



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 24.11.2022
Kabul Tarihi : 23.01.2023

Received Date : 24.11.2022
Accepted Date : 23.01.2023

KAİSER CIVATALI MOMENT BİRLEŞİMLERİN DAVRANIŞININ VE SİSMİK PERFORMANSININ İNCELENMESİ

INVESTIGATION ON BEHAVIOR AND SEISMIC PERFORMANCE OF KAISER MOMENT CONNECTIONS

Ahmet Serdar EROL¹ (ORCID: 0000-0001-5291-7628)
Alırza İlker AKGÖNEN¹ (ORCID: 0000-0001-7384-8764)

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Alırza İlker AKGÖNEN

ÖZET

Kaiser Cıvatalı Moment (KCM) birleşimleri ülkemizde tanınmamakta ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'de (TBDY-2018) performansı kanıtlanmış moment aktaran birleşimler arasında yer almamaktadır. Bu çalışmada KCM birleşimlerin davranış karakteristiği ve deprem bölgelerinde kullanılabilirliği araştırılmaktadır. Avrupa çelik profilleri ve çelik kalitesi kullanılarak tasarlanmış sayısal modeller monotonik ve çevrimsel yükleme altında ANSYS programı kullanılarak incelenmektedir. Sayısal model, geçmiş çalışmalarda bulunan deneysel bir çalışma ile karşılaştırılarak doğrulandıktan sonra parametrik çalışmalar yürütülmektedir. Ayrıca birleşimin temel karakteristik özelliklerini veren denklemler elde etmek amacıyla parametrik çalışma sonuçları kullanılarak çoklu doğrusal regresyon analizleri yapılmaktadır. Çalışmalar neticesinde çeşitli geometrik değişimlerine bağlı olarak KCM birleşimlerin davranış karakteristiğinin ve sismik performansının hangi yönde etkilendiği ayrıntılı olarak tespit edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kaiser cıvatalı moment birleşimi, parametrik çalışma, regresyon analizi, sonlu eleman analizi

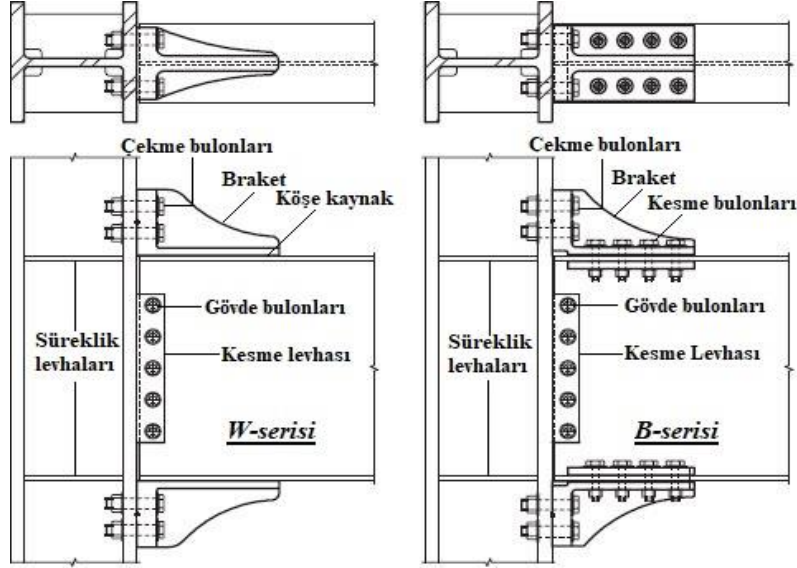
ABSTRACT

KCM connections are not recognized in Türkiye and are not among the prequalified moment connections in the Turkish Building Earthquake Code 2018 (TBDY-2018). In this study, the behavior characteristics of KCM connections and their usability in earthquake zones are investigated. Numerical models designed using European steel profiles and steel grades are analyzed using the ANSYS program under monotonic and cyclic loading. After the numerical model is verified by comparing it with an experimental study found in previous studies, parametric studies are carried out. Furthermore, multiple linear regression analyzes are performed using parametric study results to obtain equations giving the basic characteristics of the connection. As a result, it is determined in detail how the behavior characteristics and seismic performance of KCM joints are affected due to various geometric changes.

Keywords: Kaiser bolted bracket moment connection, parametric study, regression analysis, finite element analysis

GİRİŞ

Çelik çerçeveli taşıyıcı sistemlerin deprem yükü altındaki performansında kolon-kiriş birleşimleri önemli rol oynamaktadır. 1994 Northridge (ABD) ve 1995 Kobe (Japonya) şehirlerinde yıkım gücü yüksek depremler meydana gelmiştir. Bu depremlerde çelik çerçeve sistemlerin deprem yükleri altındaki performanslarında beklenmeyen sonuçlar meydana gelmiş ve kolon-kiriş birleşim bölgelerinde ciddi hasarlar gözlemlenmiştir. Bu hasarlar göz önünde bulundurularak, kolon-kiriş birleşimlerinin performansını arttırmak ve birleşim güvenliğini sağlamak amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmış ve birçok yeni birleşim türü önerilmiştir. Kaiser Cıvatalı Moment (KCM) birleşimi, bu yeni birleşim türlerinden birisidir.



Şekil 1. Kaiser Cıvatalı Moment Birleşim (AISC 358-16, 2016)

KCM birleşimi kolon, kiriş, iki adet braket, kesme levhası ve cıvatalardan (Şekil 1.) oluşmaktadır. Gerekliğinde kolon panel bölgesinde takviye ve süreklilik levhaları da kullanılabilir. Braketler yüksek derece ısıl işlem uygulanarak tek döküm çelik profil olarak imal edilmektedir. Kiriş gövdesi, kolon başlığına kesme levhası kullanılarak sabitlenmektedir. Bu birleşimler çelik çerçeveli moment birleşimlerde şantiye kaynağını ortadan kaldırmakta ve çerçeve montajını kolaylaştırmaktadır. KCM birleşiminin tescilli tasarımı Steel Cast Connection (LLC) firmasının elinde bulunan 6.073.405 sayılı ABD patentinde korunmaktadır (AISC 358-16, 2016).

İki farklı türde KCM birleşimi (Şekil 2.) kullanılmaktadır: Bunlardan birincisi, W-serisi kaynaklı birleşim tipidir. Braketler kiriş alt ve üst başlığına köşe kaynak ile fabrikada kaynaklanmakta, kolona ise şantiyede cıvatalanmaktadır. İkincisi ise B-serisi cıvatalı birleşim tipidir. B serisi birleşimde braketler kaynak kullanmaya ihtiyaç duyulmadan hem kolona hem de kirişe cıvata kullanılarak sabitlenmektedir.



Şekil 2. Braket Tipleri (W ve B-serisi) (AISC 358-16, 2016)

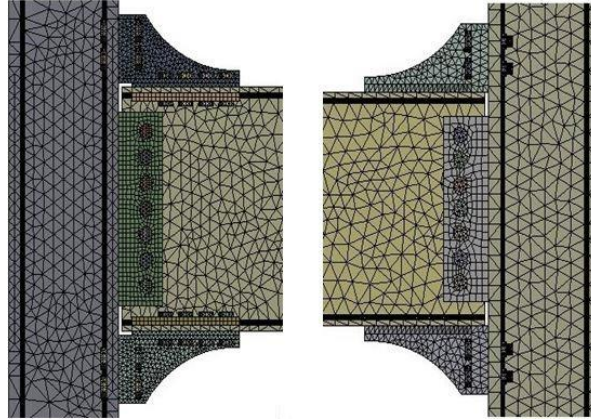
KCM birleşimlerinin deprem bölgelerine kullanımının genel olarak uygun olduğu (Kasai vd. , 1998; Adan & Gibb , 2009; Shahidi vd. , 2013), ancak derin kirişlerin kullanıldığı KCM birleşimli çelik moment çerçevelerinde ise yeterli sismik performansın elde edilemediği (Shahidi vd. , 2013) geçmiş çalışmalarda belirtilmektedir. ABD’de yaygın olarak kullanılan kaynaklı birleşimler ile KCM birleşimleri karşılaştırmış ve KCM birleşimlerinin kaynaklı birleşimlere yakın bir rijitliğe sahip olduğunu ve çevrimsel yük altında KCM birleşimlerinin kaynaklı birleşimlere göre daha yüksek sismik performans sergilediği (Kasai vd. , 1998) belirtilmiştir. Ayrıca KCM birleşimlerinin yeni binalar dışında

depremde hasar görmüş çelik yapı birleşimlerinin onarımı için kullanabilecek bir birleşim tipi olduğu (Kasai vd. , 1998; Adan & Gibb, 2009) ifade edilmektedir. KCM birleşimlerin kullanılması durumunda özellikle kiriş başlığı ile braketlerin bağlantısında cıvata kullanılması durumunda kesit kaybı sebebiyle bu bölgede prematüre hasarlar meydana gelebileceği ve bu bölgenin dikkatli detaylandırılması gerektiği (Kasai vd. , 1998; Adan & Gibb, 2009) vurgulanmaktadır.

Geçmiş çalışmalarda, KCM birleşimlerin deprem yükleri altında sünek davranış sergilediği ve yönetmelikte (AISC 358-16, 2016) belirtilen asgari performans ölçütlerine sahip olduğu belirtilmektedir. KCM birleşimler yabancı ülkelerde yaygın olarak kullanılan tercih edilmesine rağmen ülkemizde tanınmamakta ve TBDY-2018’de (AFAD, 2018) performansı kanıtlanmış moment birleşimleri arasında yer almamaktadır. Bu sebeple Avrupa profilleri ve çelik kalitesi kullanılarak imal edilmiş KCM birleşimlerin geometrik değişimlere bağlı olarak davranışının tespit edilmesi, KCM birleşim modeli ile tasarlanacak yapı davranışının tespiti ve sismik performansın öngörülmesi yönüyle oldukça önemlidir. Yüksek lisans tezi olarak yürütülmüş olan bu çalışmada (Erol, 2020) KCM birleşimlerin geometrik değişikliklere bağlı olarak moment-dönme davranışının ve sismik performansının nasıl etkilendiği incelenmiştir. Çalışma sonucunda Kaiser birleşimde kaynaklı ve bulonlu birleşimlerde kullanılan braket tipi büyüdükçe birleşim rijitliği ve enerji tüketiminin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca FEA (Sonlu Elemanlar Analizi) doğrulama çalışmasında tespit edilen sonuçlar kullanılarak KCM birleşimlerin elastik bölge rijitliği, plastik bölge rijitliği, elastik moment kapasitesi ve elastik dönme kapasitesi bilgilerini veren ampirik formüller türetilmiştir.

SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

Yapılan çalışmada, KCM birleşimler farklı braket tipleri ve farklı birleşim geometrileri için incelenmiştir. Moment-dönme ilişkisinin tespiti için sonlu elemanlar modeli ANSYS programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Shahidi vd. (2013) tarafından yapılan deney sonuçları ile simülasyon sonuçları kıyaslanarak simülasyon çalışmasının başarısı kontrol edilmiştir.



