Dairesel Betonarme Kolonlarda Çatlamış Kesite Ait Etkin Eğilme Rijitliklerinin İrdelenmesi

Aydin Demir ve Naci Caglar*
Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

Özet

TDY-2007 ve Eurocode-8 gibi yönetmeliklerde betonarme yapıların deprem etkisi altındaki yapısal performansı belirlenirken taşıyıcı elemanların rijitlikleri, çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği en gerçekçi moment-eğrilik ilişkisinden elde edilebilmektedir.
Bu çalışmada betonarme dairesel kolonların çatlamış kesitine ait etkin eğilme rijitlikleri moment-eğrilik ilişkisinden elde edilmiş ve sonuçlar TDY-2007 ve Eurocode-8 ile karşılaştırılmıştır. Yapılan analizlerde her iki yönetmeliklerden elde edilen etkin eğilme rijitliklerinin moment-eğrilik ilişkisinden elde edilen değerlerinden büyük olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme çatlamış kesit, etkin eğilme rijitliği, TDY-2007, Eurocode-8

Abstract

While evaluating the performance of structures according to TEC-2007 and Eurocode-8, elastic flexural properties of concrete elements may be taken as the corresponding stiffness of the uncracked elements. Cracked section flexural stiffness might be obtained accurately by moment-curvature relationship.
In this study flexural stiffness of cracked sections of circular reinforced concrete columns was determined by moment-curvature relationship and the results were compared with TEC-2007 and Eurocode-8. According to analysis, it has been showed that results of cracked section flexural stiffness calculated according to TEC-2007 and Eurocode-8 are higher than those of moment-curvature relationship.

Key words: Cracked section, flexural stiffness, TEC-2007, Eurocode-8

1. Giriş

Betonarme yapıların doğru tasarlanabilmesi betonarme elemanların davranışının doğru anlaşılabilmesine bağlıdır. Eleman davranışını ise kesit davranışı belirlemektedir. Kesit davranışı kesitte kullanılan malzeme ve kesitin geometrisine bağlı olup, bu davranışın izlenmesinin en gerçekçi yollarından birisi kesitin moment-eğrilik ilişkisinin bilinmesidir. Moment-eğrilik ilişkisinin izlenmesi ile betonarme kesitin sünekliği, sargı etkisi, kesit mukavemeti ve rijitliğinin değişimi, kabuk ve çekirdek betonlarında oluşacak ezilmeler ve boyuna donatının pekleşmesinin eleman davranışı üzerindeki etkisi gibi konular hakkında bilgi edinilebilir.

Betonarme yapıların deprem etkisi altındaki yapısal performansını belirlenirken taşıyıcı elemanların rijitlikleri, çatlamış kesite ait rijitlikler dikkate alınarak değerlendirmektedir (TDY-2007 ve Eurocode-8). Kesitlerin çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri (EI_e), en gerçekçi olarak moment-eğrilik ilişkisinden elde edilmektedir.

*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Sakarya University, 54187, Sakarya TURKEY. E-mail address: caglar@sakarya.edu.tr, Phone: +902642955752 Fax: +902642955601

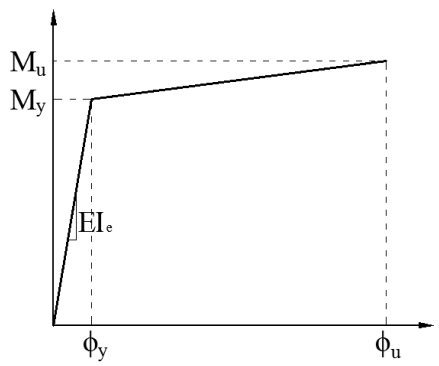
Bu çalışmada, betonarme dairesel kolonlara ait etkin eğilme rijitlikleri, kesitlerin gerçek davranışını gösteren moment-eğrilik ilişkisinden hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler, TDY-2007 ve Eurocode-8' de verilen formüller dikkate alınarak bulunan değerler ile karşılaştırılmıştır.

2. Moment-Eğrilik İlişkisi ve Etkin Eğilme Rijitliğinin Hesabı

TDY-2007 ve EC-8 yönetmeliklerinde yapıların deprem performanslarının belirlenmesinde betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliklerinin kullanılması istenmektedir.

Betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri (EI_e), Moment-Eğrilik eğrilik ilişkisinde akma momenti; M_y ve akma eğriliğine; ϕ_y karşılık geren 1. eğrinin eğimi olup (Şekil 1.) aşağıdaki formülle hesaplanabilmektedir.

$$EI_e = \frac{M_y}{\phi_y} \tag{1}$$



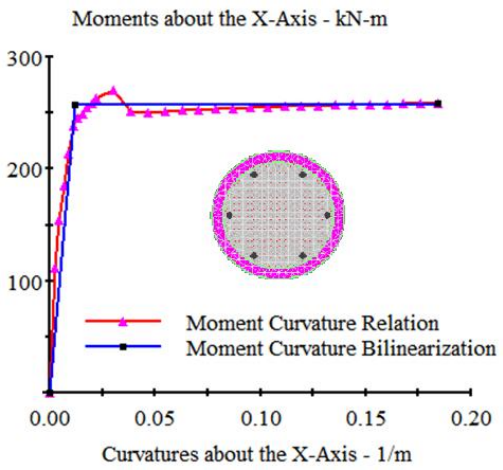
Şekil 1: Bilineer Moment-Eğrilik grafiğinin genel yapısı

Burada etkin eğrilik ϕ_y 'ye karsı gelen etkin plastik moment M_y, beton basınç birimşekil değiştirmesi 0.004 veya donatı birimşekil değiştirmesi 0.015 alınarak (hangisine daha önce erişilirse) hesaplanmaktadır. Kolonların moment dayanımlarının hesabında, sadece düşey yüklerden meydana gelen eksenel kuvvetler kullanılabilmektedir [4].

Eurocode-8'de, çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikliğinin sabit olduğu varsayılmış ve çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikliğinin başlangıç rijitliğinin (EI_0) yarısı olduğu kabul edilmiştir. TDY-2007'de ise, çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikliğinin sabit olmadığı dikkate alınmış ve kesitin boyut, beton kalitesi, kesite etkiyen eksenel kuvvet gibi parametrelere bağlı bir formülasyon önerilmiştir.

Bu çalışmada, analizlerde kullanılan betonarme kesitlerin moment-eğrilik ilişkileri XTRACT programı yardımıyla elde edilmiştir. Moment-eğrilik ilişkisinden elde edilen grafikler ise yine aynı program kullanılarak idealize (bilineer) edilerek hesaplamalarda kullanılmıştır.

XTRACT programı yapısal elemanların kesit bazlı analizlerini yapan bir program olup, bir kesitin moment-eğrilik, eksenel kuvvet-moment ve kapasite yörüngesi analizlerini yapmaktadır. Bir kesitin geometrik özellikleri ve kesitte bulunan malzemelerin modelleri girilerek yukarıda belirtilen analizler gerçekleştirilebilmektedir. Şekil 2. de XTRACT programında oluşturulmuş dairesel betonarme bir kesit ve analiz sonucu bulunan Moment-Eğrilik ilişkisini gösteren grafik ve bilineer hali gösterilmiştir.



Şekil 2: XTRACT programında analiz sonucu elde edilmiş bir moment-eğrilik grafiği

3. Sayısal Çalışma

Bu çalışmada, farklı boyutta ve/veya farklı donatı oranlarına sahip betonarme dairesel kesitlerin moment-eğrilik ilişkisi ve etkin eğilme rijitlikleri (EI_e) elde edilmiştir. 155 adet farklı kesit seçilmiş ve seçilen bu kesitlerin boyutları, donatı çapları ve donatı oranları TS500 ve TDY-2007 de verilen sınırlamalar dikkate alınarak belirlenmiştir. Kesitlere etkiyen eksenel kuvvet, aşağıdaki koşulları sağlayacak şekilde belirlenmiştir.

$$N_{dm} \leq 0{,}5\, A_c\ f_{ck} \qquad \text{(TDY - 2007)} \tag{2}$$

$$N_d \leq 0{,}6\, A_c\ f_{ck} \qquad \text{(TS - 500)} \tag{3}$$

Bu çalışmada kullanılan tüm kesitlerde beton kalitesi C25 ve donatı çeliği S420 olarak alınmıştır. Moment-Eğrilik ilişkisinin tespitinde betonun yatay donatılarla sarılmış çekirdek bölgesi ve sargısız kabuk kısmı için, TDY-2007 Bilgilendirme Eki 7B de verilen Mander (1988) beton modeli kullanılmıştır. Donatı çeliği için ise literatürde genel kabul görmüş deney sonuçlarından elde edilmiş, yine aynı yönetmelikte verilen gerilme-birim şekildeğiştirme eğrilerinden faydalanılmıştır. Beton ve donatı arasında tam aderans olduğu, kesitlerin şekil değişiminden sonra, şekil değişiminden önceki gibi düzlem olarak kaldıkları varsayılmıştır.

Ayrıca, karşılaştırma yapılması amacıyla aynı kesitlerin etkin eğilme rijitlikleri TDY-2007 Bölüm 7.4.13 ve Eurocode-8 Part 1 Bölüm 4.3.1(7) ye göre hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 1. de gösterilmiştir.

