birbirinden çok farklı sonuçlar vermekte, hem de deneysel sonuçlar ile oldukça uyumsuz neticeler ortaya çıkmaktadır.

Minimum hasar sınırı için;

- DBYBHY tarafından tanımlanan sınır kesit şekildeğiştirmelerine göre belirlenen yerdeğiştirmeler; genel olarak, benzer hasar düzeyi için deneysel olarak elde edilmiş olan yerdeğiştirmeler ile örtüşmektedir. Dolayısıyla DBYBHY, minimum hasar sınırı için başarılı sayılabilir.
- Eurocode tarafından tanımlanan eksen dönmelerine göre belirlenen yerdeğiştirmeler; genel olarak, benzer hasar düzeyi için deneysel olarak elde edilmiş olan yerdeğiştirmeler ile örtüşmemektedir. Eurocode tarafından tanımlanan sınır değerler daha büyük çıkmaktadır. Bu nedenle minimum hasar sınırı için Eurocode'un güvenilirliği tartışmaya açıktır.
- FEMA tarafından tanımlanan kesit dönmelerine göre belirlenen yerdeğiştirmeler; genel olarak, benzer hasar düzeyi için deneysel olarak elde edilmiş olan yerdeğiştirmeler ile örtüşmemektedir. FEMA tarafından tanımlanan sınır değerler daha küçük çıkmaktadır. Bu nedenle minimum hasar sınırı için FEMA güvenli tarafta kalmaktadır.

Güvenlik sınırı için;

- DBYBHY tarafından tanımlanan sınır kesit şekildeğiştirmelerine göre belirlenen yerdeğiştirmeler; genel olarak, benzer hasar düzeyi için deneysel olarak elde edilmiş olan yerdeğiştirmeler ile örtüşmektedir. Dolayısıyla DBYBHY, güvenlik sınırı için başarılı sayılabilir.

- Eurocode tarafından tanımlanan eksen dönmelerine göre belirlenen yerdeğiştirmeler; genel olarak, benzer hasar düzeyi için deneysel olarak elde edilmiş olan yerdeğiştirmeler ile örtüşmemektedir. Eurocode tarafından tanımlanan sınır değerler daha küçük çıkmaktadır. Fakat aşılma oranı kabul edilebilir mertebelerde olduğu için Eurocode güvenlik sınırı için başarılı sayılabilir.
- FEMA tarafından tanımlanan kesit dönmelerine göre belirlenen yerdeğiştirmeler; genel olarak, benzer hasar düzeyi için deneysel olarak elde edilmiş olan yerdeğiştirmeler ile örtüşmemektedir. FEMA tarafından tanımlanan sınır değerler daha küçük çıkmaktadır. Bu nedenle güvenlik sınırı için FEMA güvenli tarafta kalmaktadır.

Göçme sınırı için;

- DBYBHY tarafından tanımlanan sınır kesit şekildeğiştirmelerine göre belirlenen yerdeğiştirmeler; genel olarak, benzer hasar düzeyi için deneysel olarak elde edilmiş olan yerdeğiştirmeler ile örtüşmemektedir. DBYBHY tarafından tanımlanan sınır değerler daha küçük çıkmaktadır. Fakat aşılma oranı kabul edilebilir mertebelerde olduğu için DBYBHY göçme sınırı için başarılı sayılabilir.
- Eurocode tarafından tanımlanan eksen dönmelerine göre belirlenen yerdeğiştirmeler; genel olarak, benzer hasar düzeyi için deneysel olarak elde edilmiş olan yerdeğiştirmeler ile örtüşmemektedir. Eurocode tarafından tanımlanan sınır değerler daha küçük çıkmaktadır. Fakat aşılma oranı kabul edilebilir mertebelerde olduğu için Eurocode göçme sınırı için başarılı sayılabilir.
- FEMA tarafından tanımlanan kesit dönmelerine göre belirlenen yerdeğiştirmeler; genel olarak, benzer hasar düzeyi için deneysel olarak elde edilmiş olan yerdeğiştirmeler ile örtüşmemektedir. FEMA tarafından tanımlanan sınır değerler daha küçük çıkmaktadır. Bu nedenle göçme sınırı için FEMA güvenli tarafta kalmaktadır.