Şekil 3. Solid186 ve Solid187 ağ modelleri

Sonlu Eleman Modeli

Sonlu elemanlar modelinde yer alan 3-boyutlu katı elemanlar kolon, kiriş, braket, kesme levhası ve bulonlar SOLID186 ve SOLID187 kullanılarak (Şekil 3.) modellenmiştir. SOLID186 katı elemanı, ikinci dereceden yer değiştirme davranışı gösteren 3-boyutlu, 20 düğüm noktasına ve SOLID187 katı elemanı ise, 3-boyutlu, 10 düğüm noktasına sahiptir. SOLID186 ve SOLID187 katı elemanları x, y ve z yönlerinde düğüm başına üç adet serbestlik derecesine sahiptirler. Katı elemanlar malzeme olarak plastisite, hiper-elastisite, sürtünme, gerilme pekleşmesi ve büyük yer değiştirme özelliklerinin modellenebilmesine imkân tanımaktadır. Katı elemanların yüzeylerinin birbirine teğetsel olarak değmesine temas adı verilmektedir. Yapılmış olan sonlu eleman modelinde “TARGE170 ve CONTA174” temas elemanları kullanılmıştır. Üç boyutlu sayısal modellerde kullanılan TARGE170 elemanı, 3 adet deplasman ve 3 adet dönme serbestliği olmak üzere toplamda 6 adet serbestlik derecesine sahiptir. 8 adet düğüm noktası ve her düğüm noktasında üç adet yer değiştirme serbestliği bulunan CONTA174 temas elemanı 3-boyutlu yüzeyler arasında kayma ve temas durumunun modellenmesi için kullanılmaktadır. Braketlerin kiriş başlıklarına kaynak yapıldığı yüzeylerde (Bonded) yüzey temas türü, cıvataların temas halinde olduğu yüzeylerde ise sürtünlü (Frictional) yüzey temas türü kullanılmıştır (ANSYS, 2022).

Malzeme Özellikleri

Kolon, kiriş, kesme levhası, braket ve cıvatalar için monotonik yüklemeye çift doğrulu izotrop pekleşmeli “Bilinear Isotropic Hardening” malzeme modeli, çevrimsel yüklemeye ise Chaboche kinematik pekleşmeli malzeme modeli kullanılmıştır. Chaboche malzeme modeli; artan çevrimlerde malzemede meydana gelen plastikleşme ile birlikte birleşimdeki rijitlik ve mukavemet kaybını hassas olarak modelleme imkânı sunmaktadır. Ayrıca deney sonucu elde edilen çevrimsel grafikte gözlemlenen “Bauschinger etkisi”, Chaboche malzeme modeli kullanılarak simüle edilebilmektedir. Çelik malzemesinin Poisson oranı 0,3 olarak kabul edilmiştir.

Referans çalışmada (Shahidi vd. , 2013) kolon profili (W14x233) ve kiriş profili (W30x108)’dir. Kolon uzunluğu 4270 mm ve kiriş uzunluğu 4366 mm olarak belirlenmiştir. Referans çalışmadaki veriler dikkate alınarak kirişin ve kesme levhasının akma mukavemeti 366 MPa, kolonun akma mukavemeti 321 MPa, braketin akma mukavemeti 510 MPa ve cıvataların akma mukavemeti 800 MPa olarak alınmıştır. Elastisite modülü (E) 200000 MPa, Tanjant modülü ise elastisite modülünün yaklaşık 30’da biri (6500 MPa) şeklinde tanımlanmıştır. Referans çalışmada kullanılan numune malzeme ve geometrik özellikleri Tablo 1 ve 2 ‘de sırasıyla verilmiştir. Tablolarda kiriş en kesit yüksekliği d_b , kolon ve kirişteki cıvata sayısı sırasıyla n_{cb} ve n_{bb} , braket yatay yarıçapı r_h , profil en-kesit gövde kalınlığı ise t_w ile gösterilmektedir.

Tablo 1. Referans Deneysel Çalışmanın Malzeme Özellikleri (Shahidi vd. , 2013)

Profil	Akma mukavemeti (f_y)	Kopma mukavemeti (f_u)
Kiriş, Kesme Levhası	366	462
Kolon	321	453
Braket	510	710
Bulon	800	1050

Tablo 2. Referans Alman Deneysel Çalışmanın Profil Detayları ve Numune Ölçüleri (Shahidi vd. , 2013)

Profil	b_f (mm)	d_b (mm)	t_f (mm)	t_w (mm)	r (mm)	L (mm)
Kolon	404	407	43,7	27,2	15	4270
Kiriş	266	758	19,3	13,8	17	4366
Numune	L_{bb}	h_{bb}	b_{bb}	n_{cb}	g	b_{dia}
W2.1	450	222	241	4	165	38
B2.1	450	222	250	4	165	38
Numune	d_e	p_b	t_s	r_v	r_h/n_{bb}	w/b_{dia}
W2.1	57	88	50	400	965/---	22/---
B2.1	50	88	50	400	---/8-10	---/28

Sınır Koşulları ve Yükün Uygulanması

Referans çalışmasında (Shahidi vd. , 2013) numune mesnetleri sabit mesnettir. Numunenin üst ve alt mesnet koşullarında ($\Delta_x=0$, $\Delta_y=0$, $\Delta_z=0$, $R_x=$ Serbest, $R_y=0$, $R_z=0$) kabul edilmiştir. Sınır koşulları ve koordinat eksenleri Şekil 4’de gösterilmektedir. Referans çalışmada monotonik yüklemeye sonuçları verilmemiş, sadece çevrimsel grafikler sunulmuştur.

Monotonik yer değiştirme yükü iki aşamada uygulanmıştır. Birinci aşamada W-serisi kaynaklı birleşim modeli için, kolon ile braketini birbirine sabitleyen bulonlara 658,3 kN, kesme levhasında bulunan bulonlara ise 355,8 kN ön-çekme kuvveti verilmiştir. B-serisi cıvatalı birleşim modeli için kolon ile braketini birbirine sabitleyen bulonlara 458,0 kN, kiriş ile braketini birbirine sabitleyen bulonlara 257,0 kN, kesme levhasında bulunan bulonlara 198,0kN ön-çekme kuvveti uygulanmıştır. İkinci aşamada ise kirişe kolon yüzünden 4366 mm uzaklıkta, 30 saniyede ve 1 saniye adımla kirişin ucuna 300 mm yer değiştirme yükü tekrarlı bir şekilde uygulanmıştır. Kaynaklı ve cıvatalı birleşimler için ayrı ayrı monotonik yük altında doğrulama çalışması yapılmıştır.

Sonlu elemanlar modelinin çevrimsel yüklemeye altında analizi iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada monotonik yüklemeye açıklanan ön-çekme kuvvetleri bulonlara uygulanmıştır. İkinci aşamada ise ATC-24 yüklemeye protokolüne (Tablo 3.) göre çevrimsel yük uygulanmıştır.

Tablo 3. ATC-24 yönetmeliği yükleme protokolü (ATC-24, 1992)

Yükleme adımı	Tepe deformasyonu	Çevrim sayısı, n
1	0.00375	3
2	0,00500	3
3	0.00750	3
4	0.010	3
5	0.015	3
6	0.020	3
7	0.030	2

Moment-Dönme Grafiğinin Elde Edilmesi

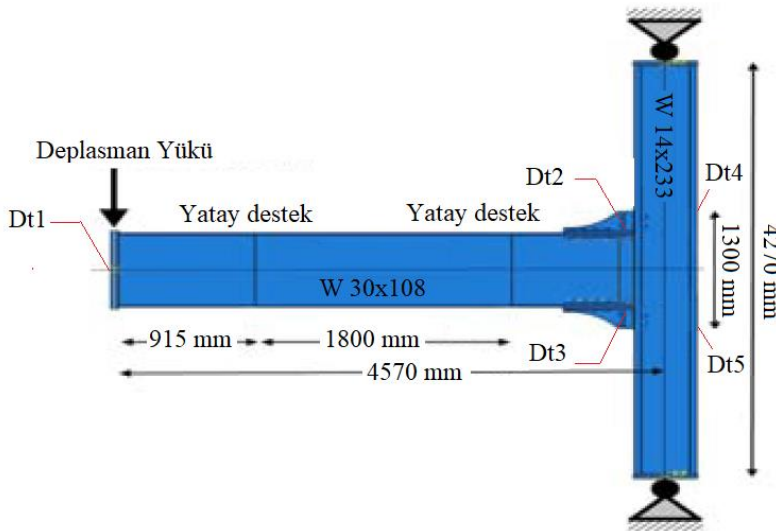
Referans çalışmasında belirtilen (Dt1, Dt2 ve Dt3) ölçüm noktaları kullanılarak simülasyonların moment-dönme grafikleri elde edilmiştir. Ölçüm noktalarında tespit edilen X yönündeki yer değiştirme δ_{DTx} , Y yönündeki yer değiştirme ise δ_{DTy} olarak ifade edilmektedir. Uygulanan moment kolu mesafesi (kolon merkezinden yer değiştirme yükünün uygulanacağı noktaya kadar olan mesafe) 4570 mm alınmış ve KCM birleşimin dönme değerleri kolon merkezinde okunmuştur. Referans çalışmasındaki moment kolu mesafesi, yer değiştirme yük konumu ve mesnetlenme koşulları Şekil 4'te gösterilmiştir. Sonlu elemanlar doğrulama çalışmasında toplam dönme, kolon dönmesi, kolon ile birleşimin toplam dönmesi ve kiriş toplam dönmesi değerleri Denklem 1- 4 kullanılarak hesap edilmiştir.

$$\varphi_{toplam(kolon+kiriş+birleşim)} = \text{atan}\left(\frac{\delta_{DTz1}}{L_1}\right) \quad (1)$$

$$\varphi_{kolon} = \text{atan}\left(\frac{\delta_{DTy4} - \delta_{DTy5}}{L_{4-5}}\right) \quad (2)$$

$$\varphi_{kolon+birleşim} = \text{atan}\left(\frac{\delta_{DTy2} - \delta_{DTy3}}{L_{2-3}}\right) \quad (3)$$

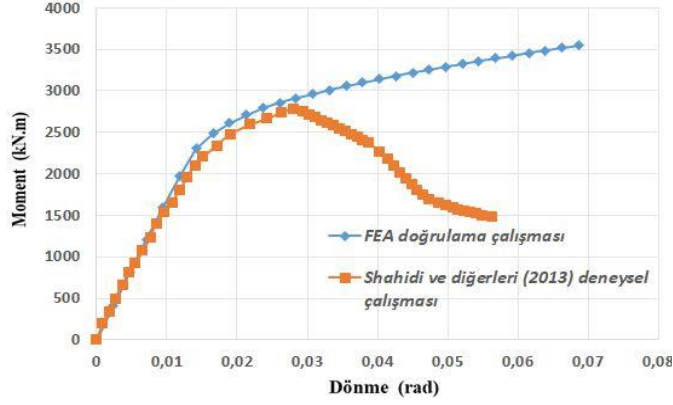
$$\varphi_{kiriştoplam} = \varphi_{toplam} - \varphi_{(kolon+birleşim)} \quad (4)$$



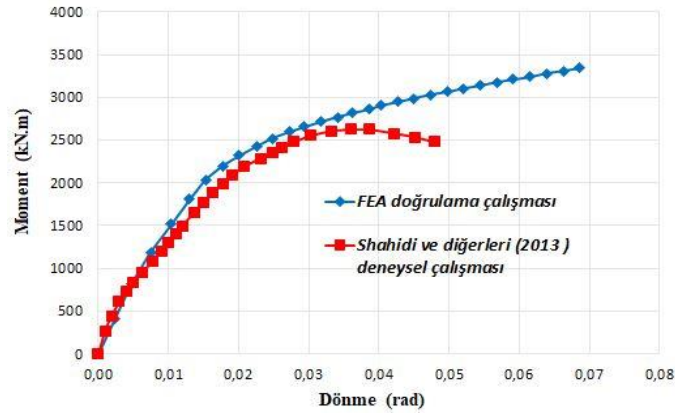
Şekil 4. Referans Alınan Çalışmanın Deney Düzenegi (Shahidi vd. , 2013)

Sonlu Elemanlar Modelinin Doğrulanması

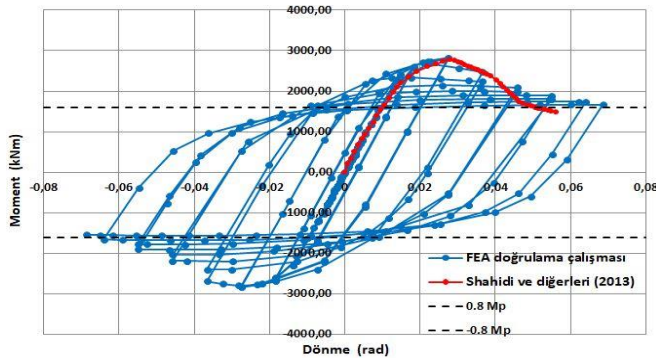
Referans deneysel çalışmaya ait çevrimsel grafiklerin +x ve +y yönünde akma noktaları birleştirilerek zarf eğrileri oluşturulmuştur. Elde edilen bu zarf eğrileri simülasyon grafikleri ile karşılaştırılarak doğrulama çalışması gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırmalar Şekil 5-8'de gösterilmiştir.