Tablo 1. Verilen Betonarme Dairesel Kesitler İçin Etkin Eğilme Rijitlikleri Analiz Sonuçları

No	Kesit	Kolon Çapı	Boyuna Donatı Oranı	Hacimsel Etriye Oranı	f_{cm}	E	N	EI_e	$(EI)_e/(EI)_0$		
		d (m)	ρ_t	ρ_w	N/mm^2	N/mm^2	kN	kN-m²	Analiz	TDY-2007	Eurocode-8
1	C1 D14	0.30	1.309	0.01608	25	30000	0.01	2570	0.215	0.400	0.5
2	C1 D14	0.30	1.309	0.01608	25	30000	150	3122	0.262	0.400	0.5
3	C1 D14	0.30	1.309	0.01608	25	30000	300	3463	0.290	0.444	0.5
4	C1 D14	0.30	1.309	0.01608	25	30000	450	3925	0.329	0.533	0.5
5	C1 D14	0.30	1.309	0.01608	25	30000	600	4631	0.388	0.622	0.5
6	C1 D14	0.30	1.309	0.01608	25	30000	750	5304	0.445	0.711	0.5
7	C1 D14	0.30	1.309	0.01608	25	30000	880	5868	0.492	0.788	0.5
8	C1 D16	0.30	1.710	0.01608	25	30000	0.01	3090	0.259	0.400	0.5
9	C1 D16	0.30	1.710	0.01608	25	30000	150	3531	0.296	0.400	0.5
10	C1 D16	0.30	1.710	0.01608	25	30000	400	4120	0.345	0.504	0.5
11	C1 D16	0.30	1.710	0.01608	25	30000	600	4930	0.413	0.622	0.5
12	C1 D16	0.30	1.710	0.01608	25	30000	750	5556	0.466	0.711	0.5
13	C1 D16	0.30	1.710	0.01608	25	30000	880	6093	0.511	0.788	0.5
14	C1 D18	0.30	2.160	0.01608	25	30000	0.01	3575	0.300	0.400	0.5
15	C1 D18	0.30	2.160	0.01608	25	30000	100	3844	0.322	0.400	0.5
16	C1 D18	0.30	2.160	0.01608	25	30000	250	4094	0.343	0.415	0.5
17	C1 D18	0.30	2.160	0.01608	25	30000	500	4790	0.402	0.563	0.5
18	C1 D18	0.30	2.160	0.01608	25	30000	700	5527	0.463	0.681	0.5
19	C1 D18	0.30	2.160	0.01608	25	30000	880	6202	0.520	0.788	0.5
20	C1 D20	0.30	2.667	0.01608	25	30000	0.01	4098	0.344	0.400	0.5
21	C1 D20	0.30	2.667	0.01608	25	30000	150	4398	0.369	0.400	0.5
22	C1 D20	0.30	2.667	0.01608	25	30000	300	4647	0.390	0.444	0.5
23	C1 D20	0.30	2.667	0.01608	25	30000	350	4809	0.403	0.474	0.5
24	C1 D20	0.30	2.667	0.01608	25	30000	450	5129	0.430	0.533	0.5
25	C1 D20	0.30	2.667	0.01608	25	30000	500	5293	0.444	0.563	0.5
26	C1 D20	0.30	2.667	0.01608	25	30000	520	5344	0.448	0.575	0.5
27	C1 D20	0.30	2.667	0.01608	25	30000	600	5620	0.471	0.622	0.5
28	C1 D20	0.30	2.667	0.01608	25	30000	700	5981	0.501	0.681	0.5
29	C1 D20	0.30	2.667	0.01608	25	30000	880	6615	0.555	0.788	0.5
30	C1 D22	0.30	3.232	0.01608	25	30000	0.01	4602	0.386	0.400	0.5
31	C1 D22	0.30	3.232	0.01608	25	30000	120	4802	0.403	0.400	0.5

Tablo 1. Verilen Betonarme Dairesel Kesitler İçin Etkin Eğilme Rijitlikleri Analiz Sonuçları (devam)

