

Betonarme Kirişlerin Etkin Eğilme Rijitliği Analizi ve Yönetmeliklerle Karşılaştırması

Erva Tekinsav, Pınar Çanak Gökhan Dok, *Hakan Öztürk
Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Özet:

Depreme dayanıklı yapı tasarımının ilk ve en önemli unsuru iyi bir taşıyıcı sistem tasarımıdır. Taşıyıcı sistem elemanlarının analitik olarak incelenmesindeki en önemli etken ise kesit davranışının gerçekçi olarak belirlenmesidir. Betonarme, davranışı doğrusal elastik olmayan bir yapı malzemesidir. Gerçek davranışı göz önünde bulundurmeyen bütün yaklaşımlar, hatalı sonuçlar verecektir. Bu çalışmada; boyutları sabit tutulan betonarme bir kiriş kesitinin; etriye aralığı, boyuna donatı oranı ve beton dayanımı parametreleri değiştirilerek etkin eğilme rijitlikleri XTRACT programı ile hesaplanmıştır. Bulunan etkin eğilme rijitliği değerleri TDY (2007), TBDY (2019) ve Eurocode-8' de verilen değerler ile kıyaslanmış, yönetmeliklerde verilen değerlerin gerçekliği araştırılmıştır.

Anahtar kelimeler; Etkin Eğilme Rijitliği, Yönetmelik, XTRACT, Moment-eğrilik

Effective Flexural Stiffness Analysis of Reinforced Concrete Beams and Comparison with Codes

Abstract:

The first and most important factor of the earthquake resistant structural design is a convenient load-bearing system design. The most important factor in analyzing the structural elements of the structural system is to determine the section behavior realistically. Reinforced concrete is a building material whose behavior is nonlinear. All approaches that do not consider real behavior, gives inexact results. In this study; a reinforced concrete beam section whose dimensions are kept constant. The effective flexural stiffnesses were calculated by using the XTRACT program by using parameters such as stirrups spacing, longitudinal reinforcement ratio and concrete strength. The calculated effective flexural stiffness values were compared with the values given in TEC (2007), TECB (2019) and Eurocode-8. Reality of the values given in the codes has been researched.

Key words; Effective Bending Stiffness, Codes, XTRACT, Moment-Curvature

1. Giriş

Mühendislik yapılarında dinamik dış yükler tasarım esaslarını doğrudan etkileyen yüklerdir. Betonarme yapılar dinamik dış yüklerin etkisinde olan mühendislik yapılarının başında gelmektedir. Malzemenin elastik sınırlar içerisindeki davranışını gösteren birçok kabul ve yöntem vardır [1]. Fakat betonarme, homojen olmayan ve yapısı gereği elastik ötesi davranış gösteren bir yapı malzemesidir [2]. Bu sebeple; betonarme eleman kesitlerinin elastik ötesi kapasitelerini doğruya en yakın şekilde tayin etmek ve bu değerler göz önünde bulundurularak tasarım yapmak gerekmektedir. Yönetmelikler bu noktada elastik ötesi davranışı hesaba katacak katsayılar sunmaktadır [5-6-7].

*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Sakarya University, 54187, Sakarya TURKEY. E-mail address: hakanozturk@sakarya.edu.tr, Phone: +902642957037

Elastik ötesi davranış deneysel ya da analitik yollarla hesaplanabilir. Kapasiteye yani performansa dayalı tasarımın temelinde taşıyıcı sistem eleman kesitinin moment-eğrilik ilişkisinin çözümü vardır [3]. Moment-eğrilik ilişkilerini etkileyen beton dayanımı, çekme donatısı oranı, enine donatı oranı gibi tasarım parametrelerinin etkin eğilme rijitliğine etkisinin belirlenmesi bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