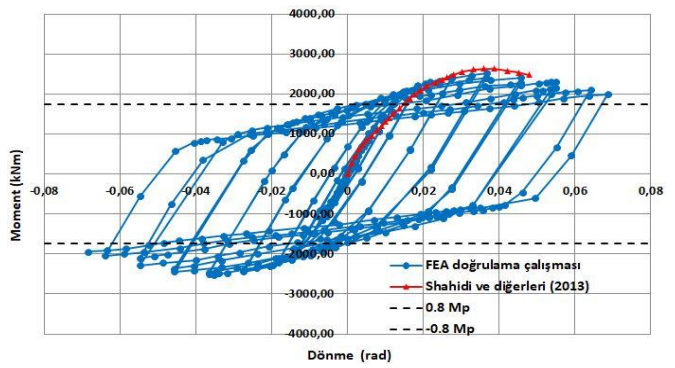
Şekil 5. W-serisi Monotonik Yükleme Grafiklerinin Karşılaştırılması



Şekil 6. B-serisi Monotonik Yükleme Grafiklerinin Karşılaştırılması



Şekil 7. Çevrimsel Yük Altında Deneysel Çalışma ile W-serisi FEA Kıyaslaması

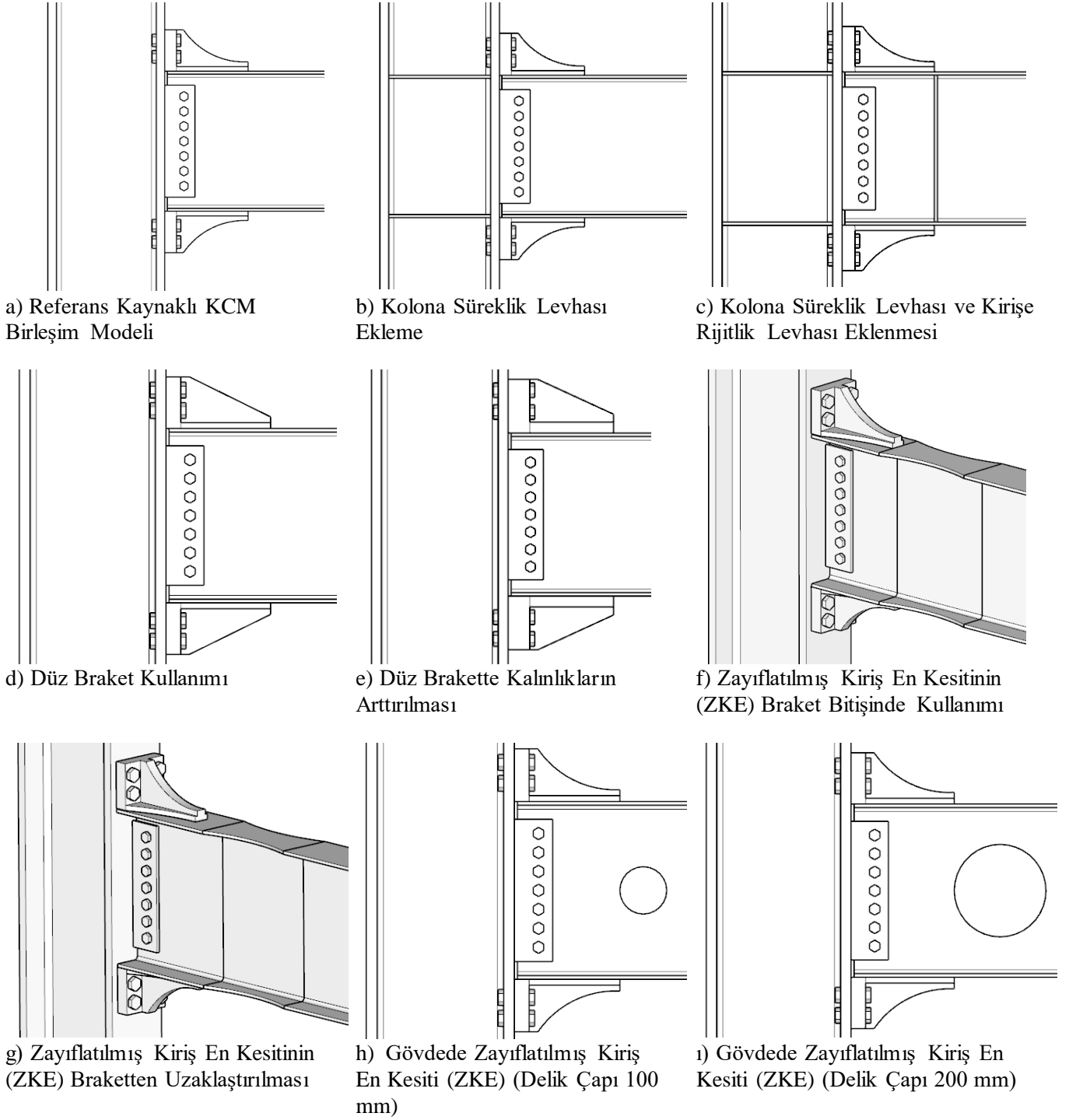


Şekil 8. Çevrimsel Yük Altında Deneysel Çalışma ile B-serisi FEA Kıyaslaması

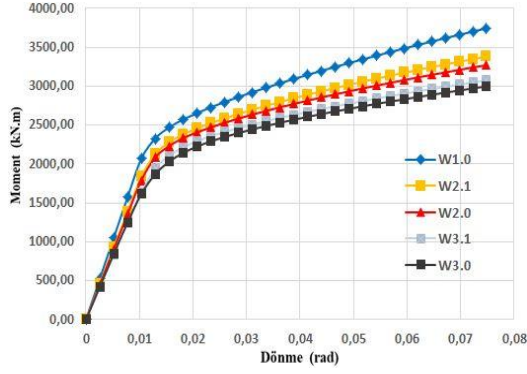
Simülasyon grafikleri, kaynaklı model için 0,01 radyan, civatalı model için ise 0,0085 radyan toplam dönme açısına kadar deneysel çalışma grafikleri ile oldukça iyi bir uyum sergilemiştir. Kaynaklı modelde 0,01 ile 0,027 radyan arasında, civatalı modelde ise 0,0085 ile 0,03 radyan arasında deneysel çalışmanın moment eğrisine göre daha rijit bir davranış gözlemlenmiştir. Her iki grafikte yaklaşık 0,03 radyan dönme açısından sonra plastik deformasyonlar meydana geldiği için grafikler arasındaki uyum azalmıştır. Malzeme eksenel çekme test verilerinin (gerilme-şekil değiştirme grafiği) referans alınan çalışmada verilmemiş olması sebebiyle deneyde kullanılan A572-Gr50 çeliği gerilme-şekil değiştirme eğrisi sayısal olarak oluşturulmuştur.

PARAMETRİK ÇALIŞMA

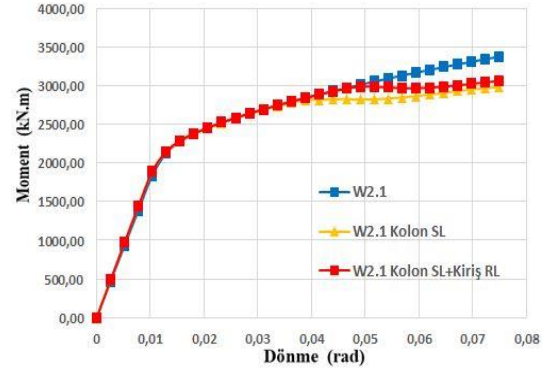
Bu bölümde doğrulanmış KCM birleşim modellerine ait farklı parametreler için moment-dönme grafikleri incelenmiştir. Farklı tip braketlerin kullanımı, kolon panel bölgesine süreklilik levhası kullanımı, kiriş plastik mafsallık bölgesinde rijitlik levhası kullanımı, braket eğrilik yarıçapının (r_v) iptal edilmesi, braket kalınlığının (t_s) değişimi, kirişin plastik mafsallık bölgesinde zayıflatma yapılması ve kirişin plastik mafsallık bölgesinde dairesel delik açılması gibi birçok parametre (Şekil 9) değişken kabul edilmiştir.



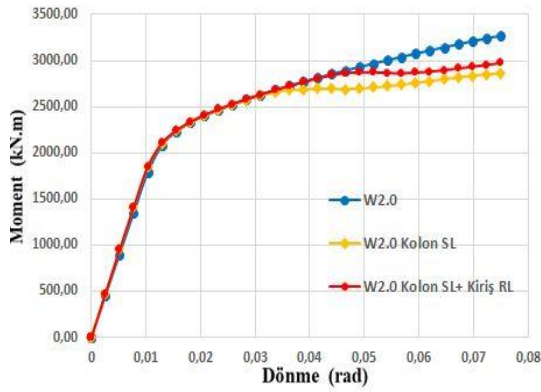
Şekil 9. Parametrik Çalışmada Kullanılan Geometrik Modeller



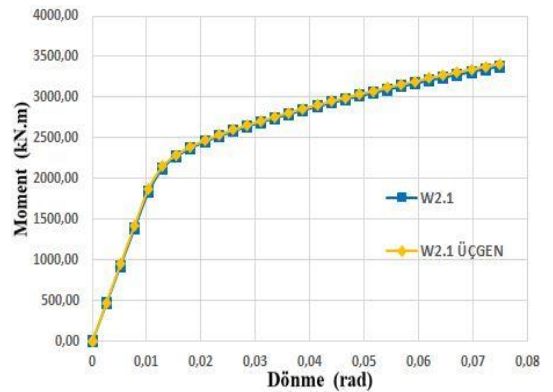
Şekil 10. W-Serisi Farklı Braket Tiplerinin Monotonik Grafiği



