

Araştırma Makalesi / Research Article

**Kaiser Cıvatalı Moment Birleşimlerin Avrupa Çelik
Profilleri ile Tasarımı**

*¹Ahmet Serdar EROL, ²Alırıza İlker AKGÖNEN

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye,
erol.serdar2746@gmail.com, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5291-7628>

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye,
ilkerakgonen@ksu.edu.tr, ORCID ID <http://orcid.org/0000-0001-7384-8764>

Geliş / Recieved: 19.04.2021;

Kabul / Accepted: 14.06.2021

Öz

Kaiser Cıvatalı Moment birleşimler yüksek sünek çelik çerçeveler için Amerika Birleşik Devletleri'nde yaygın olarak kullanılmakta ve deneysel çalışmalar ile performans yeterliği kanıtlanmış birleşimler arasında AISC358-16'da yer almaktadır. Ancak Kaiser cıvatalı moment birleşimlerine TBDY-2018'de yer verilmemiştir. Bu çalışmada Türk ve Avrupalı inşaat mühendislerinin istifadelerine sunmak amacı ile deprem yükleri altında yüksek performansa sahip olan Kaiser Cıvatalı Moment birleşimleri tasarım adımlarında Avrupa profili ve çelik kalitesi ile çalışılmıştır. Kolon ve kiriş bölgesi için gerekli tüm kontroller açıklanmış ve sayısal bir örnek sunulmuştur. Tasarım parametrelerinin tüm tasarım üzerine etkisini incelemek amacıyla bir hesap algoritması ve bir excel programı oluşturulmuştur. Kiriş kesitinin ve braketin geometrik özelliklerinin birleşim davranışı üzerine etkisi incelenmiş ve bu etkiler grafikler ile sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Kaiser cıvatalı birleşim, Moment birleşimleri, Avrupa çelik profilleri, Birleşim tasarımı

*¹Sorumlu yazar / Corresponding author

Bu makaleye atıf yapmak için

Erol, A. S., & Akgonen, A. İ. (2021). Kaiser Cıvatalı Moment Birleşimlerin Avrupa Çelik Profilleri ile Tasarımı. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 1(1), 23-39.

Design of Kaiser Bolted Bracket Moment Connections with European Steel Profiles

Abstract

Kaiser Bolted Bracket (KBB) Moment Connections are widely used for Special Moment Frames in USA and these connections are accepted as pre-qualified moment a connection which means satisfactory performance capacity was proved with experimental studies under earthquake load and take place in AISC358-16. However, this connection type does not take place in Turkish Building Design Code (TBDY-2018) as recommended moment connection for Special Moment Frames. In this study, it was aimed to illustrate design steps of high-performance KBB Moment Connections were studied with European steel shapes and steel quality for utilization of Turkish and European structural engineers. All designed steps for both column side and beam side were explained and a numerical example was presented. A calculation algorithm and an excel design program were developed to investigate the effect of design parameters on whole design process. The effect of beam size and bracket geometry on design process were determined and presented as graphical illustration.

Keywords: *Kaiser bolted bracket, Moment connection, European steel profiles, Connection design*

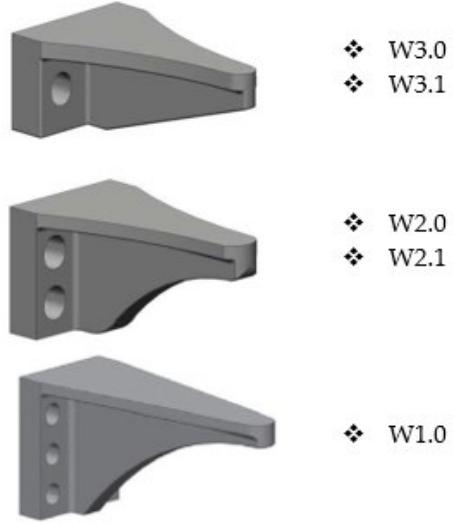
1. Giriş

Amerika Birleşik Devletleri'nde depremin meydana gelme olasılığının fazla olduğu bölgelerde kullanılan kaynaklı çelik çerçevesi moment birleşimleri, Los Angeles'taki 1994 Northridge depreminde beklenen sünek davranışı sergileyememiştir. Northridge depreminden sonra, moment aktaran çelik çerçevesi birleşimlerin sismik performansını iyileştirmek için çeşitli çalışmalar yapılmış ve çeşitli birçok birleşim elemanı önerilmiştir (Shahidi, 2013). Bu moment aktaran çelik çerçevesi birleşimlerden birisi de Kaiser Cıvatalı Moment Birleşimidir. Kaiser Cıvatalı Moment birleşimi, kiriş alt ve üst başlığına kaynakla veya cıvata ile sabitlenen braketlerin kolon başlığına cıvatalar kullanılarak sabitlenmesi ile elde edilen moment birleşimleridir. Bu birleşimler çelik çerçevesi moment birleşimlerde saha (alan) kaynağını ortadan kaldırmakta ve çerçeve montajını kolaylaştırmaktadır (AISC 358-16). Kolon-kiriş birleşim bölgesinde bulunan çelik braketler birleşimin bütünlüğünü bozmadan plastik mafsall oluşumunun kolon yüzünden uzakta kirişte (braketin ucunda) meydana gelmesi sağlanmaktadır.



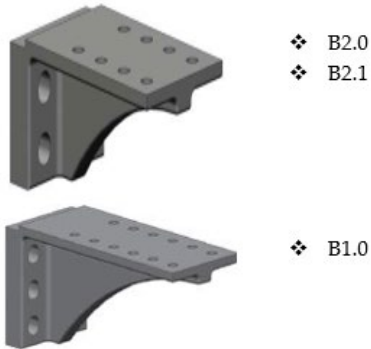
Şekil 1. Kaiser cıvatalı moment birleşim (Steel Cast Connection LLC, 2015).

