

Dışmerkez Çelik Çapraz Perde Bir Sistemde Bağ Kirişi Boyunun 2007 Türk Deprem Yönetmeliği Açısından İncelenmesi

Zeki AY*

İlyas Devran ÇELİK**

ÖZ

2007 Deprem Yönetmeliğinin çelik yapılarla ilgili bölümü, 1997 deprem yönetmeliğine göre çok önemli yenilikler içermektedir. Özellikle, dışmerkez çelik çapraz perdeli sistemlerin bağ kiriş uzunluklarının hesabı ile ilgili kapsamlı değişiklikler yapılmıştır. Yönetmelikte verilen bir bağıntıya göre bağ kirişi uzunluğu, alt ve üst sınır değerlere uymak koşulu ile farklı uzunluklarda alınabilmektedir. Bu çalışmada, yönetmeliğin öngördüğü sınır değerler içerisinde kalan farklı bağ kiriş uzunluklarının, dışmerkez çapraz perdeli çelik bir çerçevenin yanıl yük kapasitesi üzerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bunun için, kutu kesitli çelik profiller kullanılarak dışmerkez Ters V ve V çelik çapraz perde sistem ile güçlendirilen 3 boyutlu, 2 katlı çerçeve sistemler deneysel ve genel amaçlı sonlu eleman programı Sap 2000 kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar 2007 Türk Deprem Yönetmeliği kapsamında değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Dışmerkez çelik çaprazlı perdeler, bağ kirişi boyu, statik itme analizi.

ABSTRACT

Investigation of Link Member Length on the Basis of 2007 Turkish Earthquake Code in an Eccentric Braced Frame

Steel Structures Section of the Turkish Earthquake Code 2007 includes very important improvements. Especially, extensive modifications have been presented in the computation of link member's lengths in eccentric braced frame systems. Different values can be chosen for the lengths of the link members based on upper and lower limits using an equation given in the code. The aim of this study is to investigate the effect of various link member lengths on the lateral load capacity of eccentric steel braced frames in which the lengths are chosen in between upper and lower bounds specified in the code. Three-dimensional two-storey experimental steel frame systems were built using rectangular hollow cross sectioned V-bracings and inverted V-bracings. Then, these experimental systems were numerically

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 20.11.2009 günü ulaşmıştır.
- 31 Mart 2012 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta - zekiay@sdu.edu.tr

** Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta - devrancelik@sdu.edu.tr

analyzed using general purpose finite element software-SAP2000. The results obtained from experimental study and numerical analyses were evaluated on the basis of Turkish Earthquake Code 2007.

Keywords: Eccentric braced frames, link member length, and pushover analysis.

1. GİRİŞ

1994 Northridge ve 1995 Kobe depremlerine kadar, çelik yapıların sismik etkiler karşısında yüksek sismik performansa sahip olduğu düşünülmekteydi. Fakat Northridge ve Kobe depremleri ve sonrasında meydana gelen orta ve büyük ölçekli depremlerde hasar gören çelik yapılar incelendiğinde, her çelik yapının sanıldığı kadar yüksek performans seviyesine sahip olmadığı görülmüştür. Yapılan çalışmalar ışığı altında birçok ülke deprem yönetmeliğinde olduğu gibi Mart 2007 de yürürlüğe giren Türk Deprem Yönetmeliğinde (TDY 2007) özellikle çelik yapılar ile ilgili bölümde önemli değişiklikler yapılmıştır. Yönetmelik çelik yapıları süneklik düzeyi normal ve yüksek olmak üzere iki grupta toplamış ve bu gruplamayı yaparken de tasarım kısmında ve uygulama aşamasında kullanılan profillerin kesit özelliklerine bağlı olarak bazı kriterlerin sağlanmasını öngörmüştür. Ancak yönetmelikte belirtilen tasarım değerlerinin, sismik etkiler altında birleşim şekillerine ve profil tiplerine göre oluşabilecek lokal burkulmalar sebebiyle bütün profiller için geçerli olup olmadığı konusunda soru işaretleri mevcuttur. Son yıllarda, depreme dayanıklı çelik yapı tasarımı ile ilgili çok sayıda analitik ve deneysel çalışma yapılmıştır. Doğrudan konu ile ilgili çalışmalarda, dışmerkez çelik çapraz perdeli çelik çerçeve sistemler, genellikle, link eleman özellikleri, yükleme şekilleri, çapraz perde eleman kesit özellikleri vb. yönleri ile incelenmiştir.[1,2,3,4,5]