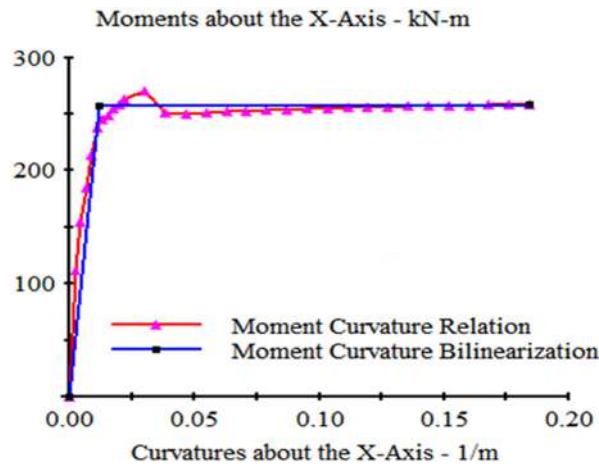
Bu çalışmada; 250x500 mm boyutlarındaki betonarme kiriş kesitinin, C20/C30/C40 beton dayanımlarında farklı enine ve boyuna donatı oranlarındaki moment-eğrilik ilişkisi XTRACT [4]. programı ile hesaplanmıştır. Tek bir kesit boyutu ile sınırlandırılıp diğer parametreler değiştirilerek toplamda 87 farklı analiz yapılmıştır. Yapılan 87 analizin her birinde etkin eğilme rijitliği bulunarak; Deprem Bölgelerin Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2019), Eurocode-8'de verilen katsayılar ile karşılaştırılması yapılmıştır.

2. Eğilme Etkisindeki Kesitlerin Moment Eğrilik İlişkisi

Eğilme veya bileşik eğilme etkisi altındaki betonarme kesitlerin davranışı, gerçekçi olarak moment-eğrilik ilişkisinden izlenebilir. Moment-Eğrilik ilişkisi ile kesitin davranışı, sünekliği, rijitliği ve dayanımı hakkında bilgi edinilebilir [2].

Bir betonarme kesitin moment-eğrilik ilişkisini elde etmenin en sağlıklı yolu deneysel yöntemlerdir. Fakat her kesit için deney yapmak hem ekonomik hem de pratik açıdan mümkün değildir. Bu nedenle, deneylerden elde edilen verilerden yararlanarak beton ve çelik için geliştirilmiş olan basitleştirilmiş gerilme-birim deformasyon eğrileri kullanılarak, moment-eğrilik ilişkisinin analitik olarak elde edilmesi yoluna gidilmiştir [3]. Şekil 1'de XTRACT programından elde edilmiş moment-eğrilik ilişkisi ve idealleştirilmiş eğri görülmektedir.

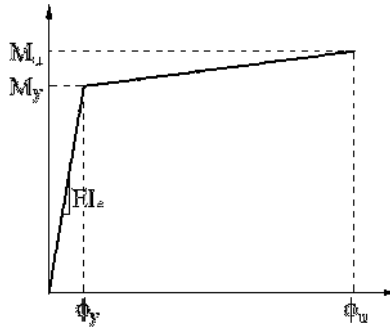
Eğrilik mukavemet kitaplarında birim dönme açısı olarak tanımlanmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalar basit eğilme veya bileşik eğilme etkisindeki betonarme kesitlerin kırılma konumuna, başka bir deyişle moment taşıma kapasitelerine en dış liffteki betonun ezilmesiyle ulaştıklarını göstermiştir [2].



Şekil 1: XTRACT programında elde edilen moment-eğrilik grafiği [4].

Moment-eğrilik grafiğindeki ilk kırılma noktası akma momenti (M_Y) ve akma eğrilik (ϕ_Y) değerini ifade etmektedir. Kesitin bu noktaya kadar olan davranışı elastik sınırlar içerisinde kalan davranışı olarak tanımlanabilir. Betonarme kesiti bu noktadan sonra yapısı gereği elastik ötesi davranış gösterir. Grafikteki son nokta kopma momenti (M_u) ve kopma eğrilik (ϕ_u) değerini ifade eder.

