TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI

6. ÇELİK YAPILAR SEMPOZYUMU



15-16-17 Ekim 2015 / ESKİŞEHİR

ESKİŞEHİR OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ KONGRE VE KÜLTÜR MERKEZİ
MEŞELİK - ESKİŞEHİR

Düzenleyen:

TMMOB İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI
ESKİŞEHİR ŞUBESİ VE İSTANBUL ŞUBESİ

DÜZENLEME KURULU

Prof. Dr. Erdoğan UZGİDER (İTÜ)
Doç. Dr. Filiz PİROĞLU (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. B. Özden ÇAĞLAYAN (İTÜ)
Tansel ÖNAL (İMO)
Nusret SUNA (İMO)
Berrin ÇİFTÇİ (İMO)
Yrd. Doç. Dr. H. Selim ŞENGEL (İMO)

Cumali NİĞDELİOĞLU (İMO)
Deniz KILIÇ (İMO)
Anıl ASİL (İMO)
Müberra ÇETİNKAYA (İMO)
Rezan BULUT (İMO)
Hasan ÜNAL (İMO)
Esra ÖZASLAN (İMO)

BİLİM VE DANIŞMA KURULU

Prof. Dr. Erdoğan UZGİDER (İTÜ) - Başkan
Nevzat ERSAN (İMO)
Necati ATICI (İMO)
Cemal GÖKÇE (İMO)
Bülent ERKUL (İMO)
Fercan YAVUZ (İMO)
Prof. Dr. Bülent AKBAŞ (GTÜ)
Prof. Dr. Gülay ALTAY (BÜ)
Prof. Ruhi AYDIN (OGÜ)
Prof. Dr. Alemdar BAYRAKTAR (KTÜ)
Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK (İTÜ)
Prof. Dr. Ayşe DALOĞLU (KTÜ)
Prof. Dr. Cemal EYYUBOV (ERCİYESÜ)
Prof. Dr. Hasan GÖNEN (OGÜ)
Prof. Dr. Sedat HAYALİOĞLU (DİCLEÜ)
Prof. Dr. E. Sabri KAYALI (İTÜ)
Prof. Dr. Erkan ÖZER (İTÜ)
Prof. A . Zafer ÖZTÜRK (YTÜ)
Prof. Dr. Erdal ŞAFAK (BÜ)
Prof. Dr. Cem TOPKAYA (ODTÜ)
Prof. Dr. Eşref ÜNLÜOĞLU (OGÜ)
Prof. Dr. Murat VURAL (İTÜ)
Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI (YÜ)
Prof. Dr. Çetin YILMAZ (ODTÜ)

Prof. Dr. Cavidan YORGUN (İTÜ)
Doç. Dr. Zeki AY (SDÜ)
Doç. Dr. Alp CANER (ODTÜ)
Doç. Dr. Nevzat KIRAÇ (OGÜ)
Doç. Dr. Filiz PİROĞLU (İTÜ)
Doç. Dr. Yavuz Selim TAMA (PAÜ)
Yrd. Doç. Dr. B. Özden ÇAĞLAYAN (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Fevzi DANSIK (MSÜ)
Yrd. Doç. Dr. Ayten GÜNAYDIN (OGÜ)
Yrd. Doç. Dr. Kadir ÖZAKGÜL (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. H. Selim ŞENGEL (OGÜ)
Yrd. Doç. Dr. Kıvanç TAŞKIN (ANADOLUÜ)
Yrd. Doç. Dr. Cüneyt VATANSEVER (İTÜ)
İnş. Yük. Müh. Mustafa ALTINELLER
İnş. Yük. Müh. Günberk DEMİRKAYA
İnş. Yük. Müh. Ali Taner DİNÇ
İnş. Yük. Müh. Sezai GÜVENSOY
İnş. Yük. Müh. Altok KURŞUN
İnş. Yük. Müh. Hasan ÖZDEMİR
İnş. Yük. Müh. Erol SÖNMEZ
İnş. Yük. Müh. Ali TERZİBAŞOĞLU
İnş. Müh. Tevfik ESKİMUMCU
İnş. Müh. Niyazi PARLAR

Hasarsız Deneysel Yöntemlerle Borçka Çelik Kemer Köprüsünün Restorasyon Öncesi Durum Tespiti 81
Alemdar BAYRAKTAR, Ahmet Can ALTUNIŞIK, Temel TÜRKER

Çelik Köprü Yapım Tekniklerinin Araştırılması ve Optimum Uygulama Yöntemlerinin Seçilmesi 91
Cemal EYYUBOV, Berat ERTEKİN

Çelik Çaprazlı Çerçevelerde Farkli Performans Seviyeleri İçin Sismik Enerji İstemleri 105
Selçuk DOĞRU, Bora AKŞAR, Bülent AKBAŞ, Jay SHEN, Bilge DORAN

DBYBHY-2007'deki Moment Aktaran Kaynaklı Birleşimlerin Monotonik Yükleme Altındaki Davranışı 117
Orkun YILMAZ, Serkan BEKİROĞLU

Çelik Yapıların Depreme Dayanıklı Olarak Tasarımında Modern Deprem Yönetmelikleri Yaklaşımları ve İzmir Adnan Menderes Yeni İç Hatlar Terminalinden Uygulama Örnekleri 127
Cem ÖZER