Bir yapı, deprem etkisine maruz kaldığı zaman, depremin yapıya uygulamış olduğu enerji ve yapının sahip olduğu enerjisi, yapının deprem etkisi altındaki davranışını belirler. Diğer bir ifadeyle, depremin binaya uyguladığı enerji ile yapının kinetik enerjisi, geri dönen elastik şekil değiştirme enerjisi, viskoz sönüm enerjisi ve geri dönmeyen (tüketilen) histerik enerji arasındaki denge, yapının sismik davranışını belirler. Eğer, yapının sönüm enerjisi, depremin yapıya kazandırmış olduğu enerjiden büyükse, bu enerji sönümle dengelenir. Sönüm enerjisinin, depremin uygulamış olduğu enerjiden küçük olması halinde ise, sönüm enerjisi ile depremin uygulamış olduğu enerji arasındaki fark, histerik enerji ile dengelenir. Bu fark yapının düktilitesi (sünekliğini) tanımlar. [6]

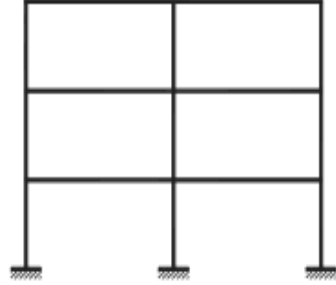
Çelik yapılar, malzeme yönünden yüksek düktilite özelliğine sahip olmasına rağmen, sistem düktilitesi bakımından aynı özelliğe sahip olmayabilmektedir. Çünkü sistem düktilitesinde malzeme özelliklerinin yanı sıra sistem geometrisi de önemli bir ölçüt olmaktadır. Bir taşıyıcı sistemin çevrimsel etki altında enerji tüketen bölgeleri ne kadar fazla ise deprem etkisi altında sünekliği de o kadar fazladır. Fakat, yapının plastik davranışı, oluşan plastik deformasyondan sonra yeniden dağıtılan kesit tesirlerine bağlı olduğu için tahmin edilen göçme yüküne erişilmesi plastikleşen kesitlerdeki plastik mafsalların konumu ile alakalı olmaktadır. Bu nedenle, plastik mafsalin davranışı ve konumu düktilite miktarını ve dayanımı etkilemektedir. Hâlbuki plastik analizde istenen, dayanımda azalma olmaksızın büyük dönmelerin olabilmesidir. Fakat elemanlarda gevrek kırılma, lokal burkulma ve eğilmeli-burulmalı instabilite gibi nedenlerle büyük plastik dönmelere ulaşılamaz. Diğer taraftan, uygulamada, yapılar değişik nedenlerden dolayı

burulma düzensizliğine sahip yapılar olarak tasarlanırken çok düzenli ve hiçbir yapısal düzensizliğe sahip olmadan tasarlanan yapılar bile çeşitli uygulama hatalarından dolayı (özellikle çelik yapılar da sıkça karşılaşılr) deprem anında burulmalı davranış sergileyebilmektedir. Ayrıca, taşıyıcı sistem elemanlarında, burkulma veya ikinci mertebe etkiler yapıda stabilite kaybına neden olmaktadır. Depreme dayanıklı çelik taşıyıcı sistem tasarımında, yeterli yatay rijitliğin ve yüksek süneklik düzeyinin sağlanabilmesi bu nedenle çok önemlidir. Çelik yapılarda yatay rijitlik, çelik çapraz perdeli sistemler ile sağlanmaktadır. [6]