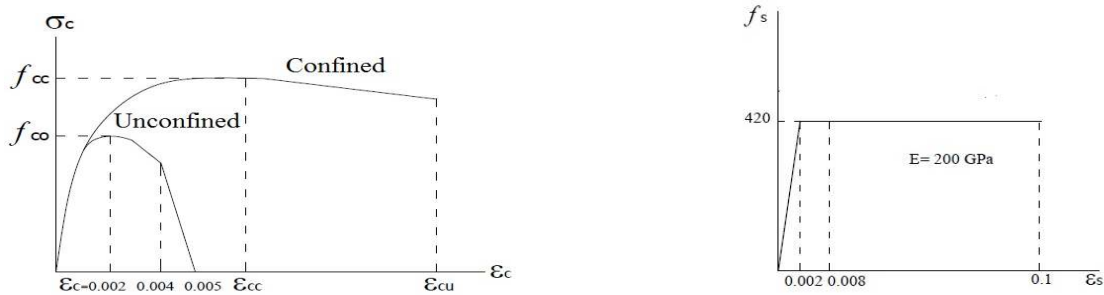
Betonarme yapıların kesit davranışlarının tayini ve buna bağlı olarak yapılan performans analizlerinde çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği (EI_e) ifadesi kullanılmaktadır. Şekil 2’de görüldüğü üzere etkin eğilme rijitliği moment-eğrilik grafiğindeki akma momentinin akma eğrilikine oranı (M_Y) / (ϕ_Y) şeklinde hesaplanmaktadır [5-6].



Şekil 2: İdealleştirilmiş moment-eğrilik grafiği [4].

3. Sayısal Çalışma

Bu çalışmada 250x500 (mm) boyutlarındaki betonarme kiriş için C20, C30, C40 beton sınıflarında farklı etriye tipleri, farklı enine ve boyuna donatı oranları seçilerek toplamda 87 farklı analiz XTRACT programı ile yapılmıştır. XTRACT programında kullanılan sargılı, sargısız beton ve donatı çeliği modelleri Şekil 3. te verilmiştir.



Şekil 3: Mander beton ve donatı çeliği modelleri [5]

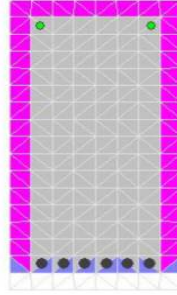
Betonarme kiriş donatıları basınç bölgesinde $2\phi 12$ olarak sabit tutulup çekme bölgesi için;

$$\rho_{min} \quad (1)$$

$$0,6\rho_l \quad (2)$$

$$\frac{\rho_{min}+0,6\rho_l}{2} \quad (3)$$

donatı değerleri hesaplanarak kiriş genişliğine uygun seçimler yapılmıştır. Farklı her çekme donatısı konfigürasyonu için etriyeler $\emptyset/8/100$, $\emptyset/8/150$, $\emptyset/8/200$ (mm) aralıklarla düzenlenmiştir. XTRACT programında analizi yapılan bir betonarme kiriş kesiti örneği Şekil 4. te gösterilmiştir.



Şekil 4: XTRACT programında analiz edilen 250x500(mm) betonarme kiriş kesiti modeli [4]

Betonarme kiriş kesitleri herhangi bir eksenel yük olmaksızın XTRACT programı ile analiz edilip moment-eğrilik diyagramları oluşturulmuştur.

Farklı beton dayanımı için kullanılan etriye ve boyuna donatı sınıfı S420 olarak seçilmiştir. Üç farklı sargılama tipi seçilip, farklı boyuna donatı oranları ve farklı etriye adım aralığında analizler yapılmıştır. Oluşturulan donatı konfigürasyonları Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 1: C20 beton sınıfı için analizlerde kullanılan donatı konfigürasyonu

Beton (Mpa)	E (Mpa)	Kesit	Ac (mm ²)	Etriye Tipi	Boyuna Donatı	Boyuna Donatı Oranı	Analiz No	Enine Donatı
20	28000	b x h 250 x 500	125000	Single Hoop	2Φ14	0,003	RB01	Φ8/100
							RB02	Φ8/150
							RB03	Φ8/200
					5Φ14	0,006	RB04	Φ8/100
							RB05	Φ8/150
							RB06	Φ8/200
					6Φ16	0,010	RB07	Φ8/100
							RB08	Φ8/150
							RB09	Φ8/200
				Single Hoop+One Tie	2Φ14	0,003	RB10	Φ8/100
							RB11	Φ8/150
							RB12	Φ8/200
					5Φ14	0,006	RB13	Φ8/100
							RB14	Φ8/150
							RB15	Φ8/200
				6Φ16	0,010	RB16	Φ8/100	
						RB17	Φ8/150	
				2Φ14	0,003	RB18	Φ8/200	
				2Φ14	0,003	RB19	Φ8/100	