Özetle; her üç sınır durum (minimum hasar sınırı, güvenlik sınırı, göçme sınırı) için de genel olarak FEMA’da tanımlanan hasar sınırları; Eurocode, DBYBHY ve deney sonuçlarına göre fazlasıyla güvenli tarafta kalmaktadır. Eurocode’da tanımlanan

hasar sınırları genel olarak; minimum hasar sınırında, güvensiz tarafta kalmaktadır; güvenlik sınırı ve göçme sınırında güvenli tarafta kalmaktadır. DBYBHY’de tanımlanan hasar sınırları; genel olarak, her için sınır için de aşılma oranları FEMA’ya göre daha düşük bir biçimde güvenli tarafta kalmaktadır.

Bu çalışma dahilinde; yerdeğiştirmelerin, açıklık/kesit derinliği oranına, boyuna donatı oranına, mekanik enine donatı oranına belirgin bir eğilimi olmadığı görölmüştür. Eksenel yük oranının yerdeğiştirmeler üzerinde etkin bir rolü olduğu görölmüş, eksenel yük oranı arttıkça, yerdeğiştirmelerin azaldığı gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak; bu çalışmada elde edilen sonuçlar, sınırlı sayıda kolon için geçerli olup kolon sayısının arttırılmasıyla daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilecektir. Bu kapsamda; FEMA tarafından tanımlanan kesit dönmesi hasar sınırlarının, her üç sınır durum için de güvenli tarafta kalması nedeniyle hasar sınırlarının arttırılması düşünölebilir. Eurocode tarafından; minimum hasar sınırı için tanımlanan, eksen dönmesi hasar sınırlarının güvensiz tarafta kalması nedeniyle hasar sınırlarının azaltılması düşünölebilir. DBYBHY; bu çalışmada, her üç sınır durumu için de, hem aşırı güvenli tarafa hem de güvensiz tarafa belirgin bir eğilim göstermediği ve deney sonuçlarına yakınsadığı için genel olarak başarılı sayılabilir.

Yönetmeliklerde verilen eleman performanslarının daha gerçekçi bir şekilde belirlenebilmesi için benzer çalışmaların daha fazla sayıda numune üzerinde yapılması büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışma kapsamında incelenen yönetmelikler ve deney sonuçları ışığında, ölkemizde kullanılan DBYBHY hakkında bazı öneriler sunulmaktadır.

Eurocode ve FEMA, sünek betonarme elemanların değeriendirilmesinde kesme kuvvetinin katkısını göz önüne almakta ve kesme kuvvetine hasar üst sınırı formöllerinde yer vermektedir. Böyle bir durum DBYBHY’de söz konusu değildir. Sünek elemanlarında değeriendirilmesinde, kesme kuvvetinin katkısının göz önüne alınması daha gerçekçi sonuçlar verecektir. Benzer şekilde Eurocode, minimum hasar performans düzeyi (DL) için verdiği deneysel formölde, sünekliğin yanı sıra potansiyel kesme hasarı ve donatı sıyrılmasının katkısını da göz önünde bulunmaktadır. Buna yakın bir durum DBYBHY’de elastik hesap yöntemleriyle yapılan değeriendirmelerde mevcuttur. Ölkemizdeki bulunan mevcut yapı stoğunda, nervörsüz donatıların ve düşük kalitede betonun kullanıldığı göz önüne alındığında

Eurocode'daki benzer bir değerlendirmenin doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri için de yapılması olumlu sonuçlar verecektir.

Plastik mafsalsal uzunluğu, DBYBHY'de çalışan doğrultudaki kesitin yarısı ($0.5h$) olarak idealleştirilmektedir. İkinci bölümde incelendiği gibi plastik mafsalsal uzunluğu birçok farklı değişkene bağlıdır. Bu nedenle plastik mafsalsal uzunluğunun şekildeğiştirme hesabına olan etkisi de gözönünde bulundurularak değişik koşullar için (eksenel yük oranı, açıklık-derinlik oranı v.b.) farklı plastik mafsalsal uzunlukları tanımlanması daha gerçekçi sonuçlar verecektir.