TDY2007’de çelik çapraz perde elemanları ile güçlendirilmiş sistemler, merkezi ve dışmerkez güçlendirilmiş çelik çapraz perdeli sistemler olarak adlandırılmaktadır.[7] Merkezi güçlendirilmiş çelik çaprazlı perdeler, moment aktaran çelik çerçeve sistemlere göre oldukça büyük elastik yatay rijitliğe sahiptir. Dışmerkez güçlendirilmiş çerçeve sistemler ise, yüksek elastik rijitliğe, çevrimsel yatay yükler altında stabil bir inelastik davranışa ve mükemmel bir duktilite ve enerji yutma kapasitesine sahiptir. Bu nedenle, yüksek sismik aktivitesi olan bölgeler için oldukça uygun taşıyıcı sistemlerdir. [8,9,10]

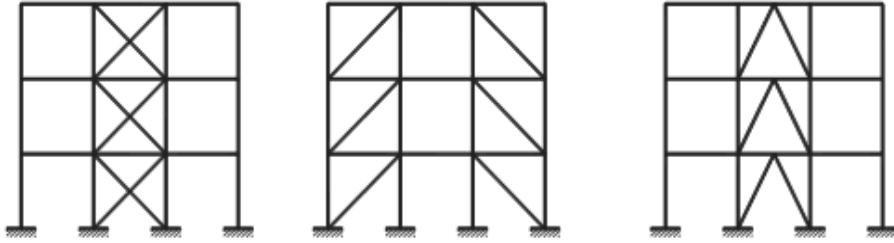
Merkezi çapraz perdeli çerçeveler, kolon, kiriş ve çapraz elemanların eksenlerinin eksantrisine oluşturmayacak şekilde merkezi olarak birleştirilmesi ile oluşturulurlar. Bu tip bir sistemde, çapraz elemanlar ve bu elemanların birleşimleri sistemin en önemli özellikleridir. Bu tür çerçevelerin davranışını, genellikle çapraz elemanların burkulmaları belirlemektedir. Çapraz elemanların burkulması, sistemi tamamen göçme durumuna getirebilmektedir. Bu yüzden merkezi çaprazlı çerçeveler, moment aktaran çerçevelerden daha düşük süneklikli olarak dikkate alınırlar ve daha büyük sismik kuvvetlere göre tasarlanırlar. Şekil 1-b’de merkezi çaprazlı çerçevelerden örnekler verilmiştir. **Dışmerkez çelik çapraz perdeli çerçeveler** ise, diğerlerine göre daha yeni yeni gelişmekte olan çaprazlı çerçeve türüdür. Bu çerçevelerin özelliği, moment aktaran çelik çerçevelerin yüksek duktilitesi ile merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin dayanım ve rijitliğini birleştirebilmesidir. Bu çerçeveler, kolon-kiriş birleşim noktasına veya çapraz elemanların kesişim noktaları arasında belirli bir eksantrisine verilerek oluşturulur. Eksantrisine, kiriş üzerinde verilir ve bu çerçevelerde, bağ kirişi adı verilen eleman, sistemde enerjinin kararlı bir şekilde tüketilmesini sağlar. Şekil 1-c’ de dışmerkez olarak güçlendirilmiş çerçeveler gösterilmiştir. [11,12]

Bu çalışmada; TDY2007 de süneklik düzeyi yüksek çelik yapılar için tanımlanmış bağıntılara göre, kutu kesitli profiller kullanılarak hazırlanan moment aktaran çelik uzay bir çerçeve sistem, dışmerkez ters V ve V çapraz elemanlar ile güçlendirilerek deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Deneysel olarak incelen modeller esas alınarak Sap2000 sonlu elemanlar bilgisayar programı ile profil özelliklerine göre yönetmelikçe tanımlanmış bağ kirişi boyu tanım aralığında model sayısı artırılmış ve her model için elastik ötesi davranışları ortaya konulmuştur. Sayısal çalışmadan ve deneysel çalışmadan çıkan sonuçlar, istatistiksel olarak bir düzlemde ele alınmış ve sonuçların tutarlılığı gözden geçirilerek kutu profiller kullanılarak dizayn edilen modellerin TDY2007 kapsamında davranışı yorumlanmaya çalışılmıştır.