Çelik Yapı İmalat Ve Montajının 3. Taraf Kuruluşlarca Denetlenmesi Ve Ülkemizdeki Mevcut Durum 137
Hakan ÖNAL

Sıcak Daldırma Galvanizle Sürdürülebilir Korozyon Koruması 145
S. Burcu AKYÜZ AKMAN

Eğilme Etkisi altındaki Kirişlerde Kullanılan Berkitme Levhasının Davranışa Etkisi 153
İ.Devran ÇELİK, Mustafa SİVRİ, Mehmet FENKLİ, Emre KÖK, Zeki AY

Merkezi Çaprazlı Çerçevelerde Arttırılmış Deprem Etkileri 163
Bora AKŞAR, Selçuk DOĞRU, Bülent AKBAŞ, Jay SHEN, Bilge DORAN

DBYBHY-2007'deki Moment Aktaran Kaynaklı Birleşimlerin Monotonik Yükleme Altındaki Davranışı

Orkun YILMAZ, Serkan BEKİROĞLU
YTÜ, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
Tel: (212) 383 5208 - 5190
e-posta: yilmazo@yildiz.edu.tr, serkanb@yildiz.edu.tr

Öz

Bu çalışma, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-2007'de belirtilen Kaynaklı, Ek Başlık Levhalı Kaynaklı ve Zayıflatılmış Kiriş En Kesiti Kaynaklı kolon-kiriş birleşimlerinin, sonlu elemanlar analizi ile monotonik yükleme altında performanslarının değerlendirmesini amaçlamaktadır. Her bir birleşim, aynı şartlar altında FEMA-350 (Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings)'ye göre tasarlanmaktadır. Sonlu elemanlar modellemelerinin doğruluğu, literatürden alınan iki adet alın levhalı bulonlu birleşimin deneysel ve nümerik sonuçlarının, bu çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılması yoluyla gösterilmektedir. Analizlerde doğrusal olmayan malzeme ve geometri değişimi dikkate alınmaktadır. Sözü edilen bu üç birleşimin performansları, birleşimlerin hasar durumları, eş değer (von-Mises) plastik şekil değiştirme dağılımları, yük taşıma kapasiteleri, moment – dönme eğrileri, başlangıç dönme rijitlikleri bakımından karşılaştırılarak değerlendirilmektedir. Ele alınan sonuçlar çerçevesinde, Ek Başlık Levhalı Kaynaklı birleşim örneğinin diğer kaynaklı birleşimlere göre daha üstün olduğu görülmektedir.

Anahtar sözcükler: Kaynaklı birleşim, Ek başlık levhalı kaynaklı birleşim, Zayıflatılmış kiriş enkesiti kaynaklı birleşim, sonlu elemanlar analizi, DBYBHY-2007.

Giriş

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 358-10 Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications (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.

DBYBHY-2007'de kaynaklı birleşimler, Kaynaklı Birleşim, Ek Başlık Levhalı Kaynaklı (EBLK) Birleşim, Zayıflatılmış Kiriş Enkesiti Kaynaklı (ZKEK) Birleşim olarak adlandırılmaktadır. Literatürde kaynaklı birleşimler için çok sayıda deneysel çalışmaya rastlanırken, sonlu eleman analizlerine daha az rastlanılmaktadır. Özellikle de farklı türde birleşimleri birbirleriyle kıyaslayan çalışmaların sayısı azdır.

Literatürde kaynaklı birleşimler ile ilgili yapılan çalışmaların bazıları şöyle sıralanabilir: Stojadinovic vd. (2000) Northridge öncesi ve sonrası gövdeden bulonlu kaynaklı birleşimlerin çevrimsel yükleme altında deneysel analizlerini yapmışlardır. Northridge öncesi birleşimlerin pratikte plastik dönme kapasitesine sahip olmadıkları görülmüştür. Ricles vd. (2003) Northridge sonrası kaynaklı birleşimlerin çevrimsel yükleme altında deneysel ve sonlu eleman analizlerini yapmışlardır. Çalışmada kaynak ulaşım deliği geometrisi ve kayma levhası bağlantısı üzerinde çalışmış olup, şu anda yönetmeliklerdeki kaynak ulaşım deliği önerilmiştir. Chen vd. (2005) gövdeden bulonlu iki adet kaynaklı birleşimin çevrimsel yükleme altında deneysel analizini yapmışlardır. Deney sonuçlarına göre her iki birleşim de kaynak ulaşım deliğinden başlayan çatlaklarla gevrek kırılma göstermiştir. Bu gevrek kırılmaların sebeplerini anlamak için bu birleşimlerin sonlu eleman analizleri yapılmış ve kaynak ulaşım deliğinde gerilme yoğunluğunun çok fazla olduğu görülmüştür. Bunu önlemek için bu birleşimlerde kiriş başlıklarına takviye levhası eklenmiş ve bu levhaların kaynak ulaşım deliğinde meydana gelen gerilme yoğunluğunu ve böylece gevrek kırılmayı önlediği görülmüştür. Han vd. (2007) Northridge depremi sonrası hazırlanan kaynaklı birleşimin çevrimsel yükleme altında deneysel analizini yapmışlardır. Üç farklı panel bölgesi dayanımı için analizler yapılmış olup, bunun değişimleri incelenmiştir. Hedayat ve Celikag (2009) gövdede bulonlu kaynaklı birleşimler için yeni tasarım önerileri geliştirmişlerdir. Plastik mafsal oluşumunu kolon yüzünden uzaklaştırmak için kiriş gövdesine iki adet delik açılmış ve bu deliklerin farklı geometrileri hakkında sonlu eleman analizleri yapılmıştır. Pachoumis vd. (2010) iki adet zayıflatılmış kiriş enkesiti kaynaklı birleşimi farklı zayıflatma durumları bakımından incelemişlerdir. Çalışmalarını hem deneysel hem de sonlu eleman analizleri ile çevrimsel yükleme altında yapmışlardır. Gholami vd. (2013) ek başlık levhalı birleşimlerin çevrimsel yükleme altında deneysel ve sonlu eleman analizlerini yapmışlardır. Üç farklı birleşim hazırlayıp, ek başlık levhasının uzunluğu ve bu levhada alın dikişi olup olmaması durumlarını incelemişlerdir. Nia vd. (2013) kutu kesitli kolona sahip kaynaklı birleşimlerin deneysel ve sonlu eleman analizlerini yapmışlardır. Analizler çevrimsel yükleme altında yapılmış olup, 0,04 radyan dönmeye kadar dayanımlarında bir azalma olmadığı görülmüştür. Han vd. (2014) dört farklı kaynaklı birleşimin çevrimsel yükleme altında deneysel analizini yapmışlardır. Bu çalışmada kiriş derinliği ve panel bölgesinin rijitliğini incelemişlerdir. Derinliği fazla olan kirişlerin istenen performansı gösteremedikleri, yeterli plastik dönme kapasitelerine ulaşamadıkları görülmüştür.