DBYBHY, elik sınıflarını S220 ve S420 olmakzere ikiye ayırmıştır. elik sınıflarına ait karakteristik mekanikzellikler izelge 2.2'de verilmiştir. S220 ve S420 elik sınıflarının karakteristik mekanikzellikleri çok farklı olmasına rağmen kesitlerin birim şekildeğiştirme sınırları hesabında aynı değerler kullanılmaktadır. Farklı elik sınıfları için farklı hasarst sınırları kullanılması daha gerçekçidir.

Eurocode ve FEMA'da gevrek hasar gören elemanların performans değerlendirmesi yapılabilirken DBYBHY böyle bir durum söz konusu değildir.zelliklelkemizdeki mevcut yapı stoğu gözönünde bulundurulduğunda gevrek hasar gören elemanların da performans değerlendirmesinin yapılması gerekliliği doğmaktadır.

KAYNAKLAR

- Bae, S.**, 2005. Seismic performance of full-scale reinforced concrete columns, *PhD Thesis*, The University of Texas, USA.
- Baker, A.L.L.**, 1956: Ultimate Load Theory Applied To The Design of Reinforced and Prestressed Concrete Frames. Concrete Publications Ltd., London.
- Baker, A.L.L., Amarakone, A.M.N.**, 1964. Inelastic hyperstatic frame analysis, *Proceedings International Symposium on the Flexural Mechanics of Reinforced Concrete*, Miami, pp. 85-142.
- Bayrak, O., Sheikh, S.A.**, 1998: Confinement reinforcement design considerations for ductile hsc columns. *Journal of Structural Engineering*. Vol. 124, no. 9, 999-1010.
- Berry, M., Eberhard, M.**, 2003. Performans models for flexural damage in reinforced concrete columns. *Pacific Earthquake Engineering Research Center*. California.
- Berry, M., Parrish, M., Eberhard, M.**, 2004. PEER structural performance database user's manual. *Pacific Earthquake Engineering Research Center*. California.
- Celep, Z.**, 2007. Betonarme sistemlerde doğrusal olmayan davranış: plastik mafsallı kabulü ve çözümleme, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 16-20 Ekim.
- Celep, Z.**, 2008: Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Beta Dağıtım, İstanbul.
- Celep, Z., Gençoğlu, M.**, 2008. Deprem yönetmeliği (2007) doğrusal olmayan çözümleme yöntemlerine basit örnekler, *Prof. Yusuf Berdan, Prof. İsmet Aka, Prof. Mehmet Rahmi Bilge ve Prof.Dr. Halit Demir Betonarme Yapılar Semineri*, İstanbul.
- Celep, Z., Kumbasar. N.**, 2004: Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- Celep, Z., Kumbasar. N.**, 2005: Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul.
- Corley, W.G.**, 1966: Rotational capacities of reinforced concrete beams, *Journal of Structural Engineering*. Vol. 92, ST 5:121-146.
- DBYBHY**, 2007. Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- EN 1998**, 2005. Eurocode 8: design of structures for earthquake resistance, *European Committee For Standardization*, Brussels.
- Ersoy, U.**, 2007: Betonarme: Temel İlkeler, TS-500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine (1998) Göre Hesap, Evrim Yayınevi, İstanbul.