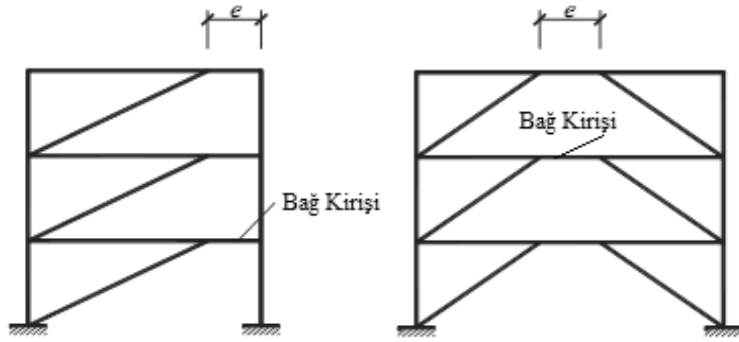
Moment Aktaran Çerçeve

(a)



Merkezi Çaprazlı Çerçeve

(b)



Dışmerkez Çaprazlı Çerçeve

(c)

Şekil 1; Çelik çerçeve tipleri

2. TDY 2007' GÖRE BAĞ KİRİŞİN BOYUTLANDIRILMASI

Bazı özel durumlar dışında, yapı sistemleri genellikle doğrusal elastik davranış gösterirler. Buna karşılık, dış etkiler işletme yükü sınırını aşarak yapının taşıma gücü kapasitesine yaklaştıkça, gerilmeler doğrusal elastik sınırı aşmakta ve yer değiştirmeler çok küçük kabul edilemeyecek değerler almaktadır. Doğrusal olmayan koşullar altında, yapıda kullanılan çapraz perde elemanların burkulması ile sistemin düktilitesini ve performansını kaybettiği bilinmektedir. Halbuki dışmerkez çapraz perdeli sistemlerde, çapraz elemanın en az bir ucunun kolon kiriş birleşim noktasından belirli bir uzaklıkta eksantrik bir noktaya bağlanması gerektiği belirtilirken, elastik sınırı aşan yatay yükler altında ilk plastik şekil değiştirmenin çapraz eleman üzerinde değil kiriş üzerinde olması amaçlanmıştır. Bu sayede sistem, tekrarlı tersinir yüklemeler altında sürekli bir davranış sergileyerek, yatay yükten dolayı sistem üzerinde oluşan enerjinin kiriş üzerinde sönmülmesi sağlanmış olacaktır. Bu bağlamda, TDY2007 dışmerkez çelik çapraz perdeli çerçevelerde yüksek süneklik kabulünü sağlayabilmek için belirli kriterler ortaya koymuştur.

Yönetmelikte süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çelik çaprazlı perdeler olarak tanımlanan sistemlerde, bağ kirişlerin plastik şekil değiştirmesi sırasında, kolonların, çaprazların ve kirişlerinin elastik bölgede kalması sağlanacak şekilde boyutlandırılması için bazı şartlar öngörülmüştür. Bu kapsamda kiriş ve kolonlarda başlık genişliği/kalınlığı ve gövde yüksekliği/kalınlığı oranına ilişkin enkesit koşulları profil tipine göre tanımlanmıştır. TDY2007'de kutu kesitlerle ilgili enkesit koşulu Çizelge 1 de gösterilmiştir. [7]

Çizelge 1. TDY2007'de profil kesit özelliklerine göre sınır değerler tablosu

Eleman Tanımı	Narinlik Oranları	Sınır Değerler	
		Süneklik Düzeyi Yüksek Sistem	Süneklik Düzeyi Normal Sistem
Eğilme veya aksenal basınç etkisindeki dikdörtgen kutu kesitler	b/t veya h/t _w	$0.7\sqrt{E_s / \sigma_a}$	$1.2\sqrt{E_s / \sigma_a}$

