

Geleneksel Donatılı Bağ Kirişlerinin Kapasite Tasarımı Üzerine Parametrik Bir Çalışma

Rohullah JAMAL^{1*}, S. Bahadır YÜKSEL²

¹Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 42250, Konya

²Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 42250, Konya

¹<https://orcid.org/0000-0001-5987-8502>

²<https://orcid.org/0000-0002-4175-1156>

*Sorumlu yazar: jamal.rohullah@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 13 Ekim 2020
Kabul tarihi: 28 Aralık 2020
Online Yayınlanma: 2 Mart 2021

Anahtar Kelimeler:

Bağ kirişi
Kapasite tasarımı
Betonarme binalar
Doğrusal-elastik
Süneklik
Net açıklık
Geleneksel donatılmış bağ kirişleri

ÖZET

Diğer modern deprem yönetmeliklerinde olduğu gibi, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde de (TBDY, 2018) kapasite tasarımı ilkesi ve uygulamaları yer almaktadır. Kapasite tasarımı ilkesine göre, betonarme elemanlarda kesme kırılmasının oluşması önlenmelidir. Betonarme elemanların daha yüksek bir kapasiteye sahip olacak şekilde boyutlandırılması, boyuna ve enine donatıların uygun bir şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, net açıklığının kesit yüksekliğine oranı $2 \leq l_n/h \leq 4$ olan geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinin davranışı araştırılmıştır. Bağ kirişleri diyagonal donatılı ve geleneksel donatılı olacak şekilde iki farklı şekilde tasarlanmaktadır. Geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinin kesit genişliği 300 mm, kesit yüksekliği 800 mm ve kesit faydalı yüksekliği 750 mm olacak şekilde seçilmiştir. Geleneksel donatılmış bağ kirişlerde beton sınıfı C30 ve C45 donatı sınıfı B420C olarak seçilmiştir. Geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerde çekme ve basınç donatısı oranları eşit alınmıştır. Bu çalışmada geleneksel donatılmış bağ kirişlerinin taşıma kapasiteleri kapasite tasarımı ile elde edilmiştir. Bağ kirişlerde beton basınç dayanımının, boyuna donatı oranının, enine donatıların çapı ve aralığının ve kiriş açıklığının yüksekliğine oranının (l_n/h) kesme taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinde, enine donatı çapının, enine donatı aralığının, beton basınç dayanımının ve (l_n/h) oranının kesme kapasitesine etkili olduğunu ispatlanmıştır.

A Parametric Study on the Capacity Design of Conventional Reinforcement Coupling Beams

Research Article

Article History:

Received: 13 October 2020
Accepted: 28 December 2020
Published online: 2 March 2021

Keywords:

Coupling beams
Capacity design
Reinforced concrete buildings
Linear-elastic
Ductility
Net span
Conventional reinforcement coupling beams

ABSTRACT

As with other modern earthquake regulations, the Turkey Seismic Building Code (TSC, 2018) capacity design principles and applications are included. According to capacity design principle, occurrence of the shear failure should be prevented. Reinforced concrete elements should be dimensioned and their longitudinal and transverse reinforcements should be placed appropriately to have a higher capacity. In this study, behavior of conventionally reinforced concrete coupling beams with a net span to section height ratio of $2 \leq l_n/h \leq 4$ was investigated. The coupling beams reinforcement are designed in two different types, diagonal reinforced and conventional reinforced. Conventional reinforced concrete coupling beams are selected to have cross section width of 300 mm, section height of 800 mm and available head section of 750 mm. In conventional reinforced concrete coupling beams, C30 and C45 concrete class and B420C reinforcement class have been selected. In conventional reinforced concrete coupling beams, the tensile and compression reinforcement ratios were taken equal. In this study, the bearing capacity of conventional reinforced concrete coupling beams were obtained by capacity design. The effects of concrete compressive strength, longitudinal

reinforcement ratio, diameter and spacing of transverse reinforcement and (l_n/h) ratios on coupling beams were investigated. According to the results obtained from the study, it has been proved that the diameter of transverse reinforcement, transverse reinforcement space, concrete compressive strength and (l_n/h) ratios are effective on shear capacity of the conventional reinforced concrete coupling beams.

To Cite: Jamal R., Yüksel SB. Geleneksel Donatılı Bağ Kirişlerinin Kapasite Tasarımı Üzerine Parametrik Bir Çalışma, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2021; 4(1): 45-58.

1. Giriş

Bağ kirişleri genellikle orta ve yüksek binalarda, merdivenlerin ve asansörlerin çevresinde bulunan perde duvarların bağlanması amacıyla kullanılmaktadır. Bağ kirişlerinin deformasyon yapabilmesi elemanın kesme deformasyonu yapabilme kapasitesine bağlıdır. Bağ kirişleri iki perde duvarı birleştirerek kesme etkisinin perde duvarlara aktarılmasını sağlayarak, perde duvarların eğilme rijitliğinin artmasına sebep olur. Buna ilaveten bağ kirişleri, aşırı plastik deformasyona maruz kalarak sismik enerjinin yutulmasını sağlarlar. Bağ kirişlerinin tasarımında amaç, bağ kirişlerinin sünek davranmasını, sismik yükler etkisi altında fazla dönme yapabilmesini ve daha fazla enerji tüketilmesini sağlayabilmektir [1].

Bağ kirişli sistemlerde bağ kirişleri perde duvarlar ile birlikte çalışmakta ve deprem sırasında aşırı kesme kuvvetlerine maruz kalmaktadır [2]. Bağ kirişleri genellikle kısa ve derin elemanlar olarak tanımlanır. Düşük net açıklık/derinlik oranına sahip olduklarından yüksek kesme kuvvetlerine maruz kalırlar. Bağ kirişlerinin dayanım ve rijitliklerini artırabilmek ve gevrek kırılmayı önlemek için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Farklı araştırmacılar tarafından geleneksel donatılmış bağ kirişlerinin test sonuçları irdelenmiştir [3].

Bağ kirişlerinin davranışını büyük ölçüde etkileyen faktörlerden birisi bağ kirişi net açıklığının derinliğine oranıdır. Eğer bağ kirişi net açıklığının derinliğine oranı dörtten büyük ise, bağ kirişi narin veya ince bağ kirişi olarak tanımlanır ve düzlem kesit teorisi, eğilme davranışının belirlenmesi için kullanılabilir. Net açıklığının derinliğine oranı ikiden küçük olan bağ kirişleri ise derin bağ kirişleri olarak tanımlanır. Bu durumda elemanlar aşırı kesme kuvvetine maruz kaldığı için yönetmeliklere göre çapraz donatılar ile donatılmaktadır. Net açıklığının derinliğine oranı 2 ile 4 arasında olan bağ kirişleri normal uzunluklu bağ kirişleri olarak tanımlanır. Normal uzunluklu bağ kirişleri ile ilgili literatürde

sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır [4].

Net açıklığının derinliğine oranı 2 ile 4 arasında olan normal uzunluklu bağ kirişlerinin donatılması ile ilgili, ACI318-14'de [5] net bir açıklama yapılmamıştır. Net açıklığının derinliğine oranı 2 ile 4 arasında olan bağ kirişlerinin donatılması tasarımcının kararına bırakılmıştır. Bu durumda hem diyagonal hem de geleneksel donatı kullanılabilir. Net açıklığının derinliğine oranı ikiden küçük olan bağ kirişlerinin, ACI318-14'e [5] göre diyagonal donatılar ile donatılması önerilmiş ve bu donatıların kesme ve eğilmeye karşı çok etkili olduğu ispatlanmıştır [2]. Net açıklığının derinliğine oranı dörtten büyük olan bağ kirişlerinin geleneksel kesme donatısı ile donatılması önerilmiş ve diyagonal donatıların kesmeye karşı çok etkili olmadığı ve geleneksel etriyelerin çok daha etkili olduğu gözlemlenmiştir [2, 3].

