TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI

TÜRKİYE DEPREM VAKFI
DEPREM MÜHENDİSLİĞİ KOMİTESİ

8. ULUSAL DEPREM MÜHENDİSLİĞİ KONFERANSI

BİLDİRİLER KİTABI

11-15 Mayıs 2015

İTÜ Mustafa Kemal Amfisi, Maçka/İstanbul

DÜZENLEME KURULU

Cemal Gökçe, İMO
(Eşbaşkan)
Sinan Akkar, BÜ
Rezan Bulut, İMO
Uğur Demir, İTÜ
Çağlar Göksu, İTÜ
Kadir Güler, İTÜ
Murat S. Kırçıl, İMO

Alper İlki, İTÜ
(Eşbaşkan)
Kutay Orakçal, BÜ
Göktürk Önem, BÜ
Pelin Tohumcu Özener, YTÜ
Ayşegül Bildirici Suna, İMO
Nusret Suna, İMO
Gökçe Tönük, MEFÜ

BİLİM VE DANIŞMA KURULU

M.Nuray Aydınoğlu, BÜ
Bülent Akbaş, GTÜ
Uğurhan Akyüz, ODTÜ
Ünal Aldemir, İTÜ
Ömer Zafer Alku, DEÜ
Gülay Altay, BÜ
İnş.Yük.Müh.Mustafa Altıneller
İnş.Yük.Müh.Enver Altınok
Selim Altun,EÜ
Fatih Altun, EÜ
Atilla Ansal,ÖÜ
Nurdan Apaydın,TCK
Ayşegül Askan, ODTÜ
Necati Atıcı,İMO
Metin Aydoğan, İTÜ
Sadık Bakır, ODTÜ
İnş.Yük.Müh.İrfan Balıoğlu
Alemdar Bayraktar, KTÜ
İnş.Yük.Müh.Nejat Bayülke
Mehmet Berilgen, YTÜ
İnş.Müh.Fikret Berker
Kemal Beyen, KÜ
Barış Binici, ODTÜ
Hasan Boduroğlu, MEFÜ
Yusuf Calayir, FÜ
Erdem Canbay, ODTÜ
Zekai Celep, İTÜ
Özden Çağlayan, İTÜ
Eser Çaktı, BÜ
Erkan Çelebi, SAÜ
Kemal Önder Çetin, ODTÜ
Feridun Çılı, İTÜ
Feyza Çinicioğlu, İÜ
Seval Pınarbaşı Çuhadaroğlu, KOÜ
Kutlu Darılmaz, İTÜ
Mine Demircioğlu,BÜ
Murat Dicleli, ODTÜ
Adem Doğangün,UÜ
H.Turan Durgunoğlu,BÜ
M. Altuğ Erberik, ODTÜ
Mustafa Erdik, BÜ
Ayfer Erken, İTÜ
Nevzat Ersan,İMO
Uğur Ersoy, BÜ
Yasin Fahjan, GTÜ
Dr. Mete Gerçek
Konuralp Girgin, İTÜ
Naci Görür, İTÜ
Gülten Gülay, İTÜ
Levent Gülen,SAÜ
Erol Güler, BÜ
Polat Gülkan, ÇAÜ
Necmettin Gündüz, İTÜ
Esra Mete Güneyisi, ÇÜ
Zeki Hasgür, İTÜ
Mehmet İnel, PAÜ
Muzaffer İpek,İTÜ
Erdal İrtem, BAÜ
Recep İyisan, İTÜ
Mikdat Kadıoğlu, İTÜ
M. Yaşar Kaltakcı,SÜ
İnş.Yük.Müh. Zeki Karadeniz
Faruk Karadoğan,İTÜ
İlker Kazaz, ETÜ
Celal Kozanoğlu, CBÜ
İnş.Yük. Müh. Jozef Kubin
Nahit Kumbasar, İTÜ
Mustafa Laman, ÇÜ
Hilmi Luş, BÜ
Mehmet Murat Monkul, YÜ
Engin Orakdöğen, İTÜ
Kutay Özaydın, YTÜ
Güney Özcebe, TEDÜ
Pınar Özdemir, İTÜ
Şevket Özden, OÜ
Oğuz Özel, İÜ
Erkan Özer, İTÜ
M.Yener Özkan, ODTÜ
Hulusi Özkul, İTÜ
Günay Özmen,İTÜ
Aşkın Özocak, SAÜ
Namık Kemal Öztorun, İÜ
Turan Özturan, BÜ
Baki Öztürk,HÜ
Sumru Pala, İTÜ
Filiz Piroğlu, İTÜ
Zekeriya Polat, YTÜ
Osman Sivrikaya, NÜ
Bilge Siyahi, GTÜ
Serdar Soyöz, BÜ
Haluk Sucuoğlu,ODTÜ
Erdal Şafak, BÜ
Betül Şengezer,YTÜ
Celal Şengör, İTÜ
Özkan Şengül, İTÜ
Gülüm Birgören Tanırcan, BÜ
Tuğrul Tankut, ODTÜ
Ahmet Kamil Tanrıkulu, ÇÜ
Mehmet Ali Taşdemir, İTÜ
Beyza Taşkın, İTÜ
İnş.Yük.Müh.Zihni Tekin
Mustafa Tokyay, ODTÜ
Cem Topkaya, ODTÜ
Ahmet Topçu, OGÜ
Selçuk Toprak, PAÜ
Okan Tüysüz, İTÜ
Zülfü Çınar Ulucan, FÜ
Berna Unutmaz, HÜ
Derin Ural, İTÜ
Erdoğan Uzgider, İTÜ
Ahmet Yakut, ODTÜ
Nesrin Yardımcı, YÜ
Çetin Yılmaz, ODTÜ
Cavidan Yorgun,İTÜ
Semih Yücemen,ODTÜ
Yalçın Yüksel, YTÜ
Ercan Yüksel, İTÜ
İsa Yüksel, BTÜ
Mustafa Zorbozan, YTÜ

12 MAYIS 2015 SALI - Mustafa Kemal Amfisi Oturumları

3A Oturumu

Dayanım ve Rijitlik Azalmasının TSD Sistemlerin Elastik Ötesi Yerdeğiştirme Sabiti Üzerine Etkisi
M. Börekçi, M. S. Kırçıl, İ. Ekiz 287
Betonarme Çerçeve Bir Binanın Deprem Performansına Dolgu Duvarının Etkisi
E. İrtem, M. Türkoğlu 299
Betonarme Perdeli Yapı Sistemlerinde Yer ve Şekildeğiştirme İlişkisinin İncelenmesi
M. B. Yılmaz, Z. Celep 309
Sismik Taban İzolasyonlu Çok Katlı Bir Binada Üst Yapı Davranışının Kurşun Çekirdekteki Isınmaya Bağlı Değişimi
S. Arguç, Ö. Avşar, G. Özdemir 319
Orta Yükseklikteki Betonarme Bir Binanın Hasargörebilirliğinin Farklı Yöntemlerle İncelenmesi
Z. Çiftçi, Y. M. Fahjan, F. İ. Kara 331
Betonarme Perde Duvarlarda Bileşik Eğilme ve Kesme Davranışının Modellenmesi
M. F. Güllü, B. Horoz, K. Orakçal 343

4A Oturumu

Betonarme Taşıyıcı Elemanlarda Deprem Güvenliği İncelemesinde Performans Sınırları Üzerine
M. S. Orak, M. Gençoğlu, Z. Celep 355
Betonarme Perdeler için Birleşik Şekildeğiştirme Limitleri
İ. Kazaz, M. Sertkaya 361
Ankrajlı Birleşimlerin Tasarım ve Uygunluğuna Dair Avrupa'daki Yeni Deprem Yönetmelikleri
O. Yücel 373
DBYBHY-2007'ye Göre Moment Aktaran Bulonlu Birleşimlerin Sonlu Elemanlar Yöntemi Ile Analizi
O. Yılmaz, S. Bekiroğlu 383