İki farklı türde Kaiser Cıvatalı Moment Birleşimi kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi 'W' (kaynaklı) braket birleşim tipidir. Hazır bir şekilde kirişe bir köşe kaynak ile kaynaklanan ve şantiyede kolona cıvatalanan birleşim elemanıdır.



Şekil 2. 'W' kaynaklı braket tipleri (AISC 358-16).

İkincisi ise 'B' (cıvatalı) braket birleşim tipidir. Kaynak yapmaya ihtiyaç duyulmadan uygun koşullarda hem kolona hem de kirişe cıvatalanabilen birleşim elemanıdır.



Şekil 3. 'B' cıvatalı braket tipleri (AISC 358-16).

Kaiser Cıvatalı Moment birleşimleri ile ilgili geçmiş yıllarda yapılmış birçok deneysel ve teorik çalışmalar bulunmaktadır.

Kasai ve diğerleri (1998), iki farklı deney gerçekleştirmiştir. Deney 1 de, W16*40 kiriş ve W12*65 kolon boyutları, Deney 2 de ise W36*150 kiriş ve W14*426 kolon boyutları kullanılmıştır. Deneylerde süreklilik levhaları ve kolon gövdesi takviye levhası kullanılmıştır. Standart süreklilik plakaları hem kolon başlığına hem de kolon gövdesine kaynaklanmıştır. Sonuç olarak cıvatalı braketlerin, hasarlı moment birleşimlerinin onarılması için alternatif bir birleşim elemanı olabileceği görülmüştür. Kaynaklı birleşimin aksine, cıvatalı birleşimin özel bir işçilik gerektirmeden yapılabileceği ifade edilmiştir. Cıvatalı birleşimin davranışı, kaynaklı birleşimlere kıyasla daha fazla güvenilir olduğu gözlenmiştir. Dikkatli detaylandırma, hassas kurulum prosedürleri ve birleşimin orantılı tasarımı ile kiriş başlığı net alanında meydana gelebilecek kesit kırılması önlenmiştir (Kasai vd., 1998).

Shahidi ve diğerleri (2013), bir tanesi W-tipi kaynaklı birleşim ve diğeri B-tipi cıvatalı birleşim olmak üzere iki adet sayısal model oluşturmuş ve deneysel çalışma ile bu sayısal modelleri doğrulamıştır. KCMB'nin deprem anındaki davranışı, ATC ve FEMA kodlarına göre standart deprem yükleri altında incelenmiştir. Sayısal modeller için sonlu elemanlar yazılımı, ABAQUS programından yararlanılmıştır. Çalışma sonucunda KCMB'nin moment aktaran yüksek sünek çelik çerçeveler için uygun

bir birleşim tipi olduğu belirtilmiştir. Ayrıca B-serisi birleşimin deprem performansı ve enerji tüketiminin W-serisinden daha iyi olduğu tespit edilmiştir. B-serisindeki sürtünme kat sayısı arttıkça, toplam enerji dağılımının da artmakta olduğu gözlenmiştir. KCMB'nin W-serisindeki sürtünme katsayısının enerji dağıtımını üzerinde hiçbir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Yüksek enerji tüketimi için kirişin plastikleşmesi durumunda braketin elastik davranış göstermesi gerektiği belirtilmiştir (Shahidi, 2013).

Sheet I.S. ve diğerleri (2013), Çelik kirişler ve beton dolgulu kolonlar ile yapılmış dört adet 1/2 ölçekli birleşimin, kontrollü yük altında deplasmanı test edilmiştir. İki farklı (kaynaklı ve cıvatalı) birleşim tipinde kare ve yuvarlak kolonlar kullanılmıştır. Beton dolgulu kolonun içerisinden geçen çelik çubuklar, braketleri birbirine bağlayarak birleşimin daha güvenli hale gelmesini sağlamıştır. Sonuç olarak; beton dolgulu dairesel ve dikdörtgen kolona bağlanmış düz ve eğimli uzatılmış alın levhalı birleşimlerin, kolon yüzünden uzakta (kirişte) plastik mafsallı oluşumu nedeniyle %5'ten fazla sürüklenme açısına ulaştığı gözlemlenmiştir. Çubuklar, kolon boyunca doğrudan bir yükleme yolu sağlayarak, yalnızca kolonun dışında basınç bölgesi oluşturmuştur. Bu testlerde, kiriş başlıklarında $Akma / Kopma [(Ag \times Fy) / (A_{net} \times Fu)]$ oranının açılan cıvata deliklerinden dolayı 0,86 olduğu ve bu oranın daha da düşmesi durumunda kiriş başlığında meydana gelebilecek erken göçme durumu sebebiyle %5

dönme oranlarına ulaşamayabileceği belirtilmiştir (Sheet vd., 2013).

ANSI/AISC 358-16 (2016), şartnamede KCMB'nin şantiye kaynağını ortadan kaldırmak ve çerçeve montajını kolaylaştırmak için tasarlandığı belirtilmiştir. İmalat tercihine bağlı olarak Kaiser birleşimler kirişe kaynaklanmış (W serisi) veya cıvatalanmış (B serisi) olarak kullanılabilir. Braket tasarımının Steel Cast Connection LLC firması tarafından 6.073.405 sayılı ABD patent numarası ile koruma altına alındığı belirtilmiştir. Yapılan çalışmalarda KCMB'nin yüksek sünek ve normal sünek moment çerçeveleri için ön yeterlilik şartını karşıladığı görülmüştür. En hafif kiriş boyutu literatürde bildirilen W16*400, en ağır kiriş boyutu ise W36*210 olarak belirlenmiştir. W36*210 yapılan test sürecinde, kiriş numunesi beklenen performansı karşılamıştır. Ancak daha sonra braketi kolona bağlayan cıvatalarda, sünek olmayan bir şekilde göçme meydana gelmiştir. Bu yüzden en ağır kiriş boyutları W33*130 ve W36*150 olarak belirlenmiştir. Yapılan testlerde geniş başlıklı kolon boyutları W12*65 ve W27*281 arasında değişiklik göstermiştir. Braket tasarımında limit durumlar; kolon başlığı lokal burkulma, kaldırma kuvveti etkisi, etki eden eksenel ve moment yükleri, kesme ve ek olarak cıvatalı model için cıvata ezilme ve blok kırılma durumları dikkate alınmıştır (AISC 358-16).