No	Kesit	Kolon Çapı	Boyuna Donatı Oranı	Hacimsel Etriye Oranı	f_{cm}	E	N	EI_e	$(EI)_e/(EI)_0$		
		d (m)	ρ_t	ρ_w	N/mm^2	N/mm^2	kN	kN-m^2	Analiz	TDY-2007	Eurocode-8
32	C1 D22	0.30	3.232	0.01608	25	30000	250	5016	0.421	0.415	0.5
33	C1 D22	0.30	3.232	0.01608	25	30000	430	5514	0.462	0.521	0.5
34	C1 D22	0.30	3.232	0.01608	25	30000	720	6391	0.536	0.693	0.5
35	C1 D22	0.30	3.232	0.01608	25	30000	880	6919	0.580	0.788	0.5
36	C1 D24	0.30	3.840	0.01608	25	30000	0.01	5127	0.430	0.400	0.5
37	C1 D24	0.30	3.840	0.01608	25	30000	150	5297	0.444	0.400	0.5
38	C1 D24	0.30	3.840	0.01608	25	30000	250	5525	0.463	0.415	0.5
39	C1 D24	0.30	3.840	0.01608	25	30000	450	6013	0.504	0.533	0.5
40	C1 D24	0.30	3.840	0.01608	25	30000	700	6731	0.564	0.681	0.5
41	C1 D24	0.30	3.840	0.01608	25	30000	880	7241	0.607	0.788	0.5
42	C2 D14	0.50	1.098	0.00873	25	30000	0.01	19600	0.213	0.400	0.5
43	C2 D14	0.50	1.098	0.00873	25	30000	300	24100	0.262	0.400	0.5
44	C2 D14	0.50	1.098	0.00873	25	30000	600	27300	0.297	0.400	0.5
45	C2 D14	0.50	1.098	0.00873	25	30000	900	29700	0.323	0.459	0.5
46	C2 D14	0.50	1.098	0.00873	25	30000	1200	31200	0.339	0.523	0.5
47	C2 D14	0.50	1.098	0.00873	25	30000	1500	34100	0.370	0.587	0.5
48	C2 D14	0.50	1.098	0.00873	25	30000	1800	38200	0.415	0.651	0.5
49	C2 D14	0.50	1.098	0.00873	25	30000	2100	42100	0.457	0.715	0.5
50	C2 D14	0.50	1.098	0.00873	25	30000	2450	46300	0.503	0.789	0.5
51	C2 D16	0.50	1.434	0.00873	25	30000	0.01	23900	0.260	0.400	0.5
52	C2 D16	0.50	1.434	0.00873	25	30000	300	27700	0.301	0.400	0.5
53	C2 D16	0.50	1.434	0.00873	25	30000	300	27700	0.301	0.400	0.5
54	C2 D16	0.50	1.434	0.00873	25	30000	600	30500	0.331	0.400	0.5
55	C2 D16	0.50	1.434	0.00873	25	30000	900	32600	0.354	0.459	0.5
56	C2 D16	0.50	1.434	0.00873	25	30000	1200	34000	0.369	0.523	0.5
57	C2 D16	0.50	1.434	0.00873	25	30000	1500	36900	0.401	0.587	0.5
58	C2 D16	0.50	1.434	0.00873	25	30000	1800	40700	0.442	0.651	0.5
59	C2 D16	0.50	1.434	0.00873	25	30000	2100	44400	0.482	0.715	0.5
60	C2 D16	0.50	1.434	0.00873	25	30000	2450	48400	0.526	0.789	0.5
61	C2 D18	0.50	1.814	0.00873	25	30000	0.01	28400	0.309	0.400	0.5

Tablo 1. Verilen Betonarme Dairesel Kesitler İçin Etkin Eğilme Rijitlikleri Analiz Sonuçları (devam)