6A Oturumu

Donatı Korozyonunun Betonarme Binaların Yapısal Davranışına Etkileri
İ. Yüksel 395
Prefabrik Yapılarda Sismik Riskin Farklı Hasar Olasılık Yaklaşımları ile Belirlenmesi
M. Palanci, Ş. M. Şenel 407
Giydirme Cephe Sistemlerinde Kullanılan Sabitleme Elemanlarının Deprem Performansları
Ö. Bozkurt, F. Pakdamar , Y. M. Fahjan 419
Kütleli/Kütlesiz Temel Durumları için Sıvı Sıkışabilirliğinin Beton Ağırlık Barajların Sismik Hasar Davranışına Etkisi
M. Karaton, E. Çambay, Y. Calayır 431
Manisa Orta Katlı B.A. Konutlar için Kırılganlık Eğrileri Elde Edilmesi
A. Gürbüz, M. Tekin 443
Yarı Rijit Çelik Bağlantıların Yüksek Katlı Yapılarda Deprem Davranışına Etkisi
K. Topcu, S. Selamet 453
Deprem Yükler Altında Dış-Destek Sistemlerinin İncelenmesi
A. Tok, T. Bilen, Ş.Ş. Polat, Y. M. Fahjan 467
Doğrusal Olmayan Sistemlerin Analizi için Ağırlıklı Artan Kalanlar Yöntemine Dayalı İntegrasyon Yöntemi
K. Aydın, H. Çilsalar 477

12 MAYIS 2015 SALI - İTÜ Sosyal Tesisler Konferans Salonu Oturumları

3B Oturumu

Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtçı Sistemlerinin Farklı Kurulum Düzeneklerinin Sarsma Masası Testleri ile İncelenmesi
H. Alçık, K. Beyen 489
Eşik Seviyesine Bağlı Prototip Bir Deprem Erken Uyarı Sistemi
H. S. Küyük, Z. D. Yaman 503
Sanal Deprem İstasyonları ile Yerinde Zemin Tepki Spektrumu
M. Utku, M. Akgün, Ş. Özyalın, Ö. C. Özdağ, C. Atalar 511

DBYBHY-2007'YE GÖRE MOMENT AKTARAN BULONLU BİRLEŞİMLERİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

ANALYSIS OF BOLTED MOMENT-RESISTING CONNECTIONS ACCORDING TO DBYBHY-2007 WITH FINITE ELEMENT METHOD

Orkun YILMAZ[1] ve Serkan BEKİROĞLU[2]

ÖZET

Bu çalışma, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-2007'de belirtilen takviyesiz alın levhalı bulonlu, takviyeli alın levhalı bulonlu ve alın levhasız bulonlu birleşimin, monotonik yükleme altında sonlu elemanlar analizi ile performanslarını değerlendirmesini amaçlamaktadır. Her bir birleşim, aynı şartlar altında FEMA-350 (Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings)'ye göre tasarlanmıştır. Sonlu elemanlar modellemelerinin doğruluğu, literatürden alınan iki adet alın levhalı birleşimin deneysel ve nümerik sonuçları kullanılarak bu çalışmanın sonuçları ile karşılaştırma yoluyla gösterilmiştir. Analizlerde doğrusal olmayan malzeme ve geometri değişimleri dikkate alınmıştır. Birleşimlerdeki bulon, kolon, kiriş gibi parçalar arasındaki temas durumları doğrusal veya doğrusal olmayan olarak dikkate alınmıştır. Sözü edilen bu üç birleşimin performansları, hasar durumları, eş değer (von-Mises) plastik şekil değiştirme dağılımları, yük taşıma kapasiteleri, moment – dönme eğrileri, başlangıç dönme rijitlikleri, bulonlardaki en büyük eş değer (von-Mises) gerilme değerleri bakımından karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Analizler sonucunda, alın levhalı birleşimlerin kiriş üzerinde, birleşim bölgesinden uzakta hasar gördüğü görülmüştür. Fakat, alın levhasız birleşimde bu hasar kolon başlığından en uzakta olan bulon sırasında kiriş en kesitinde olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, takviyeli alın levhalı birleşimin diğer birleşimlere göre daha güvenilir olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Alın levhalı birleşim, Alın levhasız birleşim, Doğrusal olmayan analiz.

ABSTRACT

This study aims to evaluate bolted unstiffened end plate, bolted stiffened end plate and bolted flange plate connections specified in Specification for Buildings to be built in Seismic Zones-2007 under monotonic loading with finite element analysis. Each bolted connection is designed according to FEMA-350 (Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings) under same conditions. Verification of finite element modeling is evaluated by compare experimental and numerical results of end plate connection examples in literature with the results of this study. Material and geometry non-linearities and contacts of linear or non-linear types between connection parts such as bolt, column, beam are considered in analyses. Performance of the aforementioned connections are assessed to compare results in terms of failure modes, equivalent (von-Mises) plastic strain distributions, load capacities, moment-rotation curves, initial rotational stiffness values, maximum equivalent (von-Mises) stress values of bolts. It reveals that the failures of end plate connections occur at the beam beyond the connection area. However, bolted flange plate connection fails in the net section of the last bolt row which is the farthest row from column flange. Therefore, bolted stiffened end plate connection seems more reliable when compared to the other connections.

Keywords: End plate connection, flange plate connection, non-linear analysis.

[1]İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul, orakm@itu.edu.tr
[2]İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul, gencoglumu@itu.edu.tr
[3]İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul, celep@itu.edu.tr

GİRİŞ

Yüksek süneklik kapasitelerinden dolayı, moment aktaran sünek çelik çerçeve sistemler deprem bölgelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Han vd., 2007). Ancak, 1994 Northridge depreminden sonra, bu sistemlerin gösterdikleri performansa duyulan güven bir miktar zedelenmiştir. Bu deprem sonrasında yapılan incelemelerde, birçok birleşim bölgesinin kaynaklarında ve kaynaklarına yakın çelik malzemede bazı gevrek kırılmalar meydana geldiği görülmüştür. Yüksek süneklik kapasitelerine rağmen bu sistemlerde görülen düşük performans, bu sistemlerin davranışları konusunda yapılan çalışmaları arttırmıştır. FEMA (Federal Emergency Management Agency) tarafından kurulan the SAC Steel Project adındaki ekip, birleşim detaylarındaki gevrek kırılmaların sebeplerini önlemek ve yeni tavsiyeler üretmek için yoğun bir test programı başlatmıştır (Roeder, 2002). Burada geliştirilmiş olan birleşimler "AISC Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, 2010" isimli standartta ve "FEMA-350 Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment Frame Building, 2000" isimli raporda yer almaktadır. Ayrıca, bu birleşimlerin üçü bulonlu, üçü kaynaklı olmak üzere altı tanesi "DBYBHY - Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik-2007"'de de aynen yer almaktadır.