- Ersoy, U., Özcebe, G.,** 1997. Moment-curvature relationship of confined concrete sections, *First Japon-Turkey Workshop On Earthquake Engineering, İstanbul.*
- Ersoy, U., Özcebe, G.,** 2006. Betonarme elemanlarda moment-eğrilik ilişkisi hesabı excel yazılımı, ODTÜ, Ankara.
- FEMA-356,** 2000. Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, *Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C..*
- Hognestad, E.,** 1951: A study of combined bending and axial load in reinforced concrete members. *University of Illinois Bulletin.* Vol. 49, no. 22.
- İlki A., Fukuta, T., Özdemir, P.,** 2003: Sargılı beton davranışı ve üç doğrudan oluşan gerilme-şekildeğiştirme modeli. *İMO Teknik Dergi.* 2003 2853-2871, yazı 190.
- İnel, M., Özmen, H.B., Bilgin, H.,** 2008. Sargı etkisi modelleme analiz programı kullanım kılavuzu. Denizli.
- Kent, D.C., Park R.,** 1971: Flexural members with confined concrete. *Journal of the Structural Division.* Vol. 97, no. ST7, pp. 1969- 1990.
- Kono, S., Hakim, B., Arai, Y., Watanabe, F.,** 2003: Damage evaluation of reinforced concrete columns under large axial load and lateral deformation, *Proceedings of the First FIB Congress 2002,* Vol. 1, session 6, pp. 65-66.
- Mander, J. B.,** 1984. Seismic design of bridge piers, *PhD Thesis,* University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- Mander, J. B., Priestley, M. J. N. Park, R. ,** 1988: Observed stress-strain behavior of confined concrete. *Journal of Structural Engineering.* Vol. 114, No. 8, p. 1827-1849.
- Mander, J.B., Priestley, M.J.N., Park, R.,** 1988: Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of the Structural Division.* Vol. 114, no. 8, pp. 1804–1826.
- Matamoros, A.B.,** 1999. Study of Drift Limits for High-Strength Concrete Columns, *PhD Thesis,* University of Illinois at Urbana-Champaign, Illinois, USA.
- Mattock, A.H.,** 1964, Rotational capacity of hinging regions in reinforced concrete beams, *Proceedings International Symposium on the Flexural Mechanics of Reinforced Concrete,* ACI SP-12, Miami, 143-181.
- Mattock, A.H.,** 1967: Rotational capacity of hinging regions in reinforced concrete ceams. *Journal of the Structural Division.* Vol. 93, no. ST2, pp. 519-522.
- Mendis, P.,** 2001: Plastic hinge lengths of normal and high-strength concrete in flexure. *Advances in Structural Engineering.* Vol. 4, no. 4, pp. 189-95.
- Mo, Y.L., Wang, S.J.,** 2000: Seismic behavior of rc columns with various tie configurations. *Journal of Structural Engineering.* Vol. 126 no. 10, pp. 1122-1130.

- Özal, K.A.**, 2005. Evaluation of deformation capacity criteria of eurocode 8, *MSc Thesis*, Middle East Technical University, Ankara, Türkiye.
- Özer, E.**, 2008. 2008-2009 dönemi ileri yapı statik ders notları, İstanbul.
- Özmen, H.B., İnel, M., Bilgin, H.**, 2007: Sargılı beton davranışının betonarme eleman ve sistem davranışına etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*. Cilt 22, no. 2.
- Park, R., Paulay, T.**, 1975: Reinforced Concrete Structure, John Wiley&Sons, Inc., New York.
- Park, R., Priestley, M.J.N., Gill, W.D.**, 1982: Ductility of square-confined concrete columns. *Journal of Structural Division*. Vol. 108, no. ST4, pp. 929-950.
- Paulay, T., Priestley, M.J.N.**, 1992: Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, John Wiley&Sons, Inc., New York.
- Priestley, M.J.N. and Park, R.**, 1987: Strength and ductility of concrete bridge columns under seismic loading. *American Concrete Institute Structural Journal*. Vol. 84, no. 1, pp. 61-76.
- Saatcioglu, M., Grira, M.**, 1999: Confinement of reinforced concrete columns with welded reinforcement grids. *American Concrete Institute Structural Journal*. Vol. 96, no. 1, pp. 29-39.
- Saatcioglu, M., Ozcebe, G.**, 1989: Response of reinforced concrete columns to simulated seismic loading. *American Concrete Institute Structural Journal*. January-February 1989, pp. 3-12.
- Saatcioglu, M., Razvi S.R.**, 1992: Strength and Ductility of Confined Concrete. *Journal of Structural Engineering*. Vol. 108, no. 12, pp. 2703-23.
- Sakai, K., Sheikh, S.A.**, 1989. What do we know about confinement in reinforced concrete columns? (a critical review of previous work and code provisions). *American Concrete Institute Structural Journal*. Vol. 86, no. 2, pp. 192-207.
- Sheikh, S.A.**, 1984. Confined concrete subjected to axial and bending loads, *Proceedings of 8th World Conference On Earthquake Engineering*, San Francisco, USA.
- Sheikh, S.A., Khoury, S.S.**, 1993: Confined concrete columns with stubs. *American Concrete Institute Structural Journal*. Vol. 90, no. 4, pp. 414-431.
- Sheikh, S.A., Shah, D.V., Khoury, S.S.**, 1994: Confinement of high-strength concrete columns. *American Concrete Institute Structural Journal*. Vol. 91, no. 1, pp. 100-111.
- Sheikh, S.A., Uzumeri, S.M.**, 1982: Analytical model for concrete confinement in tied columns. *Journal of Structural Engineering*. Vol. 118, no. 6, pp. 1590-607.
- Tanaka, H.**, 1990. Effect of lateral confining reinforcement on the ductile behavior of reinforced concrete columns, *PhD Thesis*, University of Canterbury, New Zealand.