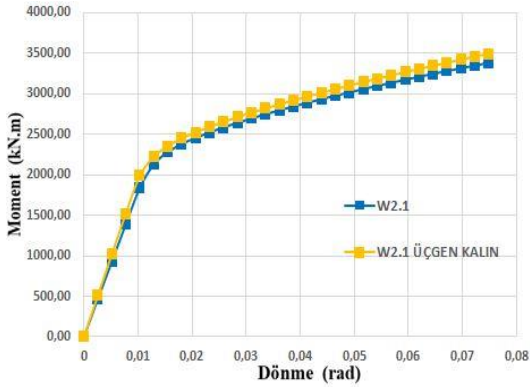
Şekil 11. W2.1 Birleşimde Süreklilik ve Rijitlik Levhası Kullanımı



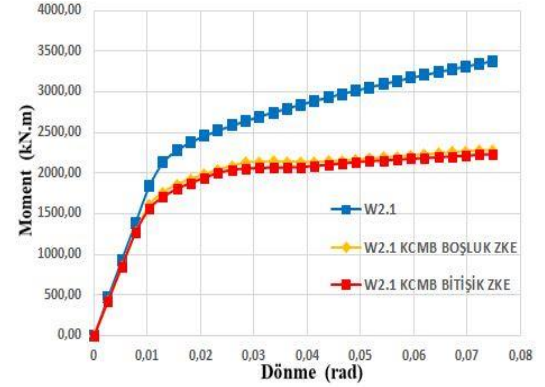
Şekil 12. W2.0 Birleşimde Süreklilik ve Rijitlik Levhası Kullanımı



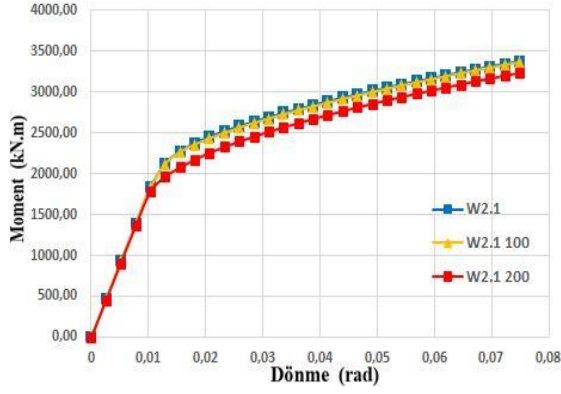
Şekil 13. W2.1 Birleşimde Braket Eğrilik Yarıçapının (r_v) İptal Edilmesi



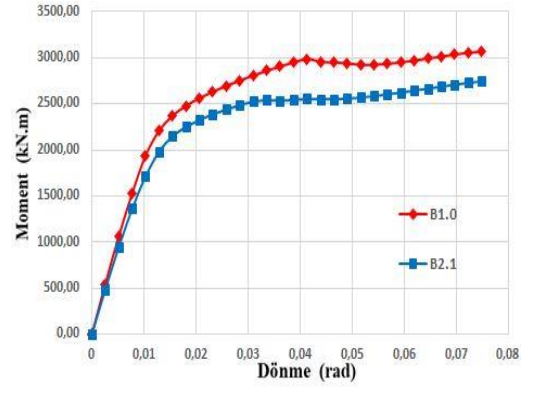
Şekil 14. W2.1 Birleşimde Braket Eğrilik Yarıçapının (r_v) İptali ve Braket Kalınlığının (t_s) Değişimi



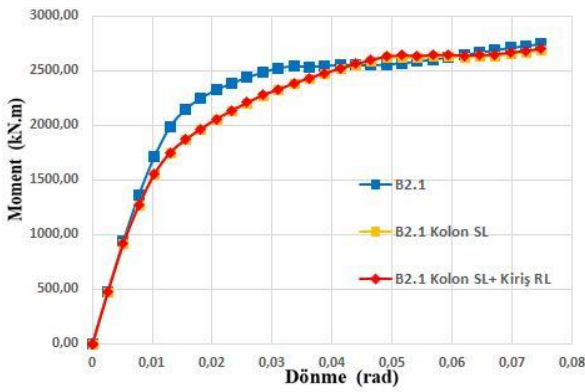
Şekil 15. W2.1 Birleşimde Kirişin Plastik Mafsal Bölgesinde Zayıflatma Yapılması



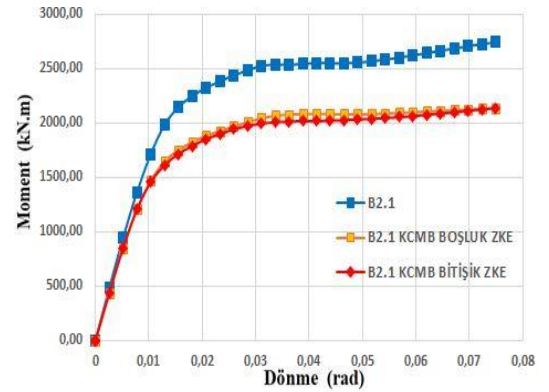
Şekil 16. W2.1 Birleşimde Kirişin Plastik Mafsal Bölgesinde Farklı Çaplarda Dairesel Delik Açılması



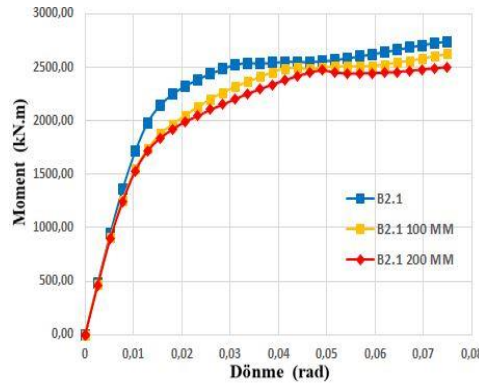
Şekil 17. B-serisi Farklı Braket Tiplerinin Kullanımı



Şekil 18. B2.1 Birleşimde Süreklilik ve Rijitlik Levhası Kullanımı



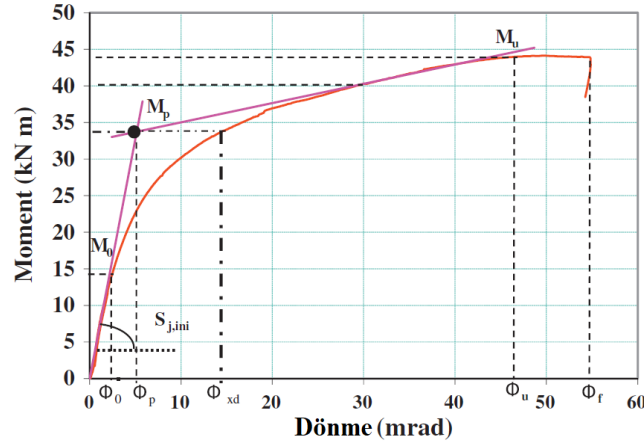
Şekil 19. B2.1 Birleşimde Kirişin Plastik Mafsal Bölgesinde Zayıflatma Yapılması



Şekil 20. B2.1 Birleşimde Kirişin Plastik Mafsal Bölgesinde Farklı Çaplarda Dairesel Delik Açılması

Moment-Dönme Eğrilerinin Doğrulaştırılması

Abidelah vd. (2012) tarafından geliştirilen yöntemde moment-dönme eğrisinin elastik ve plastik bölge eğimleri iki teğet yardımıyla Şekil 21'de görüldüğü gibi keşiştirilerek birleşimin elastik moment kapasitesi " M_p " ve elastik dönme açısı " ϕ_p " değerleri belirlenmektedir. Toplam dönme elastik rijitlik " K_1 ", toplam dönme plastik rijitlik " K_2 " şeklinde gösterilen teğetlerin hesap edilmesi ile tespit edilmiştir.



Şekil 21. Elastik Moment Kapasitesinin Bulunması (Abidelah vd., 2012)

Monotonik yük altında birleşim davranışının incelenmesi

Tablo 4. Monotonik Yükleme Sonuçları

Braket Tipi	K_1 (kN.m/rad)	K_2 (kN.m/rad)	M_p (kN.m)	ϕ_p (rad)
W1.0	202579	16933	2704,82	0,01334
W2.1	179231	13588	2560,03	0,01427
W2.0	174507	12657	2508,51	0,01437
W3.1	160796	11111	2410,48	0,01498
W3.0	161486	10868	2344,27	0,01450
W2.1 Kolon SL	186548	17182	2362,94	0,01266
W2.1 Kolon SL + Kiriş RL	186633	17856	2372,26	0,01270
W2.0 Kolon SL	182663	16079	2302,58	0,01259
W2.0 Kolon SL + Kiriş RL	182808	17241	2313,14	0,01265
W2.1 Üçgen	183724	14089	2558,68	0,01392
W2.1 Üçgen Kalın	196472	14865	2578,66	0,01312
W2.1 Boşluk ZKE	163746	12151	1903,08	0,01162
W2.1 Bitişik ZKE	163813	9055	1889,41	0,01153
W2.1 (100 mm)	178960	13715	2540,00	0,01418
W2.1 (200 mm)	175747	14121	2373,57	0,01350
B1.0	199482	19643	2427,05	0,01213
B2.1	177597	18937	2161,12	0,01214
B2.1 Kolon SL	178261	15668	2042,35	0,01144
B2.1 Kolon SL + Kiriş RL	178522	15863	2039,07	0,01141
B2.1 Boşluk ZKE	157723	15637	1726,70	0,01091
B2.1 Bitişik ZKE	157914	14077	1709,99	0,01079
B2.1 (100 mm)	166421	16770	1990,89	0,01191
B2.1 (200 mm)	164048	16671	1878,17	0,01140

KCM birleşimlerde, monotonik yükleme altında, AISC 358-16 Bölüm 9.9 Tablo 9.1-2 dikkate alınarak W-serisi kaynaklı birleşim için farklı tiplerdeki braketlerin birleşim davranışına etkisi incelenmiştir.

- W-serisinde farklı braket kullanımının moment-dönme grafiğine etkisi Şekil 10'da görülmektedir. Braket uzunluğu (L_{br}), braket yüksekliği (h_{br}), braket genişliği (b_{br}), kolon civata sayısı (n_{cb}) vb. arttıkça (W3.0 braketinden W1.0 braketine doğru) birleşimin elastik rijitliği " K_1 " değeri %25,446, birleşimin plastik rijitliği " K_2 " değeri %55,806 oranında artış göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment " M_p " değeri ise %15,381 oranında artmıştır.
- W2.1 braketinin kullanıldığı birleşimde süreklilik ve rijitlik levhası eklenerek oluşturulmuş modellerin birleşim davranışına etkisi Şekil 11'de görülmektedir. Kolon panel bölgesine süreklilik levhası eklenerek oluşturulmuş modelin doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği " K_1 " değeri %4,082, birleşim plastik rijitliği " K_2 " değeri %26,449 oranında artış göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment " M_p " değeri ise %7,698 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme " ϕ_p " değeri "W2.1 Kolon SL" birleşimi için 0,01266 rad olarak tespit edilmiştir.

W2.1 braketinin kullanıldığı birleşimde kolon panel bölgesine süreklilik levhası ve kiriş plastik mafsalsal bölgesine rijitlik levhası eklenerek oluşturulmuş modelin doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %4,129, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %31,411 oranında artış göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment “ M_P ” değeri ise %7,334 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ φ_P ” değeri “W2.1 Kolon SL+Kiriş RL” birleşimi için 0,01270 rad, olarak tespit edilmiştir.

- W2.0 braketinin kullanıldığı birleşimde süreklilik ve rijitlik levhası eklenerek oluşturulmuş modellerin birleşim davranışına etkisi Şekil 12’de görülmektedir. Kolon panel bölgesine süreklilik levhası eklenerek oluşturulmuş modelin W2.0 modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %4,673, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %27,036 oranında artış göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment “ M_P ” değeri %8,209 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ φ_P ” değeri “W2.0 Kolon SL” birleşimi için 0,01259 rad olarak tespit edilmiştir.