Bulonlu birleşimler, takviyesiz ve takviyeli alın levhalı bulonlu birleşim ve alın levhasız bulonlu birleşim olmak üzere üç çeşittir. Literatürde bu üç bulonlu birleşim tiplerinden alın levhalı birleşimler için çok fazla deneysel çalışma mevcutken, alın levhasız bulonlu birleşimler için yapılan deneysel çalışmaların sayısı çok azdır. Ayrıca, alın levhalı birleşimler için yapılan sonlu elemanlar analizlerine de literatürde sıklıkla karşılaşılmaktadır, fakat alın levhasız bulonlu birleşimin sonlu elemanlar analizi ile ilgili bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Literatürde karşılaşılan bazı sonlu elemanlar analizleri ile yapılmış çalışmalar şu şekildedir: Bahaari ve Sherbourne üç bulon sıralı alın levhalı birleşimde alın levhası kalınlığının değişimini (1994), bulonda öngerilmenin etkisini (1996) ve kolon gövdesinde takviye levhasının etkisini (1996) incelemişlerdir. Daha sonra, bu birleşimleri dört bulon sırası için incelemişlerdir (2000). Gerami vd. (2011) bulonlu alın levhalı ve T-stub birleşimlerindeki bulonların yatay ve düşey mesafelerinin değişimini incelemişler ve birbirleriyle karşılaştırmışlardır. Mashaly vd. (2011) alın levhalı birleşimleri çevrimsel yükleme altındaki davranışlarını incelemişlerdir ve bulonları modellemek için yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Bulon gövdesini modellemek için çubuk elemanlar, bulonların somunları için de kabuk elemanlar kullanılmasını önermişlerdir. Eldemerdash vd. (2012) alın levhalı birleşimlerdeki bulonların kuvvet dağılımını iyileştirme üzerine bir çalışma yapmışlardır. Wang vd. (2013) bulonlu takviyesiz, takviyeli alın levhalı ve kaynaklı birleşimlerin analizini yapmış ve birbirleriyle karşılaştırmışlardır. Kaushik vd. (2013) alın levhalı birleşimlerdeki bulonları öngerilmeli ve öngerilmesiz olarak analizlerini yapmış ve öngerilme etkisini araştırmışlardır. Dessouki vd. (2013) alın levhalı birleşimlerde parametrik bir araştırma yapmış ve yırtılma çizgisi analizini kullanarak alın levhalı birleşimlerin eğilme momenti kapasitesi için bir denklem önermişlerdir. Saberi vd. (2014) alın levhalı ve T-stub birleşimlerde, alın levhası ve T-stub başlık kalınlıklarının değişimini incelemiş ve birbirleriyle kıyaslamışlardır. Bu çalışmada T-stub birleşimlerinin kalınlık değişimine daha hassas oldukları görülmüştür. Shaker ve AbdElrahman (2014) alın levhalı birleşimlerini alın levhası kalınlığı, bulon çapı değişimleri ve kolon gövdesi takviye levhasının olup olmaması bakımlarından incelemişlerdir. Ismail vd. (2014) alın levhalı birleşimlerini alın levhası kalınlığı, bulon çapı, kolon gövdesi takviye levhası yükseklik oranı, alın levhası takviye levhasının açısı değişimleri bakımlarından incelemişlerdir. Yılmaz ve Bekiroğlu (2014) alın levhalı birleşimlerini bulon sıra sayısı ve takviye levhası olup olmaması bakımlarından incelemiş ve bu modellerin farklı malzeme özellikleriyle analizlerini ikinci kez yapmış ve malzeme özellikleri değişimini incelemişlerdir. Buraya kadar sunulan çalışmalarda doğrulama amaçlı başka çalışmalarda yapılan deneysel çalışmalar örnek durum olarak seçilip modellenmiştir. Mashaly vd. (2011) alın levhalı birleşimlerin on iki parametresini değiştirerek malzeme ve geometrik özelliklerinin değişimini araştırmışlardır.

Birleşimlerin hem deneysel olarak hem de sonlu elemanlar analizleri ile incelenen çalışmalar şu şekildedir: Maggi vd. (2005) alın levhalı birleşimleri monotonik yükleme altında araştırmışlardır. Altı

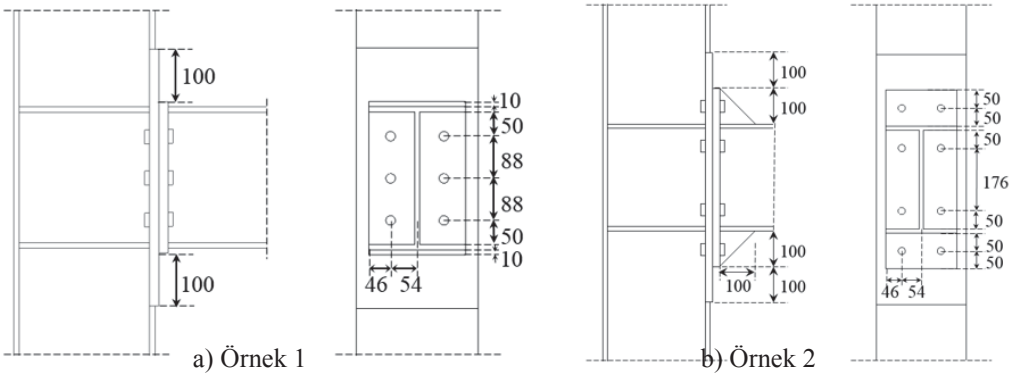
adet birleşim hazırlanmış ve alın levhası kalınlığı ve bulon çapı değişimlerini incelemişlerdir. Shi vd. (2008) sekiz adet alın levhalı birleşimin analizini monotonik yükleme altında incelemiştir. Burada alın levhasında ve kolon gövdesinde takviye levhalarının olup olmaması, alın levhası kalınlığı ve bulon çapı değişimleri incelenmiştir. Prinz vd. (2014) altı adet alın levhalı birleşimi monotonik yükleme altında, kolon takviye levhası kullanmadan birleşimi güçlendirmek için, bulon sayısı ve bulon yerleşimi değişimlerini değiştirerek incelemişlerdir.

Bu çalışma, DBYBHY-2007'de belirtilen çelik kolon – kiriş birleşim türlerinden takviyesiz ve takviyeli alın levhalı bulonlu ve alın levhasız bulonlu birleşimlerin sonlu elemanlar analizlerinin yapılarak performanslarının birbirleriyle karşılaştırılmasını kapsamaktadır. Bu karşılaştırmadan önce, sonlu elemanlar analizinin doğruluğu literatürden seçilen deneysel ve sonlu elemanlar analizleri yapılmış iki adet alın levhalı birleşimin analizleri yapılarak gösterilecektir.

SONLU ELEMANLAR MODELLEMESİNİN DOĞRULANMASI

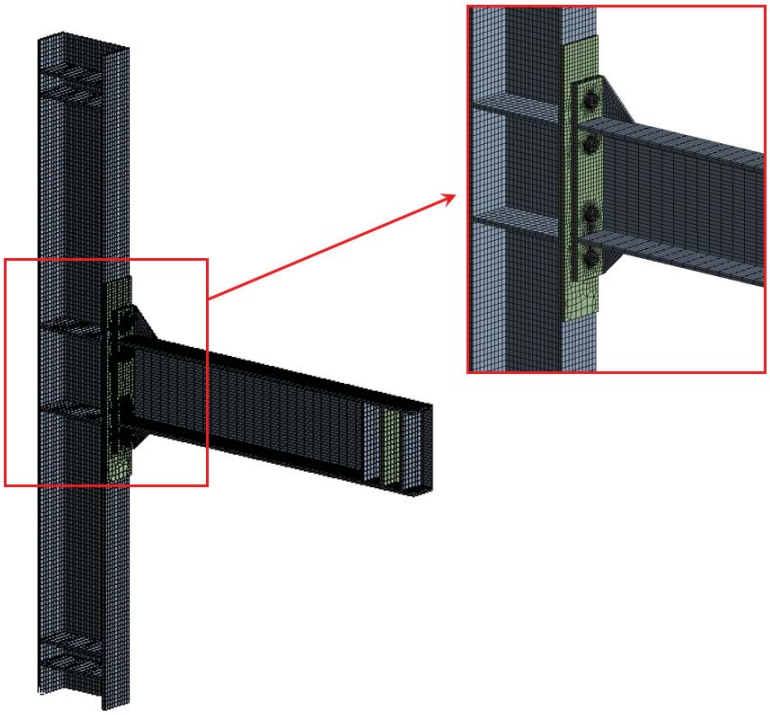
Sonlu elemanlar modellerinin doğrulanması amacıyla, literatürden deneysel ve sonlu elemanlar analizleri yapılmış iki adet kolon – kiriş birleşim örneği seçilmiştir (Shi vd., 2008). Çalışmanın bu bölümünde seçilen bu iki örnek sonlu elemanlar yöntemi ile modellenecek ve sonuçları literatürdeki deneysel ve sonlu elemanlar sonuçlarıyla moment-dönme eğrileri, yük taşıma kapasiteleri ve göçme modları bakımlarından karşılaştırılacaktır. Literatürden alınan çalışma, sekiz adet alın levhalı birleşimin monotonik yükleme altında deneysel ve sonlu elemanlar analizleri ile incelenmesini kapsamaktadır.