- The Structural Performance Database**, 2003. The Structural Performance Database Pacific Earthquake Engineering Research Center. Pacific Earthquake Engineering Research Center. <<http://nisee.berkeley.edu/spd/>>
- Thompson, K.J., Park, R.**, 1980. Moment-curvature behaviour of cyclically loaded structural concrete member. *Proc. Instn. Civ. Engrs.*, Part 2, 69, pp. 317-341.
- Wehbe, N.I., Saiidi, M.S., Sanders, D.H.**, 1998: Confinement of rectangular bridge columns for moderate seismic areas, *National Center for Earthquake Engineering Research (NCEER) Bulletin*, Vol. 12, no. 1.
- Yılmaz, H.E.**, 2006. Mevcut betonarme binaların deprem performanslarının değerlendirilmesinde 2006 türk deprem yönetmeliği ve fema 356 yaklaşımlarının karşılaştırılması üzerine sayısal bir inceleme, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Url-1** <<http://www.deprem.gov.tr/Sarbis/Deprem/DepremNedir.aspx#KONU1>>, alındığı tarih 05.05.2010.
- Url-2** <http://www.linsaat.com/uploads/TrbBlogs/pdfs_1/16182_1190278980_276.pdf>, alındığı tarih 05.05.2010.

EKLER

EK A.1 : Deney numunelerinin özellikleri

Çizelge A.1 : Numune bilgileri.

Numune İsimleri	Araştırmacı	Yıl	Numune Kesiti	Göçme Tipi
L1N60	Kono ve diğ.	2002	Dikdörtgen	Sünek
L1D6B	Kono ve diğ.	2002	Dikdörtgen	Sünek
C5-40N	Matamoros ve diğ.	1999	Dikdörtgen	Sünek
C5-40S	Matamoros ve diğ.	1999	Dikdörtgen	Sünek
C1-1	Mo ve Wang	2000	Dikdörtgen	Sünek
C1-2	Mo ve Wang	2000	Dikdörtgen	Sünek
C1-3	Mo ve Wang	2000	Dikdörtgen	Sünek
C2-1	Mo ve Wang	2000	Dikdörtgen	Sünek
C2-2	Mo ve Wang	2000	Dikdörtgen	Sünek
C2-3	Mo ve Wang	2000	Dikdörtgen	Sünek
C3-1	Mo ve Wang	2000	Dikdörtgen	Sünek
C3-2	Mo ve Wang	2000	Dikdörtgen	Sünek
C3-3	Mo ve Wang	2000	Dikdörtgen	Sünek
BG-1	Saatcioglu ve Grira	1999	Dikdörtgen	Sünek
BG-2	Saatcioglu ve Grira	1999	Dikdörtgen	Sünek
BG-3	Saatcioglu ve Grira	1999	Dikdörtgen	Sünek
BG-4	Saatcioglu ve Grira	1999	Dikdörtgen	Sünek
BG-5	Saatcioglu ve Grira	1999	Dikdörtgen	Sünek
BG-6	Saatcioglu ve Grira	1999	Dikdörtgen	Sünek
BG-7	Saatcioglu ve Grira	1999	Dikdörtgen	Sünek
BG-8	Saatcioglu ve Grira	1999	Dikdörtgen	Sünek
BG-9	Saatcioglu ve Grira	1999	Dikdörtgen	Sünek
BG-10	Saatcioglu ve Grira	1999	Dikdörtgen	Sünek
U3	Saatcioglu ve Ozcebe	1989	Dikdörtgen	Sünek
U4	Saatcioglu ve Ozcebe	1989	Dikdörtgen	Sünek
U6	Saatcioglu ve Ozcebe	1989	Dikdörtgen	Sünek
U7	Saatcioglu ve Ozcebe	1989	Dikdörtgen	Sünek
No. 5	Tanaka ve Park	1990	Dikdörtgen	Sünek
No. 6	Tanaka ve Park	1990	Dikdörtgen	Sünek
No. 7	Tanaka ve Park	1990	Dikdörtgen	Sünek
No. 8	Tanaka ve Park	1990	Dikdörtgen	Sünek
A2	Wehbe ve diğ.	1998	Dikdörtgen	Sünek
B2	Wehbe ve diğ.	1998	Dikdörtgen	Sünek

Çizelge A.2 : Malzeme bilgileri.