Diğer taraftan, TDY 2007'de, **güçlü kolon, zayıf kiriş** koşulunun sağlanabilmesi amacıyla, kolon-kiriş birleşim noktasında kolonların eğilme momenti kapasitelerinin toplamı, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin kolon yüzündeki eğilme momenti kapasiteleri toplamının 1.1D_a (akma gerilmesi arttırma katsayısı) katından daha büyük olacaktır şartı konulmuştur. Ayrıca, bağıntı (2-a)'da tanımlanan koşul, düğüm noktasına birleşen tüm elemanlar için aranmaktadır. [7]

$$(M_{pa} + M_{pü}) \geq (M_{pi} + M_{pj}) \quad (2.a)$$

M_{pa} : Kolonun alt ucunda hesaplanan moment kapasitesi

M_{pi} : Kolonun üst ucunda hesaplanan moment kapasitesi

M_{Pi} : Kirişin sol ucu i 'de hesaplanan pozitif veya negatif moment kapasitesi

M_{Pj} : Kirişin sağ ucu j 'de hesaplanan pozitif veya negatif moment kapasitesi

Dışmerkez çapraz perdeli çerçevelerin süneklik düzeyi yüksek kabulünün dayandığı temel nokta olan bağ kirişleri (link eleman) boyutlarının belirlenmesinde, kirişin en kesit özelliklerine göre, alt ve üst sınırlar, (2-b) bağıntısı ile belirlenebilmektedir.

$$1.0M_p V_p \leq e \leq 5.0M_p / V_p \quad (2.b)$$

M_p : Eğilme momenti kapasitesi

V_p : Kesme kuvveti kapasitesi

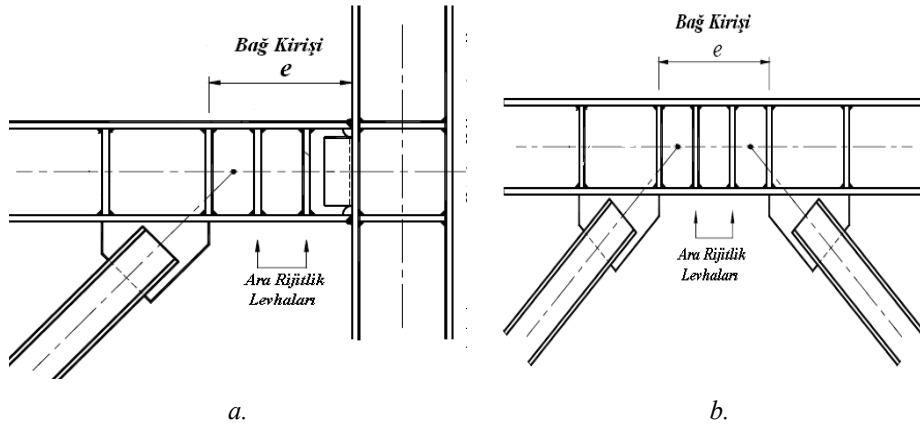
Sistem elemanları açısından baktığımızda, elastik sınır aşıldığında, ilk plastik mafsallın çapraz elemanlar üzerinde değil, kiriş üzerinde gerçekleşmesi için, çapraz elemanın narinlik koşulunun, (2-c) bağıntısını sağlaması istenmiştir.

$$(\text{çubuk burkulma boyu/atalet yarıçapı}) < 4,0\sqrt{E_s / \sigma_a} \quad (2.c)$$