Single Hoop+Two Tie	5Φ14	0,006	RB20	φ8/150
			RB21	φ8/200
			RB22	φ8/100
			RB23	φ8/150
	6Φ16	0,010	RB24	φ8/200
			RB25	φ8/100
			RB26	φ8/150
			RB27	φ8/200

Tablo 2: C30 beton sınıfı için analizlerde kullanılan donatı konfigürasyonu

Beton (Mpa)	E (Mpa)	Kesit	Ac (mm ²)	Etriye Tipi	Boyuna Donatı	Boyuna Donatı Oranı	Analiz No	Enine Donatı
30	32000	b×h 250×500	125000	Single Hoop	2Φ16	0,003	RB 01-27	φ8/100 φ8/150 φ8/200
					4Φ18	0,008		
					4Φ24	0,014		
					2Φ16	0,003		
					4Φ18	0,008		
					4Φ24	0,014		
				Single Hoop+Two Tie	2Φ16	0,003		
					4Φ18	0,008		
					4Φ24	0,014		

Tablo 3: C40 beton sınıfı için analizlerde kullanılan donatı konfigürasyonu

Beton (Mpa)	E (Mpa)	Kesit	Ac (mm ²)	Etriye Tipi	Boyuna Donatı	Boyuna Donatı Oranı	Analiz No	Enine Donatı
40	34000	b×h 250×500	125000	Single Hoop	4Φ12	0,004	RB 01-27	φ8/100 φ8/150 φ8/200
					3Φ24	0,011		
					5Φ24	0,018		
					4Φ12	0,004		
					3Φ24	0,011		
					5Φ24	0,018		
				Single Hoop+Two Tie	4Φ12	0,004		
					3Φ24	0,011		
					5Φ24	0,018		

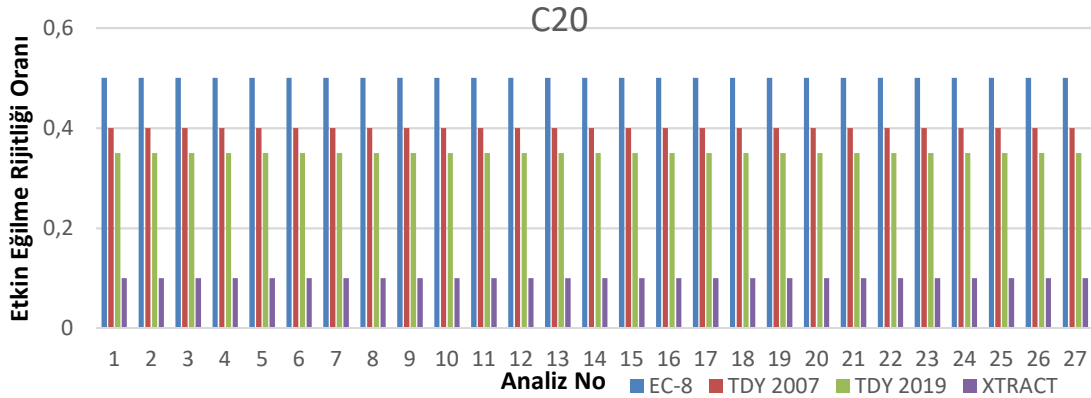
4. Sonuçlar

Betonarme yapıların performansına dayalı analizi günümüzde kullandığımız TDY(2007) 7. bölüm mevcut yapıların analizinde kullanılırken taslak olarak hazırlanan ve 01 Ocak 2019'da yürürlüğe girecek olan TBDY (2019)'da yalnızca mevcut yapıların değil aynı zamanda yeni yapılacak yapıların tasarımında da kullanılması konusu gündeme gelmiştir [8]. Betonarme eleman kesitlerinin elastik ötesi davranışı öngörülerek yapılan tasarımlar çok daha gerçekçi değerler ortaya koymaktadır. Çatlamış beton kesitine ait etkin eğilme rijitliği (EI_e), başlangıç eğilme rijitliği (EI_0) değerine göre çok daha düşüktür. Kesitin etkin eğilme rijitliği değerinin gerçek değerinden yüksek alınması, yapının rijitliğinin olduğundan fazla hesaplanmasına neden olacaktır. Ayrıca betonarme yapıların değerlendirmesinde hatalara sebep olmaktadır [10]. Etkin eğilme rijitliği yönetmelikler de çeşitli katsayılarla hesaba katılmaktadır (Tablo 4).