Erwin ve ark. [2] yaptıkları deneysel çalışmaların sonucunda normal uzunluklu bağ kirişlerinde çapraz donatıların kesmeye karşı çok etkili olmadığını ispatlamıştır. Normal uzunluklu bağ kirişlerinde etriyelerin kesmeye karşı daha fazla etkili olduğu görülmüştür. Deneysel çalışmalar sonucunda çapraz donatılarla donatılmış kısa açıklıklı derin bağ kirişlerinin kesme ve eğilmeye karşı çok etkili olduğu görülmüştür [2].

Bu çalışmanın amacı normal uzunluklu geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinin akma durumunda ve kırılma durumunda kesme kapasitelerinin araştırılmasını içeren analitik bir çalışmanın yapılmasıdır. Geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişi modelleri çekme ve basınç donatısı miktarı eşit olacak şekilde ($4\Phi 20$ mm, $4\Phi 26$ mm ve $4\Phi 32$ mm) donatılmıştır. Tasarlanan bağ kirişlerinde üç farklı çekme ve basınç donatısı oranı seçilerek parametrik çalışma yapılmıştır. Bağ kirişleri iki sıra $2\Phi 14$ mm gövde donatısı ile donatılmıştır. Beton basınç dayanımının bağ kirişi davranışı üzerindeki etkisini araştırmak için analizlerde C30 ve C45 olacak şekilde iki farklı beton sınıfı dikkate alınmıştır. Çalışmada malzeme modellerinde kullanılan parametreler

TBDY 2018'e göre dikkate alınarak SAP 2000 [6] programına tanımlanmıştır. Bu çalışmada geleneksel donatılmış bağ kirişlerinin davranışı analitik olarak araştırılmıştır. Çalışmada altı tip toplam 30 adet bağ kirişi tasarlanmıştır. Tasarım parametrelerinin incelenmesi için analizlerde dikkate alınan bağ kirişlerinin en-kesit geometrisi ve donatı yerleşim planı Şekil 1'de verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Betonarme kesitlerin moment-eğrilik ilişkisini etkileyen ve tasarım aşamasında birer parametre olarak düşünülen, beton basınç dayanımı, çekme ve basınç donatısı oranı, enine donatı oranı ve eksenel basınç kuvveti gibi faktörler moment-eğrilik davranışını etkileyen parametreler olarak bilinmektedir. Bu amaçla geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinin moment-eğrilik ilişkisi araştırılarak akma momenti, maksimum momenti ve bunlara karşılık gelen eğrilik değerleri elde edilmiştir. Betonarme bağ kirişlerinin davranışının anlaşılabilmesi için bağ kirişlerinin moment eğrilik ilişkilerinin elde edilmesi gerekmektedir. Geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinin doğrusal olmayan davranışına etki eden faktörler; çekme ve basınç donatısı oranı, enine donatıların çapı ve aralığı, beton basınç dayanımı ve net açıklık/derinlik oranıdır. Tasarım parametrelerinin incelenmesi için analizlerde dikkate alınan bağ kirişlerinin kesiti 300 mm×800 mm boyutlarında olup Şekil 1'de kesit geometrisi ve donatı yerleşim planı verilmiştir.

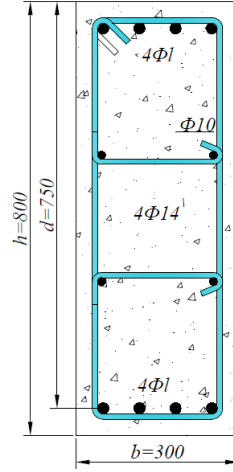
Geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinin moment-eğrilik ilişkileri gerçekçi malzeme modelleri kullanılarak SAP2000 programı ile elde edilmiştir. Modellenen bağ kirişlerinin moment eğrilik ilişkisinin grafikleri çizilerek akma momenti (M_y) ve maksimum moment (M_u) değerleri elde edilmiştir. Analiz edilen geleneksel donatılmış bağ kirişlerinin akma momenti, maksimum momenti ve bunlara karşılık gelen eğrilik değerleri, akma durumuna karşı gelen kesme kapasite dayanımı ve maksimum kesme kapasite dayanımının değerleri kapasite tasarımı yöntemi ile elde edilmiştir. Geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinin doğrusal olmayan davranışları dikkate alınarak analizler SAP2000 (Ver.20.2.0) [6] programında gerçekleştirilmiştir.

Betonarme bağ kirişlerinin analizleri yapılırken, en-kesitteki çekme, basınç ve enine donatıların oranları, kullanılan donatıların çapı ve yerleşim düzeni dikkate alınarak analizler yapılmıştır. TBDY [7]'ye göre geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinin akma ve maksimum kesme kapasite dayanımı Denklem 1 ile hesaplanmıştır.

$$V_y = \frac{2M_y}{l_n} \quad , \quad V_u = \frac{2M_u}{l_n} \quad (1)$$

Denklem (1)'de V_y, M_y, V_u, M_u ve l_n sırasıyla, akma durumundaki kesme kapasitesi ve momenti, maksimum kesme kapasitesi ve momenti ve elemanın net açıklığıdır. Bu çalışmada altı tip toplam 30 adet sabit en-kesitli, farklı çekme ve basınç donatısı oranına, beton basınç dayanımına ve net açıklık derinlik oranına sahip geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişi modelleri tasarlanmıştır. Geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinin modellenmesinde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği [7] ve Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TS500, 2000)'de verilen hükümler dikkate alınmıştır. Tasarımda kullanılan beton ve donatıların mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. SAP2000 [6] programında tanımlanan beton ve donatı çeliği için hesaplarda ve malzeme modellerinde kullanılan parametreler Tablo 1'de özetlenmiştir. Betonarme kesitlerde eksenel yükün etkili olmadığı durumlarda sargı donatısının etkisi azalmaktadır. Bundan dolayı analizlerde beton modeli olarak Mander sargısız beton modeli kullanılmıştır [8]. Bağ kirişlerinin en-kesit boyutları ve donatı yerleşim planı Şekil 1'de verilmiştir.

Şekil 1'de verilen bağ kirişlerinin kapasite tasarımı yöntemine göre kesme kapasite dayanımları hesaplanmıştır. Hesaplarda kullanılan malzeme özellikleri özet olarak Tablo 2 ve 3'te verilmiştir. Şekil 1'de; b ; bağ kirişlerin en-kesit genişliğini, d ; bağ kirişlerin faydalı yüksekliğini ve h ; bağ kirişlerin en-kesit yüksekliğini gösterilmektedir. Tablo 2 ve 3'te, A_s, A'_s, f_c, Φ ve l_n sırası ile bağ kirişlerin çekme donatısı alanı, basınç donatısı alanı, beton basınç dayanımı, donatı çapı ve net açıklığıdır.



Şekil 1. Tasarlanan geleneksel donatılmış bağ kirişlerinin en-kesit boyutları ve donatılarının yerleşim planı

Tablo 1. Malzeme modellerinde kullanılan parametreler [7]

Malzeme	Parametre	Değer
Beton Sınıfı: C30, C45	Sargısız betonun maksimum gerilmeye ulaştığı birim şekil değiştirme değeri (ϵ_{co})	0,002
	Sargısız betonun nihai birim şekil-değiştirmesi (ϵ_{cu})	0,0035
	Karakteristik beton basınç dayanımı (f_{ck})	30-45MPa
Donatı Çeliği: B420C	Donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi (ϵ_{sy})	0,0021
	Donatı çeliğinin pekleşme birim şekil değiştirmesi (ϵ_{sp})	0,008
	Donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi (ϵ_{su})	0,08
	Donatı çeliğinin karakteristik akma dayanımı (f_{yk})	420 MPa
	Donatı çeliğinin karakteristik kopma dayanımı (f_{su})	550 MPa

