

Dışmerkez Ters V Çaprazlı Çerçevelerin Burulmalı Davranışları

Gülhan İNCE*
Zeki AY**
Çetin YILMAZ***

ÖZ

Burulma düzensizlikleri, şiddetli hasarların en sık rastlanan nedenlerindedir. Burulma etkileri genellikle düzensiz olarak tasarlanmış yapılarda ortaya çıksa da, düzenli şekilde tasarlanmış yapılarda da bazı uygulama hataları nedeniyle ortaya çıkabilmektedir. Bu çalışmada, çaprazsız ve dışmerkez ters V çaprazlı çerçeve sistemlerin kapasitesi üzerine burulmanın etkisi deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır. Çalışmada, kutu kesitli elemanlardan oluşan tek açıklıklı, iki katlı, planda simetrik sistemler ele alınmıştır. Bu sistemlerde, çeşitli nedenlerden dolayı ortaya çıkabilecek burulma düzensizliklerinin dikkate alınması amacıyla iki tip yük eksantrisitesi oluşturulmuştur. Bu yüklemeler altında çerçeveler, çatı deplasmanı, çerçeve yüksekliğinin % 9'una ulaşana kadar veya sistem göçme durumuna gelene kadar itilmiştir. Eksantrik yüklemeler altında elde edilen sonuçların, simetrik yükleme durumu ile karşılaştırmaları verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elastik ötesi burulmalı davranış, ters V çaprazlı çerçeveler, deneysel inceleme

ABSTRACT

Torsional Behavior of Eccentrically Inverted V Braced Frames

Torsional irregularities are one of the most frequently observed reasons of the serious damages. The effects of torsion mainly emerge in irregularly designed structures while in some regularly designed ones, they can appear as a result of application fault. In this study, the effects of torsion on capacity of unbraced frames and eccentrically braced inverted V frames were investigated experimentally and numerically. Within the scope of the study, one span, two-storey, symmetrical systems in plan made out of box-sectioned members were examined. In these systems, in order to focus on torsional irregularities originated from different reasons, two types of load eccentricities were considered. Under these loadings, frames were pushed until maximum displacement reached up to 9 % of the frame

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 11.03.2011 günü ulaşmıştır.
- 30 Haziran 2013 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Mehmet Akif Ersoy Üni., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Burdur - gulhanince@mehmetakif.edu.tr
** Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta - zekiay@sdu.edu.tr
*** Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara - cyilmaz@metu.edu.tr

height or up to the collapse of the system. The results obtained from eccentric loadings were compared to those obtained by symmetric loading.

Keywords: Inelastic torsional behavior, inverted V braced frames, experimental research

1. GİRİŞ

Ülkemiz sıklıkla şiddetli depremlere maruz kalmaktadır. Yıkıcı nitelikteki bu depremlerde, çok sayıda yapının hasar görmesi veya tamamen yıkılması sonucunda önemli can ve mal kayıpları meydana gelmektedir. Bu nedenle, olası mal ve can kayıplarının azaltılması amacı ile depreme dayanıklı yapı tasarımı konusunda, son yıllarda dünyada olduğu gibi ülkemizde de çok sayıda teorik ve deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle, 1994-Northridge ($M_w=6.7$) ve 1995-Kobe ($M_w=7.2$) depremlerinde çok sayıda çelik yapının da hasar görmesi, çelik yapıların sismik performanslarının belirlenmesine yönelik çalışmaların artmasına neden olmuştur. Ülkemizde ise, son zamanlarda meydana gelen büyük depremler (1999-Marmara ($M_w=7.4$) ve Düzce ($M_w=7.2$) vb.) sonucunda hasar gören yapıların çoğunun betonarme olması sebebiyle, çelik yapılara olan eğilim artmıştır. Bunun nedeni olarak çelik yapıların yüksek malzeme sünekliğine ve tüm yapıda aynı malzeme özelliklerine sahip olması gösterilebilir. Çelik yapılara olan ilginin artması ve depreme dayanıklı yapı tasarımındaki gelişmeler, 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'ine (DBYBHY-2007) çelik yapılar ile ilgili bölümün ilave edilmesini sağlamıştır. Ancak halen bu bölümün geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

DBYBHY-2007'de verilen, merkezi çelik çaprazlı çerçeve sistemler, rüzgar veya depremden kaynaklanan kuvvetlere karşı dayanım sağlamakta oldukça etkilidir. Bu nedenle yaygın olarak kullanılmaktadır. Çaprazların çerçeve düğüm noktalarına merkezi olarak bağlandığı bu sistemler süneklik düzeyi yüksek veya süneklik düzeyi normal sistem olarak boyutlandırılabilirler.

Dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistemler (Şekil 1), moment aktaran çerçeve sistemlerin süneklik özelliği ile merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemlerin rijitlik özelliğini bir arada taşıyan sistemlerdir. Bu nedenle, dışmerkez çaprazlı çerçeveler yüksek elastik rijitliğe, çevrimsel yatay yükler altında stabil bir elastik ötesi davranışa ve iyi bir enerji yutma kapasitesine sahiptir. Dolayısıyla, özellikle depremselliği yüksek olan bölgeler için uygun sistemlerdir. Ancak, burulma etkileri dikkate alınmadan tasarlanan sistemler şiddetli depremler sırasında ağır hasar görmekte, hatta göçebilmektedir.

Yapılarda burulma etkileri, kütle ve rijitlik dışmerkezlikleri gibi çok çeşitli nedenlerle ortaya çıkabilmektedir. Hatta başlangıçta düzenli olarak tasarlanan yapılarda bile deprem süresince oluşacak kalıcı şekil değiştirmelerin oluşum şekilleri ve sırası, yapının burulmalı davranış sergilemesine neden olabilmektedir. Gerek değişik düzensizlikler, gerekse deprem süresince yapısal davranış biçimlerinin yapıyı burulmaya maruz bırakması aynı zamanda yapının enerji yutma kapasitesinin azalmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden, yapının elastik ötesi burulmalı davranışı deprem mühendisliğinde önemli bir konudur. Bu konuda günümüze kadar pek çok çalışma yapılmıştır. Burulmalı düzenli binaların sismik davranışı ile ilgili ilk çalışmalar, binaların elastik bölgedeki davranışları üzerinedir. Daha sonraki çalışmalar ise tek katlı [1] ve çok katlı [3-5] binaların inelastik davranışları üzerine odaklanmıştır. Tek katlı modeller, niteliksel açıdan bakıldığında, asimetrik binaların

burulma davranışı üzerine genel bilgiler elde etmek için yeterli olması nedeniyle, araştırmacılar için cazip durumdadır. Ancak daha gerçekçi bir yaklaşım için, yavaş yavaş çok katlı model çalışmalarına geçilmektedir.