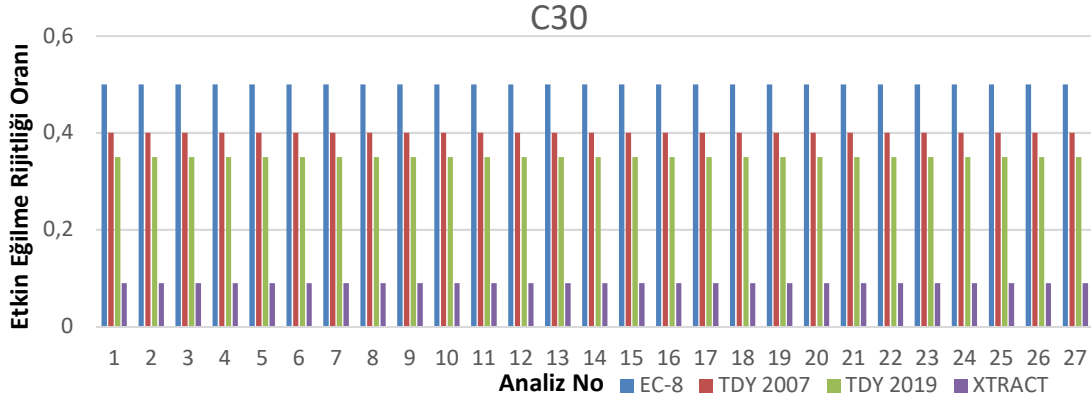
Tablo 4: Yönetmeliklerde verilen etkin eğilme rijitliği katsayıları [5-6-7]

Yönetmelik	Etkin Eğilme Rijitliği Katsayısı (Kiriş)
TBDY (2019)	0,35 EI_0
DBYBHY (2007)	0,40 EI_0
EUROCODE-8	0,50 EI_0

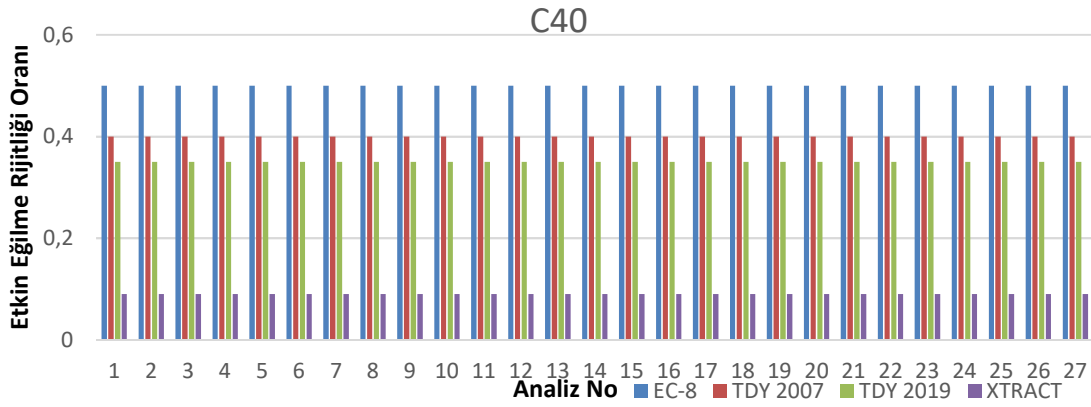
Bu çalışmada XTRACT programında 87 farklı betonarme kiriş kesiti analizi yapılmış olup, her bir analiz için çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği değeri hesaplanmıştır. Farklı beton sınıfları için bulunan etkin eğilme rijitliği değerleri ve yönetmeliklerle karşılaştırması Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 5: C20 beton sınıfı için 250x500(mm) kiriş kesiti etkin eğilme rijitliği oranları



Şekil 6: C30 beton sınıfı için 250x500(mm) kiriş kesiti etkin eğilme rijitliği oranları



Şekil 7: C40 beton sınıfı için 250x500(mm) kiriş kesiti etkin eğilme rijitliği oranları