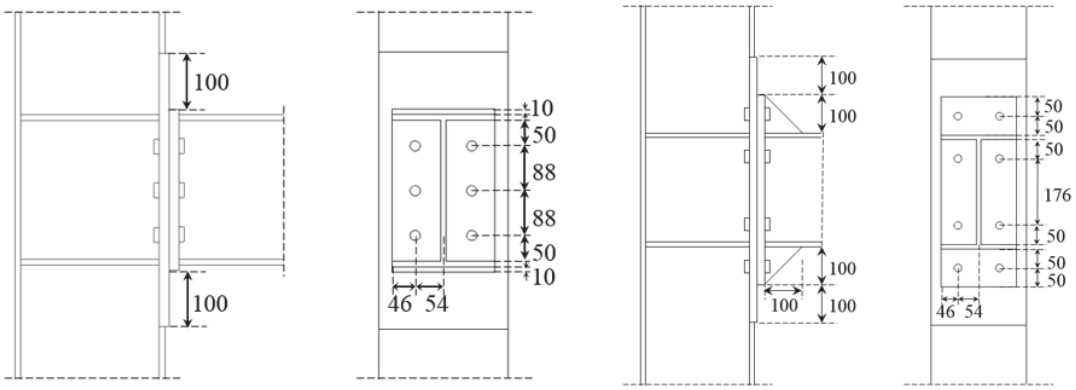
Bu çalışma, DBYBHY-2007'de belirtilen çelik kolon – kiriş birleşim türlerinden Kaynaklı, EBLK ve ZKEK birleşimlerin sonlu elemanlar analizlerinin yapılarak performanslarının birbirleriyle karşılaştırılmasını kapsamaktadır. Bu karşılaştırmadan önce, sonlu elemanlar analizinin doğruluğu literatürden seçilen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

Sonlu Eleman Modellemesinin Doğrulanması

Sonlu elemanlar modellerinin doğrulanması amacıyla, literatürden deneysel ve sonlu elemanlar analizleri yapılmış iki adet alın levhalı bulonlu kolon – kiriş birleşim örneği seçilmiştir (Shi vd., 2008). Doğrulama amacıyla kaynaklı birleşim yerine bulonlu birleşim seçilmesinin sebebi, literatürde kaynaklı birleşim için monotonik yükleme altında sonlu eleman analizi yapılmış bir çalışmaya rastlanılmamasıdır. Literatürden alınan çalışma, sekiz adet alın levhalı birleşimin monotonik yükleme altında deneysel ve sonlu elemanlar analizleri ile incelenmesini kapsamaktadır.

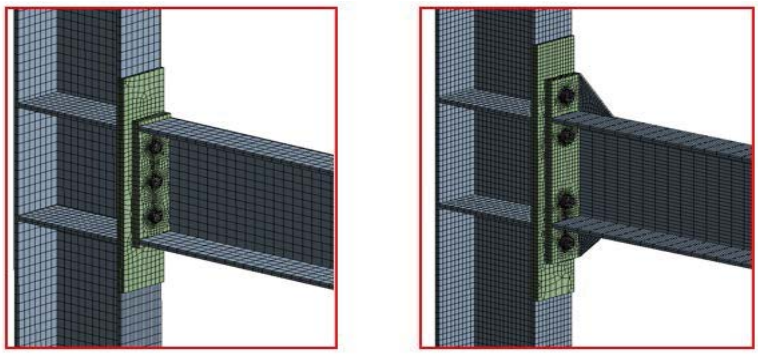
Birleşimlerin Analize Hazırlanması

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 alınmaktadır (Shi vd., 2008). Konsol kiriş ucuna yakın yerdeki yükleme noktasının kolon yüzüne olan uzaklığı 1,2 m'dir. Birleşimlerin detayları Şekil 1'de gösterilmektedir. Sonlu elemanlar ağı oluşturulurken ilgili çalışmada dört yüzlü elemanlar kullanılırken, burada mümkün olduğu sürece altı yüzlü elemanlar kullanılmaya çalışılmaktadır. Sonlu elemanlar ağında kullanılan eleman üç boyutlu, yirmi düğüm noktasına sahip olan "Solid186" adlı elemandır (ANSYS, 2015). Şekil 2'de birleşimlerin bu çalışmadaki sonlu elemanlar ağları gösterilmektedir.