Birleşimlerdeki kolon ve kiriş profilleri, alın levhası kalınlığı, bulon çapı, kolon ve kiriş uzunlukları, sınır şartları gibi geometrik veriler ile malzeme özellikleri ve yükler ilgili çalışmadan aynen alınmıştır (Shi vd., 2008). Konsol kiriş ucuna yakın yerdeki yükleme noktasının kolon yüzüne olan uzaklığı 1,2 m'dir. Birleşimlerin detayları Şekil 1'de gösterilmiştir. Geometrik şekiller kiriş ve kolon gövde düzlemlerine göre simetrik olduğu için ilgili çalışmada olduğu gibi burada da analiz süresini azaltabilmek amacıyla sistemin yarısı dikkate alınarak çözüm yapılacaktır. Sonlu elemanlar ağı oluşturulurken ilgili çalışmada dört yüzlü elemanlar kullanılırken, burada mümkün olduğu sürece altı yüzlü elemanlar kullanılmaya çalışılmıştır. Sonlu elemanlar ağında kullanılan eleman üç boyutlu, yirmi düğüm noktalı, altı serbestlik derecesine sahip olan "Solid186" adlı elemandır. Bu eleman her düğüm noktasında üç serbestlik derecesine sahiptir; sadece yer değiştirme serbestliklerine sahip olup, dönme serbestliklerine sahip değildir (ANSYS, 2011). Bu eleman büyük yer değiştirme, şekil değiştirme durumlarını ile doğrusal olmayan analizi desteklemektedir. Şekil 2'de Örnek 2'nin bu çalışmadaki sonlu elemanlar ağları gösterilmiştir.



a) Örnek 1 b) Örnek 2

Şekil 1. Literatürden alınan çalışmadaki örneklerin detayları.

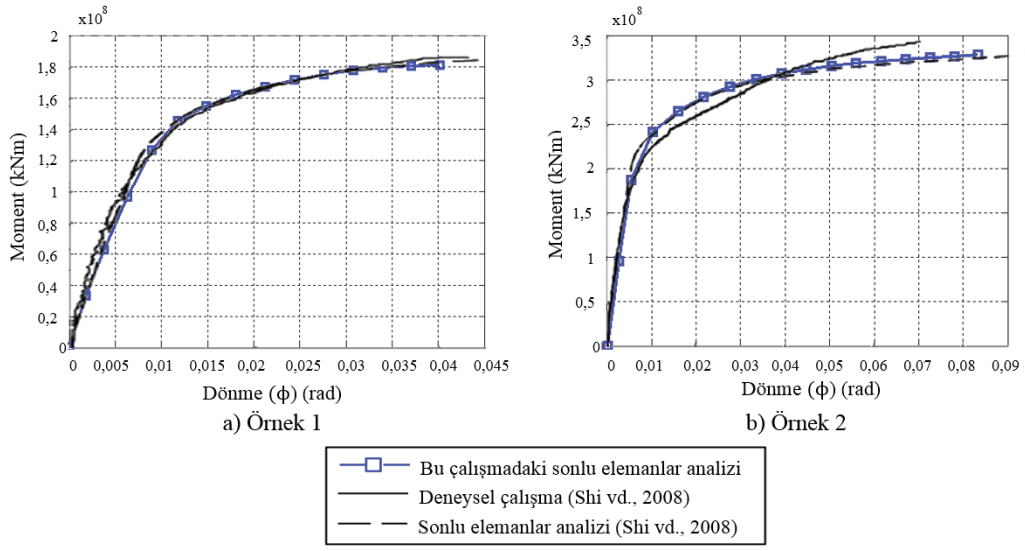


Şekil 2. Örnek 2 adlı birleşimin sonlu elemanlar ağı.

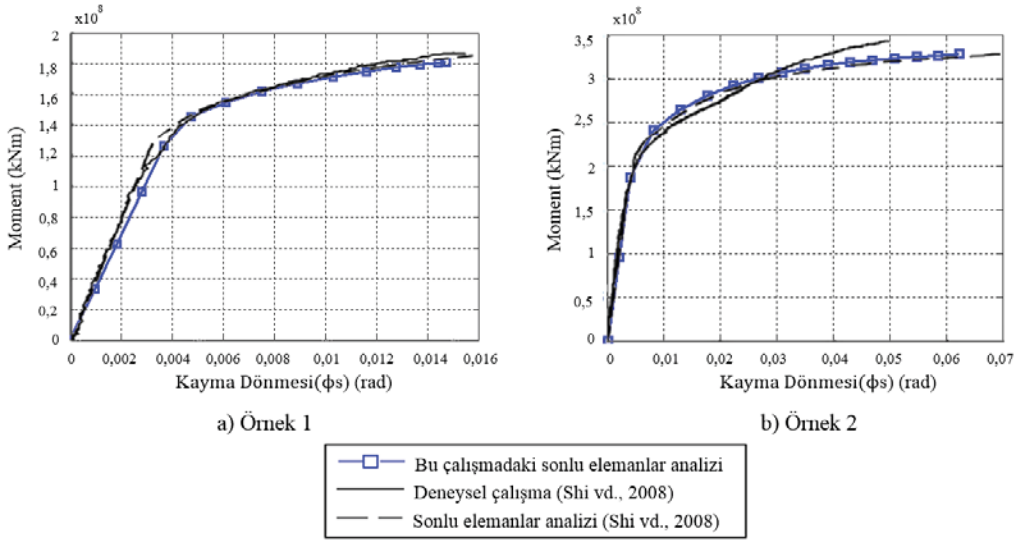
Tablo 1'de bu çalışmadan ve ilgili çalışmadan elde edilen kuvvet taşıma kapasitelerinin karşılaştırılması gösterilmiştir. Şekil 3 ve 4'de bu çalışmadan ve ilgili çalışmadan elde edilen moment – dönme ve moment – kayma dönmesi eğrileri gösterilmektedir. Moment ve dönme değerlerini hesaplama yöntemi ilgili çalışmadan alınmıştır (Shi vd., 2008).

Tablo 1. Yük taşıma kapasitelerinin karşılaştırılması (kN).

	Deneysel çalışma (Shi vd., 2008) (A)	**Sonlu elemanlar (Shi vd., 2008) (B)**	**Sonlu elemanlar (Bu çalışma) (C)**	**(C)/(A)**	**(C)/(B)**
Örnek 1	155,3	156,2	150,63	0,97	0,96
Örnek 2	286,4	276,8	273,12	0,95	0,99



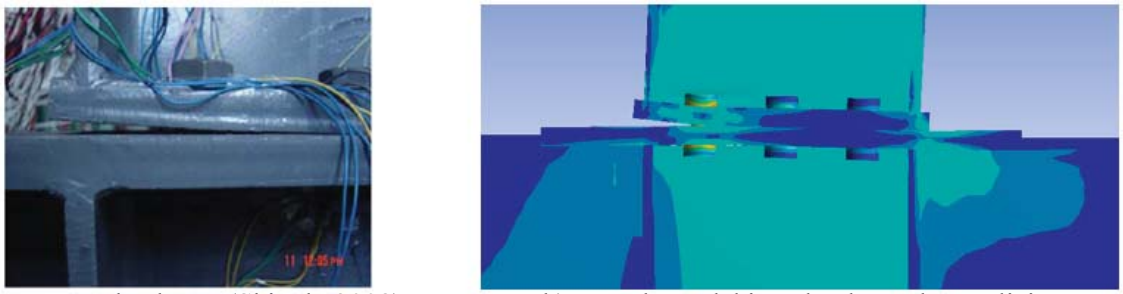
Şekil 3. Bu çalışmadaki ve literatürden alınan çalışmadaki moment – dönme eğrilerinin karşılaştırılması.



Şekil 4. Bu çalışmadaki ve literatürden alınan çalışmadaki moment – kayma dönmesi eğrilerinin karşılaştırılması.

Şekil 3 ve 4'den görüldüğü üzere, Örnek 2 için eğrilerin hem doğrusal hem de doğrusal olmayan bölgelerinde sonuçlar birbirlerine oldukça yakındır. Örnek 1 için doğrusal olmayan bölgede oldukça yakın sonuçlar bulunmuş olup, doğrusal bölgede, özellikle moment – kayma dönmesi eğrisinde, küçük farklılıklar vardır.

Şekil 5'de Örnek 1 için bu çalışmadaki sonlu elemanlar analizi ve literatürden alınan çalışmadaki deneysel çalışma sonucu elde edilen göçme modu görülmektedir. Burada birleşim, bulonun taşıma kapasitesine ulaşması sonucunda yükü taşıyamaz duruma gelmiştir.



a) Deneysel çalışma (Shi vd., 2008) b) Bu çalışmadaki sonlu elemanlar analizi

Şekil 5. Örnek 1 birleşiminin göçme modu bakımından karşılaştırılması.

Bu çalışmadaki sonuçlar ile literatürden alınan çalışmadaki sonuçların birbirleriyle oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Sadece Örnek 1 için küçük uyumsuzluklar görülmektedir. Bunun nedeninin sonlu eleman ağının yoğunluğu, sonlu eleman tipi, parçalar arasındaki temas durumu tipi gibi nedenler olabileceği düşünülmektedir.