Numune İsmi	Beton	Enine Donatı		Boyuna Donatı	
	Basınç	Akma	Kopma	Akma	Kopma
	Dayanımı	Dayanımı	Dayanımı	Dayanımı	Dayanımı
	$f_c(\text{MPa})$	$f_{vw}(\text{MPa})$	$f_{uw}(\text{MPa})$	$f_v(\text{MPa})$	$f_u(\text{MPa})$
L1N60	39.2	524	673	388	588
L1D6B	32.2	524	673	388	588
C5-40N	38.1	513.7	760.2	572.3	729.1
C5-40S	38.1	514.7	761.2	573.3	730.1
C1-1	24.94	459.5	576.5	497	592
C1-2	26.67	459.5	576.5	497	592
C1-3	26.13	459.5	576.5	497	592
C2-1	25.33	459.5	576.5	497	592
C2-2	27.12	459.5	576.5	497	592
C2-3	26.77	459.5	576.5	497	592
C3-1	26.38	459.5	576.5	497	592
C3-2	27.48	459.5	576.5	497	592
C3-3	26.90	459.5	576.5	497	592
BG-1	34	570	680	445.6	660
BG-2	34	570	680	445.6	660
BG-3	34	570	680	445.6	660
BG-4	34	570	680	445.6	660
BG-5	34	570	680	445.6	660
BG-6	34	570	680	477.8	700
BG-7	34	580	720	455.6	660
BG-8	34	580	720	455.6	660
BG-9	34	580	720	427.8	675
BG-10	34	570	680	427.8	675
U3	34.8	470	-	430	-
U4	32	470	-	438	-
U6	37.3	425	-	437	-
U7	39	425	-	437	-
No. 5	32	325	429	511	675
No. 6	32	325	429	511	675
No. 7	32.1	325	429	511	675
No. 8	32.1	325	429	511	675
A2	27.6	414	-	414	-
B2	27.6	414	-	414	-

i. Bu çizelgede verilen tüm donatılar nervürlüdür.

Çizelge A.3 : Geometrik özellikler.

Numune İsmi	En Kesit		Yükseklik
	En b (mm)	Derinlik h (mm)	
L1N60	600	600	1200
L1D6B	560	560	1200
C5-40N	203	203	610
C5-40S	203	203	610
C1-1	400	400	1400
C1-2	400	400	1400
C1-3	400	400	1400
C2-1	400	400	1400
C2-2	400	400	1400
C2-3	400	400	1400
C3-1	400	400	1400
C3-2	400	400	1400
C3-3	400	400	1400
BG-1	350	350	1645
BG-2	350	350	1645
BG-3	350	350	1645
BG-4	350	350	1645
BG-5	350	350	1645
BG-6	350	350	1645
BG-7	350	350	1645
BG-8	350	350	1645
BG-9	350	350	1645
BG-10	350	350	1645
U3	350	350	1000
U4	350	350	1000
U6	350	350	1000
U7	350	350	1000
No. 5	550	550	1650
No. 6	550	550	1650
No. 7	550	550	1650
No. 8	550	550	1650
A2	380	610	2050
B2	380	610	2050

Çizelge A.4 : Yükleme bilgileri.