a) Ornek 1 b) Ornek 2

Şekil 1. Literatürden alınan çalışmadaki örneklerin detayları.



a) Örnek 1 b) Örnek 2

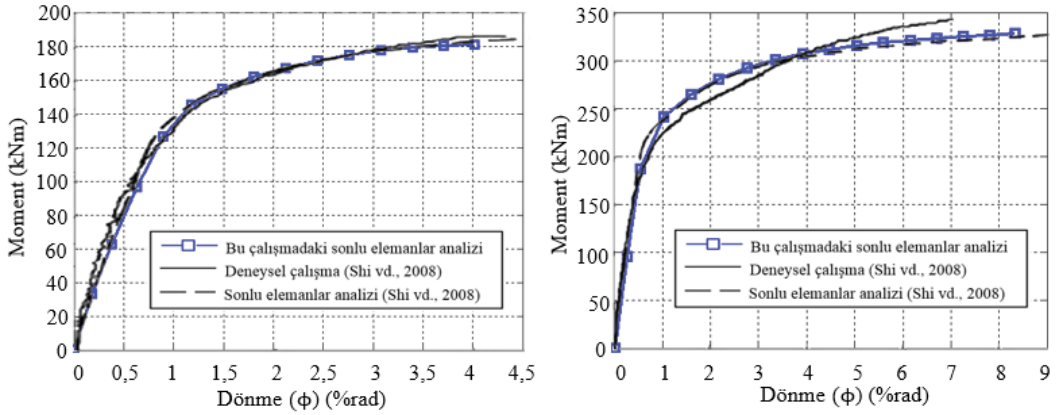
Şekil 2. Birleşimlerin sonlu eleman ağı.

İrdeleme ve Değerlendirme

Tablo 1'de bu çalışmadan ve ilgili çalışmadan elde edilen kuvvet taşıma kapasitelerinin karşılaştırılması gösterilmiştir. Burada sonuçların birbirine oldukça yakın oldukları görülmektedir. 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).

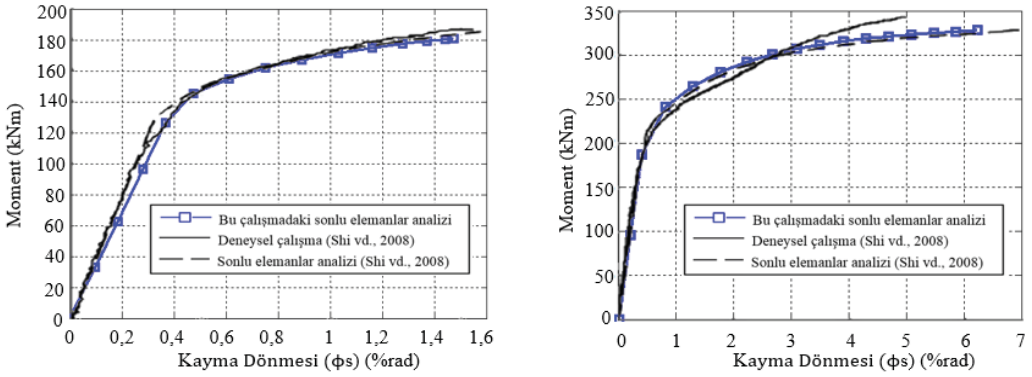
Tablo 1. Kuvvet taşıma kapasitelerinin karşılaştırılması (kN).

	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



a) Örnek 1 b) Örnek 2

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

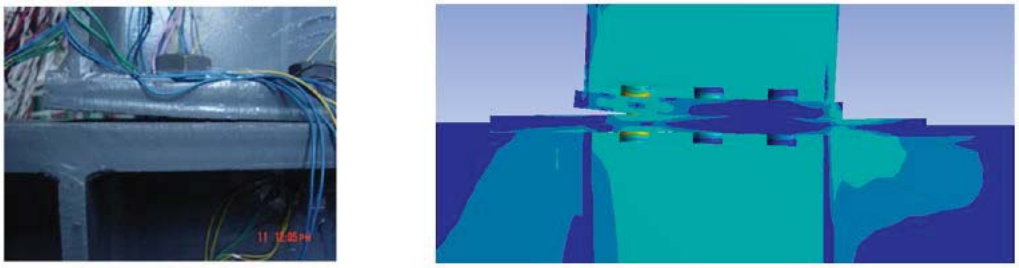


a) Örnek 1 b) Örnek 2

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 eleman 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 gibi nedenler olabileceği düşünülmektedir.