DBYBHY-2007'DE BELİRTİLEN BULONLU BİRLEŞİMLERİN ANALİZİ

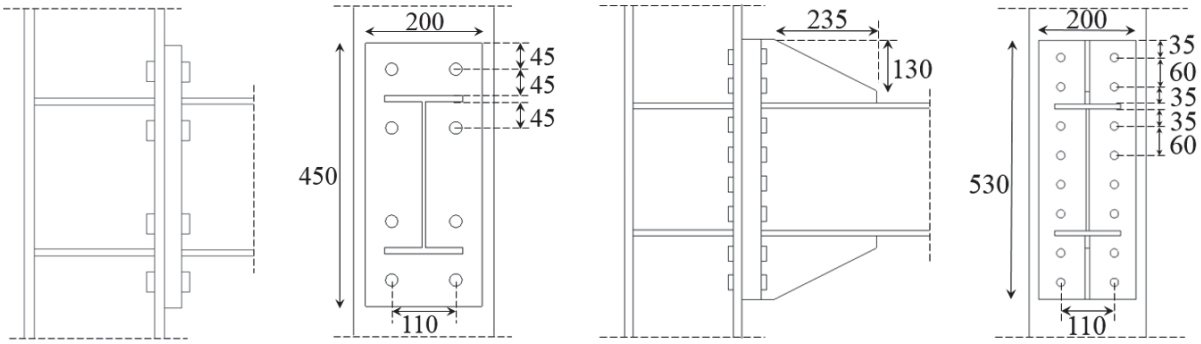
Birleşim Örneklerinin Analize Hazırlanması

Bu çalışmada, DBYBHY-2007'de belirlenen moment aktaran bulonlu çelik kolon – kiriş birleşimlerinin performansları incelenmektedir. Bu bölümde analizleri yapılacak olan birleşim örneklerinin analize hazırlık süreçleri açıklanmaktadır.

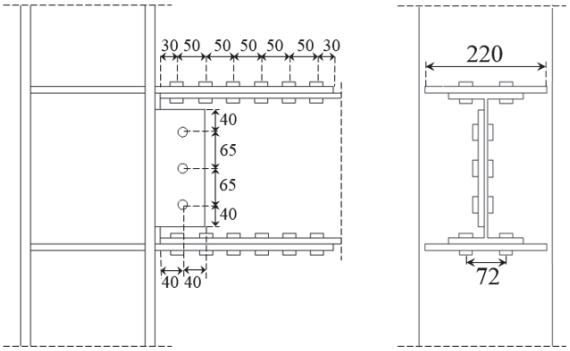
Geometrik Detaylar

Birleşimler aynı malzeme özellikleri, kesitler, kiriş açıklıkları kullanılarak FEMA-350 (2000)'ye göre boyutlandırılmıştır. Birleşimlerdeki kolon için 2,5 m uzunluğunda HE240B profil, kiriş için ise 1,4 m uzunluğunda IPE270 profil kullanılmıştır. Konsol kiriş üzerindeki yükleme noktasının kolon yüzüne olan uzaklığı 1,2 m olarak alınmıştır. Takviyesiz alın levhalı bulonlu (TSALB) birleşim, kiriş başlıkları ve gövdesine kaynak ile, kolon başlığına sekiz adet M20 bulon ile bağlanmış 30 mm kalınlığında alın levhasından oluşmaktadır. Takviyeli alın levhalı bulonlu (TALB) birleşim, kiriş başlıkları ve gövdesine kaynak ile, kolon başlığına on altı adet M16 bulon ile bağlanmış 40 mm kalınlığında alın levhasından ve kiriş gövdesinin hizası itibariyle kirişin altındaki ve üstündeki takviye levhalarından oluşmaktadır. Alın levhasız bulonlu (ALB) birleşim, kiriş başlığa on iki adet M12 bulon ile, kolon başlığına kaynak ile bağlamış olan iki adet başlık levhası ve kiriş gövdesine üç adet M16 bulon ile, kolon başlığına kaynak ile bağlanmış olan gövde levhasından oluşmuştur. Birleşimlerin detayları Şekil 6'da gösterilmektedir. Kolon en alt ve en üst yüzeyinden mesnetlenmiştir. Ayrıca, yükleme noktası da yanal doğrultuda hareket etmeyecek şekilde mesnetlenmiştir.

ALB birleşimin boyutlandırma aşamasında, FEMA-350 (2000)'de belirtildiği tasarım sürecinde kolon başlık hizasında, belirli yük taşıma kaybı mekanizmaları başlangıcına karşı gelen moment değeri (M_g), kolon başlık hizasında, kiriş başlığının akmasının başlangıcına karşı gelen moment değerinin (M_{yf}) 1,2 katı olmalıdır. Burada, kontrol edilen yük kaybı mekanizmaları şunlardır: Bulonların makaslanma suretiyle kesilmesi, birleşim levhası faydalı kesit yırtılması, kiriş başlığı faydalı kesit yırtılması, bulon deliklerindeki kiriş boyuna ekseni doğrultusundaki ovalleşme, blok kesme mekanizmaları. Bu kontrollerden kiriş başlığı faydalı kesit yırtılması kontrolünde moment değeri Mg=224,54 kNm olarak bulunmuş, buna karşılık Myf değerinin 1,2 katı ise 228,48 kNm bulunmuştur. Bu durumda istenen koşul sağlanamamıştır. Buradaki hata oranı %1,0175 olarak hesaplanmış ve bu oranın çok küçük olduğu ve ihmal edilebilir olduğu kabul edilmiştir.



a) TSALB birleşim örneği b) TALB birleşim örneği



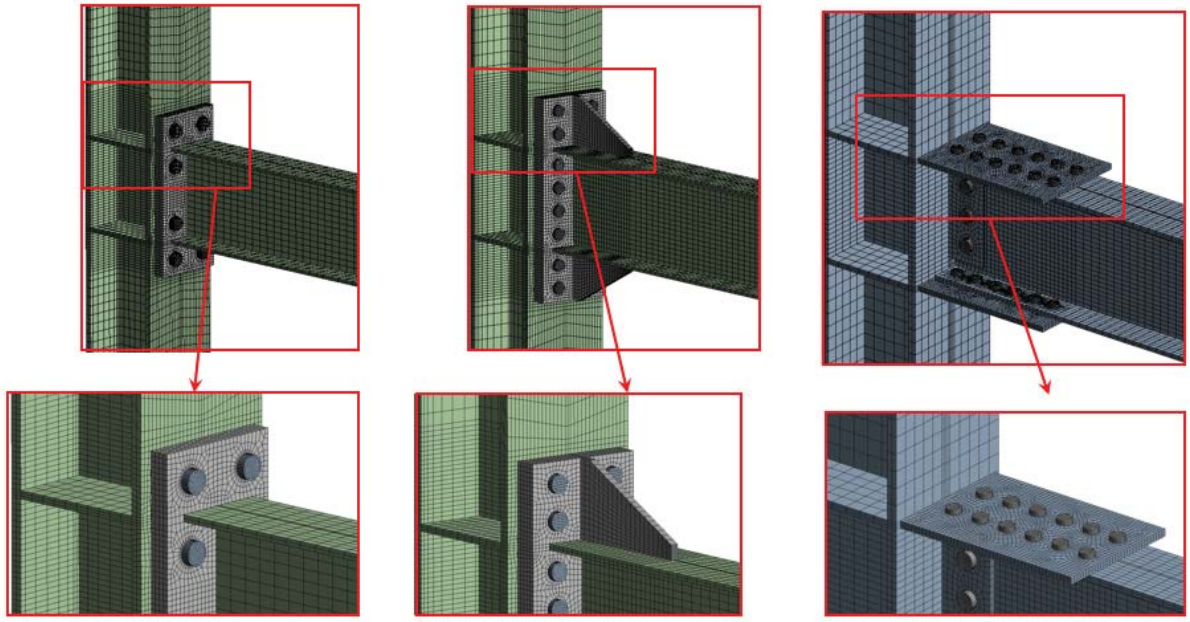
c) ALB birleşim örneği

Şekil 6. İncelenecek olan birleşimlerin detayları.