E_s : Yapı çeliğinin elastisite modülü

σ_a : Yapı çeliğinin akma gerilmesi

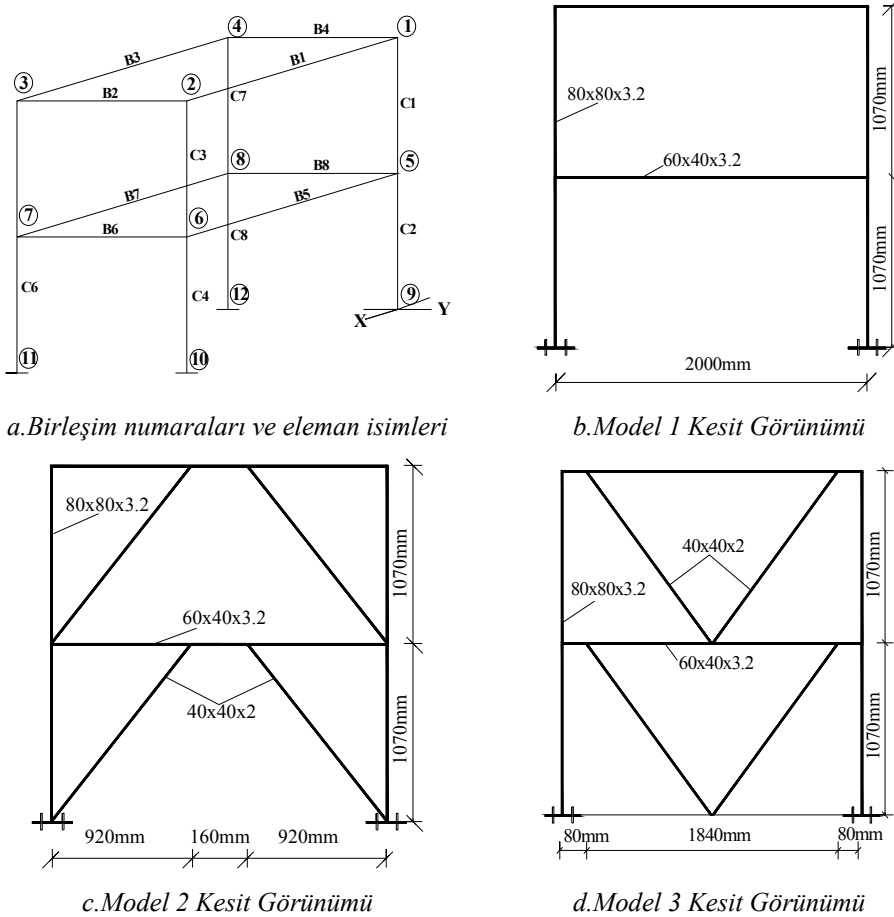
Tasarım kriterlerine ek olarak, uygulamada, özellikle eleman birleşimlerinde ve bağ kirişi üzerinde berkitme levhaları kullanılarak takviyeler yapılması istenerek tekrarlı yüklemeler altında sistemim bütünlüğünün bozulmadan enerjinin sönümlenmesi amaçlanmıştır. Dışmerkez çelik çapraz perdeli bir sistem için detay görünüm, Şekil 2 de gösterilmiştir. [7]



Şekil 2. Dışmerkez çelik çapraz perdeli bir sistem için bağ kirişi birleşim detayları

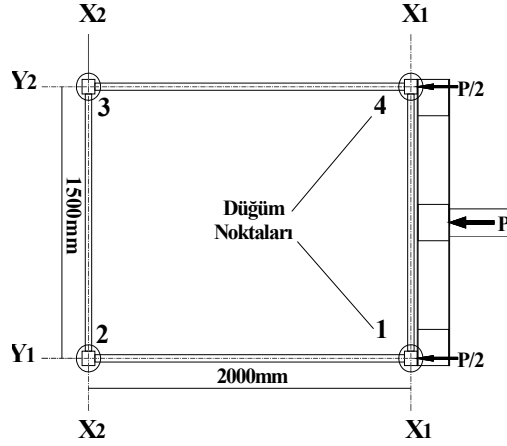
3. ÇALIŞMAYA ESAS ALINAN YAPILAR VE ÖZELLİKLERİ

Deneysel ve sayısal yöntemler kullanılarak yapılan bu çalışmada, çalışmaya esas alınan model geometrileri, planda ve kesitte düzenlidir. Modeller, her iki doğrultuda (x, y) tek açıklıklı olup, iki katlıdır. Deneysel ve sayısal modellerde yapı elemanları, kutu kesitli çelik profil olarak seçilmiştir. Kolon kesiti 80x80x3.2mm, kiriş kesiti 60x40x3.2mm ve çapraz eleman kesiti ise 40x40x2mm kutu profildir. Gerek sayısal hesaplarda gerekse laboratuarda malzeme sınıfı, St37 yapı çeliğidir. Modeller dikdörtgen bir plana sahip olup, aks aralıkları x yönünde 2000mm, y yönünde 1500mm ölçülerindedir. Modeller düşeyde ise iki kattan oluşmakta ve her bir kat yüksekliği 1070mm olup toplam yapı yüksekliği 2140mm dir. Deneysel çalışma, moment aktaran çelik uzay çerçeve (MODEL 1), Ters V (MODEL 2) ve V (MODEL 3) çapraz elemanlarla dışmerkez olarak güçlendirilmiş üç tip model için yapılmıştır. Şekil 3 de, elemanlar, düğüm noktaları ve her üç model için kesit görünümleri verilmiştir. Ters V çapraz elemanla dışmerkez çapraz perdeli çelik uzay çerçeve sistemde, bağ kirişi boyu, deneysel çalışmada 80mm olarak tasarlanırken, sayısal çalışmada bağıntı