No	Kesit	Kolon Çapı	Boyuna Donatı Oranı	Hacimsel Etriye Oranı	f_{cm}	E	N	EI_e	$(EI)_e/(EI)_0$		
		d (m)	ρ_t	ρ_w	N/mm^2	N/mm^2	kN	kN-m²	Analiz	TDY-2007	Eurocode-8
62	C2 D18	0.50	1.814	0.00873	25	30000	250	31100	0.338	0.400	0.5
63	C2 D18	0.50	1.814	0.00873	25	30000	600	34100	0.370	0.400	0.5
64	C2 D18	0.50	1.814	0.00873	25	30000	800	35300	0.384	0.437	0.5
65	C2 D18	0.50	1.814	0.00873	25	30000	1200	37000	0.402	0.523	0.5
66	C2 D18	0.50	1.814	0.00873	25	30000	1450	39500	0.429	0.576	0.5
67	C2 D18	0.50	1.814	0.00873	25	30000	1900	44600	0.485	0.672	0.5
68	C2 D18	0.50	1.814	0.00873	25	30000	2200	48000	0.522	0.736	0.5
69	C2 D18	0.50	1.814	0.00873	25	30000	2450	50700	0.551	0.789	0.5
70	C2 D20	0.50	2.240	0.00873	25	30000	0.01	33000	0.359	0.400	0.5
71	C2 D20	0.50	2.240	0.00873	25	30000	300	35800	0.389	0.400	0.5
72	C2 D20	0.50	2.240	0.00873	25	30000	600	37800	0.411	0.400	0.5
73	C2 D20	0.50	2.240	0.00873	25	30000	900	39300	0.427	0.459	0.5
74	C2 D20	0.50	2.240	0.00873	25	30000	1200	40400	0.439	0.523	0.5
75	C2 D20	0.50	2.240	0.00873	25	30000	1500	43500	0.473	0.587	0.5
76	C2 D20	0.50	2.240	0.00873	25	30000	1800	46600	0.506	0.651	0.5
77	C2 D20	0.50	2.240	0.00873	25	30000	2100	49800	0.541	0.715	0.5
78	C2 D20	0.50	2.240	0.00873	25	30000	2450	53300	0.579	0.789	0.5
79	C2 D22	0.50	2.710	0.00873	25	30000	0.01	37700	0.410	0.400	0.5
80	C2 D22	0.50	2.710	0.00873	25	30000	350	40400	0.439	0.400	0.5
81	C2 D22	0.50	2.710	0.00873	25	30000	650	42000	0.456	0.405	0.5
82	C2 D22	0.50	2.710	0.00873	25	30000	950	43200	0.469	0.469	0.5
83	C2 D22	0.50	2.710	0.00873	25	30000	1250	44900	0.488	0.533	0.5
84	C2 D22	0.50	2.710	0.00873	25	30000	1550	47600	0.517	0.597	0.5
85	C2 D22	0.50	2.710	0.00873	25	30000	1850	50500	0.549	0.661	0.5
86	C2 D22	0.50	2.710	0.00873	25	30000	2150	53400	0.580	0.725	0.5
87	C2 D22	0.50	2.710	0.00873	25	30000	2450	56100	0.610	0.789	0.5
88	C2 D24	0.50	3.226	0.00873	25	30000	0.01	42500	0.462	0.400	0.5
89	C2 D24	0.50	3.226	0.00873	25	30000	200	43900	0.477	0.400	0.5
90	C2 D24	0.50	3.226	0.00873	25	30000	500	45500	0.494	0.400	0.5
91	C2 D24	0.50	3.226	0.00873	25	30000	800	46700	0.507	0.437	0.5

Tablo 1. Verilen Betonarme Dairesel Kesitler İçin Etkin Eğilme Rijitlikleri Analiz Sonuçları (devam)