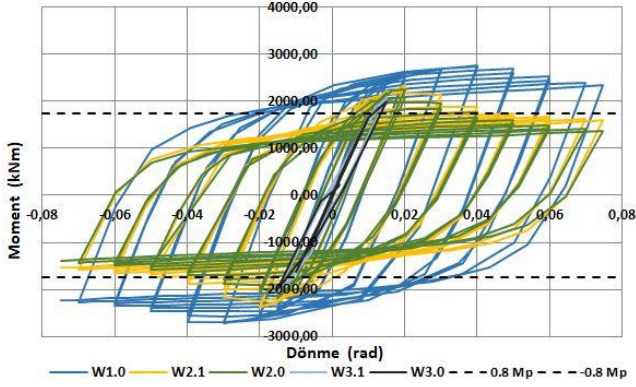
W2.0 braketinin kullanıldığı birleşimde kolon panel bölgesine süreklilik levhası ve kiriş plastik mafsalsal bölgesine rijitlik levhası eklenerek oluşturulmuş modelin, W2.0 modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %4,756, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %36,217 oranında artış göstermiştir. Başlangıç moment “ M_P ” değeri %7,788 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ φ_P ” değeri “W2.0 Kolon SL+Kiriş RL” birleşimi için 0,01265 rad, olarak tespit edilmiştir.

- W2.1 braket eğrilik yarıçapı (rv) iptal edilerek oluşturulmuş modelin birleşim davranışına etkisi Şekil 13’de görülmektedir. W2.1 braket eğrilik yarıçapının (rv) iptal edilmesi ile oluşturulmuş modelin doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %2,506, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %3,687 oranında artış göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment “ M_P ” değeri %0,052 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ φ_P ” değerleri “W2.1 Üçgen” birleşim için 0,01392 rad olarak tespit edilmiştir.
- W2.1 braket kalınlığının (ts) değişimi ile oluşturulmuş modelin birleşim davranışına etkisi Şekil 14’de görülmektedir. W2.1 braket kalınlığının (ts) değişimi ile oluşturulmuş birleşimin doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %9,619, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %9,397 oranında artış göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment “ M_P ” değeri ise %0,727 oranında artış göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ φ_P ” değeri “W2.1 Üçgen Kalın” birleşim için 0,01312 rad olarak tespit edilmiştir.
- W2.1 braketinin kullanıldığı birleşimde braketin uç kısmında, kirişte oluşması beklenen plastik mafsalsal bölgede zayıflatma yapılarak oluşturulmuş modellerin birleşim davranışına etkisi Şekil 15’de görülmektedir. W2.1 braket uç kısmı ile zayıflatma başlangıç noktası arasında 150 mm mesafe bulunan kirişin doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %8,639, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %10,575 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment “ M_P ” değeri ise %25,661 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ φ_P ” değerleri “W2.1 Boşluk ZKE” birleşim için 0,01162 rad olarak tespit edilmiştir. W2.1 braket uç kısmına zayıflatma bölgesi bitişik olan kirişin doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %8,602, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %33,361 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment “ M_P ” değeri ise %26,195 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ φ_P ” değerleri “W2.1 Bitişik ZKE” birleşim için 0,01153 rad olarak tespit edilmiştir.
- Kirişin plastik mafsalsal bölgesinde 100-200 mm yarıçaplı dairesel delik açılmasının birleşim davranışına etkisi Şekil 16’de görülmektedir. W2.1 braketini kullanarak ve kirişin plastik mafsalsal bölgesinde 100 mm yarıçapında dairesel delik açılarak oluşturulmuş birleşimin doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %0,151 oranında azalma, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %0,934 oranında artış göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment “ M_P ” değeri ise %0,782 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ φ_P ” değeri “W2.1 100 mm” birleşim için 0,01418 rad olarak tespit edilmiştir. W2.1 braketini kullanarak ve kirişin plastik mafsalsal bölgesinde 200 mm yarıçapında dairesel delik açılarak oluşturulmuş birleşimin doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %1,943 oranında azalma, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %3,922 oranında artış göstermiştir. Plastikleşme başlangıç

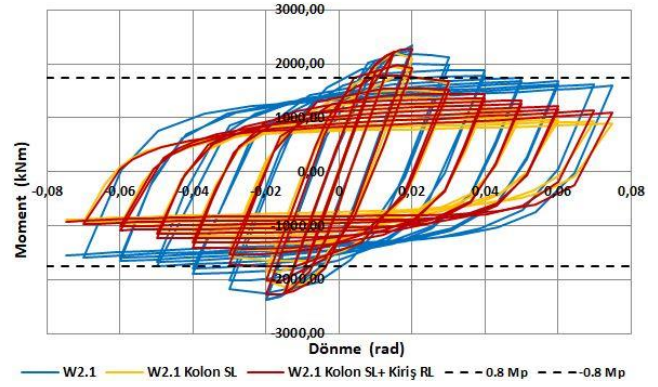
moment “ M_p ” değeri ise %7,283 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ ϕ_p ” değeri “W2.1 200 mm” birleşim için 0,01350 rad olarak tespit edilmiştir.

- AISC 358-16 Bölüm 9.9 Tablo 9.1-3 dikkate alınarak B-serisi civatalı birleşim için farklı tiplerdeki braketlerin birleşim davranışına etkisi Şekil 17’de görülmektedir. B-serisi civatalı birleşim modelleri için braketlerin geometrik özellikleri (Braket uzunluğu (L_{br}), Braket yüksekliği (h_{br}), Braket genişliği (b_{br}), Kolon civata sayısı (n_{cb}) vb.) arttıkça (B2.1 braketinden B1.0 braketine doğru) birleşimin elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %12,322, birleşimin plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %3,728 oranında artış göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment “ M_p ” değeri ise %12,305 oranında artış göstermiştir.
- B2.1 braketinin kullanıldığı birleşimde süreklilik ve rijitlik levhası eklenerek oluşturulmuş modellerin birleşim davranışına etkisi Şekil 18’de görülmektedir. B2.1 braketinin kullanıldığı birleşimde kolon panel bölgesine süreklilik levhası eklenerek oluşturulmuş modelin doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %0,373 oranında artış, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %17,262 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment “ M_p ” değeri ise %5,465 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ ϕ_p ” değeri “B2.1 Kolon SL” birleşimi için 0,01068 rad olarak tespit edilmiştir. B2.1 braketinin kullanıldığı birleşimde kolon panel bölgesine süreklilik levhası ve kiriş plastik mafsalsal bölgesine rijitlik levhası eklenerek oluşturulmuş modelin doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %0,521 oranında artış, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %16,232 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment “ M_p ” değeri ise %5,647 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ ϕ_p ” değeri “B2.1 Kolon SL+Kiriş RL” birleşimi için 0,01141 rad, olarak tespit edilmiştir.
- B2.1 braketinin kullanıldığı birleşimde braketin uç kısmında, kirişte oluşması beklenen plastik mafsalsal bölgesinde zayıflatma yapılarak oluşturulmuş modellerin birleşim davranışına etkisi Şekil 19’da görülmektedir. B2.1 braket uç kısmı ile zayıflatma başlangıç noktası arasında 150 mm mesafe bulunan kirişin doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %11,190, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %17,426 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment “ M_p ” değeri ise %20,101 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ ϕ_p ” değerleri “B2.1 Boşluk ZKE” birleşim için 0,01091 rad olarak tespit edilmiştir. B2.1 braket uç kısmına zayıflatma bölgesi bitişik olan kirişin doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %11,083, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %25,664 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment “ M_p ” değeri ise %20,874 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ ϕ_p ” değerleri “W2.1 Bitişik ZKE” birleşim için 0,01079 rad olarak tespit edilmiştir.
- Kirişin plastik mafsalsal bölgesinde 100-200 mm yarıçaplı dairesel delik açılmasının birleşim davranışına etkisi Şekil 20’de görülmektedir. B2.1 braketi kullanılarak ve kirişin plastik mafsalsal bölgesinde 100 mm yarıçapında dairesel delik açılarak oluşturulmuş birleşimin doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %6,292, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %11,443 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment “ M_p ” değeri ise %7,876 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ ϕ_p ” değeri “B2.1 100 mm” birleşim için 0,01191 rad olarak tespit edilmiştir. B2.1 braketi kullanılarak ve kirişin plastik mafsalsal bölgesinde 200 mm yarıçapında dairesel delik açılarak oluşturulmuş birleşimin doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %7,629, birleşim plastik rijitliği “ K_2 ” değeri %11,965 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç moment “ M_p ” değeri ise %13,092 oranında azalma göstermiştir. Plastikleşme başlangıç dönme “ ϕ_p ” değeri “B2.1 200 mm” birleşim için 0,01140 rad olarak tespit edilmiştir.

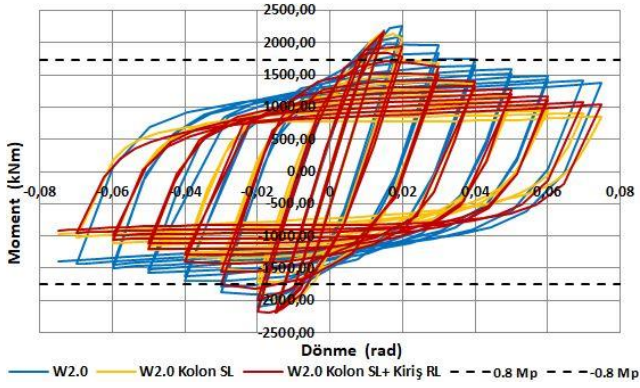
Çevrimsel yük altında sismik performansın incelenmesi



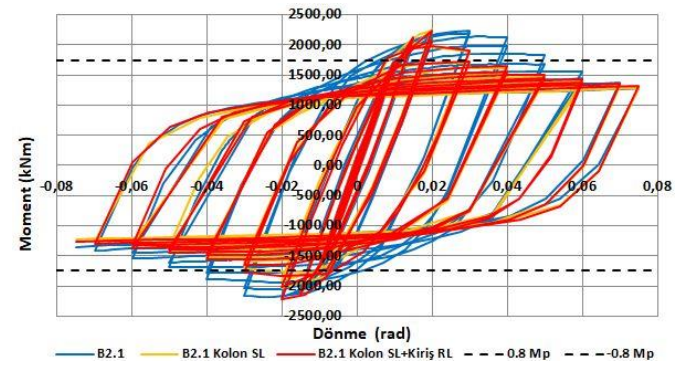
Şekil 22. W Serisi Farklı Braket Tiplerinin Çevrimsel Grafiği



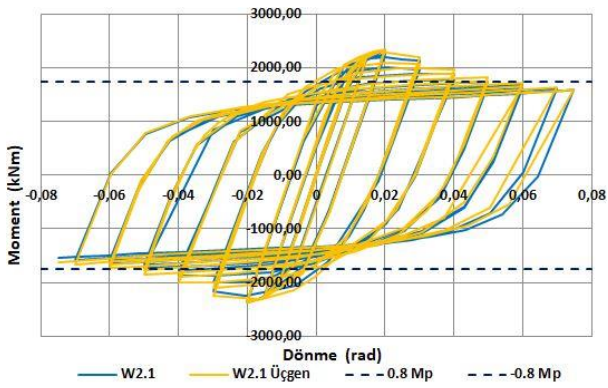
Şekil 23. W2.1 Birleşimde Süreklilik ve Rijitlik Levhası Kullanımı