Sonlu Eleman Modelleri

Bir önceki bölümde olduğu gibi burada da mümkün olduğunca altı yüzlü elemanlar kullanılmıştır. Gerilme dağılımının önemli olduğu bulon, delik çevreleri gibi bölgelerde daha hassas sonuç elde edebilmek için daha küçük boyutlu elemanlar kullanılmıştır. Sonlu eleman ağı yoğunluğunu arttırmak

daha hassas sonuçlar elde etmemizi sağlar, fakat bu durumda analiz süresi daha uzun olacaktır. Bunun için en ideal sonlu eleman ağı yoğunluğu araştırılmıştır. Her bir birleşim için monotonik yükleme altında en az üç kez sonlu eleman ağı yoğunluğu değiştirilerek analizler tekrarlanmış ve birleşimlerdeki parçalarda eş değer (von-Mises) gerilme değerlerine bakılmıştır. Tekrarlanan analizlerdeki parçaların eş değer gerilme değerleri bir önceki analize göre yaklaşık %5 değişmişse, bu sonlu eleman ağının yeterli olduğu kabul edilmiştir. Sonlu eleman ağı yoğunluğu değiştirmek için parçaların kalınlığı ve/veya uzunluğu boyunca olan eleman sayıları, deliklerin çevrelerindeki ağ yoğunlukları değiştirilmiştir. Birleşimlerin sonlu eleman ağları Şekil 7'de gösterilmektedir. Ayrıca Tablo 2'de birleşimlerdeki eleman ve düğüm noktası sayıları verilmektedir.



a) TSALB birleşim örneği b) TALB birleşim örneği c) ALB birleşim örneği

Şekil 7. Birleşim örneklerinin birleşim bölgesindeki sonlu eleman ağları.

Tablo 2. Birleşim örneklerinin sonlu eleman ağındaki eleman sayıları

Birleşim	Eleman Sayısı	Düğüm Noktası Sayısı
TSALB	53832	288723
TALB	73392	384848
ALB	85809	411522

Temas Özellikleri

Kolon – kiriş birleşimleri kolon, kiriş, levha, (varsa) bulon gibi parçalardan meydana gelmektedir. Bu parçaların birbirlerine etkileşimleri söz konusudur. Bu etkileşimleri dikkate almak için, doğrusal veya doğrusal olmayan temas özellikleri, gerçeğe en uygun şekilde dikkate alınmaya çalışılacaktır. Alın levhalı birleşimlerde alın levhası ile kolon başlığı arasındaki ve alın levhasız birleşimde başlık levhası ile kiriş başlığı arasındaki temas durumları doğrusal olmayan sürtünmeli olarak dikkate alınmış olup, sürtünme katsayısı 0,44 olarak alınmıştır. Bulonlar ve delikleri arasındaki temas durumları alın levhalı ve alın levhasız birleşimlerde farklı olarak alınmıştır. Alın levhasız birleşimde bulonun delikten ayrılması dikkate alınmıştır, fakat bu ayrılma alın levhalı birleşimlerde az miktarda olacağından ihmal edilmiştir. Dolayısıyla, alın levhalı birleşimlerde bulonlar deliklerden ayrılamayacak ama kayabilecek şekilde, alın levhasız birleşimde hem ayrılabilecek hem de kayabilecek şekilde tanımlanmıştır.

Yükleme
Analizlerdeki yükleme durumları iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada sadece bulonlara öngerilme kuvveti etki ettirilmiştir. Birleşimlerde öngerilme değerleri M20 bulon için 160 kN, M16 bulon için 100 kN, M12 bulon için 50 kN olarak alınmıştır (Deren vd., 2012). Alın levhasız birleşimin gövde bulonlarında öngerilme yükü bulunmamaktadır. Bulonlara öngerme yükü uygulandığında bulon, eksenine dik doğrultuda ortadan ayrılarak, bu iki parçanın birbirlerine göre rölatif olarak hareket etmesi sağlanır. Yüklemenin ikinci aşamasında ise, bulonlardaki öngerme yükleri sabit tutulup, ayrıca monotonik yükleme için konsol kiriş üzerindeki yükleme noktasına düşey doğrultuda 150 mm'lik yer değiştirme uygulanmıştır.

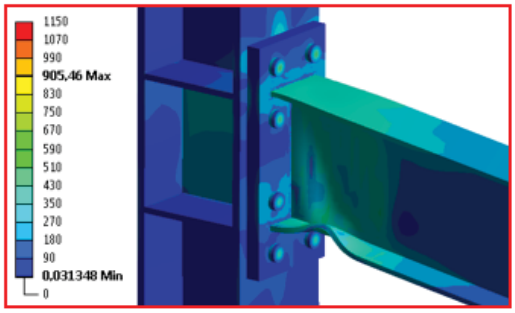
Malzeme Özellikleri
Birleşimlerde DBYBHY-2007'de belirlenmiş olan malzemeler kullanılmıştır. Bulonlar için ASTM A490 kalitesinde bulonlar, alın levhaları ve alın levhası takviye levhası için ASTM A36, diğer parçalar için ASTM A572 50 sınıfı çeliği kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analizlerinde doğrusal olmayan malzeme özellikleri kullanılmış olup, malzemelerde von-Mises akma kriteri kullanılmıştır. Bütün malzemeler için poisson oranı 0,3 olarak alınmıştır. Monotonik yükleme analizlerinde izotropik pekleşme kuralları uygulanmıştır.

Analiz ayarları
Birleşimlerin analizleri doğrusal olmayan malzeme, doğrusal olmayan geometri değişimi ve kaynaklı birleşimler için sadece doğrusal, bulonlu birleşimler için doğrusal veya doğrusal olmayan temas durumlarına göre yapılacaktır. Bu durumda, her bir yükleme adımı en az yirmi beş alt adıma bölünmüştür. Doğrusal olmayan analizden dolayı yükler tek seferde yüklenmek yerine adım adım yüklenecektir.

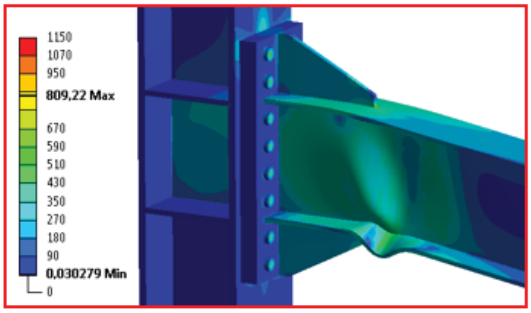
Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Üç boyutlu olarak modellenen birleşimlerin analizleri ANSYS programı ile yapılmıştır. Monotonik yükleme altında yapılan analizlerden sonra, birleşimler hasar durumları, eş değer (von-Mises) plastik şekil değiştirme dağılımları, yük taşıma kapasiteleri, moment – dönme eğrileri, başlangıç dönme rijitlikleri, bulonlardaki en büyük eş değer (von-Mises) gerilme değerleri bakımlarından karşılaştırılacaktır.

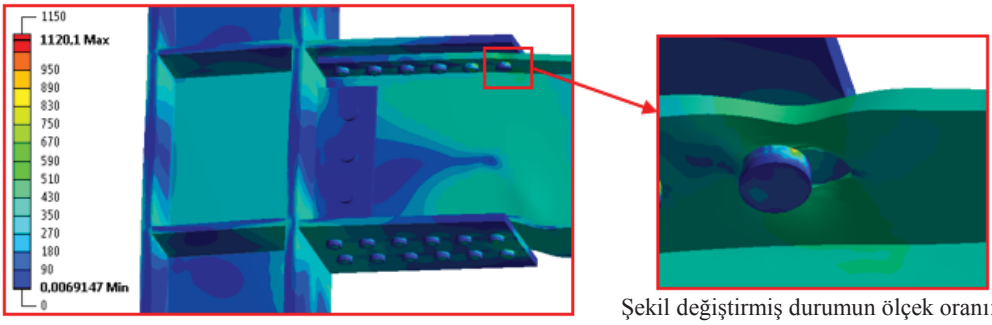
Hasar Durumları
Analizleri yapılan her bir birleşime yükleme noktalarından 150 mm'lik yer değiştirme yükü uygulanmıştır. Alın levhalı birleşimler bu yer değiştirme değerine kadar ulaşabilirken, ALB birleşim 102 mm'lik yer değiştirme değerine kadar ulaşabilmiştir. Her üç birleşimde de hasarlar kirişte meydana gelmiştir. Kirişteki hasar alın levhalı birleşimlerde birleşim bölgesinden uzakta; TSALB birleşimde alın levhasından yaklaşık 90 mm uzakta, TALB birleşimde takviye levhasının bittiği yerde meydana gelmiştir. ALB birleşimde ise, kolon yüzüne en uzak bulon sırasındaki kiriş kesitinde meydana gelmiş olup, bu durum istenmeyen bir kırılma biçimidir. Birleşimlerin hasar durumlarını daha iyi görebilmek için Şekil 8'de birleşimlerin eş değer (von-Mises) gerilme dağılımları gösterilmiştir.