Numune İsmi	Deney Biçimi	Eksenel Yük (kN)	Eksenel Kuvvet Etkisi
L1N60	Ankastre Kolon	8000	Durum II
L1D6B	Ankastre Kolon	6000	Durum II
C5-40N	Ankastre Kolon	569	Durum II
C5-40S	Ankastre Kolon	569	Durum II
C1-1	Ankastre Kolon	450	Durum III
C1-2	Ankastre Kolon	675	Durum III
C1-3	Ankastre Kolon	900	Durum III
C2-1	Ankastre Kolon	450	Durum III
C2-2	Ankastre Kolon	675	Durum III
C2-3	Ankastre Kolon	900	Durum III
C3-1	Ankastre Kolon	450	Durum III
C3-2	Ankastre Kolon	675	Durum III
C3-3	Ankastre Kolon	900	Durum III
BG-1	Ankastre Kolon	1782	Durum III
BG-2	Ankastre Kolon	1782	Durum III
BG-3	Ankastre Kolon	831	Durum III
BG-4	Ankastre Kolon	1923	Durum III
BG-5	Ankastre Kolon	1923	Durum III
BG-6	Ankastre Kolon	1900	Durum III
BG-7	Ankastre Kolon	1923	Durum III
BG-8	Ankastre Kolon	961	Durum III
BG-9	Ankastre Kolon	1923	Durum III
BG-10	Ankastre Kolon	1923	Durum III
U3	Ankastre Kolon	600	Durum II
U4	Ankastre Kolon	600	Durum II
U6	Ankastre Kolon	600	Durum II
U7	Ankastre Kolon	600	Durum II
No. 5	Ankastre Kolon	968	Durum II
No. 6	Ankastre Kolon	968	Durum II
No. 7	Ankastre Kolon	2913	Durum II
No. 8	Ankastre Kolon	2913	Durum II
A2	Ankastre Kolon	1505	Durum I
B2	Ankastre Kolon	1514	Durum I

Çizelge A.5 : Boyutsuz veriler.

Numune İsmi	Açıklık/Derinlik Oranı	Eksenel Kuvvet Oranı
L1N60	2.000	0.567
L1D6B	2.143	0.594
C5-40N	3.005	0.362
C5-40S	3.005	0.362
C1-1	3.500	0.113
C1-2	3.500	0.158
C1-3	3.500	0.215
C2-1	3.500	0.111
C2-2	3.500	0.156
C2-3	3.500	0.210
C3-1	3.500	0.107
C3-2	3.500	0.154
C3-3	3.500	0.209
BG-1	4.700	0.428
BG-2	4.700	0.428
BG-3	4.700	0.200
BG-4	4.700	0.462
BG-5	4.700	0.462
BG-6	4.700	0.456
BG-7	4.700	0.462
BG-8	4.700	0.231
BG-9	4.700	0.462
BG-10	4.700	0.462
U3	2.857	0.141
U4	2.857	0.153
U6	2.857	0.131
U7	2.857	0.126
No. 5	3.000	0.100
No. 6	3.000	0.100
No. 7	3.000	0.300
No. 8	3.000	0.300
A2	3.361	0.235
B2	3.361	0.237

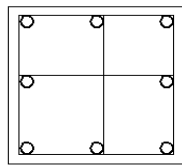
Eksenel kuvvet oranı Denklem A.1’de verilmiştir.

$$v = \frac{P}{f_c b h} \quad (\text{A.1})$$

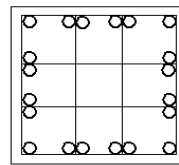
Çizelge A.6 : Boyuna donatı özellikleri.

Numune İsmi	Çap (mm)	Adet	Yüklemeye Dik Doğ.		Yüklemeye Paralel Doğ.		Boyuna Donatı Oranı
			Paspayı (mm)	Gövde Donatısı Adeti	Paspayı (mm)	Gövde Donatısı Adeti	
L1N60	25.4	12	44.5	2	44.5	2	0.0169
L1D6B	25.4	12	24.5	2	24.5	2	0.0194
C5-40N	15.9	4	20.7	0	17.7	0	0.0193
C5-40S	15.9	4	20.7	0	20.7	0	0.0193
C1-1	19.05	12	34	2	34	2	0.0214
C1-2	19.05	12	34	2	34	2	0.0214
C1-3	19.05	12	34	2	34	2	0.0214
C2-1	19.05	12	34	2	34	2	0.0214
C2-2	19.05	12	34	2	34	2	0.0214
C2-3	19.05	12	34	2	34	2	0.0214
C3-1	19.05	12	34	2	34	2	0.0214
C3-2	19.05	12	34	2	34	2	0.0214
C3-3	19.05	12	34	2	34	2	0.0214
BG-1	19.5	8	29	1	29	1	0.0195
BG-2	19.5	8	29	1	29	1	0.0195
BG-3	19.5	8	29	1	29	1	0.0195
BG-4	19.5	12	29	2	29	2	0.0293
BG-5	19.5	12	29	2	29	2	0.0293
BG-6	29.9	4	29	0	29	0	0.0229
BG-7	19.5	12	29	2	29	2	0.0293
BG-8	19.5	12	29	2	29	2	0.0293
BG-9	16	20	29	4	29	4	0.0328
BG-10	16	20	29	4	29	4	0.0328
U3	25	8	22.5	1	22.5	1	0.0321
U4	25	8	22.5	1	22.5	1	0.0321
U6	25	8	26.1	1	26.1	1	0.0321
U7	25	8	26.1	1	26.1	1	0.0321
No. 5	20	12	40	2	40	2	0.0125
No. 6	20	12	40	2	40	2	0.0125
No. 7	20	12	40	2	40	2	0.0125
No. 8	20	12	40	2	40	2	0.0125
A2	19	18	28	2	28	5	0.0220
B2	19	18	25	2	25	5	0.0220