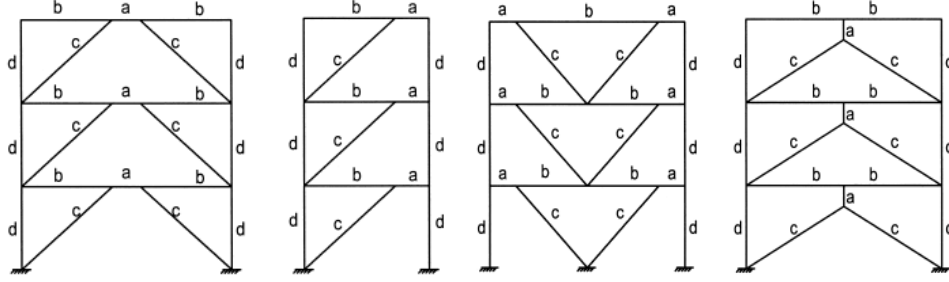
Yapıların elastik ötesi burulmalı davranışı oldukça karmaşıktır. Elastik ötesi burulmalı davranış üzerine dünyada çok sayıda araştırmalar yapılmasına rağmen, genel sonuçlar konusunda hala eksiklikler vardır [1,2]. Yönetmelik ve şartnamelerin yapıların burulmalı davranışları için yeterli olup olmadıkları önemli bir konudur. Son zamanlara kadar sıklıkla kullanılan kesme-kiriş modeli, yapının gerçek davranışını yansıtmakta yetersiz kalmaktadır [3]. Geleneksel yaklaşımları tamamlayan elastik ötesi burulma davranışını anlamaya yardımcı olan, bazı yenilikçi fikirler de ortaya çıkmıştır. Bunlardan biri Llera ve Chopra [4] tarafından tanıtılan yüzey taban kesme-taban burulma (BST) yaklaşımıdır [5]. Bu konudaki, son araştırmaların özeti Rutenberg [6], De Stefano ve Pintucci [7] ve Lucchini vd. [8] tarafından yapılmıştır. De Stefano ve Pintucci [9] daha sonraki çalışmalarında pushover analiz ile burulma sistem karakteristiklerinin etkileri üzerine çalışmış farklı bina yapılarının elastik ötesi burulmalı davranışlarını incelemiştir. Erduran ve Ryan [10] çalışmalarında, çelik çaprazlı çerçeve sistemlerin davranışı üzerine burulma etkilerini incelemiştir. Çalışmalarında, burulmalı düzensiz yapıların sismik davranışları konusunda elde edilen sonuçlar ve öneriler henüz tutarlı değildir [10]. Lucchini vd. [11] çift yönlü asimetrik tek katlı binaların burulma davranışı üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmalarında, elde edilen sonuçların genelleştirilmesi için çok katlı sistemleri daha gerçekçi şekilde temsil edecek olan yapılar üzerinde ve daha fazla deprem kayıtları altında ek çalışmalara gerek olduğunu söylemektedir[11].

Bu çalışmada, çaprazsız ve dışmerkez ters V çaprazlı çerçeve sistemlerin kapasitesi üzerine burulmanın etkisi deneysel ve analitik olarak araştırılmıştır. Ele alınan çerçeve sistemler, kutu kesitli elemanlardan oluşmaktadır, üç boyutlu, tek açıklıklı, iki katlı ve simetriktir (Şekil 2-3). Çalışmada, düzenli olarak tasarlanmış simetrik bir yapıda, çeşitli nedenlerden dolayı meydana gelebilecek burulma düzensizliklerinin dikkate alınması amacıyla iki tip yük eksantrisitesi oluşturulmuştur (Şekil 9). Çerçeve sistemler iki farklı yükleme altında itme testine tabi tutulmuş ve SAP2000 [12] bilgisayar programı ile analiz edilmiştir. Çerçeveler, çatı deplasmanı, çerçeve yüksekliğinin % 9'una ulaşana kadar veya sistem göçme durumuna gelene kadar itilmiştir. Dışmerkez çaprazlı çerçevelerde, eleman kesitlerinde yırtılmalar, çapraz burkulmaları ve dolayısıyla kat dönmeleri meydana gelmiştir. Eksantrik yüklemeler altında elde edilen sonuçların, 2008 yılında Çelik [13] tarafından yapılan çalışmada elde edilen simetrik yükleme durumu ile karşılaştırmaları verilmiştir.

2. DIŞMERKEZ ÇAPRAZLI ÇERÇEVELER

Dışmerkez çaprazlı çerçeveler kolon, kiriş ve çapraz elemanlardan oluşur. Dışmerkez çaprazlı çerçevelerin ayırt edici özelliği, çapraz eleman kuvvetini eğilme ve kesme aracılığıyla iletebilmesi için bağ kirişi olarak adlandırılan kısa kiriş parçasına her çaprazın en azından bir ucunun bağlanmasıdır (Şekil 1). Sismik yükleme altında dışmerkez çaprazlı çerçevedeki elastik ötesi etkiler esasen bağ kirişleri ile sınırlandırılır. Günümüz yönetmeliklerinin amacı, tamamen akma ve pekleşme yoluyla ortaya çıkan kuvvetler

altında bağ kirişi dışında kalan kiriş parçası, kolonlar ve diyagonal çaprazlar elastik kalırken, bağ kirişlerindeki tekrarlı akmanın kararlı şekilde oluşabilmesini sağlamaktır.



a: bağ kirişi b: bağ kirişi dışında kalan kiriş parçası c:çapraz d:kolon

Şekil 1. Dışmerkez çerçeve sistemler [14]

Bazı çapraz düzenlemelerinde, bağ kirişleri tamamen etken olmayabilir. Eğer üst kattaki bağ kirişi, alt kattaki bağ kirişinden önemli ölçüde daha düşük tasarım kesme kuvvetine sahipse üstteki bağ kirişi elastik ötesi olarak şekil değiştirir. Bu durumda da alt kattaki bağ kirişi ve çaprazda meydana gelebilecek kuvveti sınırlar. Bu koşullar altında üstteki bağ kirişi aktif, alttaki bağ kirişi ise aktif olmayan bağ kirişi olarak adlandırılır. Bir dışmerkez çaprazlı çerçevede aktif olmayan bağ kirişlerinin olması, analizi zorlaştırır.

Bazı durumlarda plastik çerçeve analizleri, aktif olmayan bir bağ kirişinin deprem, hareketli ve zati yüklerin kombinasyonu altında akabileceğini, bununla ilgili olarak çerçeve dayanımının beklenenin altına düşeceğini göstermiştir [14]. Buna ilave olarak aktif olmayan bağ kirişlerinin de, aktifmiş gibi detaylandırılması ve yerinde uygulanmasını gerektirir. Bu durum ise inşaat maliyetini gereksiz yere artırmaktadır.

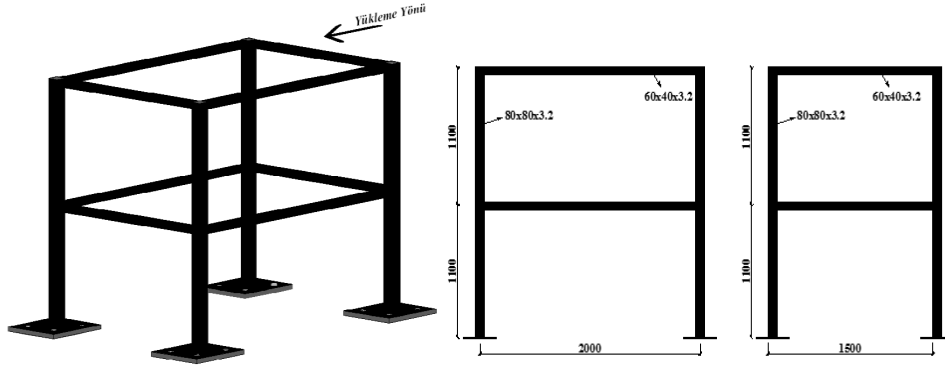
Çerçevenin dayanım ve şekil değiştirme kapasitesinin tamamını, herhangi bir ana kolonda göçme ve bir yumuşak kat oluşmaksızın ortaya koyabilmesi için dışmerkez çaprazlı çerçeve kolonları, kapasite tasarım ilkelerine göre tasarlanmalıdır. Bu şekilde, kolonlardaki plastik mafsallardan kaçınılması gerekir. Aksi halde, kolonlarda oluşan plastik mafsallar, bağ kirişlerindeki oluşan plastik mafsallarla birleşebilir ve yumuşak kat oluşumuna neden olabilir.