DBYBHY-2007'de Belirtilen Kaynaklı Birleşimlerin Analizi

Birleşim Örneklerinin Analize Hazırlanması

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

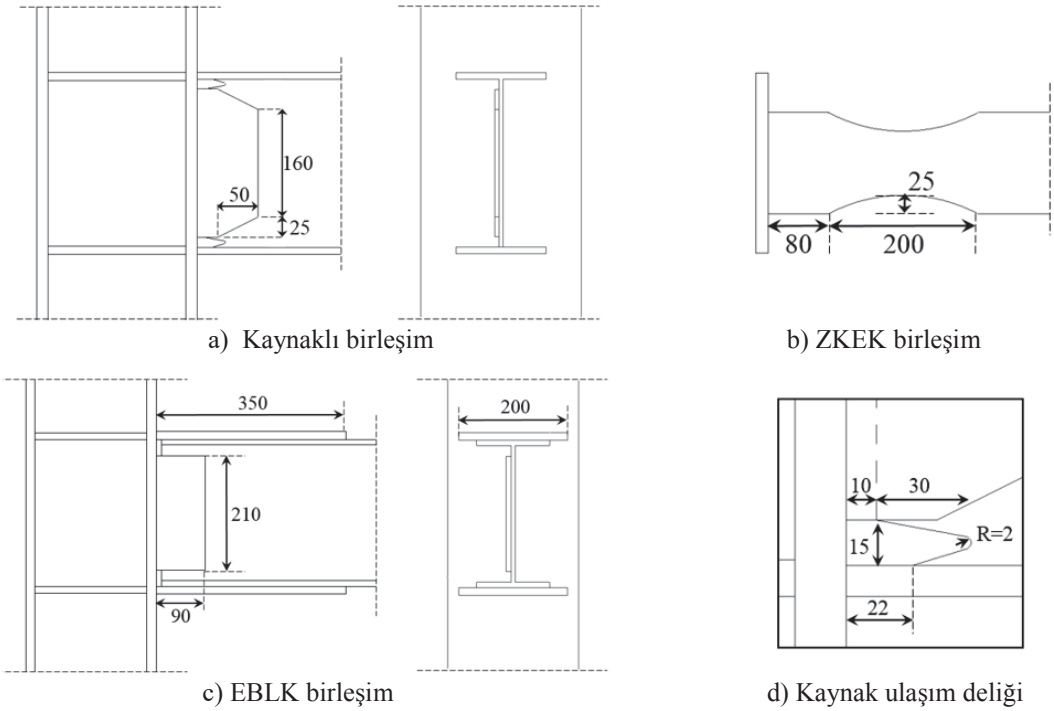
Geometrik Detaylar

Birleşimler aynı malzeme özellikleri, kesitler, kiriş açıklıkları kullanılarak FEMA-350 (2000)'ye göre boyutlandırılmaktadır. Birleşimlerdeki kolon için 2,5 m uzunluğunda HE240B profil, kiriş için ise 1,4 m uzunluğunda IPE270 profil kullanılmaktadır. Konsol kiriş üzerindeki yükleme noktasının kolon yüzüne olan uzaklığı 1,2 m olarak alınmaktadır. Kaynaklı birleşimde kiriş başlıkları kolon başlığına kaynak ile birleştirilmektedir. Kiriş gövdesinde 8 mm kalınlığında bir kayma levhası kullanılmaktadır. Ek başlık levhalı kaynaklı (EBLK) birleşimde kiriş başlıkları ve gövdesi kolon başlığına levhalar ile bağlanmaktadır. Kullanılan başlık levhaları 14 mm, gövde levhası ise 8 mm kalınlığındadır. Zayıflatılmış kiriş enkesiti kaynaklı (ZKEK) birleşimin detayı kaynaklı birleşim detayı gibidir. Bu birleşimde kiriş başlıkları her iki yandan kolon yüzüne belirli bir uzaklıktan zayıflatılmaktadır. Birleşimlerin detayları Şekil 6-a,b,c'de gösterilmektedir. Kaynaklı ve ZKEK birleşimlerinde kullanılan kaynak ulaşım deliğinin detayı Şekil 6-d'de gösterilmektedir.

Sonlu Eleman Modelleri

Bir önceki bölümde olduğu gibi burada da mümkün olduğunca altı yüzlü elemanlar kullanılmaktadır. Gerilme dağılımının önemli olduğu bölgelerde daha hassas sonuç elde

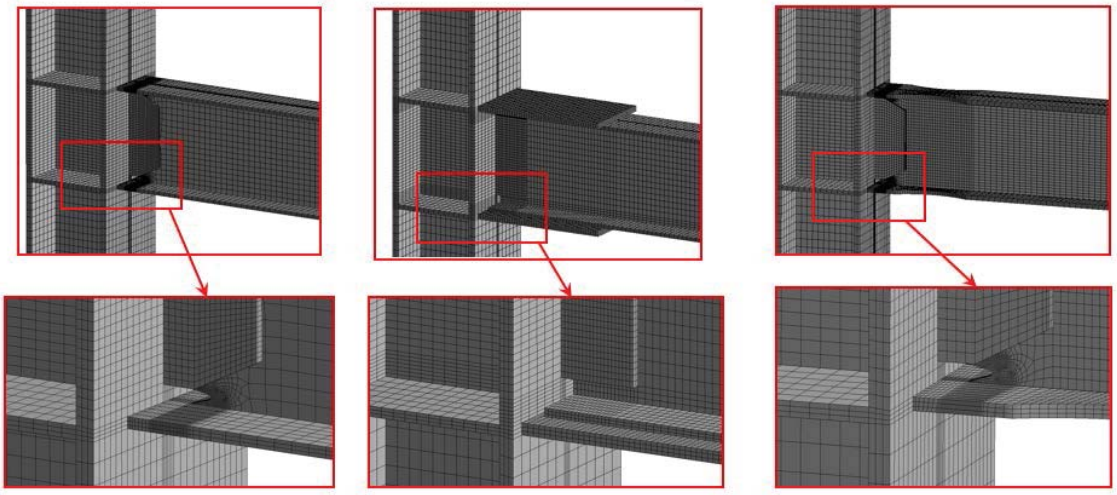
edebilmek için daha küçük boyutlu elemanlar kullanılmaktadır. Sonlu eleman ağı yoğunluğunu arttırmak daha hassas sonuçlar elde edilmesini sağlar, fakat bu durumda analiz süresi daha uzun olabilmektedir. Bunun için en ideal sonlu eleman ağı yoğunluğu araştırılmaktadır. Sonlu eleman ağı yoğunluğu değiştirmek için parçaların kalınlığı ve/veya uzunluğu boyunca olan eleman sayıları, kaynak ulaşım deliğinin çevresindeki ağ yoğunlukları değiştirilmektedir. Birleşimlerin sonlu eleman ağları Şekil 7'de gösterilmektedir.