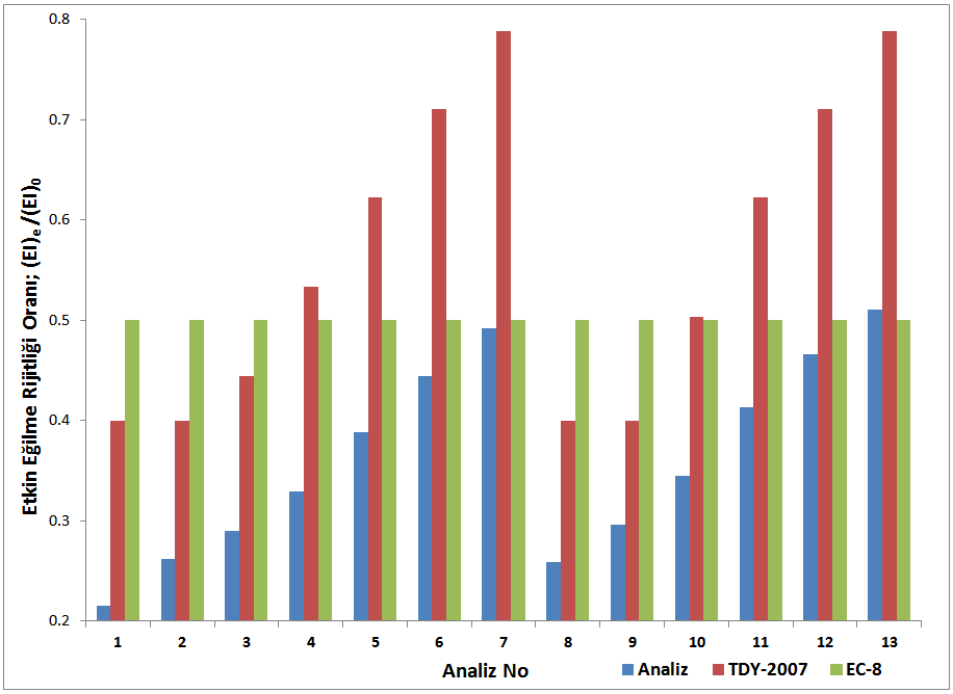
No	Kesit	Kolon Çapı	Boyuna Donatı Oranı	Hacimsel Etriye Oranı	f_{cm}	E	N	EI_e	$(EI)_e/(EI)_0$		
		d (m)	ρ_t	ρ_w	N/mm^2	N/mm^2	kN	kN-m^2	Analiz	TDY-2007	Eurocode-8
92	C2 D24	0.50	3.226	0.00873	25	30000	1200	48600	0.528	0.523	0.5
93	C2 D24	0.50	3.226	0.00873	25	30000	1450	50600	0.550	0.576	0.5
94	C2 D24	0.50	3.226	0.00873	25	30000	1800	53700	0.583	0.651	0.5
95	C2 D24	0.50	3.226	0.00873	25	30000	2050	55900	0.607	0.704	0.5
96	C2 D24	0.50	3.226	0.00873	25	30000	2450	59300	0.644	0.789	0.5
97	C3 D16	0.75	1.320	0.00748	25	30000	0.01	122000	0.262	0.400	0.5
98	C3 D16	0.75	1.320	0.00748	25	30000	500	139000	0.298	0.400	0.5
99	C3 D16	0.75	1.320	0.00748	25	30000	1000	153000	0.328	0.400	0.5
100	C3 D16	0.75	1.320	0.00748	25	30000	1500	163000	0.350	0.409	0.5
101	C3 D16	0.75	1.320	0.00748	25	30000	1500	163000	0.350	0.409	0.5
102	C3 D16	0.75	1.320	0.00748	25	30000	2000	172000	0.369	0.456	0.5
103	C3 D16	0.75	1.320	0.00748	25	30000	2500	179000	0.384	0.504	0.5
104	C3 D16	0.75	1.320	0.00748	25	30000	3000	184000	0.395	0.551	0.5
105	C3 D16	0.75	1.320	0.00748	25	30000	3500	195000	0.419	0.599	0.5
106	C3 D16	0.75	1.320	0.00748	25	30000	4000	210000	0.451	0.646	0.5
107	C3 D16	0.75	1.320	0.00748	25	30000	4500	224000	0.481	0.693	0.5
108	C3 D16	0.75	1.320	0.00748	25	30000	5000	238000	0.511	0.741	0.5
109	C3 D16	0.75	1.320	0.00748	25	30000	5500	251000	0.539	0.788	0.5
110	C3 D18	0.75	1.670	0.00748	25	30000	0.01	146000	0.313	0.400	0.5
111	C3 D18	0.75	1.670	0.00748	25	30000	600	163000	0.350	0.400	0.5
112	C3 D18	0.75	1.670	0.00748	25	30000	1100	174000	0.373	0.400	0.5
113	C3 D18	0.75	1.670	0.00748	25	30000	1600	184000	0.395	0.418	0.5
114	C3 D18	0.75	1.670	0.00748	25	30000	2100	191000	0.410	0.466	0.5
115	C3 D18	0.75	1.670	0.00748	25	30000	2600	197000	0.423	0.513	0.5
116	C3 D18	0.75	1.670	0.00748	25	30000	3100	201000	0.431	0.561	0.5
117	C3 D18	0.75	1.670	0.00748	25	30000	3600	215000	0.461	0.608	0.5
118	C3 D18	0.75	1.670	0.00748	25	30000	4100	228000	0.489	0.655	0.5
119	C3 D18	0.75	1.670	0.00748	25	30000	4600	241000	0.517	0.703	0.5
120	C3 D18	0.75	1.670	0.00748	25	30000	5100	254000	0.545	0.750	0.5

Tablo 1. Verilen Betonarme Dairesel Kesitler İçin Etkin Eğilme Rijitlikleri Analiz Sonuçları (devam)