3. ÇALIŞMAYA ESAS ALINAN ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVELER

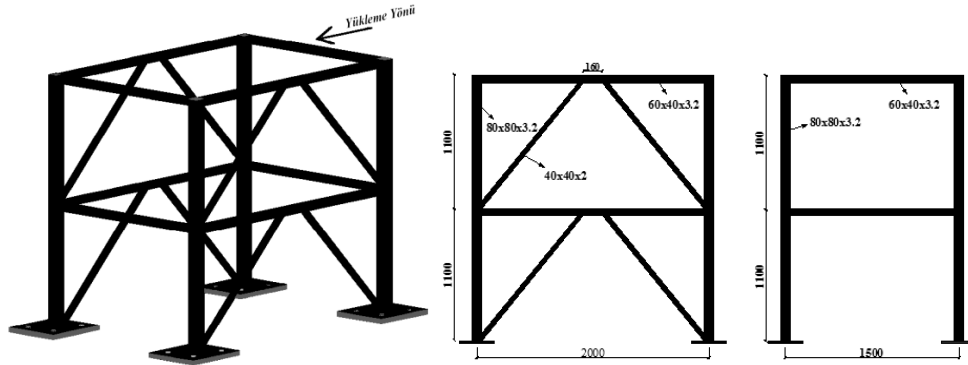
Bu çalışmada, moment aktaran ve ters V çaprazlı çelik çerçevelerin burulmalı davranışları deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmada, ikisi moment aktaran çerçeve, ikisi dışmerkez ters V çaprazlı çerçeve olmak üzere toplamda dört model üzerinde iki farklı yükleme çalışılmıştır.

Moment aktaran çerçevelerde kolon ve kiriş elemanlar birilerine dik olarak birleştirilmiştir. (Şekil 2). Dışmerkez ters V çaprazlı çerçeve (DTVÇÇ) modeli ise moment aktaran çerçeve

modeli üzerine 40×40×2 kutu kesitli elemanların dışmerkez olarak ters V çapraz şeklinde yerleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Çapraz elemanların kiriş orta noktasından eksantisite mesafesi 80 mm'dir. Bir başka deyişle bağ kirişi boyu 160 mm'dir (Şekil 3). Diğer tüm kesit ve yük özellikleri moment aktaran çerçeve modeli ile aynı şekildedir.



Şekil 2. Moment aktaran çerçeve modeli



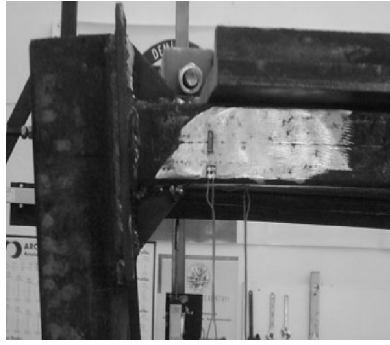
Şekil 3. Dışmerkez V çaprazlı çerçeve modeli

3.1. Deneysel Çalışmalar

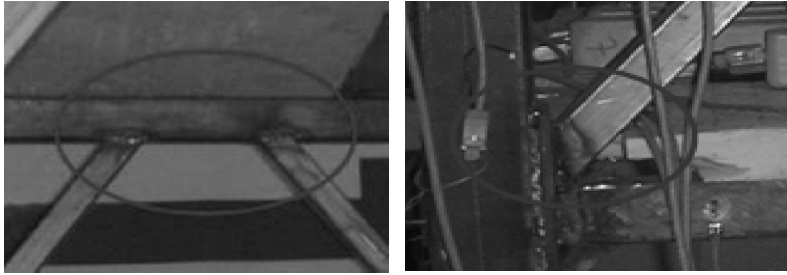
Deney numuneleri 1/3 ölçekte, 2 katlı ve tek açıklıklı olarak üretilmiştir. Aks aralıkları bir yönde 2000 mm diğer yönde 1500 mm, kat yüksekliği ise 1070 mm'dir. Kolon ve kiriş elemanlar birbirlerine ve kolonlar mesnet levhalarına kaynaklı olarak (Şekil 4–5), mesnet levhaları ise temele bulonlu olarak bağlanmıştır. Mesnetin en alt kısmında 700×700×20mm yatay taban levhası bulunmaktadır. Kolon elemanlar 300×300×15mm boyutundaki mesnet levhalarına köşe kaynak dikişleri ile bağlanmış olup mesnet levhaları da taban levhalarına M16 bulonlar yardımıyla monte edilmiştir. Taban levhaları ise laboratuar temeline M25 ankraj bulonları ile bağlanmıştır. Sistem, üzerine etkiyen düşey ve yatay yüklerle birlikte

Dışmerkez Ters V Çaprazlı Çerçevelerin Burulmalı Davranışları

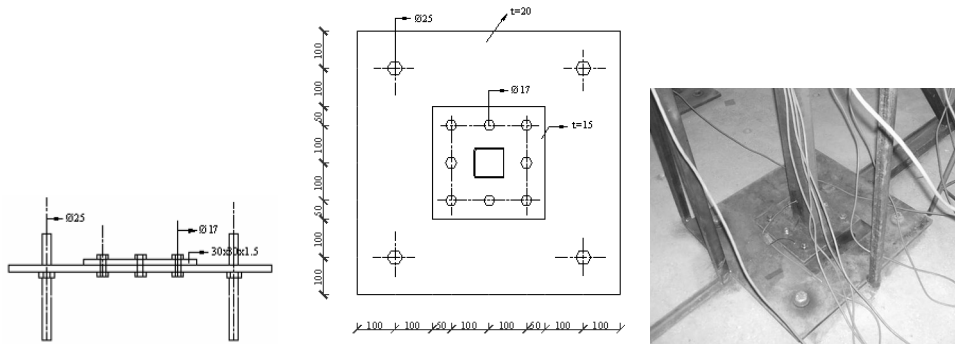
moment etkisini de aktaracak şekilde tasarlanmış ve ankastre mesnet olarak kabul edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 4. Kolon kiriş birleşim detayı



Şekil 5. Çapraz eleman birleşimleri



Şekil 6. Deney numuneleri mesnet bağlantıları

Malzeme özelliklerini tanımlayabilmek için deney numunelerinde kullanılan çelik profillerden alınan çekme testi numuneleri test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan malzeme özellikleri

Akma Gerilmesi (N/mm ²)	Efektif Akma Gerilmesi (N/mm ²)	Kopma Gerilmesi (N/mm ²)	Efektif Kopma Gerilmesi (N/mm ²)	Elastisite Modülü (N/mm ²)
246.1	368.7	360	396.2	207060

1/3 ölçekte hazırlanan deney numuneleri, TS 648, TS 498, TS 3357, DBYBHY-2007 [15-18] dikkate alınarak tasarlanmıştır. Çalışmada kullanılan çerçeveslere ait elaman kesitleri çizelge 2’de verilmiştir.