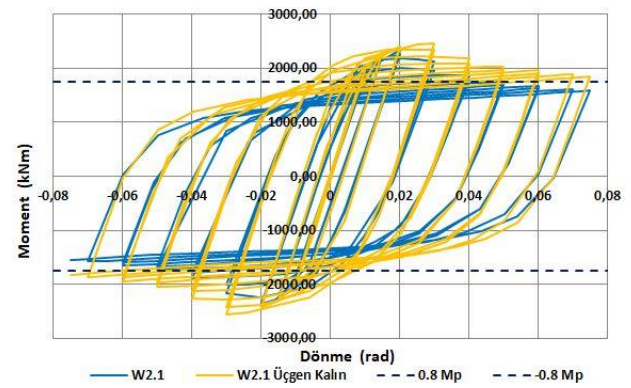
Şekil 24. W2.0 Birleşimde Süreklilik ve Rijitlik Levhası Kullanımı



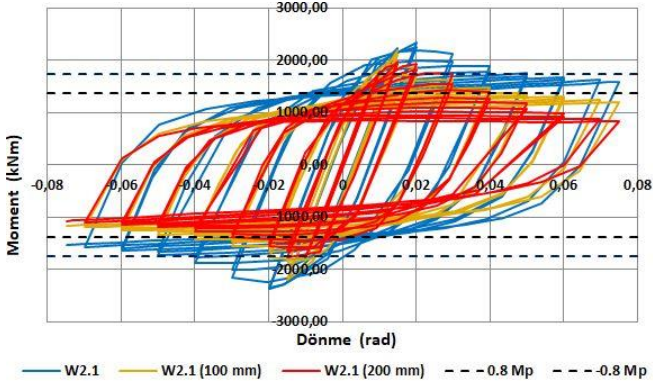
Şekil 25. B2.1 Birleşimde Süreklilik ve Rijitlik Levhası Kullanımı



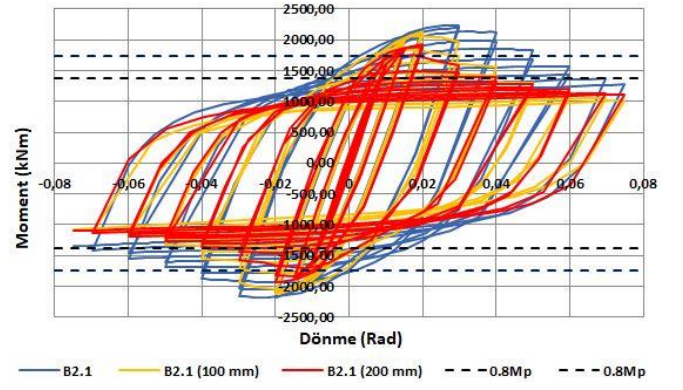
Şekil 26. W2.1 Braket Eğrilik Yarıçapı (r_v) İptal Edilmesi



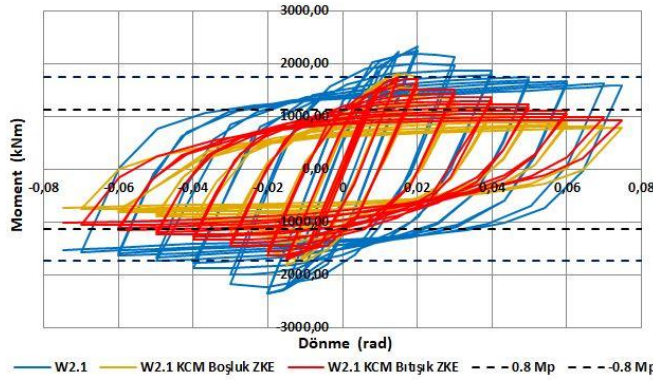
Şekil 27. W2.1 Braket Eğrilik Yarıçapı (r_v) İptali ve Braket Kalınlığının (t_s) Arttırılması



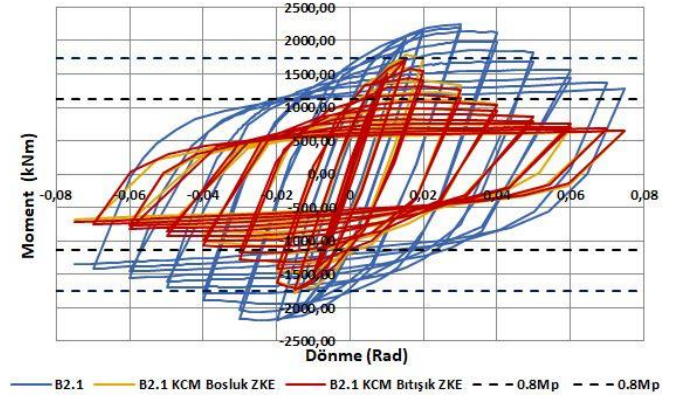
Şekil 28. W2.1 Birleşimde Kiriş Gövdesinde (Plastik Mafsal Bölgesinde) Dairesel Delik Açılması



Şekil 29. B2.1 Birleşimde Kiriş Gövdesinde (Plastik Mafsal Bölgesinde) Dairesel Delik Açılması



Şekil 30. W2.1 Birleşimde Kiriş Başlığında (Plastik Mafsal Bölgesinde) Zayıflatma Yapılması



Şekil 31. B2.1 Birleşimde Kiriş Başlığında (Plastik Mafsal Bölgesinde) Zayıflatma Yapılması

Tablo 5. Çevrimsel Yükleme Sonuçları

W ve B serisi Braket Tipleri	K_1 (kN.m/ rad)	$M_{0,04}$ (kN.m)	M_{max} (kN.m)	M_{min} (kN.m)	ϕ_{max} (rad)	$E_{0,07}$ (KJ)
W1.0	215914	2768,50	2768,50	-2711	0,0749	3416,4
W2.1	189249	1875,60	2335,50	-2368,50	0,0499	2392,5
W2.0	184402	1756,30	2256,40	-2189,50	0,0399	2172,4
W3.1	174645	---	2083,10	-2088	0,0149	80,64
W3.0	174420	---	2001,70	-1989,20	0,0149	22,25
W2.1 Kolon SL	191427	1328,90	2219,90	-2230	0,0199	1703,2
W2.1 KolonSL+KirişRL	191506	1436,90	2279,80	-2261,50	0,0199	1868,5
W2.0 Kolon SL	186691	1370,40	2174,10	-2186,60	0,0199	1735
W2.0 KolonSL+KirişRL	186811	1405,60	2182,90	-2190,30	0,0199	1835
W2.1 Üçgen	193816	1972,10	2350,30	-2372,20	0,0499	2461,1
W2.1 Üçgen Kalm	203208	2190,20	2458,90	-2546,10	0,0749	2793
W2.1 Boşluk ZKE	170113	1128,90	1817,10	-1821	0,0199	1382,7
W2.1 Bitişik ZKE	171052	1358,70	1748,60	-1720,70	0,0199	1676,4
W2.1 (100 mm)	189018	1469,50	2194,30	-2202,10	0,0199	1993,4
W2.1 (200 mm)	185543	1397,30	1965,70	-1762,70	0,0199	1754,2
B2.1	182807	2131	2240	-2181,80	0,0499	2274,1
B2.1 Kolon SL	183912	1609,70	2260,40	-2029,60	0,0299	1974,7

B2.1 Kolon SL+Kiriş RL	184743	1699,30	2266,70	-2256,90	0,0299	2132,4
B2.1 Boşluk ZKE	169776	1057,40	1778,40	-1786,50	0,0149	1323,3
B2.1 Bitişik ZKE	169439	1033,90	1721	-1729,60	0,0149	1351,1
B2.1 (100 mm)	182491	1561,70	2103,20	-2134,30	0,0299	1880
B2.1 (200 mm)	179011	1387,20	1936,20	-1935,30	0,0199	1929,9

Toplam dönme elastik rijitlik " K_1 ", 0,04 radyan toplam dönme için birleşimin taşıdığı moment değeri " $M_{0,04}$ ", maksimum-minimum moment değerleri " $M_{max}-M_{min}$ ", maksimum toplam dönme miktarı " φ_{max} " ve 0,07 radyan toplam dönmeye ulaşana kadar tüketilen enerji miktarı değerleri " $E_{0,07}$ " oluşturulan simülasyon modelleri için çevrimsel yükleme altında tespit edilmiştir. Yapılan gözlemler aşağıda sıralanmıştır.

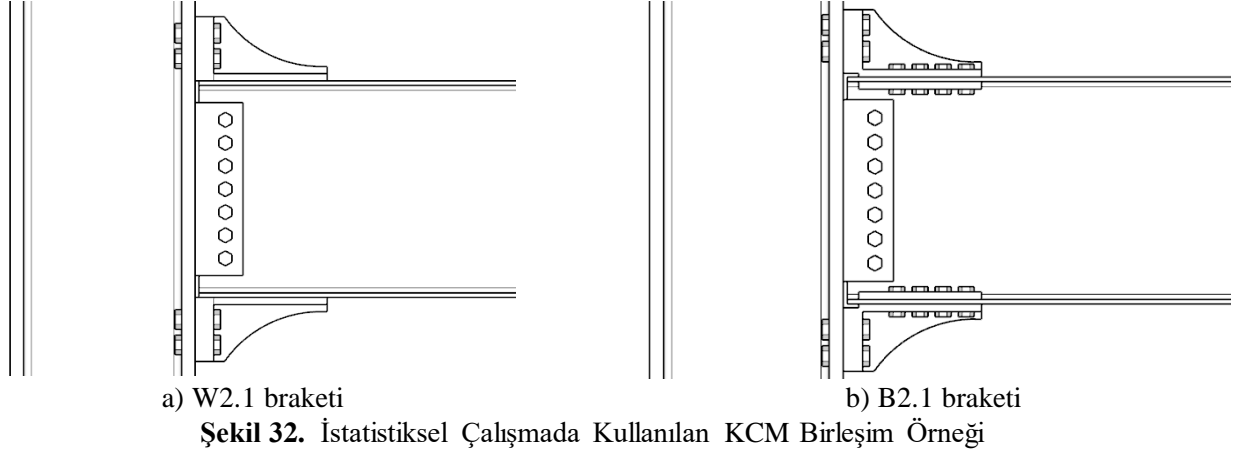
- W-serisi kaynaklı birleşim modelleri için braket büyüklüğü arttıkça (Şekil 22.) (W2.0 braketinden W1.0 braketine doğru) birleşimin elastik rijitliği " K_1 " değeri %17,088, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment " $M_{0,04}$ " değeri %57,632 oranında artış göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı " $E_{0,07}$ " değeri ise %57,263 oranında artış göstermiştir.
- W2.1 braketinin kullanıldığı birleşimde kolon panel bölgesine süreklilik levhası eklenerek oluşturulmuş modelin (Şekil 23.) doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği " K_1 " değeri %1,151 oranında artış, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment " $M_{0,04}$ " değeri %29,148 oranında azalma göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı " $E_{0,07}$ " değeri ise %28,811 oranında azalma göstermiştir.
- W2.1 braketinin kullanıldığı birleşimde kolon panel bölgesine süreklilik levhası ve kiriş plastik mafsallık bölgesine rijitlik levhası eklenerek oluşturulmuş modelin (Şekil 23.) doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği " K_1 " değeri %1,192 oranında artış, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment " $M_{0,04}$ " değeri %23,389 oranında azalma göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı " $E_{0,07}$ " değeri ise %21,901 oranında azalma göstermiştir.
- W2.0 braketinin kullanıldığı birleşimde kolon panel bölgesine süreklilik levhası eklenerek oluşturulmuş modelin (Şekil 24.) doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği " K_1 " değeri %1,241 oranında artış, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment " $M_{0,04}$ " değeri %21,972 oranında azalma göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı " $E_{0,07}$ " değeri ise %20,134 oranında azalma göstermiştir.
- W2.0 braketinin kullanıldığı birleşimde kolon panel bölgesine süreklilik levhası ve kiriş plastik mafsallık bölgesine rijitlik levhası eklenerek oluşturulmuş modelin (Şekil 24.) doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği " K_1 " değeri %1,306 oranında artış, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment " $M_{0,04}$ " değeri %19,968 oranında azalma göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı " $E_{0,07}$ " değeri ise %15,531 oranında azalmıştır.
- B2.1 birleşimi için (Şekil 25.) birleşim elastik rijitliği değeri " K_1 " 182807 kN.m/rad, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment değeri " $M_{0,04}$ " 2131 kN.m ve 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı " $E_{0,07}$ " ise 2274,1 kJ olarak tespit edilmiştir.
- B2.1 braketinin kullanıldığı birleşimde kolon panel bölgesine süreklilik levhası eklenerek oluşturulmuş modelin (Şekil 25.) doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği " K_1 " değeri %0,604 oranında artış, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment " $M_{0,04}$ " değeri %24,462 oranında azalma göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı " $E_{0,07}$ " değeri ise %13,143 oranında azalmıştır.
- B2.1 braketinin kullanıldığı birleşimde kolon panel bölgesine süreklilik levhası ve kiriş plastik mafsallık bölgesine rijitlik levhası eklenerek oluşturulmuş modelin (Şekil 25.) doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği " K_1 " değeri %1,059 oranında artış, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment " $M_{0,04}$ " değeri %20,258 oranında azalma göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı " $E_{0,07}$ " değeri ise %6,231 oranında azalmıştır.