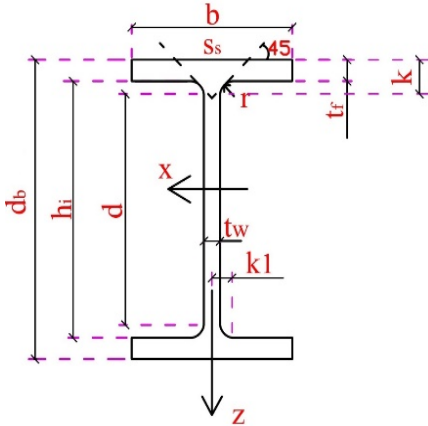
C.M. Johnson (2017), tez çalışmasında 4 katlı bir ofis binası için çalışma gerçekleştirmiştir. İki farklı SMF

birleşimi olan zayıflatılmış kiriş enkesitli birleşim (RBS) ve Kaiser Cıvatalı Moment Birleşimi (KCMB) karşılaştırılarak parametrik çalışmanın sonuçları incelenmiştir. Üç farklı deprem kategorisi (B, C, D) ve sabit ve ankastre mesnet olmak üzere iki farklı temel bağlantısı kullanılmıştır. Yapılan çalışmada eleman boyutları, eleman iç kuvvetleri ve kat ötelenmesi RBS ve KCMB birleşimleri için karşılaştırılmıştır. Eleman kuvvetlerinin, deprem tasarım kategorisi kategori D'de en yüksek seviyede, kategori C'de orta seviyede ve kategori B'de ise en düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak RBS ve KCMB birleşim tiplerinin, deprem kuvvetleri altında performanslarının birbirine yakın olduğu gözlenmiştir. RBS tasarımcıya moment çerçevesinde kullanılmak üzere fazla sayıda, farklı boyutlarda profil seçenekleri sunarken, KCMB ise sınırlı sayıda profil seçeneği sunmaktadır (Johnson, 2017).

2. Tasarım Esasları

Literatür çalışmaları incelendiğinde KCM birleşimlerin Amerikan yönetmeliklerine göre tasarımına yönelik SI birim sistemine uygun, Avrupa profilleri ve çelik kalitesi kullanılarak incelenmiş herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu bölümde KCM birleşimlerin ANSI/AISC 358-16 şartnamesinde yer alan tasarım adımları dikkate alınarak, Avrupa profilleri ve çelik kalitesi kullanılarak hazırlanmış sayısal örnek sunulmuştur. Avrupa profiller için Şekil 4'de kolon ve kiriş kesit detayları ve Tablo 1'de değerleri verilmiştir. Kolon-kiriş birleşim

bölgesinde braket tipi olarak AISC 358-16 Bölüm 9.9 Tablo 9.1-2 verilen W2.1 braketini kullanılmış Şekil 5’de W2.1 braket tipinin geometrik özellikleri gösterilmiştir. Şekil 6’da ise W2.1 kaynaklı braket tipinin birleşim bölgesindeki kullanımı gösterilmiştir. Ayrıca hesap adımlarının rahat anlaşılabilmesi için bir hesap algoritması oluşturulmuştur. Hesap algoritması Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 4. Kolon-kiriş profil detayı gösterimi (Ermeydan & Akgönen, 2019).

Tablo 1. ‘W’ Kaynaklı birleşim modeli için kiriş, kolon ve braket değerleri

Kiriş Bilgileri	Kolon Bilgileri
HE 320 A	HE 600 M
$d_b = h = 310$ mm	$d_c = h = 620$ mm
$b_{bf} = 300$ mm	$b_{cf} = 305$ mm
$t_{bf} = 15,5$ mm	$t_{cf} = 40$ mm
$t_{bw} = 9$ mm	$t_{cw} = 21$ mm
$h_i = 279$ mm	$h_i = 540$ mm

Adım 1

Plastik mafsalin bulunduğu yerde olası maksimum momentin hesaplanması;

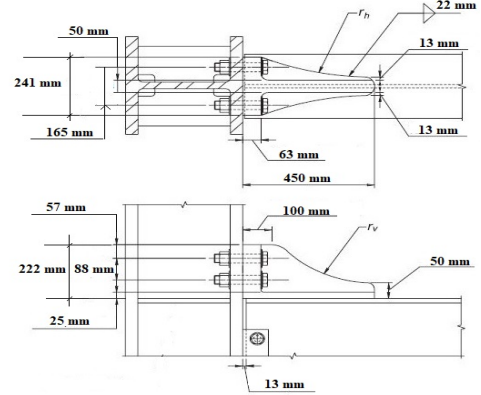
$$C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2 * F_y} \leq 1,20$$

$$C_{pr} = \frac{355 + 510}{2 * 355} \cong 1,20 \leq 1,20$$

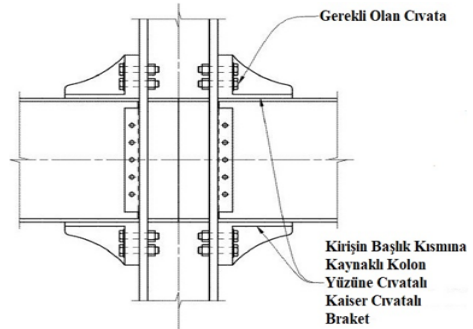
$$M_{pr} = C_{pr} * R_y * F_{yb} * Z_e$$

$$M_{pr} = 1,2 * 1,1 * 355 * 1628000 = 762.880.800,00 \text{ Nmm}$$

$d = 225$ mm	$d = 486$ mm
$A_{gb} = 12440$ mm ²	$A_{gc} = 36370$ mm ²
$W_{ply} = Z_e = 1628000$	$W_{ply} = Z_e = 8772000$
$F_{yb} = 355$ N/mm ²	$F_{yc} = 355$ N/mm ²
$F_{ub} = 510$ N/mm ²	$F_{uc} = 510$ N/mm ²



Şekil 5. W2.1 kaynaklı birleşim detayı (AISC 358-16).