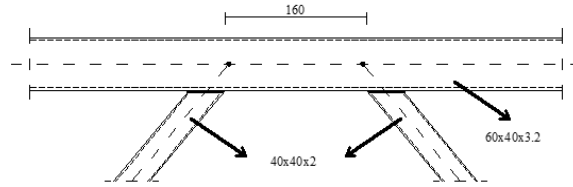
Çizelge 2. Eleman kesitleri

Kolon kesiti	80×80×3.2
Bağ kiriş ve bağ kirişi dışında kalan kiriş kesiti	60×40×3.2
Çapraz eleman kesiti	40×40×2

Dışmerkez ters V çaprazlı çerçevenin bağ kirişi boyu $M_p / V_p \leq e \leq 5M_p / V_p$ koşuluna uygun olarak 160 mm olarak belirlenmiştir. Bu değer 2.6 M_p / V_p değerinin üzerinde kalması nedeniyle bağ kirişi eğilmeye çalışmaktadır. Çizelge 3’te için bağ kirişi dışmerkezlik değeri verilmiştir. Bağ kirişi bağlantı detayı ise şekil 7’de verilmiştir.

Çizelge 3. Dışmerkez ters V çaprazlı çerçeve için bağ kirişi dışmerkezlik değeri

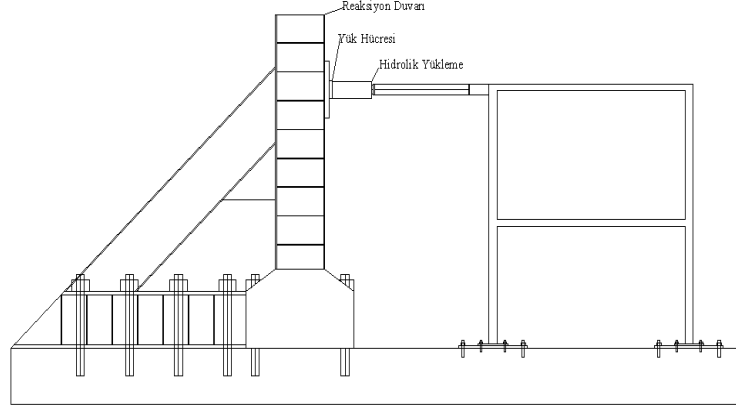
e (mm)	M_p (Nmm)	V_p (N)	M_p / V_p (mm)
160	10445386.5	84955	51.5



Şekil 7. Dışmerkez ters V çaprazlı çerçeve modeli bağ kirişi bağlantı detayı

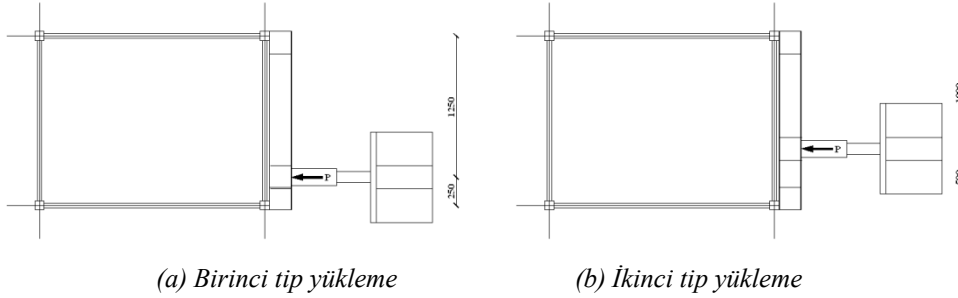
Dışmerkez Ters V Çaprazlı Çerçevelerin Burulmalı Davranışları

Modellerde döşeme üzerine etkiyebilecek sabit ve hareketli yükleri temsilen her bir kata 66.7 kg/m^2 yayılı yük etkilmiştir. Yükleme döşeme üzerine toplam 200 kg yükün yayılı olarak yerleştirilmesi ile yapılmıştır. Yatay yükleme ise hidrolik piston yardımıyla artımsal olarak sisteme uygulanmıştır. Yükleme düzeneği; reaksiyon duvarı, yük hücresi, el kumandalı hidrolik silindir ve yük aktarım kolundan oluşmaktadır (Şekil 8).



Şekil 8. Deney düzeneği

Deneyle, moment aktaran çerçeve ve dışmerkez ters V çaprazlı çerçeve olmak üzere iki tip model üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada toplam 4 adet çelik çerçeve numune test edilmiştir. Burulma etkisini görebilmek amacıyla her bir çerçeve yatay düzlemde iki farklı eksantirisite durumuna göre yüklenmiştir. İlk olarak, yatay yük iki katlı deney modelinin ikinci kat tepe noktasında %16.7 eksantirisite (birinci tip yükleme) oluşturacak şekilde uygulanmıştır. İkinci olarak ise çerçevenin ikinci kat tepe noktasında %33.3 eksantirisite (ikinci tip yükleme) oluşturacak şekilde yapılmıştır (Şekil 9).



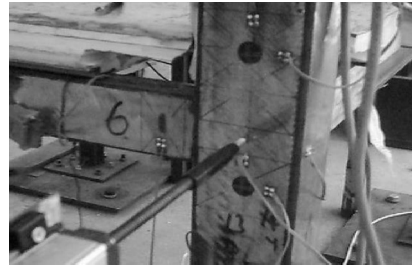
Şekil 9. Yatay yükleme durumları

Test edilen tüm numunelerde yükleme el kontrollü olarak gerçekleştirilmiş olup yük değerleri bilgisayar ortamında takip edilmiştir. Numunelerde, 2. kat düğüm noktalarında iki yatay ve bir düşey olmak üzere toplam üç yönde, 1. kat düğüm noktalarında ise iki yatay

yönde deplasman ölçerler yerleştirilmiştir (Şekil 10a). Ayrıca plastik mafsalların oluşması beklenen bölgelere gerinim pulları yerleştirilmiştir (Şekil 10b). Üç boyutlu çerçeve sistemlerin pek çok noktasından, deplasman ve gerinim ölçümleri alınarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Çerçevelerin simetrik yükleme durumundaki davranışları hakkındaki veriler 2008’de Çelik [13] tarafından yapılmış olan çalışmadan alınmıştır. Şekil 11’de deneylerde kullanılan çelik çerçevelerin genel görüntüleri verilmiştir.