Tablo 2. Tip-1 olarak tasarlanan kiriş modellerine ait parametreler

Kesit Grubu	Kesit No	l_n/h	Beton Sınıfı	A_s (mm^2)	A'_s (mm^2)	$\rho = \rho'$
Tip-1	B1-1	2,0	30	4Φ20	4Φ20	0,005585
	B1-2	2,5				
	B1-3	3,0				
	B1-4	3,5				
	B1-5	4,0				
Tip-2	B2-1	2,0	30	4Φ26	4Φ26	0,009439
	B2-2	2,5				
	B2-3	3,0				
	B2-4	3,5				
	B2-5	4,0				
Tip-3	B3-1	2,0	30	4Φ32	4Φ32	0,014300
	B3-2	2,5				
	B3-3	3,0				
	B3-4	3,5				
	B3-5	4,0				

Tablo 3. Tip-2 olarak tasarlanan kiriş modellerine ait parametreler

Kesit Grubu	Kesit No	l_n/h	Beton Sınıfı	A_s (mm^2)	A'_s (mm^2)	$\rho = \rho'$
Tip-4	B4-1	2,0	45	4Φ20	4Φ20	0,005585
	B4-2	2,5				
	B4-3	3,0				
	B4-4	3,5				
	B4-5	4,0				
Tip-5	B5-1	2,0	45	4Φ26	4Φ26	0,009439
	B5-2	2,5				

	B5-3	3,0				
	B5-4	3,5				
	B5-5	4,0				
	B6-1	2,0				
	B6-2	2,5		4Φ32	4Φ32	
Tip-6	B6-3	3,0	45	3217,0	3217,0	0,014300
	B6-4	3,5				
	B6-5	4,0				

Geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinin çatlamamış kesit rijitlikleri (EI) kesit geometrisi (b ve h) ve betonun elastisite modülü (E_c) dikkate alınarak Denklem 3 ile hesaplanmıştır. E_c farklı beton sınıfları için TS-500, 2000'de [9] verilen karakteristik beton basınç dayanımına (f_{ck}) göre Denklem 2 ile hesaplanmıştır. Betonarme bağ kirişlerinin elastisite modülleri ve brüt kesit atalet momentleri Denklem 2 ile hesaplanmıştır.

$$E_c = 3250\sqrt{f_{ck}} + 14000, \quad I = \frac{bh^3}{12}, \quad (2)$$

Denklem 2'de E_c , f_{ck} ve I sırasıyla beton elastisite modülünü, beton karakteristik basınç dayanımını ve betonarme bağ kirişlerin brüt atalet momentini göstermektedir. Çatlamamış betonarme bağ kirişlerinin eğilme rijitliği, etkin eğilme rijitliği ve etkin rijitlik çarpanları Denklem 3 ile hesaplanmıştır. Denklem 3'te EI, EI_e , M_y , k_y ve k_e sırasıyla bağ kirişlerinin çatlamamış kesitlerin eğilme rijitliğini, etkin eğilme rijitliğini, akma momentini, akma eğriliğini ve etkin rijitlik çarpanlarını göstermektedir.

$$EI = E_c I, \quad EI_e = \frac{M_y}{k_y}, \quad k_e = \frac{EI_e}{EI} \quad (3)$$

Geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerin etkin rijitlik çarpanları farklı yönetmelikler ve araştırmacılar tarafından önerilen formüller ile hesaplanmıştır. Etkin rijitlik çarpanlarını hesaplamak için farklı yönetmelikler ve araştırmacılar tarafından önerilen formüller sırasıyla aşağıda verilmiştir.

Etkin rijitlik çarpanları ACI 318-14'e göre [5] Denklem 4 ile hesaplanmaktadır.

$$k_e = 0,35 \quad k_e = (0,1 + 25\rho_s) \left(1,2 - 0,2\frac{b}{d}\right) \leq 0,5 \quad (4)$$

Denklem 4'te; ρ_s , d ve b boyuna donatı oranını, en-kesit faydalı yüksekliğini ve en-kesit genişliğini göstermektedir.

ASCE 41-17 [10] ve TBDY 2018'de [7] verilen etkin rijitlik çarpanı sırasıyla $k_e = 0,3$ ve $k_e = 0,35$ olacak şekilde tanımlanmıştır.

Geleneksel donatılmış bağ kirişlerinin etkin rijitlik çarpanı Yeni Zelanda yönetmeliğine göre NZS 3101-3 [11] Denklem 5 ile hesaplanmaktadır.

$$k_e = \frac{0,4}{1 + 8\left(\frac{d}{l}\right)^2} \quad (5)$$

Geleneksel donatılmış bağ kirişlerinin etkin rijitlik çarpanı için Paulay ve Priestley [12] tarafından önerilen formül, Denklem 6'te verilmiştir.

$$k_e = \frac{0,2}{1 + 3\left(\frac{d}{l}\right)^2} \quad (6)$$

Betonarme bağ kirişlerinin etkin rijitlik çarpanlarını hesaplamak için Taranath [13] tarafından önerilen formül, denklem 7'de verilmiştir.

$$k_e = \frac{1}{1 + 2,4\left(\frac{d}{l}\right)^3 (1 + \nu)} \quad (7)$$

Denklem 5, 6 ve 7'de; ν , d ve l sırasıyla betonun poisson oranı, bağ kirişlerin faydalı yüksekliği ve bağ kirişlerinin açıklığıdır. Farklı beton sınıfları için poisson oranı ($\nu=0,2$) olarak verilmektedir. Akma ve maksimum kesme kapasite dayanımını elde etmek için bağ kirişlerinin net açıklığının hesaplanması gerekmektedir. Bağ kirişlerinin plastik mafsallık uzunluğu ve net açıklığı Denklem (8) ile hesaplanmıştır.

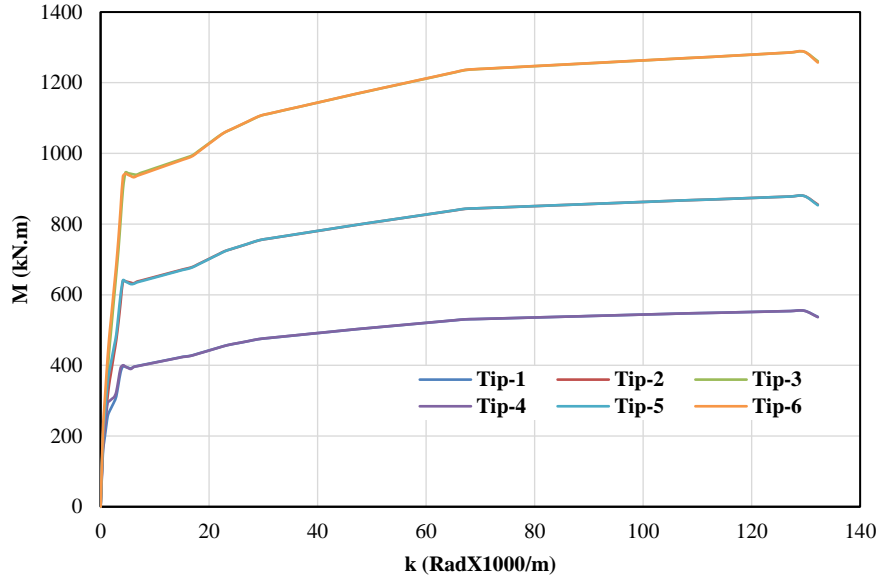
$$l_p = 0,5h, \quad l_n = l - (l_p/2) \quad (8)$$

Denklem 8'de; d; bağ kirişlerinin faydalı yüksekliğini, l; bağ kirişlerinin net açıklığını, l_p ; bağ kirişlerde plastik mafsallık uzunluğunu ve l_n ; bağ kirişlerinin net açıklığını göstermektedir.