a) Kaynaklı birleşim b) ZKEK birleşim

c) EBLK birleşim d) Kaynak ulaşım deliği

Şekil 6. Birleşim örneklerinin geometrik detayları.



a) Kaynaklı birleşim b) EBLK birleşim c) ZKEK birleşim

Şekil 7. Birleşim örneklerinin sonlu eleman ağları.

Malzeme Özellikleri

Birleşimlerde FEMA-350'de belirtilmiş olan ASTM A572 50 Sınıfı çelik kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar analizlerinde doğrusal olmayan malzeme özellikleri

kullanılmaktadır. Kullanılan malzemede gerilme – şekil değiştirme değerleri literatürdeki bir çalışmadan alınmıştır (Gerami vd., 2011).

Yükleme

Birleşimlerin analizi monotonik yükleme altında yapılmaktadır. Monotonik yükleme için konsol kiriş üzerindeki yükleme noktasına düşey doğrultuda 150 mm'lik yer değiştirme uygulanmaktadır.

Birleşimlerin analizleri doğrusal olmayan malzeme, doğrusal olmayan geometri değişimi dikkate alınarak yapılmaktadır. Bu durumda, her bir yükleme adımı en az yirmi beş alt adıma bölünmektedir. Doğrusal olmayan analizden dolayı yük tek seferde yüklenmek yerine adım adım yüklenmektedir.

Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Üç boyutlu olarak modellenen birleşimlerin analizleri ANSYS programı ile yapılmaktadır. 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 bakımlarından karşılaştırılmaktadır.

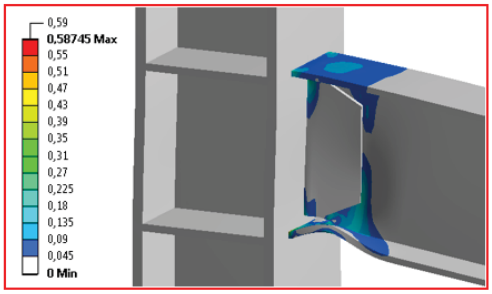
Hasar Durumları

Analizleri yapılan her bir birleşime yükleme noktalarından 150 mm'lik yer değiştirme yükü uygulanmıştır. Söz konusu her üç birleşim de bu yer değiştirme değerini (dönme değeri %11,4) tamamlayabilmektedir. Her üç birleşim örneklerinde de hasar durumları kiriş başlıkları ve gövdesinde burkulma ile meydana gelmektedir. Şekil 8'de, birleşimlerin eş değer (von-Mises) plastik şekil değiştirme dağılımları verilmektedir. Şekil 8-a'ya göre Kaynaklı birleşim örneğinde plastik mafsal kirişin kolona birleştirildiği yerden başlamakta ve kolon yüzünden yaklaşık 50 mm uzaklıkta kiriş başlığındaki burkulma durumu maksimum düzeye ulaşmaktadır. Şekil 8-b'ye göre, EBLK birleşim örneğinde plastik mafsal, kiriş üzerindeki ek başlık levhalarının sonunda başlamaktadır. Şekil 8-c'ye göre, ZKEK birleşim örneğinde plastik mafsal yeri kolon gövdesinden uzaklaşmakta ve kiriş enkesitinin zayıf olduğu bölgede yoğunlaşmaktadır. Bu birleşimde başlıklardaki maksimum burkulmanın kolon yüzünden uzaklığı yaklaşık 150 mm uzaklıktadır.

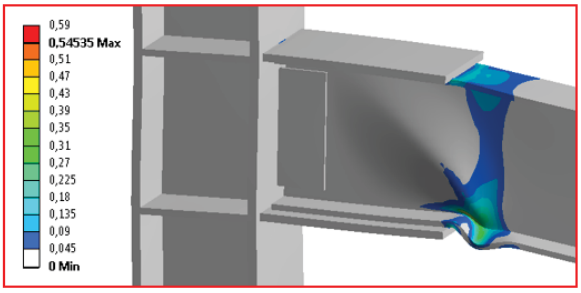
Şekil 9'da birleşimlerin kolon gövdesindeki eş değer (von-Mises) plastik şekil değiştirme dağılımları verilmektedir. Burada, EBLK birleşim örneğinin panel bölgesindeki plastik şekil değiştirmelerin diğer birleşimlerden daha fazla olduğu görülmektedir. ZKEK birleşim örneğinin panel bölgesinde ise, plastik şekil değiştirmelerin önemli ölçüde azaldığı görülmektedir.