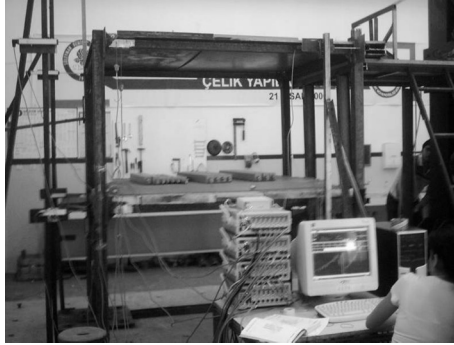


(a) Gerinim pulları

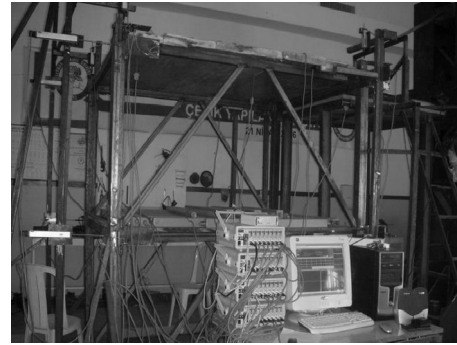


(b) Deplasman ölçerler

Şekil 10. Deplasman ölçer ve gerinim pullarının numuneler üzerine yerleşimi



(a) Moment aktaran çerçeve modeli



(b) Dışmerkez ters V çaprazlı çerçeve modeli

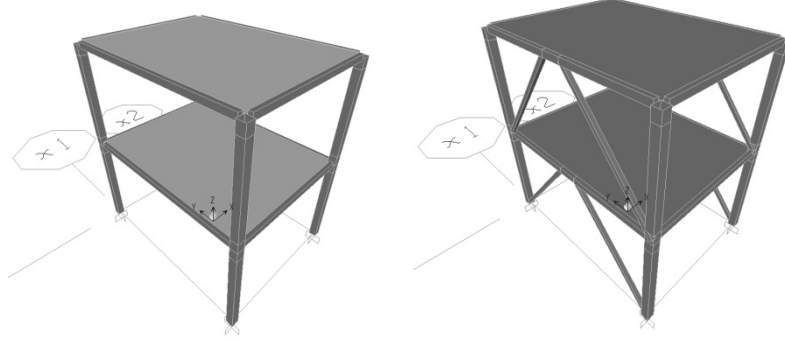
Şekil 11. Çalışmada kullanılan çerçeve modelleri

3.2. Sayısal Analiz

Bu çalışmada, deneysel olarak test edilen modellerin doğrusal olmayan statik analizleri SAP2000 yapı analiz programı ile yapılmıştır. Çerçeve modeller, üç boyutlu olarak modellenmiş, geometrik özellikleri (Şekil 2-3) malzeme özellikleri (Çizelge 1), kolon, kiriş ve çapraz eleman kesitleri (Çizelge 2), yükler (Şekil 9) tanımlanmıştır. Sistemi oluşturan elemanların elastik ötesi davranışlarının hesaba katılabilmesi için kolonlarda PMM, bağ kirişi ve kirişte M ve çapraz elemanda ise P mafsalları tanımlanmıştır. Bu şekilde doğrusal olmayan statik analizleri yapılan modeller için sayısal analizden elde edilen kapasite

Dışmerkez Ters V Çaprazlı Çerçevelerin Burulmalı Davranışları

eğrileri, deneysel olarak elde edilen kapasiteleri ile karşılaştırmaları verilmiştir (Şekil 19-20).

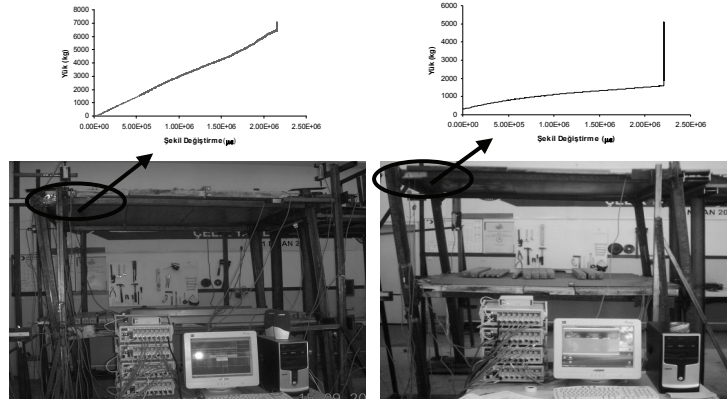


Şekil 12. Moment aktaran ve dışmerkez ters V çaprazlı çerçevelerin 3D modelleri

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE DEĞERLENDİRMELER

Çalışmada, moment aktaran ve ters V çaprazlı çerçeveler iki farklı yükleme altında (% 16.7 ve % 33.3 eksantirisite oluşturularak) test edilmiştir. Deneylerde kullanılan çerçeve numuneleri çatı deplasmanı, çerçeve yüksekliğinin % 9'una ulaşana kadar veya sistem göçme durumuna gelene kadar itilmiştir. İtme testleri yapılan çelik çerçeve numunelerde meydana gelen şekil değiştirme ve mafsallaşmalar fotoğraflarla gösterilmiştir (Şekil 13–16). İtme deneylerinden elde edilen yük-deplasman (kapasite eğrileri) ve analitik çalışmalardan elde edilen yük-deplasman eğrileri, simetrik yükleme durumu [13] ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir (Şekil 17–20).

4.1. Moment Aktaran Çerçeve Modelinde Deneysel Sonrası Gözlenen Şekil Değişimleri

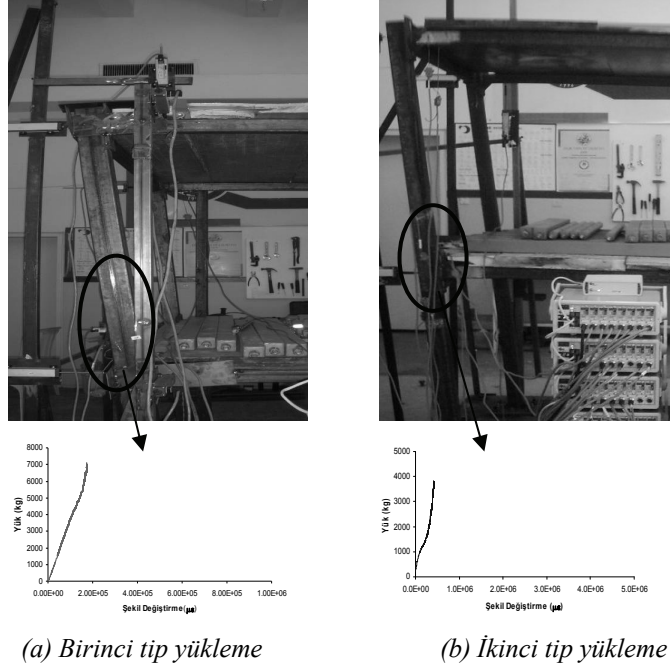


(a) Birinci tip yükleme

(b) İkinci tip yükleme

Şekil 13. Kirişlerde oluşan şekil değiştirmeler

Moment aktaran çerçeve modelde, birinci tip yüklemde 6500 kg yüklemde altında kiriş mafsallaşırken, ikinci tip yüklemde 1500 kg yük altında mafsallaşmıştır (Şekil 13). Kolonlar ise kirişlerin mafsallaştığı yüklem altında mafsallaşmadan yük taşımaya devam etmiştir (Şekil 14).