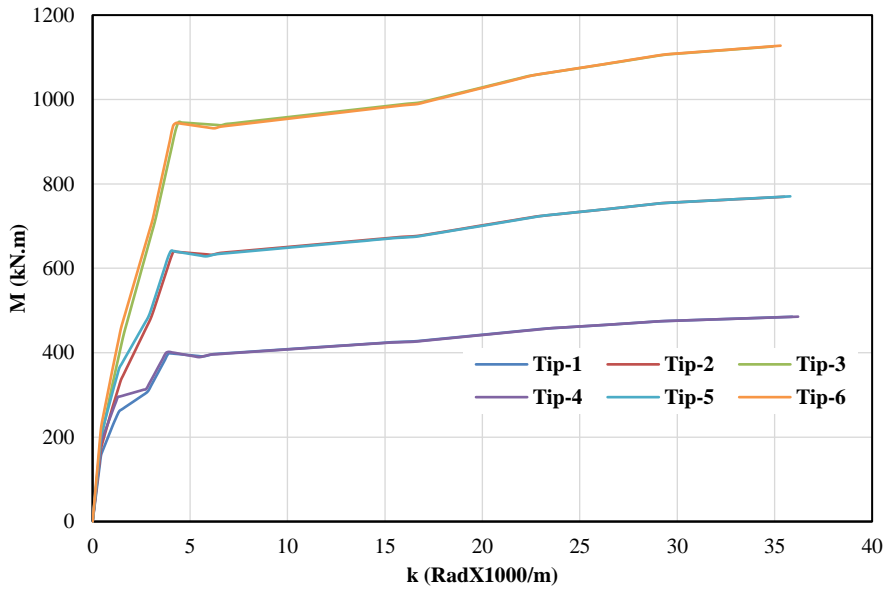
3. Analitik Çalışma

Geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinde kullanılan malzeme özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Tasarlanan geleneksel donatılmış

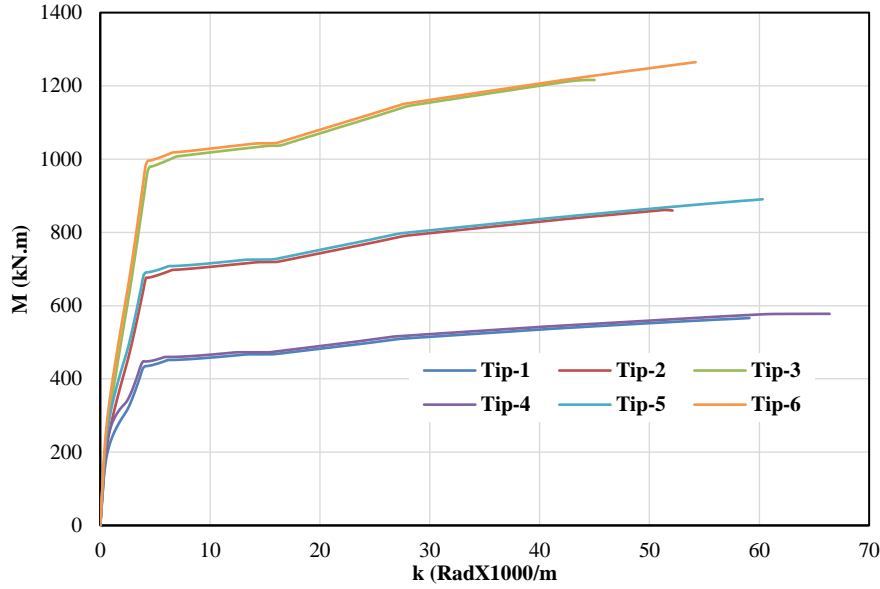
betonarme bağ kirişlerinin moment eğrilik ilişkilerinin grafikleri SAP 2000 [6] programı ile elde edilmiştir. Moment-eğrilik ilişkisinin grafikleri Şekil 2, 3 ve 4'de verilmiştir.



Şekil 2. Tip (1, 2, 3, 4, 5 ve 6) bağ kirişlerinin moment eğrilik ilişkisinin grafikleri (Fiber Integration).



Şekil 3. Tip (1, 2, 3, 4, 5 ve 6) bağ kirişlerin moment eğrilik ilişkisinin grafikleri (Fiber İdeal Integration).



Şekil 4. Tip (1, 2, 3, 4, 5 ve 6) bağ kirişlerin moment eğrilik ilişkisinin grafikleri (Exact İdeal Integration).

Geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinin akma momentleri ve maksimum moment taşıma kapasiteleri SAP 2000 [6] programından elde edilen moment eğrilik ilişkisi sonuçlarından hesaplanarak Tablo 4 ve 5'te verilmiştir. Bağ kirişlerinin akma ve maksimum kesme taşıma kapasitesini elde etmek için bağ kirişlerinin plastik mafsalsal uzunluğu ve net açıklığı Denklem 7 ile hesaplanmıştır. Geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinin akma ve maksimum kesme taşıma kapasitesi Denklem 1 ile hesaplanmıştır. Tasarlanan geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinin elde edilen akma ve maksimum kesme kapasiteleri Tablo 6 ve 7'de özetlenmiştir. Geleneksel donatılmış betonarme

bağ kirişlerinin etkin rijitlik çarpanları farklı yönetmelik ve araştırmacılar tarafından önerilen formüller ile hesaplanmıştır. Hesaplanan etkin rijitlik çarpanları karşılaştırmalı olarak Tablo 8 ve 9'da verilmiştir. Şekil 2, 3 ve 4'te ve Tablo 4, 5, 6 ve 7'de belirtilen Fiber Integration, Fiber İdeal Integration, Exact İdeal Integration ifadeleri SAP2000 [6] programında moment eğrilik analizlerinde kullanılan çözüm yöntemlerinden elde edilen sonuçları ifade etmektedir.

Tablo 4. Tip-(1, 2 ve 3) geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinin M_y ve M_u değerleri

Kesit Grubu	Kesit No	l_n/h	Fiber Integration		Fiber İdeal Integration		Exact İdeal Integration	
			M_y (kN.m)	M_u (kN.m)	M_y (kN)	M_u (kN)	M_y (kN)	M_u (kN)
Tip-1	B1-1	2,0	388,5	554,8	397,6	485,2	429,8	566,1
	B1-2	2,5	388,5	554,8	397,6	485,2	429,8	566,1
	B1-3	3,0	388,5	554,8	397,6	485,2	429,8	566,1
	B1-4	3,5	388,5	554,8	397,6	485,2	429,8	566,1
	B1-5	4,0	388,5	554,8	397,6	485,2	429,8	566,1
Tip-2	B2-1	2,0	631,8	879,5	638,3	769,5	673,6	859,7
	B2-2	2,5	631,8	879,5	638,3	769,5	673,6	859,7
	B2-3	3,0	631,8	879,5	638,3	769,5	673,6	859,7
	B2-4	3,5	631,8	879,5	638,3	769,5	673,6	859,7
	B2-5	4,0	631,8	879,5	638,3	769,5	673,6	859,7
Tip-3	B3-1	2,0	919,1	1287,6	936,9	1125,7	968,0	1215,9
	B3-2	2,5	919,1	1287,6	936,9	1125,7	968,0	1215,9
	B3-3	3,0	919,1	1287,6	936,9	1125,7	968,0	1215,9
	B3-4	3,5	919,1	1287,6	936,9	1125,7	968,0	1215,9
	B3-5	4,0	919,1	1287,6	936,9	1125,7	968,0	1215,9

Tablo 5. Tip-(4, 5 ve 6) geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinin M_y ve M_u değerleri

Kesit Grubu	Kesit No	l_n/h	Fiber İntegrasyon		Fiber İdeal İntegrasyon		Exact İdeal İntegrasyon	
			M_y (kN.m)	M_u (kN.m)	M_y (kN)	M_u (kN)	M_y (kN)	M_u (kN)
Tip-4	B4-1	2,0	394,6	554,7	399,9	485,5	442,5	577,7
	B4-2	2,5	394,6	554,7	399,9	485,5	442,5	577,7
	B4-3	3,0	394,6	554,7	399,9	485,5	442,5	577,7
	B4-4	3,5	394,6	554,7	399,9	485,5	442,5	577,7
	B4-5	4,0	394,6	554,7	399,9	485,5	442,5	577,7
Tip-5	B5-1	2,0	626,0	879,4	636,0	770,5	684,1	890,4
	B5-2	2,5	626,0	879,4	636,0	770,5	684,1	890,4
	B5-3	3,0	626,0	879,4	636,0	770,5	684,1	890,4
	B5-4	3,5	626,0	879,4	636,0	770,5	684,1	890,4
	B5-5	4,0	626,0	879,4	636,0	770,5	684,1	890,4
Tip-6	B6-1	2,0	935,3	1287,8	938,7	1127,6	984,3	1264,7
	B6-2	2,5	935,3	1287,8	938,7	1127,6	984,3	1264,7
	B6-3	3,0	935,3	1287,8	938,7	1127,6	984,3	1264,7
	B6-4	3,5	935,3	1287,8	938,7	1127,6	984,3	1264,7
	B6-5	4,0	935,3	1287,8	938,7	1127,6	984,3	1264,7