Şekil 6. ‘W-serisi’ Kaynaklı Birleşim Gösterimi (Adan & Gibb, 2008).

M_{pr} = Plastik mafsalda oluşabilecek maksimum moment
 C_{pr} = AISC 358-16 yönetmeliğinde belirlenen bir katsayı
 R_y = ANSI/AISC 341-16 belirlenen bir katsayı
 F_{yb} = Yapısal çelik kirişin akma gerilmesi
 $Z_e=W_{ply}$ = Kiriş profilinin plastik mukavemet momenti

Adım 2

Kiriş-Kolon birleşimi için bir deneme braketi seçilir;

Tablo 2. Kaiser cıvatalı braket özellikleri

	L_{bb}	h_{bb}	b_{bb}		g	b_{dia}
Braket	in(mm)	in(mm)	in(mm)	n_{cb}	in(mm)	in(mm)
W3.0	16 (400)	5½ (140)	9 (229)	2	5½ (140)	1¾ (35)
W3.1	16 (400)	5½ (140)	9 (229)	2	5½ (140)	1½ (38)
W2.0	16 (400)	8¾ (222)	9½ (241)	4	6 (152)	1¾ (35)
W2.1	18 (450)	8¾ (222)	9½ (241)	4	6½ (165)	1½ (38)
W1.0	25½ (648)	12 (305)	9½ (241)	6	6½ (165)	1½ (38)
B2.1	18 (450)	8¾ (222)	10 (250)	4	6½ (165)	1½ (38)
B1.0	25½ (648)	12 (305)	10 (250)	6	6½ (165)	1½ (38)

Tablo 3. W-Serisi Braket Tasarım Özellikleri

	d_e	p_b	t_s	r_v	r_n	w
Braket	in(mm)	in(mm)	in(mm)	in(mm)	in(mm)	in(mm)
W3.0	2½ (64)	n.a.	1 (25)	n.a.	28 (711)	1/2 (13)
W3.1	2½ (64)	n.a.	1 (25)	n.a.	28 (711)	5/8 (16)
W2.0	2¼ (57)	3½ (88)	2 (50)	12 (300)	28 (711)	3/4 (19)
W2.1	2¼ (57)	3½ (88)	2 (50)	16 (400)	38 (965)	7/8 (22)
W1.0	2 (50)	3½ (88)	2 (50)	28 (711)	n.a.	7/8 (22)

Tablo 4. B-Serisi Braket Tasarım Özellikleri

Braket	d_e in(mm)	p_b in(mm)	t_s in(mm)	r_v in(mm)	n_{bb}	b_{dia} in(mm)
B2.1	2 (50)	$3^{1/2}$ (88)	2 (50)	16 (400)	8 veya 10	$1^{1/8}$ (28)
B1.0	2 (50)	$3^{1/2}$ (88)	2 (50)	28 (711)	12	$1^{1/8}$ (28)

Adım 3

Plastik mafsalda meydana gelecek kesme kuvveti hesaplanır;

Kaiser cıvatalı moment birleşiminde oluşacak iki plastik mafsalin arasındaki mesafenin bulunması;

$$L' = L_0 - (2 * S_h) - d_c$$

$$L' = 5000 - (2 * 450) - 620 = 3480mm$$

$$u = 1,2(G) + 1,6(Q) + 0,2(S)$$

$$V_h = u * \frac{L'}{2} = 7 * \frac{3480}{2}$$

$$u = 1,2 * 3,5 + 1,6 * 1,75 + 0,2 * 0 = 7 N/mm \quad V_h = 12.180N$$

L' : Bir kiriş üzerindeki merkezleri arasındaki mesafe

L_0 : İki kolon merkezi arasındaki mesafe

V_h : Plastik mafsalda oluşabilecek maksimum momentten dolayı oluşan kesme kuvveti

S_h : Plastik mafsalin merkezinden kolon yüzüne olan mesafe

d_c : Kolon profil enkesit yüksekliği

G : Sabit yük

Q : Hareketli yük

S : Kar yükü

Adım 4

Kolon yüzünde oluşabilecek maksimum moment hesaplanır:

$$M_f = M_{pr} + (V_h * S_h) \Rightarrow S_h = L_{bb}$$

$$M_f = 762.880.800,00 + (12.180 * 450) = 768.361.800,00 Nmm$$

M_f : Kolon yüzünde oluşabilecek maksimum moment

M_{pr} : Plastik mafsalda oluşabilecek maksimum moment

V_h : Plastik mafsalda maksimum momentten dolayı oluşan kesme kuvveti

S_h : Plastik mafsalin merkezinden kolon yüzüne olan mesafe

Adım 5

Efektif kiriş derinliği hesaplanır:

$$d_{eff} = d_b + 2 * (h_{bb} - d_e)$$

$$d_{eff} = 310 + 2 * (222 - 57) = 640mm$$

d_{eff} : Efektif kiriş derinliği

d_b : Kiriş profili enkesit yüksekliği

h_{bb} : Braket yüksekliği

d_e : Kolon cıvata kenar mesafesi

Adım 6

Braketi kolona bağlayan cıvatanın çekme dayanımı kontrol edilir:

$$r_{ut} = \frac{M_f}{d_{eff} * n_{cb}} \leq \Phi_n * F_{nt} * A_b$$
$$\frac{768.361.800,00}{640 * 4} \leq 0,75 * 800 * (\pi * \frac{38^2}{4})$$
$$300.141N \leq 680.468N$$

r_{ut} : Kolon yüzündeki her bir cıvata için çekme kuvveti

M_f : Kolon yüzünde oluşabilecek maksimum moment

d_{eff} : Efektif kiriş derinliği

n_{cb} : Kolon cıvata sayısı

Φ_n : Plastik mukavemet dayanım katsayısı

F_{nt} : Cıvatanın karakteristik çekme gerilmesi dayanımı

A_b : Dış açılmamış bulon gövdesi karakteristik enkesit alanı

Adım 7

Çekme kopmasını önlemek için minimum kolon başlık genişliği kontrol edilir:

$$b_{cf} \geq \frac{2 * (b_{dia} + 3mm)}{(1 - (\frac{R_y * F_{yf}}{R_t * F_{uf}}))}$$
$$305 \geq \frac{2 * (38 + 3)}{(1 - (\frac{1,1 * 355}{1,2 * 510}))} = 226,56mm$$

b_{cf} : Kolon başlık genişliği

b_{dia} : Kolon cıvata çapı

R_y : AISC Seismic Provisions (ANSI/AISC 341, 2016) belirlenen bir katsayı

R_t : AISC Seismic Provisions (ANSI/AISC 341, 2016) belirlenen bir katsayı

F_{yf} : Yapısal çelik akma gerilmesi

F_{uf} : Yapısal çelik çekme gerilmesi

Adım 8

Kaldırma kuvveti etkisini ortadan kaldırmak için kolon başlık kalınlığı kontrol edilir:

$$b' = 0,5 * (g - k_1 - (0,5 * t_{cw}) - b_{dia})$$
$$b' = 0,5 * (165 - 37,5 - (0,5 * 21) * 38) = 39,5mm$$

$$t_{cf} \geq \sqrt{\frac{4,44 * r_{ut} * b'}{\Phi_d * p * F_y}}$$
$$40 \geq \sqrt{\frac{4,44 * 300.141 * 39,5}{0,9 * 125 * 355}} = 36,30mm$$

g : Kolon cıvata ölçüsü

k_1 : Profil başlığının üst kısmından gövdenin temiz yüksekliğinin başlangıcı arasındaki mesafe

p : Cıvata başına dikey uzunluk (W1.0 ve B1.0 braketleri için 88mm, diğer braketler için 125mm)

b_{dia} : Kolon cıvata çapı

t_{cw} : Kolon gövde kalınlığı

t_{cf} : Kolon başlık kalınlığı

Φ_d : Plastik mukavemet dayanım katsayısı

r_{ut} : Kolon yüzündeki her bir cıvata için çekme kuvveti

F_y : Yapısal çelik akma gerilmesi

Adım 9

Süreklilik plakasını ortadan kaldırmak için kolon başlık kalınlığı kontrol edilir:

$$t_{cf} \geq \sqrt{\frac{M_f}{\Phi_d * Y_m * F_{yf} * d_{eff}}}$$

$$40 \geq \sqrt{\frac{768.361.800,00}{0,9 * 6,5 * 355 * 640}} = 24,04mm$$

t_{cf} : Kolon başlık kalınlığı

M_f : Kolon yüzünde oluşabilecek maksimum moment

Φ_d : Plastik mukavemet dayanım katsayısı

Y_m : AISC 358-16 yönetmeliğinde belirlenen bir katsayı (W1.0 ve B1.0 braketleri için 7,5 diğer braketler için 6,5)

F_y : Yapısal çelik akma gerilmesi

d_{eff} : Efektif giriş derinliği

Adım 10

Çekme kopmasını önlemek için minimum giriş başlığı genişliği kontrol edilir:

$$b_{bf} \geq \frac{2 * (b_{dia} + 3mm)}{\left(1 - \left(\frac{R_y * F_{yf}}{R_t * F_{uf}}\right)\right)}$$

$$300 \geq \frac{2 * (38 + 3)}{\left(1 - \left(\frac{1,1 * 355}{1,2 * 510}\right)\right)} = 5,53mm$$

b_{bf} : Giriş başlık genişliği

b_{dia} : Kolon cıvata çapı

R_y : AISC Seismic Provisions (ANSI/AISC 341, 2016) belirlenen bir katsayı

R_t : AISC Seismic Provisions (ANSI/AISC 341, 2016) belirlenen bir katsayı

F_{yf} : Yapısal çelik akma gerilmesi

F_{uf} : Yapısal çelik çekme gerilmesi

Adım 11

Köşe kaynak kontrolü yapılı:

➤ Eğer $bbf \geq bbb$, ise $I=0$

➤ Eğer $bbf < bbb$, ise $I=5'$ dir.

➤ $I_w = 2 * (L_{bb} - 64mm - I) \Rightarrow I_w = 2 * (450 - 64 - 0) = 772mm$

➤ $\frac{M_f}{\Phi_n * 0,6 * F_{exx} * I_w * d_{eff} * 0,707 * w} < 1 \Rightarrow \frac{768.361.800,00}{0,75 * 0,6 * 482 * 772 * 1080 * 0,707 * 22} < 1$

- $0,4 < 1$

Adım 12

Gerekli kesme dayanımı kontrolü yapılır:

- $L_h = L - (2 * L_{bb})$ $V_u = ((2 * M_{pr})/L_h) + V_h$
- $L_h = 5000 - (2 * 450) = 4.1mm$ $V_u = \left(2 * \frac{762.880.800}{4.100}\right) + 12.180 = 384.316,9N$
- Eğer $\frac{310}{8.5} \leq 1,10 * \sqrt{5 * \frac{200000}{355}}$ ise $C_v=1$ alınır.
- $34,44 < 58,38$; ise $C_v = 1$
- $\Phi_{Vn} = \Phi * 0,6 * F_y * (t_w * d_b) * C_v$
- $\Phi_{Vn} = 1 * 0,6 * 355 * 8,5 * 310 * 1$
- $\Phi_{Vn} = 594.270,00 N > 384.316,98N$