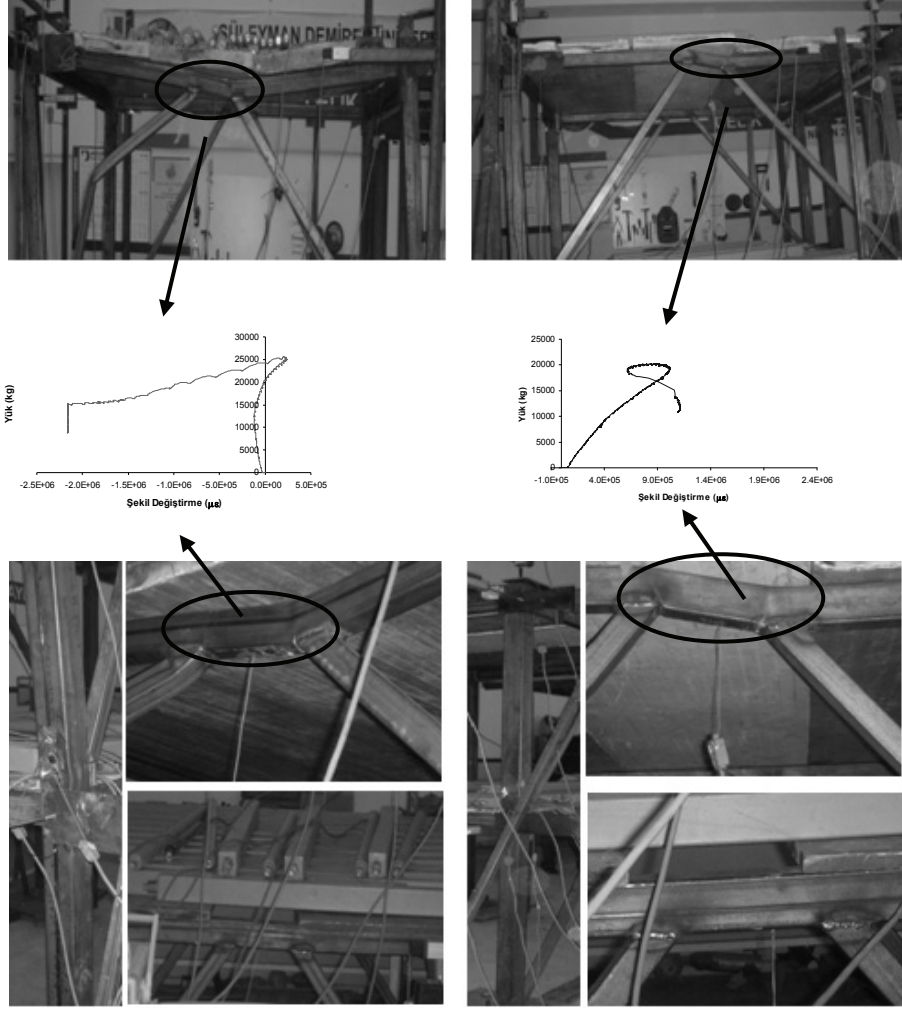


Şekil 14. Kolonlarda oluşan şekil değiştirmeler

4.2. Dışmerkez Ters V Çaprazlı Çerçeve Modelinde Deney Sonrası Gözlenen Şekil Değişimleri

Dışmerkez ters V çaprazlı çerçeve modelde, 1. tip yüklemde 24500 kg yük altında üst kat çapraz elemanı burkulmuş ve sonrasında 15100 kg yük altında bağ kirişi mafsallaşmıştır. 2. Tip yüklemde ise çapraz elemanda burkulma olmadan 19500 kg yük altında üst kat bağ kirişi mafsallaşmış alt kat bağ kirişlerinde önemli ölçüde bir kalıcı deformasyon oluşmamıştır. Üst kat bağ kirişi aktif bağ kirişi, alt kat bağ kirişi ise aktif olmayan bağ kirişi gibi davranış göstermiştir (Şekil 15). Birinci tip yüklem altında çapraz elemanda meydana gelen burkulma ve şekil değiştirmeler Şekil 16'da verilmiştir.

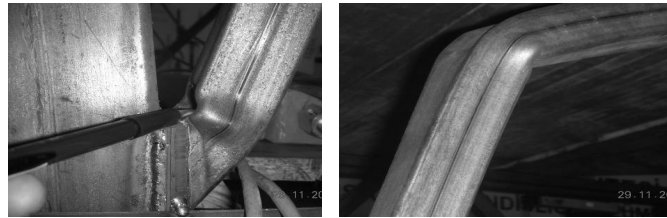
Dışmerkez Ters V Çaprazlı Çerçeveselerin Burulmalı Davranışları



(a) Birinci tip yükleme

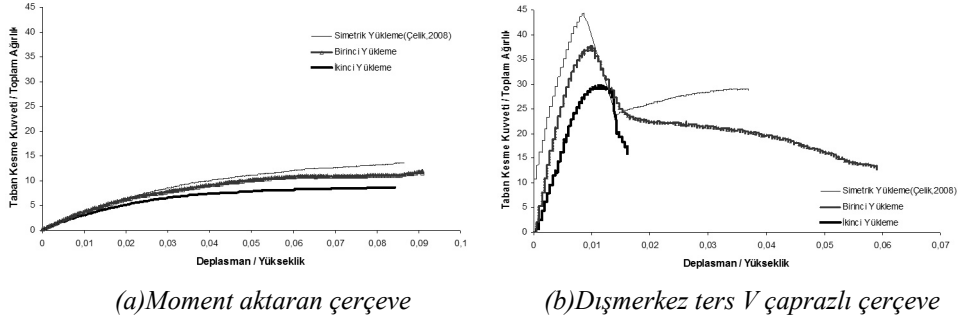
(b) İkinci tip yükleme

Şekil 15. Kolonda, alt ve üst bağ kirişlerinde oluşan şekil değişirme



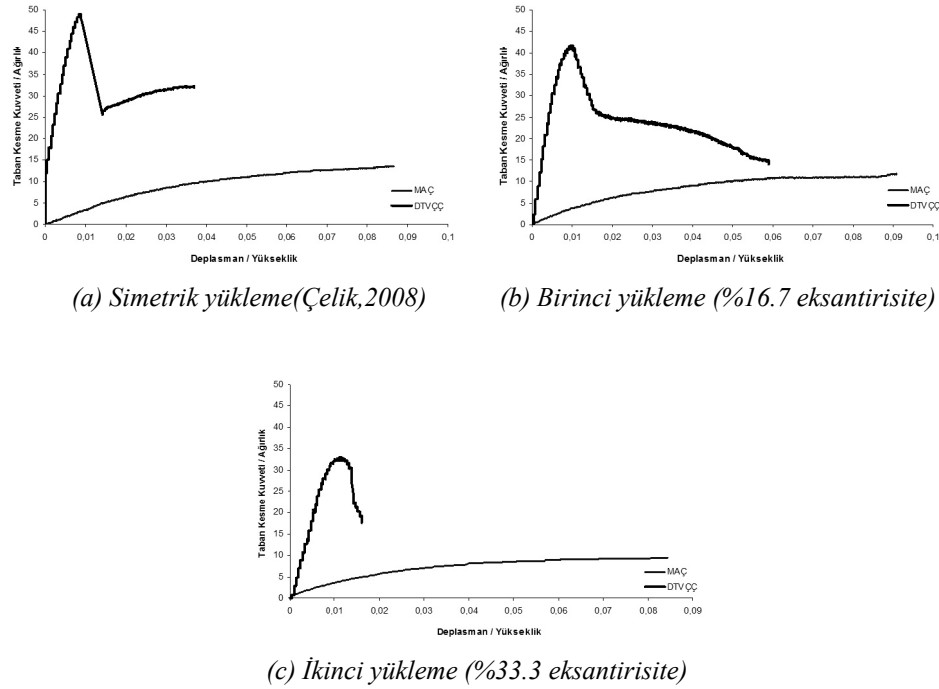
Şekil 16. Çapraz elemanda meydana gelen burkulma ve şekil değişirme