Yapılan analiz sonuçlarında çatlama kesite ait etkin eğilme rijitliğinin başlangıç kesit rijitliğine oranı ortalama 0,10 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan çatlama kesite ait etkin eğilme rijitliği değerinin yönetmeliklerde verilen katsayılardan düşük olduğu görülmüştür. Mevcut yönetmelikte (2007) 0,40 olan değer TBDY (2019)'da 0,35 olarak hesaba katılmaktadır.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2019) EK 5A. da kirişler için amprik eşdeğer akma eğrilikleri formülasyonu tanımlanmıştır [6].

$$\varphi_y = 1.80 \frac{\varepsilon_y}{h_b} \quad (4)$$

Burada;

φ_y = Akma eğriliği

ε_y = Donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi

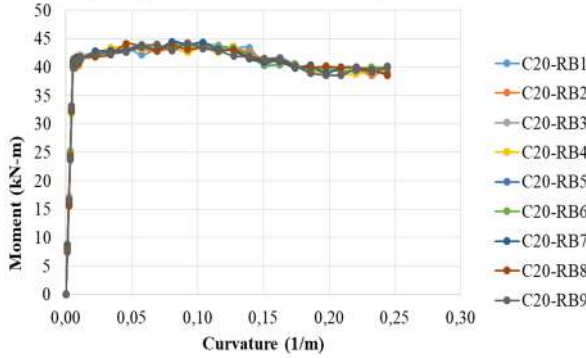
h_b = Kiriş yüksekliği (m)

Denklem 4 de verilen amprik formül üzerinde hesaplama yapıldığında;

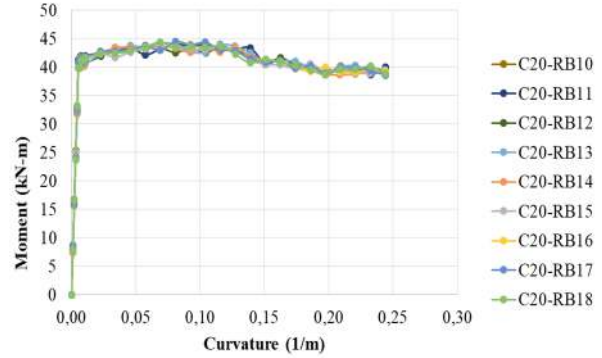
$$\varphi_y = 1.80 \frac{0.0021}{0.5} = 0.00756 \text{ (1/m)}$$

eşdeğer akma eğriliği değerine ulaşılır.

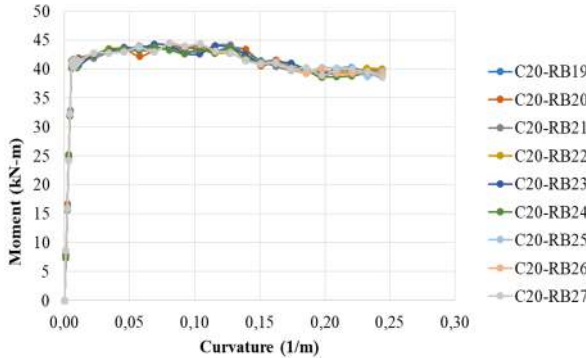
XTRACT programı aracılığı ile yapılan analiz sonuçları incelendiğinde C20 beton sınıfı için elde edilen moment-eğrilik grafikleri Şekil 8-a, Şekil 8-b ve Şekil 8-c de sunulmuştur. RB 01-09 single hoop etriye tipi (Şekil 8-a), RB 10-18 single hoop 1 tie etriye tipi (Şekil 8-b), RB 19-27 single hoop 2 tie etriye tipi (Şekil 8-c) için yapılan analiz sonuçlarını içermektedir.