No	Kesit	Kolon Çapı	Boyuna Donatı Oranı	Hacimsel Etriye Oranı	f_{cm}	E	N	EI_e	$(EI)_e/(EI)_0$		
		d (m)	ρ_t	ρ_w	N/mm^2	N/mm^2	kN	kN-m²	Analiz	TDY-2007	Eurocode-8
121	C3 D18	0.75	1.670	0.00748	25	30000	5500	264000	0.567	0.788	0.5
122	C3 D20	0.75	2.062	0.00748	25	30000	0.01	171000	0.367	0.400	0.5
123	C3 D20	0.75	2.062	0.00748	25	30000	800	190000	0.408	0.400	0.5
124	C3 D20	0.75	2.062	0.00748	25	30000	1800	206000	0.442	0.437	0.5
125	C3 D20	0.75	2.062	0.00748	25	30000	2800	216000	0.464	0.532	0.5
126	C3 D20	0.75	2.062	0.00748	25	30000	3800	238000	0.511	0.627	0.5
127	C3 D20	0.75	2.062	0.00748	25	30000	4700	260000	0.558	0.712	0.5
128	C3 D20	0.75	2.062	0.00748	25	30000	5500	279000	0.599	0.788	0.5
129	C3 D22	0.75	2.495	0.00748	25	30000	0.01	196000	0.421	0.400	0.5
130	C3 D22	0.75	2.495	0.00748	25	30000	600	209000	0.449	0.400	0.5
131	C3 D22	0.75	2.495	0.00748	25	30000	1200	219000	0.470	0.400	0.5
132	C3 D22	0.75	2.495	0.00748	25	30000	2050	230000	0.494	0.461	0.5
133	C3 D22	0.75	2.495	0.00748	25	30000	3500	250000	0.537	0.599	0.5
134	C3 D22	0.75	2.495	0.00748	25	30000	4200	266000	0.571	0.665	0.5
135	C3 D22	0.75	2.495	0.00748	25	30000	5500	295000	0.633	0.788	0.5
136	C3 D24	0.75	2.972	0.00748	25	30000	0.01	223000	0.479	0.400	0.5
137	C3 D24	0.75	2.972	0.00748	25	30000	500	233000	0.500	0.400	0.5
138	C3 D24	0.75	2.972	0.00748	25	30000	1000	240000	0.515	0.400	0.5
139	C3 D24	0.75	2.972	0.00748	25	30000	1500	247000	0.530	0.409	0.5
140	C3 D24	0.75	2.972	0.00748	25	30000	2000	252000	0.541	0.456	0.5
141	C3 D24	0.75	2.972	0.00748	25	30000	2500	256000	0.549	0.504	0.5
142	C3 D24	0.75	2.972	0.00748	25	30000	3000	262000	0.562	0.551	0.5
143	C3 D24	0.75	2.972	0.00748	25	30000	3500	272000	0.584	0.599	0.5
144	C3 D24	0.75	2.972	0.00748	25	30000	4000	282000	0.605	0.646	0.5
145	C3 D24	0.75	2.972	0.00748	25	30000	4500	292000	0.627	0.693	0.5
146	C3 D24	0.75	2.972	0.00748	25	30000	4500	292000	0.627	0.693	0.5
147	C3 D24	0.75	2.972	0.00748	25	30000	5000	303000	0.650	0.741	0.5
148	C3 D24	0.75	2.972	0.00748	25	30000	5500	313000	0.672	0.788	0.5
149	C3 D26	0.75	3.485	0.00748	25	30000	0.01	251000	0.539	0.400	0.5
150	C3 D26	0.75	3.485	0.00748	25	30000	400	257000	0.552	0.400	0.5
151	C3 D26	0.75	3.485	0.00748	25	30000	1350	269000	0.577	0.400	0.5
152	C3 D26	0.75	3.485	0.00748	25	30000	2000	275000	0.590	0.456	0.5
153	C3 D26	0.75	3.485	0.00748	25	30000	2900	284000	0.610	0.542	0.5
154	C3 D26	0.75	3.485	0.00748	25	30000	4500	314000	0.674	0.693	0.5
155	C3 D26	0.75	3.485	0.00748	25	30000	5500	333000	0.715	0.788	0.5

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, farklı boyutta ve/veya farklı donatı oranlarına sahip betonarme dairesel kesitlerin moment-eğrilik ilişkisi kullanılarak çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri bulunmuş ve sonuçlar TDY-2007 ve Eurocode-8 ile karşılaştırılmıştır. Analiz yapılan bazı kesitlerden elde edilmiş olan çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliğinin (EI_e), çatlamamış kesite ait olan başlangıç eğilme rijitliğine (EI_0) oranı Şekil 3. te aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3. Etkin Eğilme Rijitliği Oranı

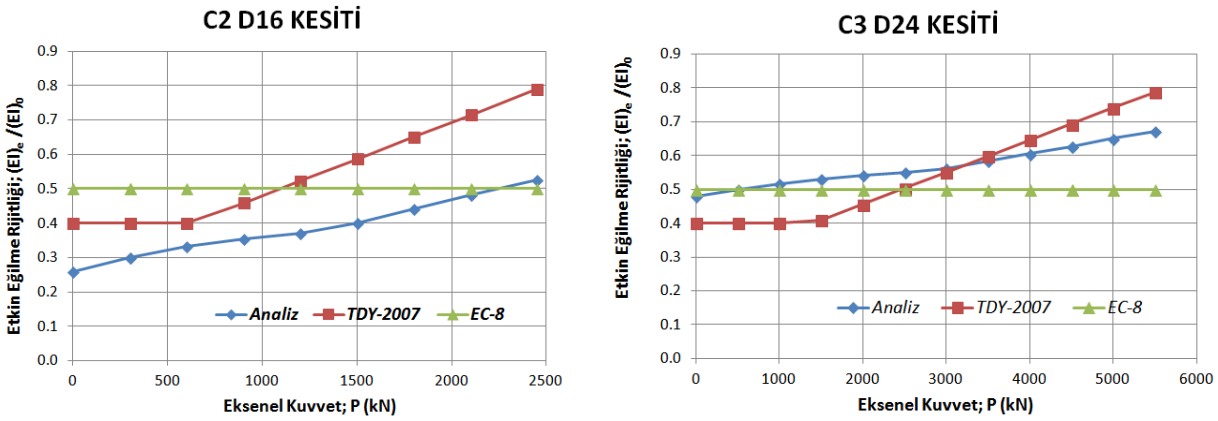
Kesitlerin gerçek davranışını gösteren moment-eğrilik ilişkisi belirlenirken kesitin boyutu, beton kalitesi, kesite etkiyen eksenel kuvvet ve sargı etkisi gibi parametreler dikkate alınmakta ve eğilme rijitliği bu şekilde tespit edilmektedir.