a) TSALB birleşim örneği



b) TALB birleşim örneği

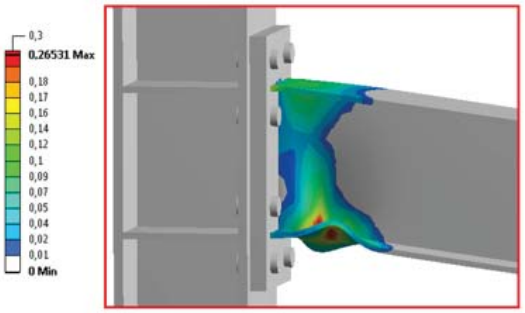


Şekil değiştirmiş durumun ölçek oranı: 2,4

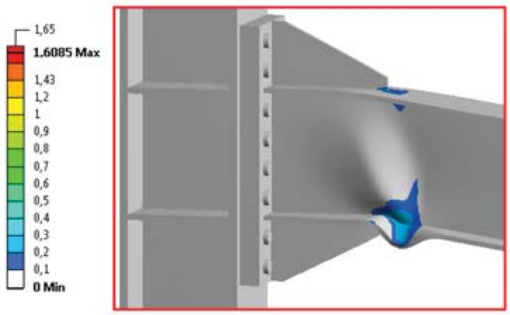
c) ALB birleşim örneği

Şekil 8. Birleşimlerin şekil değiştirmiş durumu üzerindeki eş değer (von-Mises) gerilme dağılımları

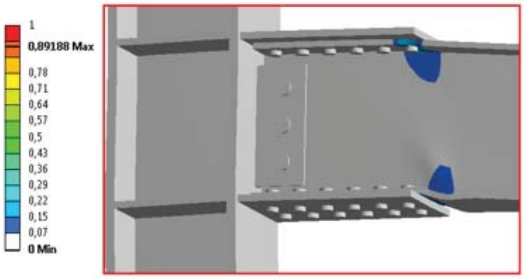
Birleşimlerin hasar durumlarını incelemek için, kullanılan bir diğer yöntem de birleşimlerdeki eş değer (von-Mises) plastik şekil değiştirme dağılımlarını kullanmaktır (Wang vd., 2013) ve bu dağılım her bir birleşim için Şekil 9'da gösterilmiştir. Eş değer plastik şekil değiştirme dağılımı, TSALB birleşimde kiriş başlıklarından kiriş gövdesinin ortasına kadar yaklaşık olarak doğrusal bir şekilde azalırken, TALB birleşimde takviye levhası bitiminde yoğunlaştığı görülmüştür. ALB birleşimde ise, bu dağılımın kırılmanın olduğu yerdeki yani, kirişin son bulon sırasındaki kesitinde yoğunlaştığı görülmektedir.



a) TSALB birleşim örneği



b) TALB birleşim örneği



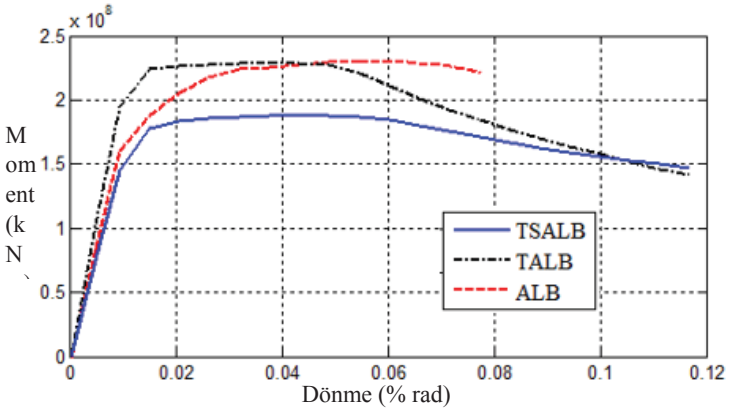
c) ALB birleşim örneği

Şekil 9. Birleşimlerin şekil değiştirmiş durumu üzerindeki eş değer (von-Mises) plastik şekil değiştirme dağılımları

Moment – Dönme Eğrileri

Her bir birleşimin moment – dönme eğrileri elde edilip birbirleriyle karşılaştırılacaktır. Bu değerleri elde etmek için kullanılan yöntem şöyle açıklanabilir: Moment, kiriş üzerindeki yükleme noktasına uygulanan yer değiştirme yüküne karşı gelen tepki kuvveti ile bu yükleme noktasının kolon yüzeyine uzaklığının çarpımı ile elde edilmiştir. Dönme, yükleme noktasının düşey yer değiştirme değerinin, yükleme noktasının kolon eksenine uzaklığına bölünmesiyle elde edilmiştir.

Birleşimlerin monotonik yükleme altındaki moment – dönme eğrileri Şekil 10'da gösterilmiştir. Alın levhalı birleşimler hedeflenen 150 mm'lik yer değiştirmeye ulaşmışlardır. Yaklaşık %4,5 dönme değerine kadar TALB örneğinin taşıdığı moment, diğer birleşim örneklerinden daha büyük olmasına karşın, bu dönme değerinden sonra ALB birleşim örneğinin taşıdığı moment, TALB birleşim örneğinin taşıdığı moment değerini geçmiştir ve birleşimde göçme meydana gelene kadar yaklaşık olarak aynı seviyede kaldığı görülmüştür. Yaklaşık %10 dönme değerinden sonra TALB birleşim örneğinin moment taşıma değerinin TSALB birleşim örneğinin taşıdığı moment değerinin altına düştüğü görülmektedir.



Şekil 10. Birleşim örneklerinin monotonik yükleme altında moment – dönme eğrileri

Birleşimlerin performanslarını daha iyi değerlendirmek adına, birleşimlerin yük taşıma, moment ve dönme kapasiteleri ile başlangıç dönme rijitlikleri Tablo 3'de gösterilmiştir. Burada, başlangıç dönme rijitliği (R_{in}), birleşimlerin akma noktasındaki moment değerinin, dönme değerine bölünmesiyle elde edilmiştir (Gerami vd., 2011). Ayrıca, moment kapasiteleri, tasarım momentine göre de değerlendirilmiştir. Tasarım momenti (M_d) ilgili yönetmelikler (DBYBHY, 2007), (FEMA-350, 2000) kullanılarak elde edilmiş olup, 201,83 kNm'dir.

Tablo 3. Birleşim örneklerinin yük taşıma, moment, dönme kapasiteleri ve başlangıç dönme rijitlikleri

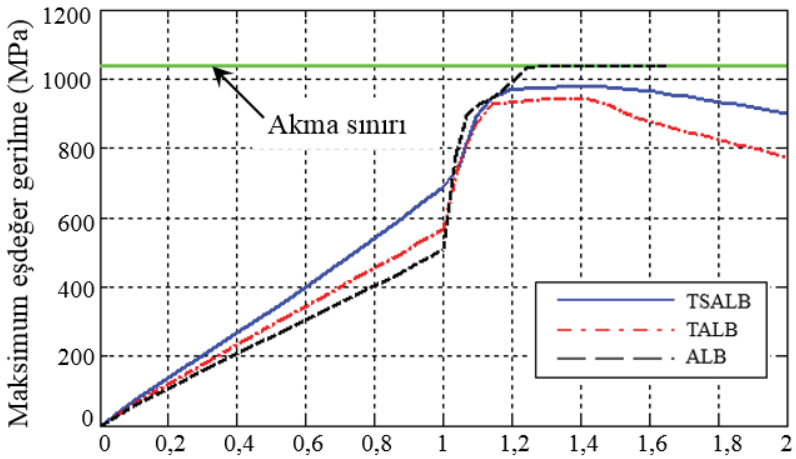
Birleşim	**P_{max} (kN)**	**M_{max} (kNm)**	**M_{max}/M_d**	**Dönme (rad)**	**R_{in} (kNm/rad)**
TSALB	156,75	188,1	0,93	0,114	15895
TALB	190,6	228,72	1,13	0,114	17589
ALB	191,7	230	1,14	0,077	21373

Tablo 3'den görüldüğü üzere, TALB ve ALB birleşim örneklerinin moment taşıma kapasiteleri, TSALB birleşim örneğininkisinden sırasıyla %22 ve %23 daha fazladır. Her bir birleşimin moment taşıma kapasitesinin tasarım momenti değerine yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca, en büyük R_{in} değeri TALB birleşim örneğinde elde edilirken en küçük değer TSALB birleşim örneğinde elde edilmiştir.