4.3. Deneysel ve Analizler Sonucu Elde Edilen Kapasite Eğrileri ve Değerlendirmeler



Şekil 17. Yükleme (eksantirisite) durumlarına göre deneysel olarak elde edilen kapasite eğrileri

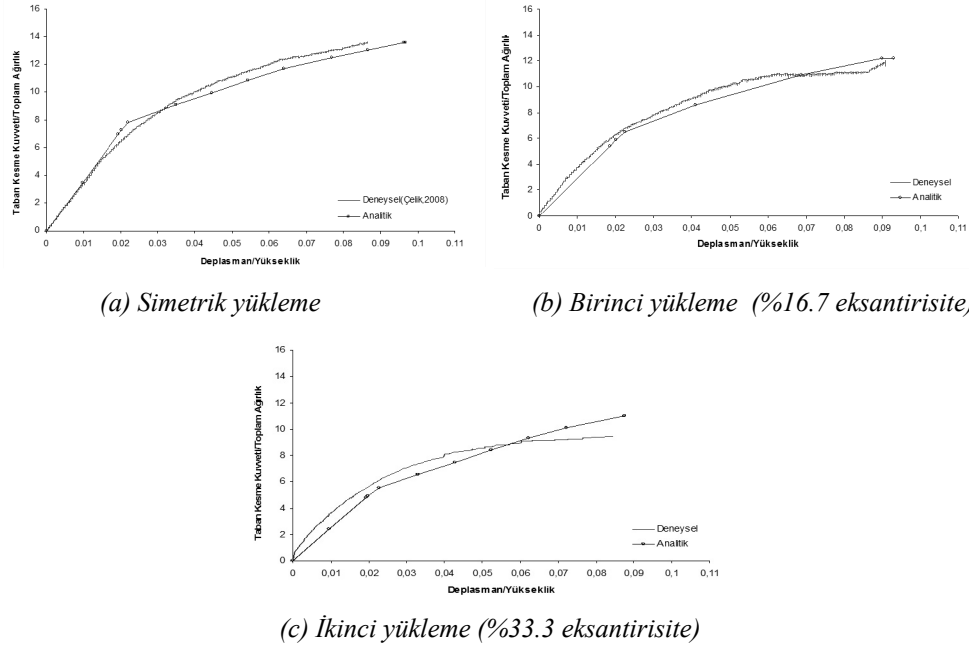
Dışmerkez ters V çaprazlı çerçeve modelinde sistem kapasitesi, simetrik yüklemeye göre birinci tip yükleme durumunda % 31, ikinci tip yükleme durumunda ise % 53 azalmıştır (Şekil 17).



Şekil 18. Moment aktaran çerçeve ve dışmerkez ters V çaprazlı çerçevelerinin deneysel elde edilen kapasite eğrileri

Dışmerkez Ters V Çaprazlı Çerçevelerin Burulmalı Davranışları

Moment aktaran çerçeve sistemler ile karşılaştırıldığında, dışmerkez ters V çaprazlı sistemler simetrik, 1. tip ve 2. tip yüklemeler için 8, 10, 15 kat daha fazla dayanım göstermektedir (Şekil 18).



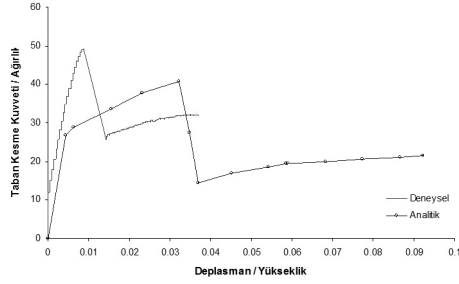
Şekil 19. Moment aktaran çerçeve modeli için deneysel ve analitik olarak elde edilen kapasite eğrileri

Moment aktaran çerçeve modeli iki tip yükleme durumunda da bina yüksekliğinin % 9'na kadar itilmiştir. Taban kesme kuvveti, 1. Tip yüklemelerde 6.5 ton, ikinci tip yükleme durumunda ise 5.6 tondur. Bu çerçevelerde, deney ve analizler sonucu elde edilen kapasite eğrilerinin oldukça uyumlu olduğu gözlenmiştir (Şekil 19).

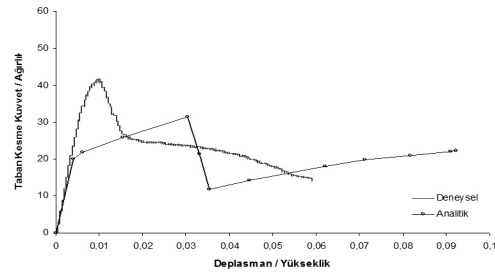
Dışmerkez ters V çaprazlı çerçeve modeli, birinci yükleme durumunda, bina yüksekliğinin, % 6'sına kadar itilmiştir. Ancak, çatı deplasmanı/bina yüksekliğinin % 1'ine ulaştığında, 2. kattaki çapraz eleman burkulmuştur. Bu aşamada taban kesme kuvveti 25.2 tona ulaşmıştır. Sistem, çapraz elemanın burkulmasına kadar elastik olarak davranmış, çapraz elemanın burkulması ve ardından burkulana çaprazın bağlandığı kiriş ve bağ kirişinin mafsallaşması ile dayanım hızlı bir şekilde düşmüştür.

Dışmerkez ters V çaprazlı çerçeve modeli, ikinci yükleme durumunda bina yüksekliğinin, % 1.6'sına kadar itilmiştir. Çatı deplasmanı/bina yüksekliğinin, % 1.2'sine ulaştığında (taban kesme kuvveti, 19.9 ton) üst bağ kirişi mafsallaşmış ve eleman kesitinde yırtılma meydana gelmiştir.

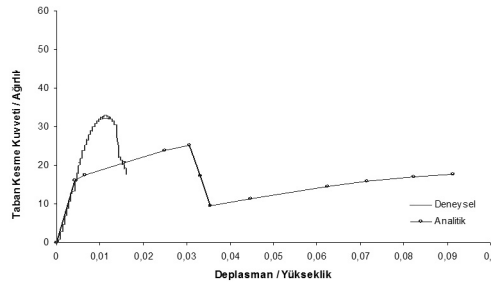
Bu çerçeveler için deneysel ve analitik olarak elde edilen kapasite eğrilerine bakıldığında başlangıç rijitlikleri oldukça yakın çıkmıştır. Maksimum dayanım değerleri karşılaştırıldığında ise deneysel sonuçlar simetrik yüklemde % 43, birinci tip yüklemde % 37 ve ikinci tip yüklemde % 62 daha yüksek çıkmıştır (Şekil 20).