Moment – Dönme Eğrileri

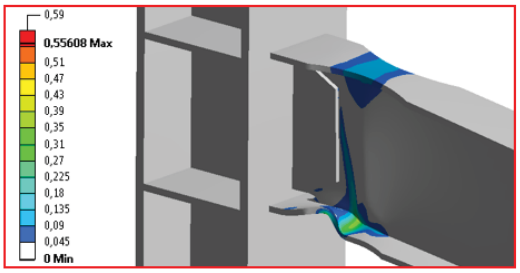
Her bir birleşimin moment – dönme eğrileri elde edilip birbirleriyle karşılaştırılmaktadır. Bu değerleri elde etmek için kullanılan yöntem şöyle açıklanabilir: Moment, kiriş üzerindeki yükleme noktasına uygulanan yer değiştirme yüküne karşı gelen tepki kuvveti ile bu yükleme noktasının kolon yüzeyine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



a) Kaynaklı birleşim

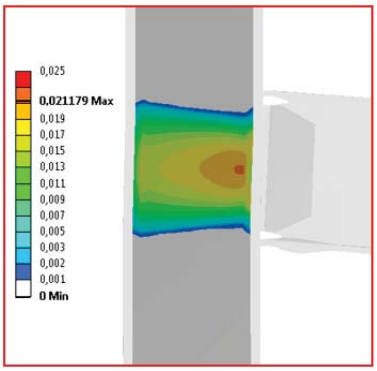


b) EBLK birleşim

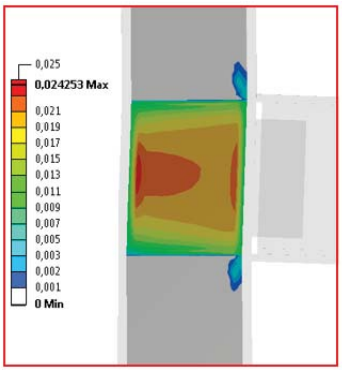


c) ZKEK birleşim

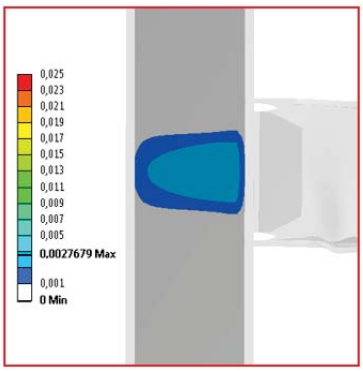
Şekil 8. Birleşim örneklerinin eş değer plastik şekil değiştirme dağılımları.



a) Kaynaklı birleşim



b) EBLK birleşim



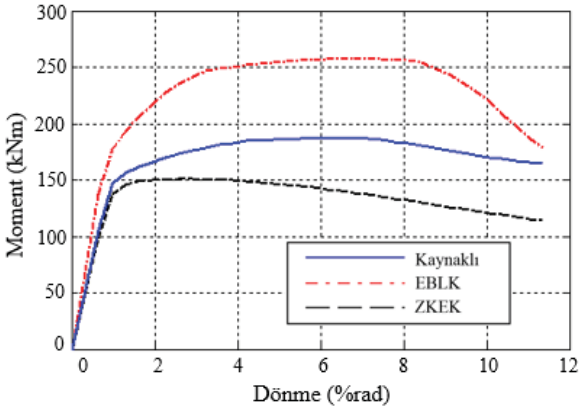
c) ZKEK birleşim

Şekil 9. Birleşimlerin kolon gövdelerindeki eş değer plastik şekil değiştirme dağılımları.

Birleşimlerin monotonik yükleme altındaki moment – dönme eğrileri Şekil 10'da gösterilmektedir. Başlangıçta, Kaynaklı ve ZKEK birleşim örneklerinin taşıdığı moment değerleri yaklaşık olarak aynı seviyelerdeyken, yaklaşık %1 dönme değerinden sonra, Kaynaklı birleşim örneğinin daha fazla moment taşıdığı görülmektedir. EBLK birleşim örneğinin taşıdığı moment değerinde dönme değeri yaklaşık %8'e ulaştığında büyük bir azalma görülürken, diğer birleşim örneklerinde bu dönme değerindeki azalmanın daha küçük olduğu görülmektedir. Ayrıca, Kaynaklı birleşim örneğinin moment taşıma değerinde yaklaşık %7 dönme değerinden sonra, ZKEK birleşim örneğinin moment taşıma değerinde ise yaklaşık %4 dönme değerinden sonra azalma görülmektedir.

Tablo 2'de her üç birleşimin örneğinin ulaşabildikleri maksimum moment değerleri verilmektedir. Burada en fazla moment kapasitesine EBLK birleşim örneği sahip olurken, en az moment kapasitesine ise ZKEK birleşim örneği sahip olmaktadır. EBLK birleşim örneğinin Kaynaklı birleşim örneğinden %38 daha fazla moment kapasitesine sahip olduğu, ZKEK birleşim örneğinden ise %71 daha fazla moment kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Başlangıç dönme rijitlikliği en büyük olan birleşim EBLK birleşim örneği olurken, en küçük başlangıç dönme rijitliğine sahip olan birleşimin

ZKEK birleşim olduğu görülmekle birlikte, Kaynaklı ve ZKEK birleşim örneklerinin başlangıç dönme rijitlikleri birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir.