Şekil 8-a: C20 beton sınıfı için moment-eğrilik diyagramı

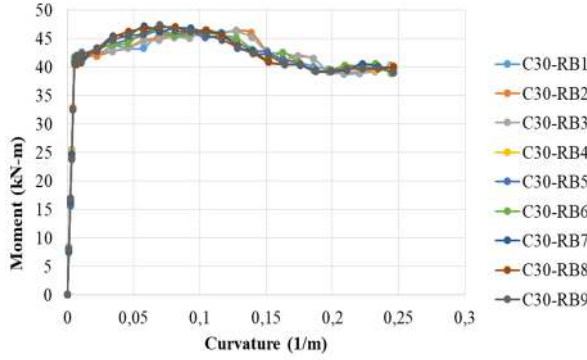


Şekil 8-b: C20 beton sınıfı için moment-eğrilik diyagramı

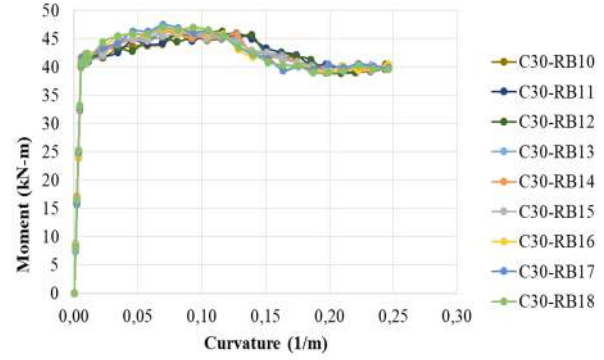


Şekil 8-c: C20 beton sınıfı için moment-eğrilik diyagramı

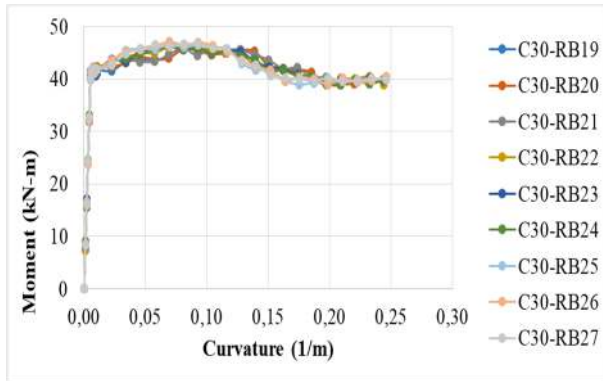
C30 beton sınıfı için yapılan analizlerden elde edilen moment-eğrilik grafikleri Şekil 9-a, Şekil 9-b ve Şekil 9-c'de ifade edilmiştir. RB 01-09 single hoop etriye tipi (Şekil 9-a), RB 10-18 single hoop 1 tie etriye tipi (Şekil 9-b), RB 19-27 single hoop 2 tie etriye tipi (Şekil 9-c) için yapılan analiz sonuçlarını içermektedir.