Tablo 6. Tip-(1, 2 ve 3) geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinin V_y ve V_u değerleri

Kesit Grubu	Kesit No	l_n/h	Fiber İntegrasyon		Fiber İdeal İntegrasyon		Exact İdeal İntegrasyon	
			V_y (kN.m)	V_u (kN.m)	V_y (kN)	V_u (kN)	V_y (kN)	V_u (kN)
Tip-1	B1-1	2,0	485,6	693,4	497,0	606,5	537,3	707,6
	B1-2	2,5	388,5	554,8	397,6	485,2	429,8	566,1
	B1-3	3,0	323,8	462,3	331,3	404,3	358,2	471,8
	B1-4	3,5	277,5	396,3	284,0	346,6	307,0	404,4
	B1-5	4,0	242,8	346,7	248,5	303,3	268,6	353,8
Tip-2	B2-1	2,0	789,8	1099,3	797,9	961,9	842,0	1074,7
	B2-2	2,5	631,8	879,5	638,3	769,5	673,6	859,7
	B2-3	3,0	526,5	732,9	531,9	641,3	561,3	716,4
	B2-4	3,5	451,3	628,2	455,9	549,7	481,1	614,1
	B2-5	4,0	394,9	549,7	398,9	481,0	421,0	537,3
Tip-3	B3-1	2,0	1148,9	1609,5	1171,2	1407,1	1210,0	1519,9
	B3-2	2,5	919,1	1287,6	937,0	1125,7	968,0	1215,9
	B3-3	3,0	765,9	1073,0	780,8	938,1	806,7	1013,3
	B3-4	3,5	656,5	919,7	669,3	804,0	691,4	868,5
	B3-5	4,0	574,4	804,7	585,6	703,5	605,0	760,0

Tablo 7. Tip-(4, 5 ve 6) geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinin V_y ve V_u değerleri

Kesit Grubu	Kesit No	l_n/h	Fiber İntegrasyon		Fiber İdeal İntegrasyon		Exact İdeal İntegrasyon	
			V_y (kN.m)	V_u (kN.m)	V_y (kN)	V_u (kN)	V_y (kN)	V_u (kN)
Tip-4	B4-1	2,0	493,3	693,4	499,9	606,8	553,1	722,2
	B4-2	2,5	394,6	554,7	399,9	485,5	442,5	577,7
	B4-3	3,0	328,8	462,3	333,3	404,6	368,8	481,5
	B4-4	3,5	281,9	396,2	285,6	346,8	316,1	412,7
	B4-5	4,0	246,6	346,7	249,9	303,4	276,6	361,1
Tip-5	B5-1	2,0	782,5	1099,2	795,0	963,2	855,1	1113,1
	B5-2	2,5	626,0	879,4	636,0	770,5	684,1	890,4
	B5-3	3,0	521,7	732,8	530,0	642,1	570,1	742,0
	B5-4	3,5	447,1	628,1	454,3	550,4	488,6	636,0
	B5-5	4,0	391,3	549,6	397,5	481,6	427,6	556,5
Tip-6	B6-1	2,0	1169,1	1609,7	1173,4	1409,4	1230,4	1580,8
	B6-2	2,5	935,3	1287,8	938,7	1127,6	984,3	1264,7
	B6-3	3,0	779,4	1073,2	782,3	939,6	820,3	1053,9
	B6-4	3,5	668,1	919,8	670,5	805,4	703,1	903,3
	B6-5	4,0	584,6	804,9	586,7	704,7	615,2	790,4

Tablo 8. Tip-(1, 2 ve 3) geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinin k_e değerleri

Kesit Grubu	Kesit No	ACI 318-14 [5]		ASCE41-17 [10]	TBDY2018 [7]	NZS 3101 [11]	Paulay [12]	Tranath [13]	SAP2000 FI [6]
		k_e	k_e	k_e	k_e	k_e	k_e	k_e	k_e
Tip-1	B4-1	0,35	0,27	0,30	0,35	0,15	0,12	0,77	0,25
	B4-2	0,35	0,27	0,30	0,35	0,19	0,14	0,87	0,25
	B4-3	0,35	0,27	0,30	0,35	0,22	0,15	0,92	0,25
	B4-4	0,35	0,27	0,30	0,35	0,25	0,16	0,95	0,25
	B4-5	0,35	0,27	0,30	0,35	0,28	0,17	0,96	0,25
Tip-2	B5-1	0,35	0,38	0,30	0,35	0,15	0,12	0,77	0,38
	B5-2	0,35	0,38	0,30	0,35	0,19	0,14	0,87	0,38
	B5-3	0,35	0,38	0,30	0,35	0,22	0,15	0,92	0,38
	B5-4	0,35	0,38	0,30	0,35	0,25	0,16	0,95	0,38
	B5-5	0,35	0,38	0,30	0,35	0,28	0,17	0,96	0,38
Tip-3	B6-1	0,35	0,50	0,30	0,35	0,15	0,12	0,77	0,53
	B6-2	0,35	0,50	0,30	0,35	0,19	0,14	0,87	0,53
	B6-3	0,35	0,50	0,30	0,35	0,22	0,15	0,92	0,53
	B6-4	0,35	0,50	0,30	0,35	0,25	0,16	0,95	0,53
	B6-5	0,35	0,50	0,30	0,35	0,28	0,17	0,96	0,53

Tablo 9. Tip-(4, 5 ve 6) geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinin k_e değerleri

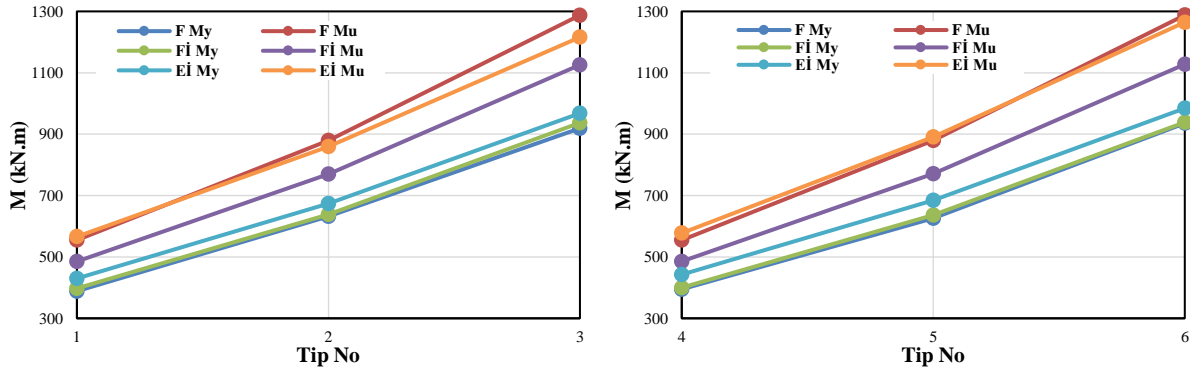
Kesit Grubu	Kesit No	ACI 318-14 [5]		ASCE41-17 [10]	TBDY2018 [7]	NZS 3101 [11]	Paulay [12]	Tranath [13]	SAP2000 FI [6]
		k_e	k_e	k_e	k_e	k_e	k_e	k_e	k_e
Tip-4	B4-1	0,35	0,27	0,30	0,35	0,15	0,12	0,77	0,23
	B4-2	0,35	0,27	0,30	0,35	0,19	0,14	0,87	0,23
	B4-3	0,35	0,27	0,30	0,35	0,22	0,15	0,92	0,23
	B4-4	0,35	0,27	0,30	0,35	0,25	0,16	0,95	0,23
	B4-5	0,35	0,27	0,30	0,35	0,28	0,17	0,96	0,23
Tip-5	B5-1	0,35	0,38	0,30	0,35	0,15	0,12	0,77	0,35
	B5-2	0,35	0,38	0,30	0,35	0,19	0,14	0,87	0,35
	B5-3	0,35	0,38	0,30	0,35	0,22	0,15	0,92	0,35
	B5-4	0,35	0,38	0,30	0,35	0,25	0,16	0,95	0,35
	B5-5	0,35	0,38	0,30	0,35	0,28	0,17	0,96	0,35
Tip-6	B6-1	0,35	0,50	0,30	0,35	0,15	0,12	0,77	0,49
	B6-2	0,35	0,50	0,30	0,35	0,19	0,14	0,87	0,49
	B6-3	0,35	0,50	0,30	0,35	0,22	0,15	0,92	0,49
	B6-4	0,35	0,50	0,30	0,35	0,25	0,16	0,95	0,49