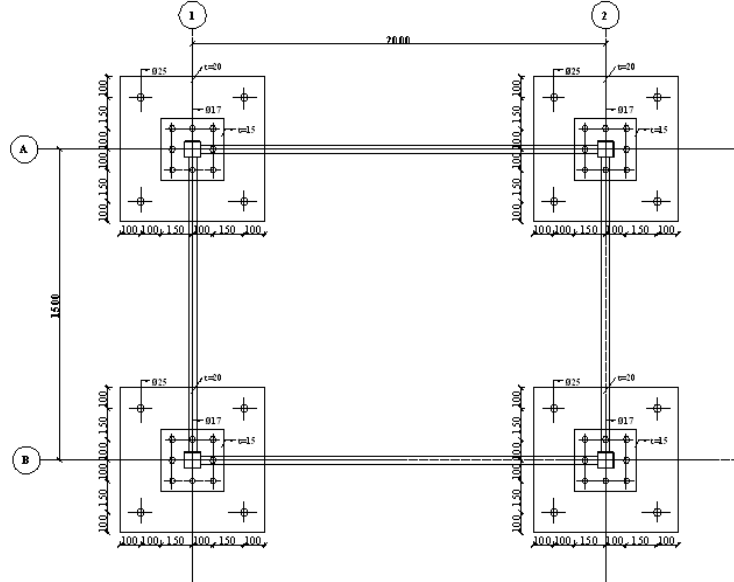
Şekil 3 Model kesit görünümleri ve eleman dizim sırası

2-b de tanımlanan aralık dahilinde, 80mm den başlayarak 200mm ye kadar 10mm artışlarla 13 model oluşturulmuştur. V çapraz eleman kullanılarak dışmerkez çelik çapraz perdeli çelik uzay çerçeve sistemde ise, deneysel çalışma için bağ kirişi boyu 160mm olarak modellenirken sayısal modellerde 160mm den 400mm ye kadar 20mm lik artımlarla yine 13 model üzerinde çalışılmıştır. Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında ve birleşim hesaplarında; Türk Deprem Yönetmeliği 2007 ve TS 648'de tanımlanan kriterler kullanılmıştır. Yapıya gelen yükler TS 498 den alınmıştır.



a. Tüm Modeller için Plan Görünümü ve Yükleme Şekli

b. Mesnet Bağlantı Görünümü



c. Deneysel Modellerde Uygulanan Mesnet Detayı

Şekil.4 Yükleme şekli ve Mesnet plan görünümü

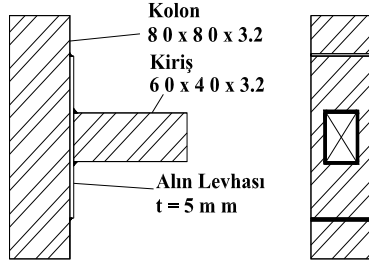
Deney modellerinin plan görünümüleri, yük uygulama şekli ve temele olan bağlantı şekilleri, **Şekil 4-a,b,c** de gösterilmiştir. Deneysel ve sayısal çalışma sonuçlarını aynı koşullar içerisinde kıyaslayabilmek için, sayısal ve deneysel incelemelerde, geometri özellikleri, malzeme özellikleri, mesnet durumları, birleşim detayları, yükleme durumlarına ait değerler bir biri ile uyumlu olmasına özen gösterilmiştir. Modeller, birleşim detayları, yapı elemanın kesit özellikleri gibi, sistem davranışını önemli ölçüde etkileyen faktörlerin analiz prosedürlerine yansıtılmasının yanında sayısal hesaptan elde edilen sonuçların güvenilirlik kazanabilmesi için malzeme özelliklerinin de tam anlamıyla belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla kullandığımız çelik profillerinin malzeme özelliklerini belirlemek için kolon kiriş ve çapraz elemanlardan kesilmiş standartlara uygun şekilde elde edilen deney numuneleri üzerinde çekme deneyi yapılmış ve ortalama malzeme mukavemet özellikleri belirlenmiştir. Numunelere ait malzeme özelliklerinin ortalama değerleri Çizelge 2' de gösterilmiştir.