Eurocode-8'de, çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikliğinin sabit olduğu varsayılmış ve çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikliğinin başlangıç rijitliğinin yarısı olduğu kabul edilmiştir. Eurocode-8'de kesitin boyutu, beton kalitesi, kesite etkiyen eksenel kuvvet ve sargı etkisi gibi özellikleri dikkate alınmamaktadır. Dolayısıyla, Tablo 1. ve Şekil 3'de de görüldüğü gibi gerçek davranıştan önemli oranlarda sapmalar oluşmaktadır.

TDY-2007'de ise , çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikliğinin sabit olmadığı dikkate alınmış ve kesitin boyut, beton kalitesi ve kesite etkiyen eksenel kuvvet gibi parametrelere bağlı bir formülasyon önerilmiştir. Fakat TDY-2007'de de sargı etkisi dikkate alınmadığından gerçek davranıştan önemli oranlarda uzaklaşmalar oluşmaktadır (Tablo 1-Şekil 3).

Bu nedenlerden dolayı, Şekil 3'ten de görülebileceği gibi, çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliklerinin gerçek değeri TDY-2007 ve Eurocode-8' e göre hesaplanan değerlerden küçük çıkmaktadır. Dolayısıyla bu yönetmeliklere göre yapılan analizlerde, kesitin etkin eğilme rijitliği gerçek davranış değerinden yüksek alınmaktadır. Kesitin etkin eğilme rijitliğinin gerçeğinden yüksek değerlerde alınması, yapının global rijitliğinin gerçek değerinden fazla hesaplanmasına yol açacaktır. Buna ise yapıların hesap ve değerlendirilmesinde hatalara neden olabilecektir.

Bununla birlikte, farklı eksenel yük altında aynı kesite ait etkin eğilme rijitlikleri, EI_e Şekil 4 te örnek olarak C2 D16 ve C3 D24 kesitleri için gösterilmiştir. Eksenel yük, çatlamamış kesite ait eğilme rijitliğini arttırdığı gibi çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliğini de arttırdığı görülmektedir.



Şekil 4. Farklı eksenel yük altında aynı kesite ait etkin eğilme rijitlikleri, EI_e

Bu çalışma, devam etmekte olan bir çalışmanın bir bölümünü oluşturmaktadır. Yapılmakta olan çalışmanın genelinde, daire, kare ve dikdörtgen betonarme kesitlerin çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri araştırılmaktadır.

5. Referanslar

[1] TDY-2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Çevre Ve Şehircilik Bakanlığı; 2007

[2] EUROCODE-8. Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. European Committee For Standardization; prEN 1998-1:2003 (E)

[3] TS500, T2. Betonarme yapıların yapım ve tasarım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü; Nisan 2002.

[4] İYBDY Versiyon-IV. İBB İmar Müdürlüğü - İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği. Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı; Mayıs 2008.

[5] Ersoy U, Özcebe G. Sarılmış Betonarme Kesitlerde Moment-Eğrilik İlişkisi Analitik Bir İrdeleme. İMO Teknik Dergi; 1998, 1799:1827, yazı 129.
[6] Ersoy U, Özcebe G. Betonarme: Temel İlkeler. Evrim Yayınevi; 2004.
[7] Mander JB, Priestley MJN, Park R. Theoretical Stress-Seğitim Model for Confined Concrete. Journal of Structural Engineering; 1988.
[8] Aydınoğlu MN, Tüzün C. DYB612: Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirme Dersi Ders Notları. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Deprem Ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalı; 2012-2013 Bahar Yarı Yılı.
[9] Caglar N, Demir A, Elmas M, Ozturk H, Akkaya A. Betonarme Kesitlerdeki Moment-Eğrilik İlişkisi İçin Basit Bir Formülasyon. International Science & Technology Conference ISTEC-2012, s. 211-219.
[10] Xtract v.3.0. Cross-sectional X structural analysis of components, Imbsen Software Systems, 9912 Business Park Drive, Suite 130 Sacramento, CA 95827.