4. Araştırma Bulguları ve Tartışma

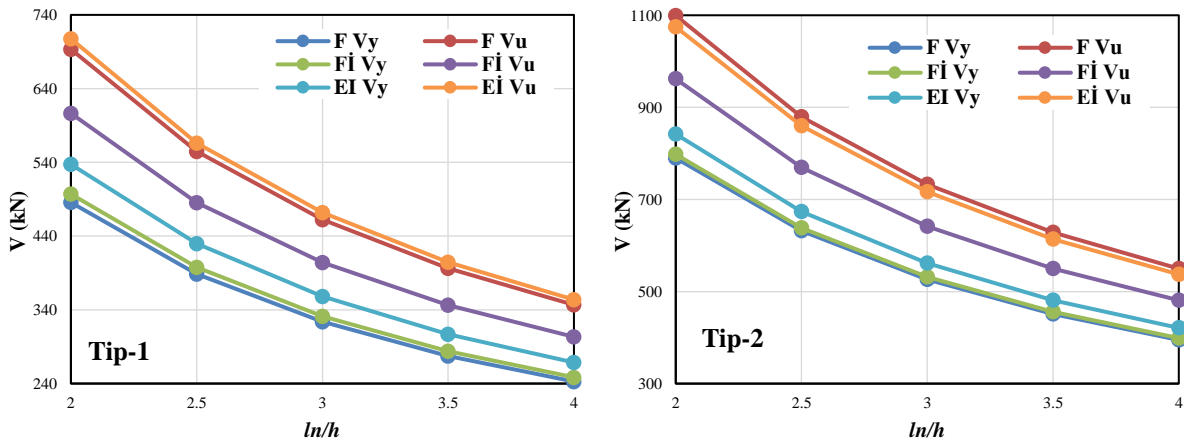
Geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinin akma durumundaki kesme kapasitesi (V_y) ve kırılma durumundaki kesme kapasitesi (V_u) moment eğrilik ilişkilerinden elde edilmiştir. Geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinin elde edilen akma durumuna ve maksimum duruma karşı gelen moment ve kesme taşıma kapasiteleri, bağ kirişlerinin beton basınç dayanımları, boyuna donatı oranları ve net açıklık/derinlik (l_n/h) oranları değiştirilerek elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 5 ve 6'da verilmiştir. Bağ kirişlerinin eğilme rijitliği, etkin eğilme rijitliği ve rijitlik çarpanları Denklem 3 ile hesaplanmıştır. Hesaplanan rijitlik çarpanları karşılaştırmalı olarak Şekil 7'de verilmiştir. SAP 2000 [6] programında Fiber Integration, Fiber İdeal Integration, Exact Integration ve Exact İdeal

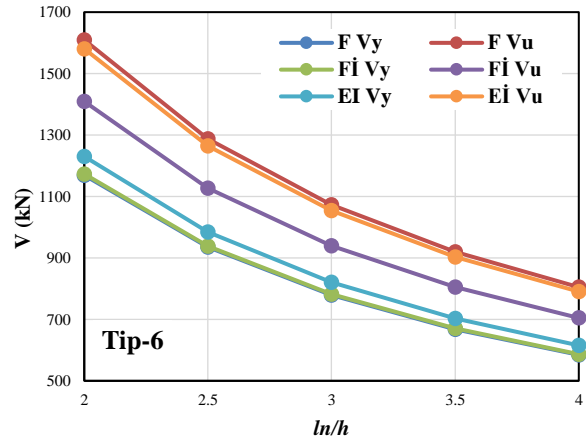
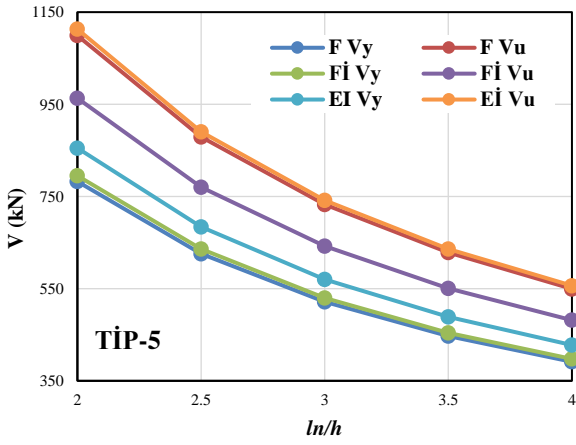
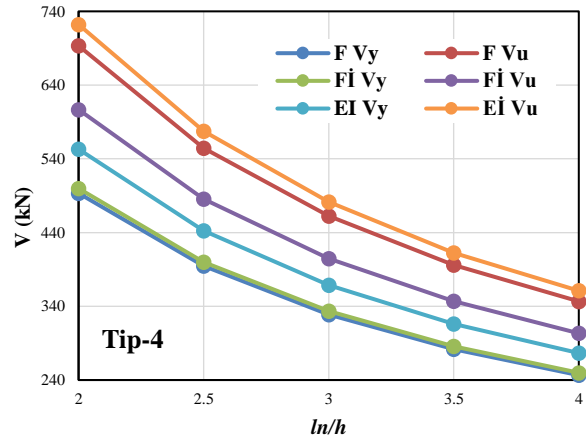
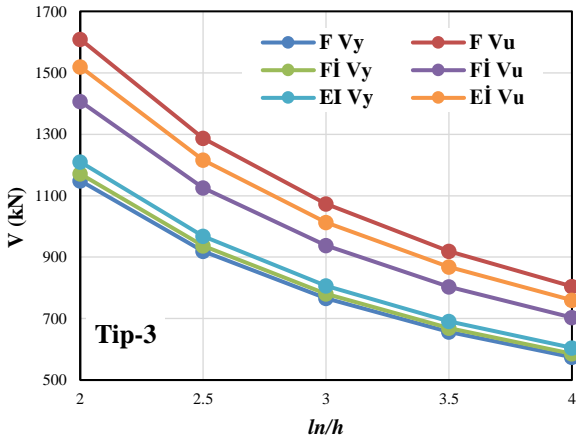
Integration yöntemi ile moment eğrilik analizleri yapılabilmektedir. Şekil 5 ve 6'da kullanılan F, Fİ ve Eİ simgeleri; sırasıyla SAP2000 programında Fiber Integration, Fiber İdeal Integration ve Exact İdeal Integration yöntemi ile elde edilen hesap sonuçlarını göstermektedir.

Şekil 7'de farklı yönetmelikler ve farklı araştırmacılar tarafından önerilen denklemlere göre etkin rijitlik çarpanları hesaplanarak grafikleri çizilmiştir. Tablo 8 ve 9'da ve Şekil 7'de ACI 318-14 [5], ASCE 41-17 [10], TBDY 2018 [7], NZS 3101-3 [11] ifadeleri bahsi geçen bu yönetmelikler kullanılarak bulunan değerleri ifade etmektedir. Tablo 8 ve 9'da ve Şekil 7'de Paulay ve Priestley [12], Taranath [13] ifadeleri sırasıyla Paulay ve Priestley [12] ve Taranath [13] çalışmada verilen formüller ile elde edilen sonuçları göstermektedir.