- W2.1 braket eğrilik yarıçapının (rv) iptal edilmesi ile oluşturulmuş modelin (Şekil 26.) doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %2,413, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment “ $M_{0,04}$ ” değeri %5,145 oranında artış göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı “ $E_{0,07}$ ” değeri ise %2,867 oranında artmıştır.
- W2.1 braket eğrilik yarıçapının (rv) iptal edilmesi ve braket kalınlığının (ts) değişimi ile oluşturulmuş birleşimin (Şekil 27.) doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %7,375, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment “ $M_{0,04}$ ” değeri %16,373 oranında artış göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı “ $E_{0,07}$ ” değeri ise %16,739 oranında artmıştır.
- W2.1 braketi kullanılarak ve kirişin plastik mafsalsal bölgesinde 100 mm yarıçapında dairesel delik açılarak oluşturulmuş birleşimin (Şekil 28.) doğrulanmış modele birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %0,122, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment “ $M_{0,04}$ ” değeri %21,651 oranında azalma göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı “ $E_{0,07}$ ” değeri ise %16,681 oranında azalmıştır.
- W2.1 braketi kullanılarak ve kirişin plastik mafsalsal bölgesinde 200 mm yarıçapında dairesel delik açılarak oluşturulmuş birleşimin (Şekil 28.) doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %1,958, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment “ $M_{0,04}$ ” değeri %25,501 oranında azalma göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı “ $E_{0,07}$ ” değeri ise %26,679 oranında azalmıştır.
- B2.1 braketi kullanılarak ve kirişin plastik mafsalsal bölgesinde 100 mm yarıçapında dairesel delik açılarak oluşturulmuş birleşimin (Şekil 29.) doğrulanmış modele birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %0,172, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment “ $M_{0,04}$ ” değeri %26,715 oranında azalma göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı “ $E_{0,07}$ ” değeri ise %17,329 oranında azalmıştır.
- B2.1 braketi kullanılarak ve kirişin plastik mafsalsal bölgesinde 200 mm yarıçapında dairesel delik açılarak oluşturulmuş birleşimin (Şekil 29.) doğrulanmış modele kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %2,076, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment “ $M_{0,04}$ ” değeri %34,903 oranında azalma göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı “ $E_{0,07}$ ” değeri ise %15,135 oranında azalmıştır.
- W2.1 braket uç kısmı ile zayıflatma başlangıç noktası arasında 150 mm mesafe bulunan kirişin doğrulanmış modele (Şekil 30.) kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %10,111, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment “ $M_{0,04}$ ” değeri %39,811 oranında azalma göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı “ $E_{0,07}$ ” değeri ise %42,206 oranında azalmıştır.
- W2.1 braket uç kısmına zayıflatma bölgesi bitişik olan kirişin doğrulanmış modele (Şekil 30.) kıyasla birleşim elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %9,615, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment “ $M_{0,04}$ ” değeri %27,559 oranında azalma göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı “ $E_{0,07}$ ” değeri ise %29,931 oranında azalmıştır.
- B2.1 braket uç kısmı ile zayıflatma başlangıç noktası arasında 150 mm mesafe bulunan kirişin doğrulanmış modele kıyasla birleşim (Şekil 31.) elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %7,128, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment “ $M_{0,04}$ ” değeri %50,380 oranında azalma göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı “ $E_{0,07}$ ” değeri ise %41,809 oranında azalmıştır.
- B2.1 braket uç kısmına zayıflatma bölgesi bitişik olan kirişin doğrulanmış modele kıyasla birleşim (Şekil 31.) elastik rijitliği “ K_1 ” değeri %7,312, 0,04 toplam dönme açısına karşılık gelen moment “ $M_{0,04}$ ” değeri %51,482 oranında azalma göstermiştir. 0,07 radyan dönmeye kadar tüketilen enerji miktarı “ $E_{0,07}$ ” değeri ise %40,587 oranında azalmıştır.

İSTATİKSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde FEA doğrulama çalışmasında tespit edilen sonuçlar kullanılarak KCM birleşimlerin elastik bölge rijitliği, plastik bölge rijitliği, elastik moment kapasitesi ve elastik dönme kapasitesi bilgilerini veren ampirik formüllerin türetilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla W serisi kaynaklı birleşim tiplerinden W2.1 braketi ve B serisi civatalı birleşim tiplerinden B2.1 braketi (Şekil 32.) referans alınarak ayrı ayrı 24 adet toplam da 48 adet simülasyon

modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerde kolon profiller uç kısmında sabit mesnetlidir. Kiriş ucuna 300 mm monotonik yer değiştirme yükü, kolon yüzeyinden 4000 mm uzaklıkta, 30 saniyede ve 1 saniye adımla uygulanmıştır. Moment ve toplam dönme değerleri kolon yüzünde tespit edilmiştir.



İstatistiksel çalışmada W2.1 ve B2.1 braketleri için “braket başlık kalınlığı (t_{tf}), braket gövde kalınlığı (t_{ts}), kiriş uzunluğu (L_b), kolon uzunluğu (L_c), kiriş en-kesit profili plastik mukavemet momenti (W_{pb}) ve kolon en-kesit profili plastik mukavemet momenti (W_{pc})” değişken parametreler olarak kabul edilmiştir. Simülasyon çalışmaları sonucunda elde edilen elastik rijitlik ($K_{elastik}$), plastik rijitlik ($K_{plastik}$), elastik moment kapasitesi (M_p) ve elastik toplam dönme kapasitesi (ϕ_p) değerleri DATAFIT programına diğer parametrelerle birlikte girilerek 8 adet denklem türetilmiştir. Elde edilen denklemler aşağıda sunulmuştur.

Tablo 6. W2.1 Braketli için ANSYS ve DATAFIT Sonuçlarının Karşılaştırılması

t_{tf}	t_{ts}	L_b	L_c	W_{pb}	W_{pc}	$K_{elastik}$ ANSYS	Data Fit	$K_{plastik}$ ANSYS	Data Fit	M_p ANSYS	Data Fit	ϕ_p ANSYS	Data Fit
0,053	0,025	4	4	0,0046	0,0103	186218	166377	11711	11239	2619	2535	0,0140	0,0154
0,073	0,025	4	4	0,0046	0,0103	189958	179895	12973	12844	2614	2560	0,0137	0,0143
0,083	0,025	4	4	0,0046	0,0103	191751	186654	13692	13646	2601	2573	0,0135	0,0138
0,093	0,025	4	4	0,0046	0,0103	193274	193413	14532	14448	2578	2586	0,0133	0,0134
0,063	0,035	4	4	0,0046	0,0103	190503	179633	12656	11994	2597	2590	0,0136	0,0145
0,063	0,045	4	4	0,0046	0,0103	191412	186129	12931	11946	2583	2633	0,0134	0,0142
0,063	0,055	4	4	0,0046	0,0103	193483	192626	13003	11898	2576	2676	0,0133	0,0139
0,063	0,065	4	4	0,0046	0,0103	194616	199123	13218	11850	2562	2719	0,0131	0,0136
0,063	0,025	3	4	0,0046	0,0103	214500	215994	8036	10892	3144	2888	0,0146	0,0130
0,063	0,025	5	4	0,0046	0,0103	160102	156265	14371	13000	2332	2379	0,0145	0,0155
0,063	0,025	6	4	0,0046	0,0103	138519	139393	14137	13958	2216	2210	0,016	0,0161
0,063	0,025	7	4	0,0046	0,0103	121328	122522	13388	14916	2139	2042	0,0176	0,0168
0,063	0,025	4	3	0,0046	0,0103	187680	181513	12369	11968	2615	2541	0,0139	0,0141
0,063	0,025	4	5	0,0046	0,0103	180373	164758	12391	12115	2606	2554	0,0144	0,0156
0,063	0,025	4	6	0,0046	0,0103	159471	156381	12418	12188	2595	2560	0,0162	0,0165
0,063	0,025	4	7	0,0046	0,0103	142794	148003	12150	12262	2551	2567	0,0178	0,0173
0,063	0,025	4	4	0,0020	0,0103	50224	49528	4914	5016	1083	1094	0,0215	0,0216
0,063	0,025	4	4	0,0025	0,0103	65084	72450	6070	6319	1335	1364	0,0205	0,0201
0,063	0,025	4	4	0,0039	0,0103	109395	139526	8998	10131	2051	2152	0,0187	0,0164
0,063	0,025	4	4	0,0053	0,0103	158413	207278	11765	13982	2724	2949	0,0171	0,0134
0,063	0,025	4	4	0,0046	0,0113	190505	177933	12871	12141	2595	2560	0,0136	0,0145
0,063	0,025	4	4	0,0046	0,0123	192949	183075	12581	12247	2604	2573	0,0134	0,0141
0,063	0,025	4	4	0,0046	0,0147	196708	194498	12577	12483	2607	2602	0,0132	0,0133
0,063	0,025	4	4	0,0046	0,0169	199531	205823	12446	12716	2613	2631	0,0130	0,0125