Adım 13

Kiriş-Kolon birleşim hesabı yapılır:

Birleşimin gösterimi kesme dayanımı:

- $\Phi_v * V_n = \Phi_v * F_{nt} * A_b * n$
- $0,563 * 0,75 * 800 * 452,38 * 3$
- $\Phi_v * V_n = 458.451,49 N$
- $> 384.316N$

Kesme yırtığı kontrolü yapılır:

- $A_n = (L_p - n * (b_{dia})) * t_p$
- $A_n = (208 - 3 * (24)) * 13$
- $A_n = 1.768 mm^2$
- $\Phi_v * V_n = \Phi_v * 0,6 * F_{up} * A_n$
- $\Phi_v * V_n = 0,75 * 0,6 * 510 * 1768$
- $\Phi_v * V_n = 405.756N$
- $\geq 384.316N$

Kesmede akma kontrolü yapılır:

- $\Phi_v * V_n = \Phi_v * 0,6 * F_y * (t_p * L_p)$
- $\Phi_v * V_n = 1 * 0,6 * 355 * 13 * 208$
- $\Phi_v * V_n = 575.952 N \geq 384.316N$

Blok kırılma kontrolü yapılır:

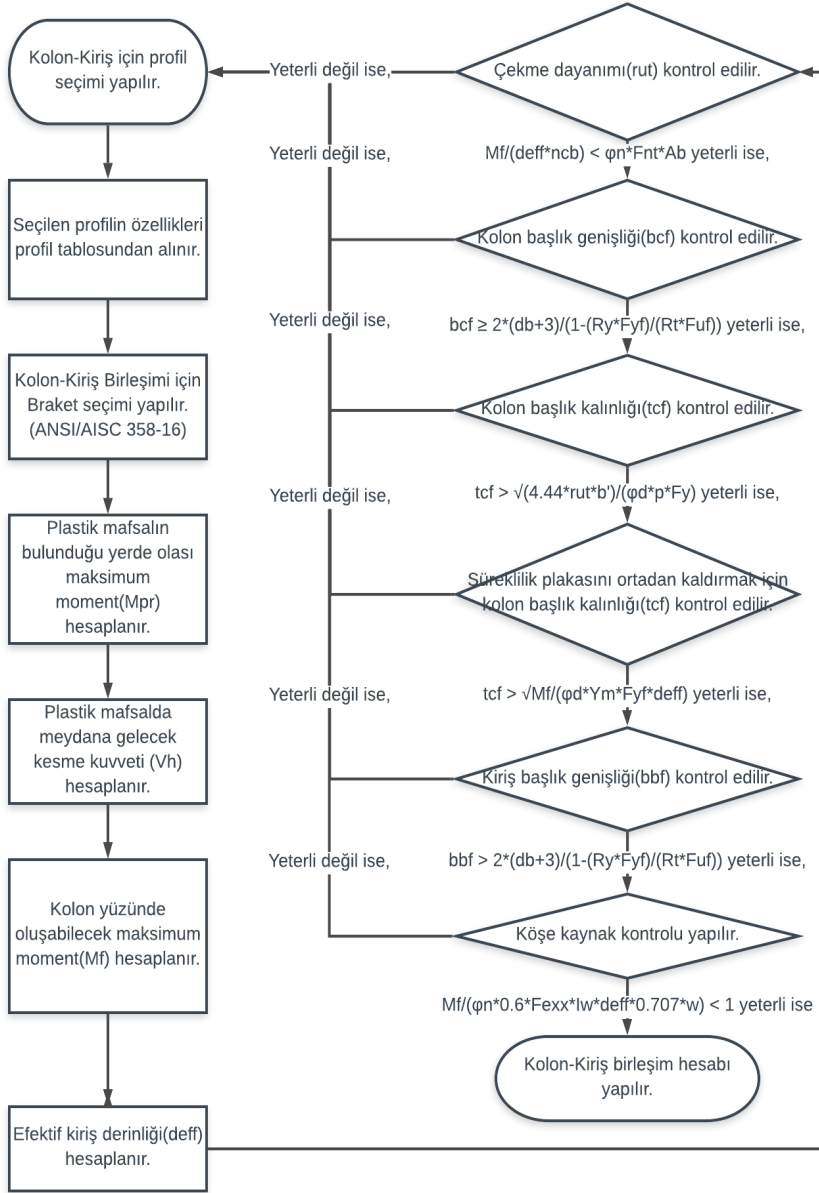
- $A_{nv} = (L_p - L_{eh} - (n - 0,5) * (b_{dia})) * t_p$
- $A_{nv} = (208 - 32 - (3 - 0,5) * (24)) * 13$
- $A_{nv} = 1.508 mm^2$
- $A_{gv} = t_p * L_p$
- $A_{gv} = 13 * 208$
- $A_{gv} = 2.704 mm^2$
- $A_{nt} = (L_{eh} - 0,5 * (b_{dia})) * t_p$
- $A_{nt} = (32 - 0,5 * (24)) * 13$
- $A_{nt} = 260 mm^2$
- $R_n = (0,6 * F_u * A_{nv}) + (U_{bs} * F_u * A_{nt}) \leq (0,6 * F_y * A_{gv}) + (U_{bs} * F_u * A_{nt})$
- $R_n = (0,6 * 510 * 1508) + (1 * 510 * 260) \leq (0,6 * 510 * 2704) + (1 * 510 * 240,5)$
- $594.048N \leq 708.552N$

Adım 14

Kolon panel bölgesi kontrol edilir:

Çerçeve kararlılığı göz önünde bulundurulur:

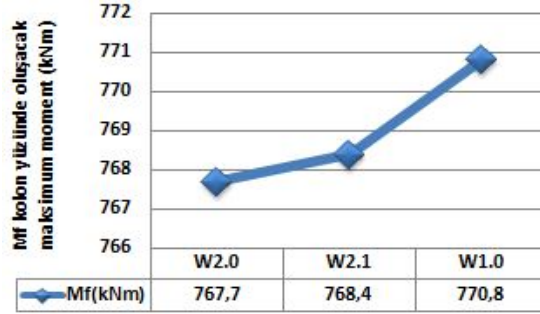
- $\Phi_{Rn} = \Phi * 0.6 * F_y * d_c * t_{cw} * \left(1 + \frac{3*b_{cf}*t_{cf}^2}{d_b*d_c*t_{cw}}\right)$
 - $0,9 * 0,6 * 355 * 620 * 21 * \left(1 + \frac{3*305*40^2}{310*620*21}\right)$
- $\Phi_{Rn} = 3.401.252 N > rut = 300.141N$



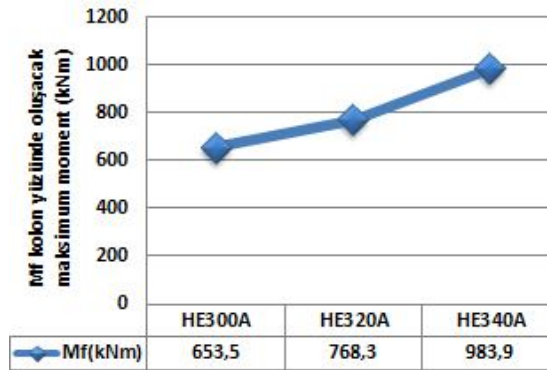
Şekil 7. Kaiser cıvatalı moment birleşim için hesap algoritması

3. Değerlendirme

Kaiser cıvatalı moment birleşiminde W1.0, W2.1, W2.0 braketlerinin ve HE300A, HE320A, HE340A kiriş profillerinin birleşim tasarımı üzerindeki etkisi incelenmiş, bu etkiler Şekil 9-14'de gösterilmiştir.



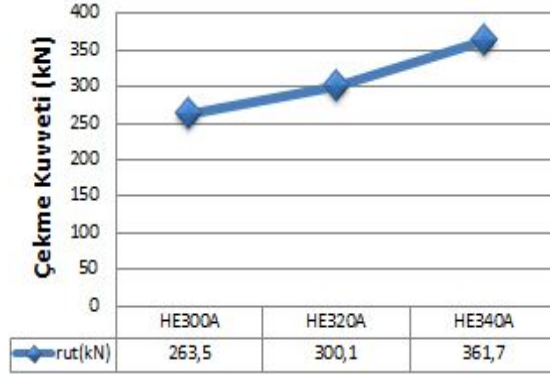
Şekil 9. Kolon ve kiriş sabit olup, değişken braketler ile kolon yüzünde elde edilen maksimum momentin (M_f) ilişkisi



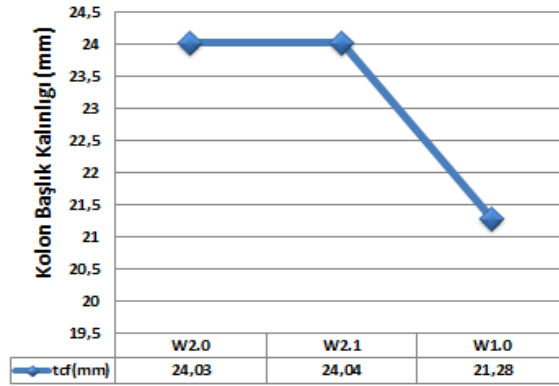
Şekil 10. Kolon ve braket sabit olup, değişken kirişler ile kolon yüzünde elde edilen maksimum momentin (M_f) ilişkisi



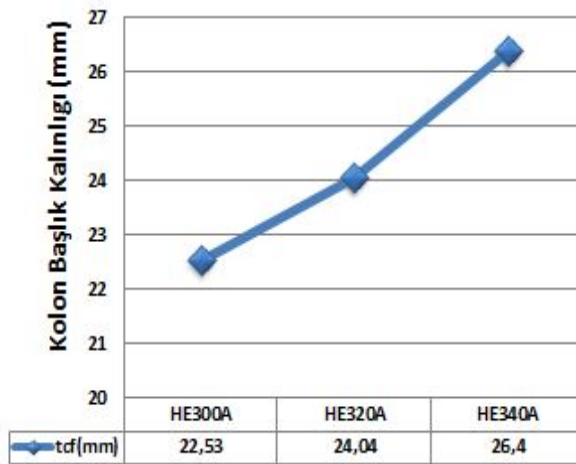
Şekil 11. Kolon ve kiriş sabit olup, değişken braketler ile cıvata çekme kuvveti (r_{ut}) ilişkisi



Şekil 12. Kolon ve braket sabit olup, değişken kiriş profili ile civatarının çekme kuvveti (r_{ut}) ilişkisi



Şekil 13. Kolon ve kiriş sabit olup, değişken braketler ile gerekli asgari kolon başlık kalınlığının (t_{cf}) ilişkisi



Şekil 14. Kolon ve braket sabit olup, değişken kirişler ile gerekli asgari kolon başlık kalınlığının (t_{cf}) ilişkisi