Şekil 9-a: C30 beton sınıfı için moment-eğrilik diyagramı

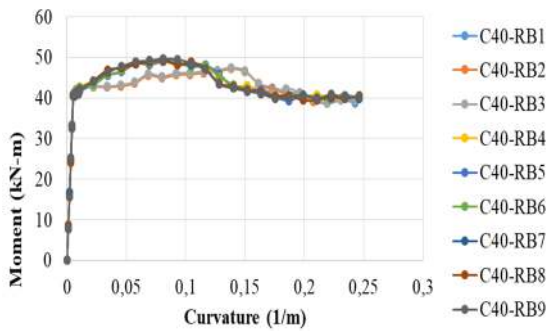


Şekil 9-b: C30 beton sınıfı için moment-eğrilik diyagramı

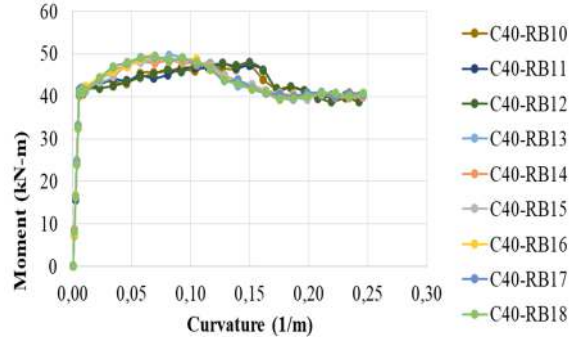


Şekil 9-c: C30 beton sınıfı için moment-eğrilik diyagramı

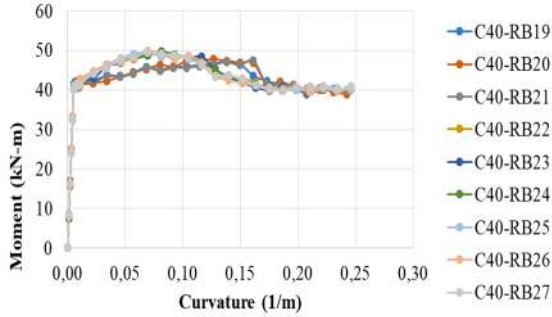
C40 beton sınıfı için yapılan analizlerden elde edilen moment-eğrilik grafikleri Şekil 10-a, Şekil 10-b ve Şekil 10-c de ifade edilmiştir. RB 01-09 single hoop etriye tipi (Şekil 10-a), RB 10-18 single hoop 1 tie etriye tipi (Şekil 10-b), RB 19-27 single hoop 2 tie etriye tipi (Şekil 10-c) için yapılan analiz sonuçlarını içermektedir.



Şekil 10-a: C40 beton sınıfı için moment-eğrilik diyagramı



Şekil 10-b: C40 beton sınıfı için moment-eğrilik diyagramı



Şekil 10-c: C40 beton sınıfı için moment-eğrilik diyagramı

Yapılan 87 analiz için moment-eğrilik diyagramları incelendiğinde;

C20 beton sınıfı için yapılan analizlerde akma momenti değeri yaklaşık 44 kNm, C30 beton sınıfı için yapılan analizlerde akma momenti değeri yaklaşık 46 kNm ve C40 beton sınıfı için yapılan analizlerde akma momenti değerinin yaklaşık 48 kNm olduğu görülmüştür. Beton basınç dayanımının C20 den C30 ve C40'a çıkması durumunda akma momenti kapasitesinde yaklaşık % 4'lük bir artış gözlenmiştir.

Farklı beton dayanımlarındaki analizlerde akma eğriliği değeri (ϕ_y) yaklaşık 0,006 (1/m) olarak hesaplanıp, fazla bir değişim göstermemektedir. Bunun sebebi olarak betonarme kesit boyutunun sabit tutulması ve kullanılan donatı sınıfının (S420) değiştirilmemesi söylenebilir.

Kiriş etriye sıklığının; çekme donatısı oranının düşük olduğu durumlarda moment kapasitesine etkisi çok fazla olmamaktadır. Bunun sebebi kirişte eğilme sırasında etriye etkili olmadan çekme donatısının akması olarak yorumlanabilir. Beton sınıflarına göre oluşturulmuş moment-eğrilik grafiklerinde beton dayanımının artması kesiti daha gevrek davranışa götürmektedir.

Bu çalışma bilgisayar ortamında analitik olarak yapılmış olup yaklaşık değerler sunmaktadır. Çalışmanın gerçekliği deneysel çalışmalarla desteklenmelidir.

Referanslar:

- [1] Eker O. Betonarme Düzensiz Bir Binanın Deprem Güvenliğinin Doğrusal Olmayan Yöntemle İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi; 2005.
- [2] Erdem C, Ersoy U, Özcebe G, Sucuoğlu H. Binalar İçin Deprem Mühendisliği Temel İlkeler
- [3] Ozturk H, Dok G, Demir A. Betonarme Perdelerin Etkin Eğilme Rijitliklerinin Belirlenmesi ve Yönetmeliklerle Karşılaştırılması
- [4] Xtract v.3.0 Cross-Sectional Analysis of Components, Imbsen Software System, 9912 Business Park Drive, Suite 130 Sacramento, CA 95827
- [5] TDY-2007 (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Çevre ve

Şehircilik Bakanlığı

[6] TBDY-2019 (2019), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

[7].EUROCODE-8 Design of Structures for Earthquake Resistance

[8] Dok G, Ozturk H, Demir A. Dikdörtgen Kesitli Perdelerin Akma Eğriliklerinin Tespiti İçin TDBY-2016'da Verilen Ampirik Bağıntının İncelenmesi.

[9] Kaltakçı Y, Korkmaz H, Korkmaz Z. Basit Eğilme Etkisindeki Betonarme Elemanların Moment-Eğrilik ve Tasarım Değişkenleri Üzerine Analitik Bir İnceleme. Journal Of Engineering Sciences, Selçuk Üniversitesi; 2001.

[10]Caglar N, Demir A. Dairesel Betonarme Kolonlarda Çatlamış Kesite Ait Etkin Eğilme Rijitliklerinin İrdelenmesi. ISITES, 2013.