W-serisi kaynaklı birleşim modeli için denklemler:

$$K_{elastik} = 675900t_{tf} + 649682t_{ts} - 16871L_b - 8378L_c + 48359906W_{pb} + 494503W_{pc} - 60606 \quad (5)$$

$$K_{plastik} = 80225t_{tf} - 4799t_{ts} + 958L_b + 73L_c + 2748790W_{pb} + 102084W_{pc} - 10844 \quad (6)$$

$$M_p = 1289t_{tf} + 4294t_{ts} - 169L_b + 6L_c + 5685984W_{pb} + 12611W_{pc} + 236 \quad (7)$$

$$\varphi_p = e^{(-3t_{tf} - 2t_{ts} + 4L_b + 5L_c - 147W_{pb} - 25W_{pc} - 3)} \quad (8)$$

Tablo 7. B2.1 Braketi için ANSYS ve DATAFIT Sonuçlarının Karşılaştırılması

t_{tf}	t_{ts}	L_b	L_c	W_{pb}	W_{pc}	$K_{elastik}$	Data	$K_{plastik}$	Data	M_p	Data	φ_p	Data
0,053	0,025	4	4	0,0046	0,0103	177081	163883	13239	14025	2324	2159	0,0130	0,0130
0,073	0,025	4	4	0,0046	0,0103	176246	170050	13060	13513	2299	2203	0,0130	0,0128
0,083	0,025	4	4	0,0046	0,0103	176457	173134	13052	13264	2266	2225	0,0128	0,0128
0,093	0,025	4	4	0,0046	0,0103	176336	176217	13039	13020	2243	2247	0,0126	0,0127
0,063	0,035	4	4	0,0046	0,0103	176140	171171	13030	13605	2368	2252	0,0134	0,0130
0,063	0,045	4	4	0,0046	0,0103	178549	175376	13081	13445	2392	2324	0,0133	0,0132
0,063	0,055	4	4	0,0046	0,0103	179750	179580	13180	13287	2401	2396	0,0133	0,0133
0,063	0,065	4	4	0,0046	0,0103	180828	183784	13547	13131	2400	2467	0,0132	0,0134
0,063	0,025	3	4	0,0046	0,0103	192678	183268	13443	13990	2612	2232	0,0134	0,0118
0,063	0,025	5	4	0,0046	0,0103	155519	150665	13055	13547	2227	2129	0,0143	0,0142
0,063	0,025	6	4	0,0046	0,0103	135627	134363	12837	13331	2144	2078	0,0158	0,0156
0,063	0,025	7	4	0,0046	0,0103	118738	118062	13427	13118	2076	2026	0,0174	0,0172
0,063	0,025	4	3	0,0046	0,0103	182061	173013	13171	13874	2374	2130	0,013	0,0121
0,063	0,025	4	5	0,0046	0,0103	178166	160921	13240	13660	2363	2232	0,0132	0,0138
0,063	0,025	4	6	0,0046	0,0103	163915	154874	13454	13554	2345	2282	0,0143	0,0148
0,063	0,025	4	7	0,0046	0,0103	140069	148828	13417	13449	2329	2333	0,0166	0,0159
0,063	0,025	4	4	0,0020	0,0103	47279	47796	4628	4741	930	991	0,0190	0,0186
0,063	0,025	4	4	0,0025	0,0103	63117	69896	6145	5777	1129	1212	0,0170	0,0174
0,063	0,025	4	4	0,0039	0,0103	103893	134563	12878	10303	1315	1857	0,0126	0,0143
0,063	0,025	4	4	0,0053	0,0103	147829	199883	20127	18480	1512	2510	0,0102	0,0117
0,063	0,025	4	4	0,0046	0,0113	184930	171857	13306	13237	2367	2201	0,0127	0,0127
0,063	0,025	4	4	0,0046	0,0123	187303	177101	13392	12693	2364	2222	0,0126	0,0125
0,063	0,025	4	4	0,0046	0,0147	191044	188748	10808	11562	2257	2269	0,0118	0,0120
0,063	0,025	4	4	0,0046	0,0169	193773	200294	10812	10540	2257	2316	0,0116	0,0115

B-serisi bulonlu birleşim modeli için denklemler:

$$K_{elastik} = 308361t_{tf} + 420447t_{ts} - 16302L_b - 6046L_c + 46623878W_{pb} + 5041999W_{pc} - 42437 \quad (9)$$

$$K_{plastik} = -2t_{tf} - 1t_{ts} - 2L_b - 7L_c + 417W_{pb} - 40W_{pc} + 8 \quad (10)$$

$$M_p = 2211t_{tf} + 7154t_{ts} - 52L_b + 51L_c + 465578W_{pb} + 20504W_{pc} - 510 \quad (11)$$

$$\varphi_p = e^{(-0,6t_{tf} + 0,8t_{ts} + 0,09L_b + 0,06L_c - 143W_{pb} - 17W_{pc} - 4)} \quad (12)$$

İSTATİKSEL ÇALIŞMA KATSAYILARININ ELDESİ

Korelasyon (r), Nash-Sutcliffe Etkinlik (NSE), Centred Root-Mean-Square Error (CRMSE), Mean Relative Error (MRE) istatistiksel çalışma katsayıları (Dis vd. , 2018) kullanılarak elde edilen formüllerin hata oranları tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 8. ve Tablo 9.'de sunulmuştur.

Tablo 8. W-serisi ANSYS Sonuçları ile Denklem Sonuçları Arasındaki İstatistik Katsayıları

Denklem	r	NSCE	MRE	CRMSE%
$K_{elastik}$	0,942	0,87	3×10^{-11}	8,37
$K_{plastik}$	0,907	0,78	$-3,5 \times 10^{-12}$	8,46
M_p	0,976	0,95	$8,54 \times 10^{-7}$	7,48
φ_p	0,882	0,72	$1,69 \times 10^{-4}$	3,73

Tablo 9. B-serisi ANSYS Sonuçları ile Denklem Sonuçları Arasındaki İstatistik Katsayıları

Denklem	r	NSCE	MRE	CRMSE%
$K_{elastik}$	0,928	0,84	$-1,83 \times 10^{-11}$	9,04
$K_{plastik}$	0,960	0,91	$7,36 \times 10^{-4}$	5,98
M_p	0,792	0,40	$-3,31 \times 10^{-6}$	12,27
φ_p	0,942	0,87	$9,71 \times 10^{-5}$	4,8

SONUÇLAR

Kaynaklı ve bulonlu birleşim modelleri için monotonik yükleme altında gerçekleştirilen analizlerde aşağıdaki hususlar tespit edilmiştir.

Monotonik yükleme

- Braket değişimine bağlı olarak kaynaklı ve bulonlu birleşimlerde elastik-plastik bölge rijitlikleri ve Elastik moment kapasitesi önemli oranda değişiklik göstermektedir. Kaiser birleşimde kullanılan braket tipi taşıyıcı sistem davranışını etkilemektedir.
- W-serisi birleşimlerde kolon süreklilik levhası kullanımı, kiriş rijitlik levhası kullanımı, braket geometrisindeki değişikliklerin birleşim davranışına ciddi bir etkisi gözlemlenmemiştir.
- B serisi birleşimlerde kolonda süreklilik levhası kullanımı sebebiyle kirişte meydana gelen plastik deformasyonlar daha erken başlamıştır. Ancak elastik ve plastik bölge rijitlikleri ve elastik moment kapasitesi ciddi oranda etkilenmemiştir.
- Bulonlu ve kaynaklı birleşimlerde kiriş başlığında ve gövdesinde yapılan zayıflatmaların birleşim elastik rijitliğine ciddi bir etkisi olmamıştır. Yapılan zayıflatmalar ile kolonda meydana gelen gerilmeler azalmıştır ve plastik deformasyonlar kirişe yönlendirilmiştir.

Çevrimsel yükleme

- W serisi birleşimde braket ölçüsü büyüdükçe enerji tüketimi önemli ölçüde artmıştır.
- W ve B serisi birleşimde süreklilik levhası kullanımı ile kiriş başlığı daha erken burkulmuş ve enerji tüketimi azalmıştır. Rijitlik levhası kullanımı sismik performansı çok ciddi etkilememiştir.
- W Serisi brakette eğrilik yarıçapının iptali çevrimsel davranışı etkilememiştir. Braket kalınlığı değişimi çevrimsel performansı olumlu etkilemiştir.
- W ve B serisi birleşimde kiriş gövdesinde 100 mm delik açılması birleşim moment kapasitesini beklemedik bir şekilde azaltmıştır. Ayrıca kiriş gövdesinde 100 mm delik açılan model ile 200 mm delik açılan modelin çevrimsel performansları birbirine yakın elde edilmiştir.

- W ve B serisi birleşimde ZKE'nin brakete yaklaşması çevrimsel davranışı iyileştirmiştir. Gövde ve başlıkta kesit zayıflatma miktarı özenli seçilmelidir. Kesit zayıflatması sonrasında 0,04 radyan dönme açısında birleşim moment kapasitesinin $0.8M_{pb}$ nin altına düşmemesi gerekir.

İstatistiksel çalışma

- $K_{elastik}$, $K_{plastik}$ ve φ_p için elde edilen istatistik katsayıları (r) ve (NSCE)'nin 1'e yakın değer aldığı, (CRMSE) ve (MRE)'nin de 0'a yakın değer aldığı tespit edilmiştir. M_p denklemi için elde edilen istatistiksel performansın diğer denklemlere göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Abidelah, A., Bouchaïr, A., & Kerdal, D. E. (2012). Experimental and analytical behavior of bolted end-plate connections with or without stiffeners. *Journal of Constructional Steel Research*, 76, 13-27.
- Adan, S. M., & Gibb, W. (2009). Experimental evaluation of kaiser bolted bracket steel moment-resisting connections. *ENGINEERING JOURNAL-AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION INC*, 46(3), 181-195.
- AFAD. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018), Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, <https://www.afad.gov.tr/tr/24210/Turkiye-Bina-Deprem-Yonetmeliği>.
- ANSYS Workbench Release 19.2. (2018). ANSYS Inc, Canonsburg, Pennsylvania.
- ANSYS Mechanical. Release 18.2 - © ANSYS, Inc.
https://www.mm.bme.hu/~gyebro/files/ans_help_v182/ans_elem/Hlp_E_SOLID186.html Accessed 14.04.2022.
https://www.mm.bme.hu/~gyebro/files/ans_help_v182/ans_elem/Hlp_E_SOLID187.html Accessed 14.04.2022.
https://www.mm.bme.hu/~gyebro/files/ans_help_v182/ans_elem/Hlp_E_TARGE170.html Accessed 14.04.2022
https://www.mm.bme.hu/~gyebro/files/ans_help_v182/ans_elem/Hlp_E_CONTA174.html Accessed 14.04.2022
- AISC 358-16.(2016). Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames For Seismic Applications.
- ATC-24. (1992). "Guidelines for cyclic seismic testing of components of steel structures". ATC-24, Redwood City, CA.
- DATAFIT version 9.1.32., DATAFIT Systems Inc, Oakdale Engineering, 1995-2014.
- Dis, M. O., Anagnostou, E. & Mei, Y. (2018). Using high-resolution satellite precipitation for flood frequency analysis: case study over the Connecticut River Basin, *Journal of Flood Risk Management* 11, S514-S526.
- Erol, Ahmet Serdar (2020). Kaiser cıvatalı moment birleşimlerin sismik performansının incelenmesi. MS thesis. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Kasai, K., Hodgson, I., & Bleiman, D. (1998). Rigid-bolted repair method for damaged moment connections. *Engineering structures*, 20(4-6), 521-532.
- Shahidi, F., NATEGHI, A., & Razzaghi, M. S. (2013). Influential factor in improving the seismic performance of the kaiser bolted bracket moment connection.