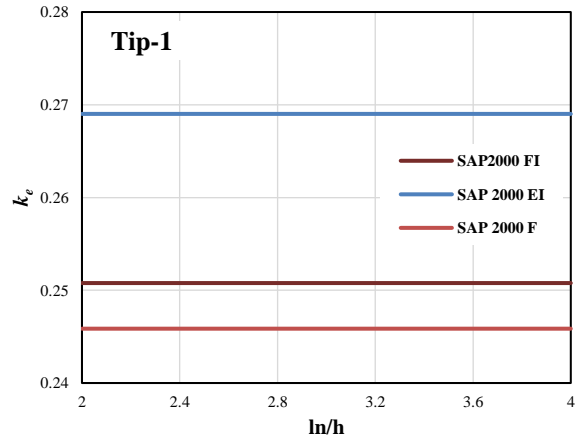
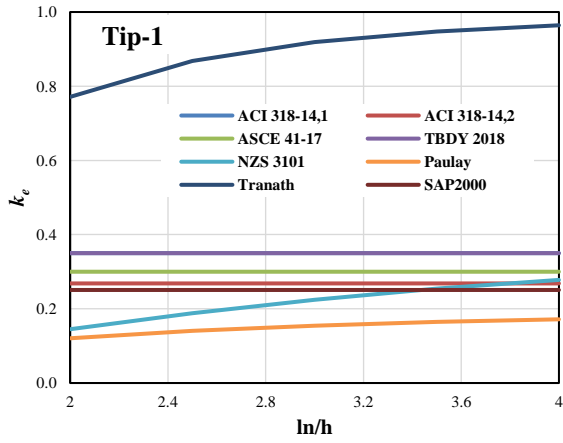


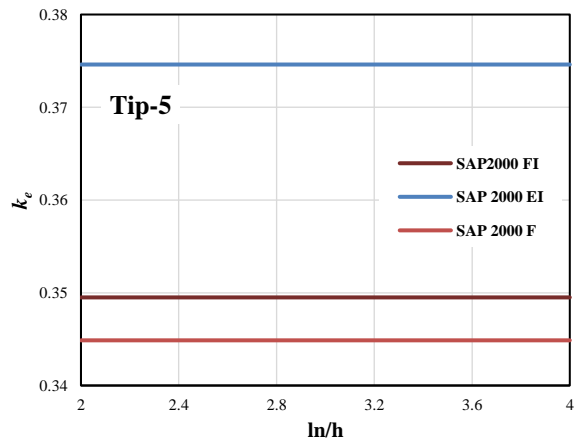
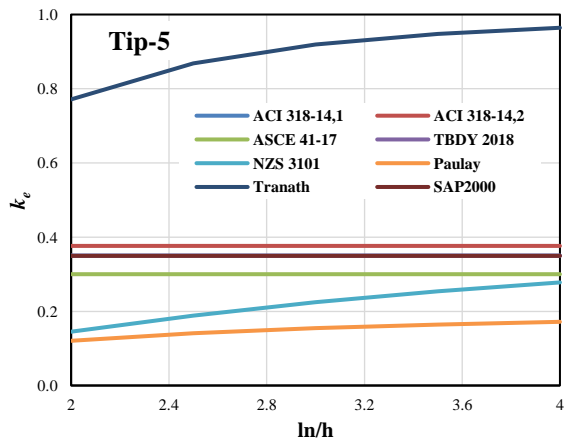
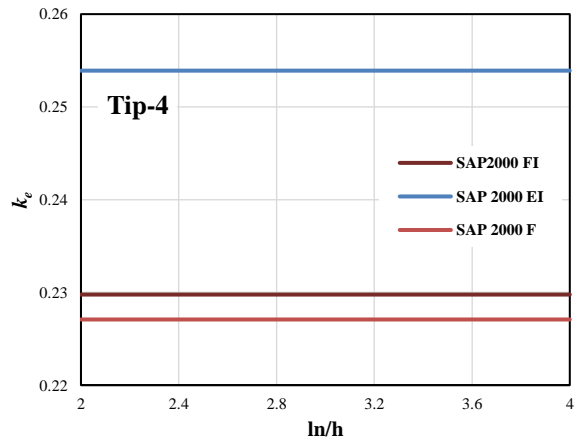
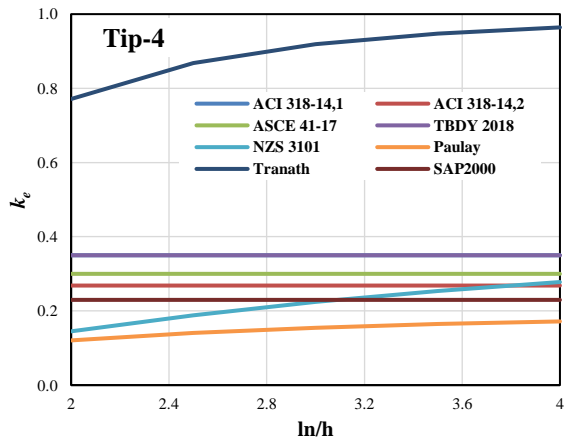
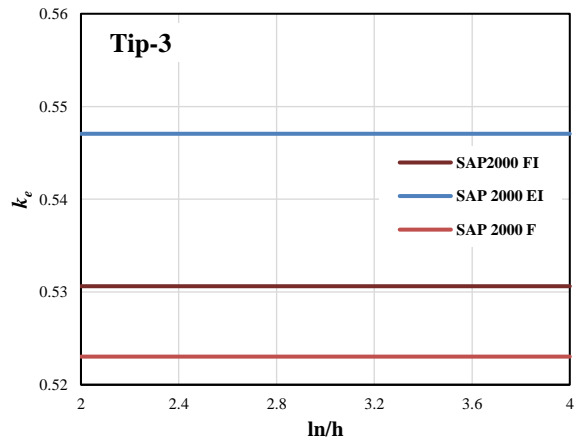
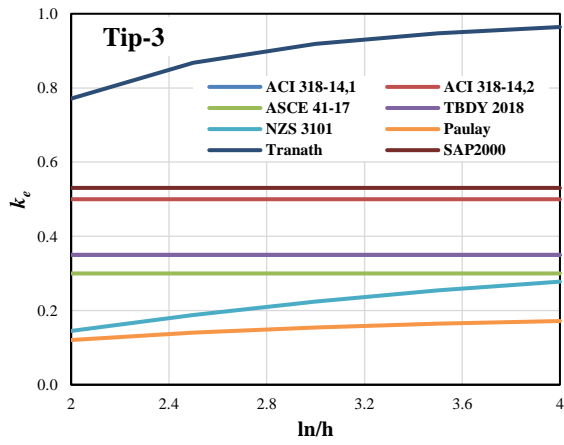
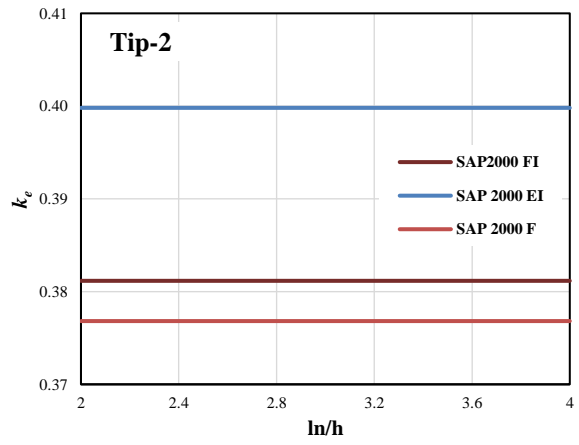
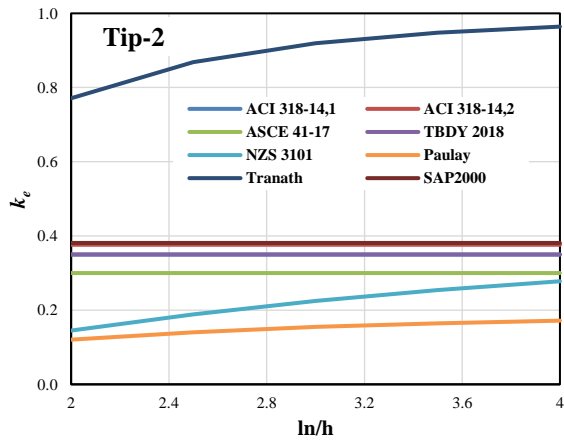
Şekil 5. Bağ kirişleri akma ve maksimum moment taşıma kapasitelerinin karşılaştırmalı grafikleri