Bulonlardaki en büyük eş değer (von-Mises) gerilme değerleri

Birleşimlerin genel kapasitelerini değerlendirmek adına, bulonların performansları da değerlendirilmektedir. Burada, birleşimlerdeki bulonlar tek tek değerlendirilmek yerine, bulon

grubunun tamamı bir arada değerlendirilmektedir. TSALB birleşim örneğinin bulon grubu 8 adet öngerilmeli M20, TALB birleşim örneğinin bulon grubu on altı adet öngerilmeli M16, ALB birleşim örneğinin bulon grubu yirmi dört adet öngerilmeli M12 bulonlarını kapsamaktadır. ALB birleşimde gövde bulonları öngerilmeli olmadığından bulon grubuna dahil edilmememiştir. Şekil 11'de analiz süresince birleşimlerin bulon gruplarındaki en büyük eş değer (von-Mises) gerilme değerleri verilmiştir. Yük adımında 1 değerine kadar olan kısım bulonlardaki öngerilme yüklemesi adımını göstermektedir.



Şekil 11. Analiz süresince birleşimlerin bulon gruplarındaki en büyük eş değer (von-Mises) gerilme değerleri

Şekil 11'de görüleceği üzere, ALB birleşim örneğindeki bulon grubunun en büyük (von-Mises) gerilme değeri bulon malzemesinin akma gerilmesine ulaşmıştır, fakat alın levhalı birleşimler için bu durum geçerli değildir. Ayrıca, alın levhalı birleşimlerde, yük adımının yaklaşık 1,2 olduğu seviyede, bu gerilme değerinin azalmaya başladığı görülmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada DBYBHY-2007'de belirtilen bulonlu birleşimlerin ANSYS programı yardımı ile analizleri yapılmış ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar şu şekilde açıklanabilir:

Alın levhalı birleşim örnekleri kiriş üzerinde, birleşim bölgesinden uzakta, başlıkların burkulması ile hasara uğramıştır. ALB birleşim örneğinin, kirişte son bulon sırasındaki kiriş en kesitinde yırtılma ile göçtüğü görülmüştür. Bu istenmeyen kırılma durumunun tasarım sürecinde ihmal edilen %1,0175'lik hata olabileceği düşünülmektedir.

TALB ve ALB birleşim örneklerinin moment taşıma kapasitelerinin aynı seviyede oldukları, yaklaşık %4,5 dönme değerine kadar TALB birleşim örneğinin taşıdığı moment ALB birleşim örneğininkisinden büyük iken, bu değerden sonra tam tersi görülmüştür. Buna benzer bir ilişki TSALB ve TALB birleşim örnekleri için yaklaşık %10 dönme değerinde görülmüştür.

ALB birleşim örneğinde bulon grubunun eş değer gerilme seviyesi akma gerilmesine ulaşırken, alın levhalı birleşimlerde böyle bir durum görülmemiştir.

Her üç birleşimin de DBYBHY-2007'de belirtilen 0,04 radyan göreli kat ötelemesi şartlarını sağladığı görülmektedir. Buna rağmen, aralarında TALB birleşimin gerek hasar durumu, gerekse moment taşıma kapasitesi, başlangıç dönme rijitliği gibi üstünlüklerinden dolayı diğer birleşimlere kıyasla daha güvenilir olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

ANSI/AISC 341-10 (2010) Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, Chicago, IL.

ANSYS, (2011) Incorporated programmers manual for ANSYS.

Bahaari MR and Sherbourne AN (2000) "Behavior of eight-bolt large capacity endplate connections," *Computers & Structures*, 77:315-325.

Bahaari MR and Sherbourne AN (1996) "Structural behavior of end-plate bolted connections to stiffened columns," *Journal of Structural Engineering*, 122:926-935.

Bahaari MR and Sherbourne AN (1996) "3D simulation of bolted connections to unstiffened columns-II. Extended end-plate connections," *Journal of Constructional Steel Research*, 40:189-223.

DBYBHY (2007) Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.

Deren H, Uzgider E, Piroğlu F ve Çağlayan Ö (2012) Çelik Yapılar, 4. Baskı, Çağlayan Kitabevi, İstanbul

Dessouki AK, Youssef AH and Ibrahim MM (2013) "Behavior of I-beam bolted extended end-plate moment connections," *Ain Shams Engineering Journal*, 4:685-699.

Eldemerdash M, Abu-Lebdeh T and Al Nasra M (2012) "Finite element analysis of large capacity endplate steel connections," *Journal of Computer Science*, 8:482-493.

FEMA-350 (2000) Recommended seismic design criteria for new steel moment-frame buildings, Richmond (CA): SAC Joint Venture

Gerami M, Saberi H, Saberi V and Daryan AS (2011) "Cyclic behavior of bolted connections with different arrangement of bolts," *Journal of Constructional Steel Research*, 67:690-705.

Han SW, Kwon GU and Moon KH (2007) "Cyclic behaviour of post-Northridge WUF-B connections," *Journal of Constructional Steel Research*, 63:365-374.

Ismail RES, ShamelFahmy A, Khalifa AM and Mohamed YM (2014) "Behaviour of end-Plate steel connections stiffened with stiffeners of different geometrical dimensions," *Global Advanced Research Journal Of Engineering, Technology And Innovation*, 3:55-69.

Kaushik K, Sharma AK and Kumar R (2013) "Modeling and FE analysis of column to beam end-plate bolted connection," *Engineering Solid Mechanics*, 2:51-66.

Maggi YI, Gonçalves RM, Leon RT and Ribeiro LFL (2005) "Parametric analysis of steel bolted end plate connections using finite element modeling," *Journal of Constructional Steel Research*, 61:689-708.

Mashaly E, El-Heweity M, Abou-Elfath H and Osman M (2011) "Behavior of four-bolt extended end-plate connection subjected to lateral loading," *Alexandria Engineering Journal*, 50:79-90.

Mashaly E, El-Heweity M, Abou-Elfath H and Osman M (2011) "Finite element analysis of beam-to-column joints in steel frames under cyclic loading," *Alexandria Engineering Journal*, 50:91-104.

Prinz GS, Nussbaumer A, Borges L and Khadka S (2014) "Experimental testing and simulation of bolted beam-column connections having thick extended endplates and multiple bolts per row," *Engineering Structures*, 59:434-447.

Roeder CW (2002) "Connection performance for seismic design of steel moment frames," *Journal of Structural Engineering*, 128:517-525.

Saberi V, Gerami M and Kheyroddin A (2014) "Comparison of bolted end plate and T-stub connection sensitivity to component thickness," *Journal of Constructional Steel Research*, 98:134-145.

Shaker FMF and Abd Elrahman WM (2014) "Analytical behavior of steel pre-tensioned bolted connections with flushed and extended end plates under bending," *World Applied Sciences Journal*, 30:673-684.

Sherbourne AN and Bahaari MR (1994) "3D simulation of end-plate bolted connections," *Journal of Structural Engineering*, 120:3122-3136.

Shi G, Shi Y, Wang Y and Bradford MA (2008) "Parametric analysis of steel bolted end plate connections using finite element modeling," *Engineering Structures*, 30:2677-2686.

Wang M, Shi Y, Wang Y and Shi G (2013) "Numerical study on seismic behaviors of steel frame end-plate connections," *Journal of Constructional Steel Research*, 90:140-152.

Yılmaz O and Bekiroğlu S (2014) "Behavior of pretensioned bolted steel column beam connections subjected to monotonic loading," *Proceedings of 11th International Congress on Advances in Civil Engineering*, Istanbul, Turkey, 21-25 October.