(a) Simetrik yükleme



(b) Birinci yükleme (%16.7 eksantirisite)



(c) İkinci yükleme (%33.3 eksantirisite)

Şekil 20. Dışmerkez ters V çaprazlı çerçeve için deneysel ve analitik kapasite eğrileri

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, burulmanın çaprazsız ve dışmerkez ters V çaprazlı çerçeve sistemlerin kapasitesi üzerine etkileri deneysel ve analitik olarak araştırılmıştır. Ele alınan çerçeve sistemler, kutu kesitli elemanlardan oluşan üç boyutlu, tek açıklıklı, iki katlı ve planda simetrik çerçeve sistemlerdir. Çalışmada, düzenli olarak tasarlanmış simetrik bir yapıda, çeşitli nedenlerden dolayı meydana gelebilecek burulma düzensizliklerinin dikkate alınması amacıyla iki tip yük eksantirisitesi oluşturulmuştur. Çerçeve sistemler iki farklı yükleme altında itme testine tabi tutulmuş ve analiz edilmiştir. Çerçeveler, çatı deplasmanı, çerçeve yüksekliğinin % 9'una ulaşana kadar veya sistem göçme durumuna gelene kadar itilmiştir. Simetrik yükleme durumuna ait veriler 2008 yılında Çelik [13] tarafından yapılan çalışmadan alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Analitik ve deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında elde edilen kapasite eğrilerinin başlangıç rijitliklerinin oldukça yakın çıktıkları görülmektedir. Yapılan laboratuvar testleri sonucu dışmerkez çaprazlı çerçevelerde, eleman kesitlerinde yırtılmalar, çapraz burkulmaları ve dolayısıyla kat dönmeleri meydana gelmiştir.

Yapılan deney ve analizler sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Kütle, rijitlik, dayanım gibi farklı nedenlerden dolayı burulmaya zorlanan çelik çerçeve sistemlerde, burulma etkisi sistemlerin yük taşıma kapasitelerinin azalmasına sebep olmaktadır. Özellikle, kutu kesitli kiriş - kolon elemanlardan oluşan çerçeve sistemlerde, kiriş kolon birleşim yerlerindeki yerel burkulmalar ve kaynaklı birleşimlerde kaynağın birleşim noktalarında dayanımı azaltıcı olumsuz etkileri de çerçeve sistemlerin yük taşıma kapasitelerini olumsuz yönde etkilemektedir.
2. Burulma etkisi, paralel çerçeve düzlemlerde simetrik olarak bulunan ve aynı anda burkulması beklenen çapraz elemanların aynı anda burkulmaması, çaprazların bağlandığı bağ kirişi birleşim noktasında bağ kirişini düzlemi dışına zorlaması veya bağ kirişine birleşim noktasında kaynaklı birleşimi iki yönlü eğilmeye de zorlaması gibi nedenlerle sistem davranışında belirleyici bir zorlama etkisi olmaktadır. Bununla birlikte, özellikle bağ kirişlerinin düzlemi dışına zorlanması, çapraz elemanların burkulması ile birlikte deney numunelerinde yanal mesnetlenmelerin dikkate alınmamasından da kaynaklanabilir.
3. Kolonlarda burkulma ve plastikleşme ve çapraz elemanlarında burkulma olmaksızın sadece bağ kirişi elemanlarında plastikleşme sağlanarak yatay yük taşıma kapasitesi artırılması düşünülen dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistemler, çapraz burkulmaları ve birleşim yerlerindeki kırılmalar ve lokal burkulma etkilerinden dolayı beklenen davranışı gösterememiştir. Bu durumun çapraz elamanın bağ kirişinin plastikleşmesine neden olan kuvveti karşılayamamış olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.
4. Deneysel ve analitik olarak gerçekleştirilen bu çalışmada, dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerin inelastik burulmalı davranışları incelenmiştir. Bu araştırmanın daha da ileri götürülebilmesi için, çaprazlı çelik çerçevelerin davranışlarının, tersinir tekrarlı yüklemeler altında test edilerek, özellikle bağ kirişi davranışlarının incelenmesi gereklidir.

Semboller

- e Bağ kirişi boyu
M_p Eğilme momenti kapasitesi
V_p Kesme kuvveti kapasitesi

Teşekkür

Yazarlar, çalışmaya desteklerinden dolayı Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkürlerini sunarlar.

Kaynaklar

- [1] Perus, I., Fajfar, P., On The Torsional Response of Single-Storey Structures Under Bi-Axial Excitation. Earthquake Engineering and Structural Dynamic, 34, 931–941, 2005.
- [2] Fajfar, P., Marusic, D., Perus, I., Torsional Effects in the Pushover - Based Seismic Analysis of Buildings, Journal of Earthquake Engineering, 6, 831-854, 2005.
- [3] Stathopoulos, K. G., Anagnostopoulos, S. A., Inelastic Torsion of Multistorey Buildings Under Earthquake Excitations, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 34, 1449-1465, 2005.
- [4] De La Llera JC., Chopra AK., Understanding the Inelastic Seismic Behaviour of Asymmetric - Plan Buildings. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 24, 549-572, 1995.
- [5] Marusic, D., Fajfar, P. On The Inelastic Seismic Response of Asymmetric Buildings Under Bi-Axial Excitation. Earthquake Engineering and Structural Dynamic, 34, 943-963, 2005.
- [6] Rutenberg A., EAEE Task Group (TG):8 Behaviour of Irregular and Complex Asymmetric Structures – Progress since 1998. Proceeding of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, 832, 2002.
- [7] De Stefano, M., Pintucchi, B., A Review of Research On Seismic Behaviour of Irregular Building Structures Since 2002, Springer Science, Bull Earthquake Eng., 2007.
- [8] Lucchini, A., Monti, G., Kunnath, S.K., Seismic Behaviour of Irregular Buildings Under Uniaxial Excitation, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 38, 1053-1070, 2009.
- [9] De Stefano, M., Pintucchi, B., Predicting Torsion – Induced Lateral Displacements for Pushover Analysis: Influence of Torsional System Characteristics, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 39, 1369-1394, 2010.
- [10] Erduran, E., Ryan, K.L., Effects of Torsion on the behavior of peripheral steel-braced frame systems, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 34, 1032, 2010.
- [11] Lucchini, A., Monti, G., Kunnath, S., Nonlinear Response of Two-Way Asymmetric Single Story Building Under Biaxial Excitation, Journal of Structural Engineering, 137, 34-40, 2011.
- [12] SAP2000 ver.12, Computers And Structures, www.csiberkeley.com
- [13] Çelik, D.İ., Merkezi ve Dışmerkezi Güçlendirilmiş Çelik Uzay Çerçevelerin Sismik Performansı. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 2008.
- [14] AISC, 2005. Seismic Provisions for Structural Steel Buildings. American Institute of Steel Construction, Inc. Chicago, Illinois.
- [15] TS 648, Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü. Ankara, 1980.

Dışmerkez Ters V Çaprazlı Çerçevelerin Burulmalı Davranışları

- [16] TS 498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1987.
- [17] TS 3357, Çelik Yapılarda Kaynaklı Birleşimlerin Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1979.
- [18] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Resmi Gazete, Ankara, 2007.