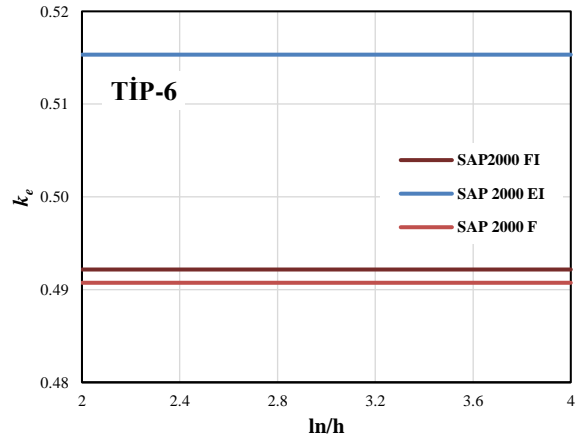
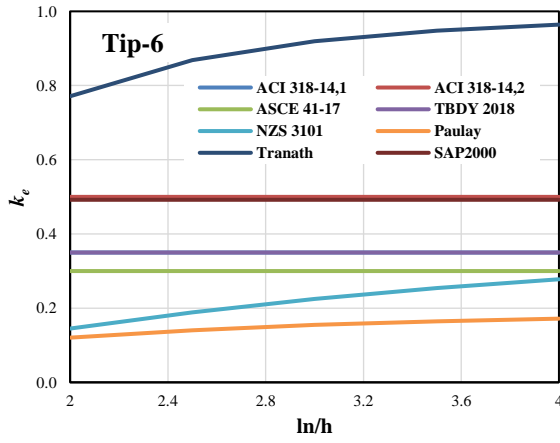




Şekil 6. Bağ kirişleri akma ve maksimum kesme taşıma kapasitelerinin karşılaştırmalı grafikleri







Şekil 7. Bağ kirişleri etkin rijitlik çarpanlarının karşılaştırmalı grafikleri

5. Sonuç ve Öneriler

Geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişleri TS-500 ve TBDY 2018 hükümlerine göre tasarlanmıştır. Tasarlanan geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinin elde edilen sonuçları gerçek malzeme davranışları kullanılarak elde edilmiştir. Geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinin moment eğrilik analizinden elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

Sabit beton basınç dayanımı, sabit çekme ve basınç donatısı oranına sahip geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinde net açıklık/derinlik oranının değişmesi durumunda moment-eğrilik ilişkilerinden elde edilen akma momenti M_y ve maksimum moment taşıma kapasitesi M_u sabit kalmaktadır.

Sabit beton basınç dayanımı, sabit çekme ve basınç donatısı oranına sahip geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişleri için net açıklık/derinlik oranının artması ile moment-eğrilik ilişkilerinden elde edilen akma durumundaki kesme kapasitesi V_y ve maksimum kesme taşıma kapasitesi V_u değerleri azalmaktadır.

Sabit çekme ve basınç donatısı oranı ve beton basınç dayanımına sahip geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişleri için farklı net açıklık/derinlik oranı için etkin rijitlik çarpanı (k_e) değerleri sabit kalmaktadır.

Sabit çekme ve basınç donatısı oranı ve sabit net açıklık/derinlik oranına sahip geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişleri için beton

basınç dayanımı artması durumunda M_y , M_u , V_y ve V_u değerleri artmaktadır.

Sabit çekme ve basınç donatısı oranı ve sabit net açıklık/derinlik oranına sahip geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişleri için beton basınç dayanımının artması ile etkin rijitlik çarpanları azalmaktadır.

Sabit beton basınç dayanımı ve sabit net açıklık/derinlik oranına sahip geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişleri için çekme ve basınç donatı oranının artması durumunda akma ve maksimum moment kapasitesi değerleri artmaktadır.

Sabit beton basınç dayanımı ve sabit net açıklık/derinlik oranına sahip geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinin çekme ve basınç donatısı oranının artması ile akma ve maksimum kesme taşıma kapasitesi değerleri artmaktadır.

Sabit beton basınç dayanımı ve sabit net açıklık/derinlik oranına sahip geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinin çekme ve basınç donatısı oranının artması ile etkin rijitlik çarpanı değerleri artmaktadır.

Geleneksel donatılmış betonarme bağ kirişlerinin etkin rijitlik çarpanları farklı yönetmelik ve araştırmacılar tarafından önerilen formüllere göre hesaplanmıştır. Bu şekilde hesaplanan etkin rijitlik çarpanları değerleri ACI 318-11'e göre [5]

hesaplanan etkin rijitlik çarpanları değerlerine yakın çıkmıştır.

Yeni Zelanda [11] yönetmeliği ve Priestly [12] tarafından önerilen denkleme göre hesaplanmış etkin rijitlik çarpanlarının değerleri moment eğrilik analizlerinden elde edilen etkin rijitlik çarpanlarının değerlerinden daha küçük elde edilmiştir.

Tranath [13] tarafından önerilmiş denklemine göre hesaplanan etkin rijitlik çarpanların değerleri moment eğrilik analizlerinden elde edilen etkin rijitlik çarpanları değerlerinden daha fazla elde edilmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- [1] Breña SF., İhtiyar O. Performance of conventionally reinforced coupling beams subjected to cyclic loading, *J Structure Eng* 2011; 137: 665-676.
- [2] Erwin L., Hwang SJ., Wang TW., Chang HY. An investigation on seismic behavior of deep reinforced concrete coupling beams, *ACI Structural Journal* 2016; 113(2): 217-226.
- [3] Abu Bakar N., Chan GK. Experimental study of intermediate length coupling beams subjected to monotonic load, *KSCE Journal of Civil Engineering* 2017; 21(7): 2807-2813.
- [4] Erwin L., Hwang SJ., Cheng CH., Lin PY. Cyclic tests of reinforced concrete coupling beam with intermediate span-depth ratio, *ACI Structural Journal* 2016; 113(3): 515-524.
- [5] ACI 318-14, Building code requirements for structural concrete (ACI 318-14) and commentary/reported by ACI Committee 318. Farmington Hills, Mich.: American Concrete Institute 2014.
- [6] SAP2000 v20.2.0, Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc, Berkeley, California 2018.
- [7] TBDY 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara 2018.
- [8] Mander JT., Priestley MJN., Park R. Theoretical stress-strain model for confined concrete, *Journal of Structural Engineering* 1988; 114(8): 1804-1826.
- [9] TS 500 2000, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara 2000.
- [10] ASCE standard, ASCE/SEI 41-17, Seismic rehabilitation of existing buildings/ American Society of Civil Engineers, American Society of Civil Engineers, 2017.
- [11] Standards New Zealand – NZS 3101. Concrete structures standard, Wellington: Standards New Zealand, 1995; 1995.
- [12] Paulay T., Priestley MJN. Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings, New York: Wiley; 1992.
- [13] Taranath BS. Steel concrete and composite design of tall buildings, 2nd ed. New York: Mc Graw-Hill; 1998.
- [14] FEMA 356, Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings/prepared by the American Society of Civil Engineers; prepared for Federal Emergency Management Agency. Reston, Va: American Society of Civil Engineers; Washington, DC: Federal Emergency Management Agency; 2000.
- [15] Ngoc SV., Bing L., Beyer K. Effective stiffness of reinforced concrete coupling beams, *Journal of Engineering Structures* 2014; 76: 371-382.