- Şekil 9'da görüldüğü gibi birleşim bölgesine yerleştirilen kiriş profili (HE320A) sabit olup, değişken braketler (W1.0, W2.1, W2.0) ile kolon yüzünde meydana gelecek maksimum moment (M_i) incelenmiştir. Braket boyutunun kolon yüzünde oluşan momente etkisinin göz ardı edilebileceği görülmüştür.
- Şekil 10'da görüldüğü gibi birleşim bölgesine yerleştirilen Kaiser braketi (W2.1) sabit olup, değişken kiriş profilleri (HE300A, HE320A, HE340A) ile kolon yüzünde meydana gelecek maksimum moment (M_i) incelenmiştir. Kiriş profil boyutları arttıkça kolon yüzünde meydana gelen maksimum moment %50,55 oranında artış gözlemlenmiştir. Gereksiz büyüklükte kiriş kullanımı ile birleşim ve kolon maliyetinin ciddi ölçüde artacağı tespit edilmiştir.
- Şekil 11'de görüldüğü üzere kiriş profili (HE320A) sabit olup, değişken braketler (W1.0, W2.1, W2.0) ile kolon yüzünde oluşması beklenen maksimum momentin oluşturduğu çekme kuvveti (r_{ut}) etkisi incelenmiştir. Braket boyutu arttıkça çekme kuvveti etkisinin %91,5 azaldığı gözlemlenmiştir. Braketi kolona bağlayan cıvatalara etkiyen çekme kuvvetini azaltmak için, mümkün ölçüde büyük braket seçilmesi tavsiye edilmektedir.
- Şekil 12'de görüldüğü üzere Kaiser braketi (W2.1) sabit olup, değişken kiriş profilleri (HE300A, HE320A, HE340A) ile kolon yüzünde oluşması beklenen maksimum momentin oluşturduğu çekme kuvveti etkisi (r_{ut}) incelenmiştir. Kiriş profil boyutları arttıkça çekme kuvveti etkisinin %37,26 arttığı gözlemlenmiştir. Braketi kolona bağlayan cıvatalara etkiyen çekme kuvvetini azaltmak için, mümkün ölçüde küçük kiriş ebadı seçilmesi tavsiye edilmektedir.
- Şekil 13'de görüldüğü üzere kiriş profili (HE320A) sabit olup, değişken braketler (W1.0, W2.1, W2.0) ile süreklilik plakasını ortadan kaldırmak için gerekli kolon başlık kalınlığı (t_{cf}) hesap edilmiştir. Braket boyutu azaldıkça gerekli kolon başlık kalınlığının da %12,94 oranında artmakta olduğu gözlemlenmiştir. Büyük braket kullanımı ile gerekli başlık kalınlığı azalmaktadır.
- Şekil 14'de görüldüğü üzere Kaiser Braketi (W2.1) sabit olup, değişken kiriş kesiti (HE300A, HE320A, HE340A) ile süreklilik plakasını ortadan kaldırmak için gerekli kolon başlık kalınlığı (t_{cf}) hesap edilmiştir. Kiriş profil boyutları arttıkça gerekli kolon başlık kalınlığı %17,17 arttığı gözlemlenmiştir. Kiriş kesiti arttıkça gerekli kolon başlık kalınlığı da artmaktadır.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)'de yer almayan ancak ANSI/AISC 358-16 şartnamesinde yer alan ve ABD'de yaygın olarak kullanılan Kaiser Cıvatalı Moment (KCM) birleşimlerinin hesap adımları detaylı olarak anlatılmıştır. Tasarım hesabı için bir hesap algoritması sunulmuş ve hesap adımları kullanılarak Excel programı geliştirilmiştir. Değişken kiriş kesitlerinin ve braketin geometrik özelliklerinin birleşim iç kuvvetleri ve birleşim tasarımı üzerine etkisi incelenmiş ve bu etkiler grafikler ile sunulmuştur. Çalışmadan elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- ✓ İhtiyaç duyulan asgari kiriş boyutundan daha büyük bir kiriş tercih edilmesi durumunda, kapasite tasarımı ilkesine göre birleşim bölgesinin kirişten daha kuvvetli tasarlanması gerekeceği için, daha büyük braket kullanımı ve daha büyük kolon profili kullanımı gerekecektir. Gereksiz büyük kiriş kullanımı ile braket ve kolon ebatları önemli ölçüde artış gösterecektir. Kolon ölçüsünün değiştirilmemesi ve süreklilik levhası ve/veya gövde takviye levhası kullanılması durumunda ise işçilik maliyeti artış gösterecektir.
- ✓ Kolon ve kiriş kesitleri sabit olup farklı braketler kullanılması durumunda kolon-kiriş bölgesinde meydana gelen iç kuvvetler değişiklik göstermektedir. Mümkün olduğu ölçüde büyük

braket kullanımı ile kolona ve birleşim bölgesine etkiyen iç kuvvetler azaltılabilir. Bu sayede daha ekonomik kolon boyutları kullanılabilir veya yüksek maliyetli süreklilik levhası-gövde takviye levhası kullanılmasının önüne geçilebilir.

5. Kaynaklar

- Adan, S. M., & Gibb, W. (2008). Inelastic cyclic testing of the Kaiser bolted bracket moment connection, In Structures Congress 2008: Crossing Borders.
- AISC, A. (2016). AISC 358-16. Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames For Seismic Applications
- Ermeydan, İ., & Akgönen, A. İ. (2019). Zayıflatılmış kiriş enkesitli moment birleşimlerin Avrupa çelik profiller ile tasarımı. International Symposium on Advanced Engineering Technologies, ISADET. Kahramanmaraş, Türkiye.
- Johnson, C. M. (2017). *A comparison of reduced beam section moment connection and kaiser bolted bracket® moment connections in steel special moment frames*. Doctoral dissertation. Kansas State University, Manhattan, United States
- 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. *International Journal of Engineering-Transactions B: Applications*, 26(2), 163-170.
- Sheet, I. S., Gunasekaran, U., & MacRae, G. A. (2013). Experimental investigation of CFT column to steel beam connections under cyclic loading. *Journal of Constructional Steel Research*, 86, 167-182.

Steel Cast Connection LLC (2015). *Kaiser Bolted Bracket Features, Design and Installation Guide.*