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

Tablo 2. Birleşimlerin moment kapasiteleri ve başlangıç dönme rijitlikleri

Birleşim	Moment taşıma kapasitesi (kNm)	Başlangıç dönme rijitliği (kNm/rad)
Kaynaklı	187,2	15926
EBLK	257,5	20455
ZKEK	150,8	15237

Sonuçlar

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

İncelenen kaynaklı birleşim örneklerinde, hasar durumları kiriş başlıklarında ve gövdesinde burkulma ile meydana gelmektedir. Kirişte görülen plastik mafsallar, EBLK birleşim örneğinde başlık levhasının sonunda, ZKEK birleşim örneğnde kesitin zayıflatılmış bölgesinde ve Kaynaklı birleşim örneğinde kolon yüzünden yaklaşık olarak 50 mm uzaklıkta meydana gelmektedir.

Birleşimler moment kapasiteleri bakımından karşılaştırılacak olursa, EBLK birleşim örneği en fazla moment kapasitesine sahip birleşim olurken, moment kapasitesi Kaynaklı birleşim örneğinden %38, ZKEK birleşim örneğinden %71 daha fazladır. Başlangıç dönme rijitlikleri incelendiğinde, EBLK birleşim örneğinin diğer birleşimlerden daha fazla rijitliğe sahip olduğu görülmektedir. EBLK birleşim örneğinde moment kapasitesi ve rijitliğin diğer birleşimlere göre fazla olması, bu birleşimdeki ek başlık levhalarının kesit ataletini arttırması nedeniyle ifade edilebilir. Benzer yaklaşımla, ZKEK birleşim örneğinde, kirişte oluşturulan kesit kaybından dolayı, moment kapasitesi ve rijitliğin, hiçbir kesit değişikliği olmayan Kaynaklı birleşim örneğine göre daha düşük olacağı anlaşılabilir.

Ele alınan sonuçlar çerçevesinde, EBLK birleşim örneğinin diğer kaynaklı birleşimlere göre daha üstün olduğu görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında incelenen birleşimler, monotonik yükleme altında incelenmiş olup, modellemede yapının diğer elemanlarının etkisi dikkate alınmamıştır. İleriki çalışmalarda, birleşimlerin tüm sistem içerisinde olmasının dikkate alınması ve kompozit döşeme gibi diğer yapı elemanları ile birlikte davranışının incelenmesi gerçekleştirilebilir.

Kaynaklar

ANSI/AISC 358-10, (2010). Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications, AISC, Chicago, IL.

ANSYS, (2015). Incorporated programmers manual for ANSYS, ANSYS Inc.

Chen, C.C., Chen, S.W., Chung, M.D. ve Lin, M.C. (2005) Cyclic behaviour of unreinforced and rib-reinforced moment connections. Journal of Constructional Steel Research, 61, 1-21.

FEMA 350, (2000). Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings, Federal Emergency Management Agency.

Gerami, M., Saberi, H., Saberi, V. ve Daryan, A.S. (2011) Cyclic behavior of bolted connections with different arrangement of bolts. Journal of Constructional Steel Research, 67, 690–705.

Gholami, M., Deylami, A. ve Tehranizadeh, M. (2013) Seismic performance of flange plate connections between steel beams and box columns. Journal of Constructional Steel Research, 84, 36–48.

Han, S.W., Kwon, G.U. ve Moon, K.H. (2007) Cyclic Behaviour of Post-Northridge WUF-B Connections. Journal of Constructional Steel Research, 63, 365–374.

Han, S.W., Moon, K.H. ve Jung, J. (2014) Cyclic Performance of Welded Unreinforced Flange–Welded Web Moment Connections. Earthquake Spectra, 30(4), 1663-1681.

Hedayat, A.A. ve Celikag, M. (2009) Post-Northridge Connection with Modified Beam End Configuration to Enhance Strength and Ductility. Journal of Constructional Steel Research, 65, 1413–1430.

Nia, Z.S., Ghassemieh, M. ve Mazroi, A. (2013) WUF-W connection performance to box column subjected to uniaxial and biaxial loading. Journal of Constructional Steel Research, 88, 90–108.

Pachoumis, D.T., Galoussis, E.G., Kalfas, C.N. ve Efthimiou, I.Z. (2010) Cyclic performance of steel moment-resisting connections with reduced beam sections - experimental analysis and finite element model simulation. Engineering Structures, 32, 2683-2692.

Ricles, J.M., Mao, C., Lu, L.W. ve Fisher, J.W. (2003) Ductile Details for Welded Unreinforced Moment Connections Subject to Inelastic Cyclic Loading. Engineering Structures, 25, 667–680.

Roeder, C.W. (2002) Connection Performance for Seismic Design of Steel Moment Frames. Journal of Structural Engineering, 128(4), 517-525.

Shi, G., Shi, Y., Wang, Y. ve Bradford, M.A. (2008) Numerical simulation of steel pretensioned bolted end-plate connections of different types and details. Engineering Structures, 30, 2677–2686.

Stojadinovic, B., Goel, S.C., Lee, K.H., Margarian, A.G. ve Choi, J.H. (2000) Parametric Tests on Unreinforced Steel Moment Connections. Journal of Structural Engineering, 126(1), 40-49.

T.C. Resmi Gazete, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. (26454), 06.03.2007