U7 ve BG-9 numuneleri boyuna donatı düzenleri Şekil A.1’de verilmiştir. Her köşeye birer adet donatı gelmektedir. Konuyla ilgili detaylar Bölüm 4.1.3’te açıklanmıştır.



U7



BG-9

Şekil A.1 : Boyuna donatı düzeni örnekleri.

Çizelge A.7 : Enine donatı özellikleri.

Numune İsmi	Tip	Kol Sayısı	Sarılma Bölgesi			Orta Bölge		
			Çap (mm)	Donatı Aralığı s (mm)	Hacimsel Donatı Oranı	Çap (mm)	Donatı Aralığı s (mm)	Hacimsel Donatı Oranı
L1N60	RU	4	12.7	100	0.017	12.7	100	0.017
L1D6B	RU	4	12.7	100	0.018	12.7	100	0.018
C5-40N	R	2	9.5	76.2	0.010	9.5	76.2	0.010
C5-40S	R	2	9.5	77.2	0.010	9.5	77.2	0.010
C1-1	RJ	4	6.35	50	0.013	6.35	50	0.013
C1-2	RJ	4	6.35	50	0.013	6.35	50	0.013
C1-3	RJ	4	6.35	50	0.013	6.35	50	0.013
C2-1	RI	4	6.35	52	0.013	6.35	52	0.013
C2-2	RI	4	6.35	52	0.013	6.35	52	0.013
C2-3	RI	4	6.35	52	0.013	6.35	52	0.013
C3-1	I	4	6.35	54	0.013	6.35	54	0.013
C3-2	I	4	6.35	54	0.013	6.35	54	0.013
C3-3	I	4	6.35	54	0.013	6.35	54	0.013
BG-1	RI	3	9.53	152	0.010	9.53	152	0.010
BG-2	RI	3	9.53	76	0.020	9.53	76	0.020
BG-3	RI	3	9.53	76	0.020	9.53	76	0.020
BG-4	RI	4	9.53	152	0.013	9.53	152	0.013
BG-5	RI	4	9.53	76	0.027	9.53	76	0.027
BG-6	RI	4	9.53	76	0.027	9.53	76	0.027
BG-7	RI	4	6.60	76	0.013	6.60	76	0.013
BG-8	RI	4	6.60	76	0.013	6.60	76	0.013
BG-9	RI	4	6.60	76	0.013	6.60	76	0.013
BG-10	RI	4	9.53	76	0.027	9.53	76	0.027
U3	R	2	10	75	0.017	10	75	0.017
U4	R	2	10	50	0.025	10	50	0.025
U6	RJ	6	6.4	65	0.020	6.4	65	0.020
U7	RJ	6	6.4	65	0.020	6.4	65	0.020
No. 5	RJ	4	12	110	0.017	12	220	0.009
No. 6	RU	4	12	110	0.017	12	220	0.009
No. 7	RJ	4	12	90	0.021	12	180	0.010
No. 8	RU	4	12	90	0.021	12	180	0.010
A2	RJ	4	6	110	0.004	6	110	0.004
B2	RJ	4	10	83	0.005	10	83	0.005

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Özgecan IŞILTAN

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul - 27.05.1985

Adres: Sahrayıcedid Mah. Dere Sok. Deniz Apt.
No:10/13 Kadıköy/İstanbul

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi – İnşaat Mühendisliği