Çizelge 2 Profil mukavemet özellikleri

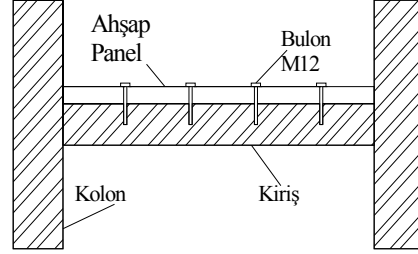
Akma Gerilmesi (kg/mm ²)	Efektif Akma Gerilmesi (kg/mm ²)	Kopma Gerilmesi (kg/mm ²)	Efektif Kopma Gerilmesi (kg/mm ²)	Elastisite Modülü (kg/mm ²)
25.1	37.6	36.7	40.4	21114.2
(a)Malzeme Mukavemet Bilgileri				

Deneysel çalışmada yatay yük altında kiriş uçlarında meydana gelecek gerilme yığılmaları sebebiyle, kolon-kiriş birleşimlerinde kutu profil geometrisine bağlı olarak kolonda oluşabilecek panel bölgesi ezilmesi ve gövde buruşması gibi lokal burkulma etkilerini önleyebilmek için birleşimlerde kolon yüzünde alın levhası kullanılmıştır. [13] Şekil 4-a,b de kolon-kiriş birleşim detayı verilmiştir. Sistemde, döşemeden kirişlere gelen yayılı yük dağılımının ve döşemenin diyafram etkisinin sağlanabilmesi için döşeme panel elemanları kirişlere bulonlarla bağlanmıştır. Şekil 5-b'de Döşeme kiriş bağlantı detayı gösterilmiştir Her katta, döşeme panel elemanlar üzerine 200 kg düşey yayılı yük etkilmiştir. [14]. Şekil 5-d de yayılı yük uygulama şekli gösterilmiştir. Modellerde lineer elastik bölgenin üzerindeki yük ve deplasman koşullarında sistemde oluşabilecek plastik şekil değiştirmeleri tespit edebilmek için sistem üzerinde oluşması muhtemel mafsalsal noktalarına gerinim pulları yerleştirilmiştir. Gerinim pullarından elde edilen değerler ile yük değişimleri kıyaslanarak yük-deplasman grafiği üzerindeki mafsalsal oluşumuna bağlı kapasite değişimleri karşılaştırılmıştır. Gerinim pulları yerleşim şekli ve tipi şekil 5-c'de verilmiştir.

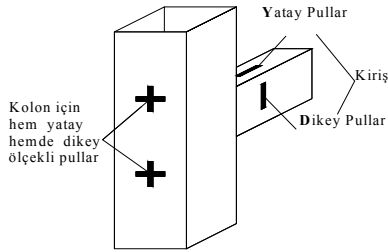
Modellerin yatay yük altındaki davranışı; statik artımsal yük uygulanarak incelenmiştir. Sisteme yük ikinci kat kolon kiriş düğüm noktasından her iki kolon yüzüne de simetrik olarak etkilmiştir. Yükleme el kontrollü olarak yapılmış olup yük değerleri yük hücresi aracılığıyla bilgisayar üzerinden takip edilmiştir. Sistemin yapmış olduğu deplasmanlar, her düğüm noktasına yerleştirilmiş deplasman ölçerler aracılığıyla kayıt altına alınmıştır. Şekil 5-e,f de deplasman ölçerlerin yerleşim şekli ve sistem genel görünümü verilmektedir.



a. Kolon-Kiriş Birleşim Detayı görünümü



b. Döşeme-kiriş bağlantı detayı



c. Gerinim Pulları Yerleşim Şekli



d. Düşey yayılı yük uygulama şekli



e. Deplasman Ölçer Genel Görünümü



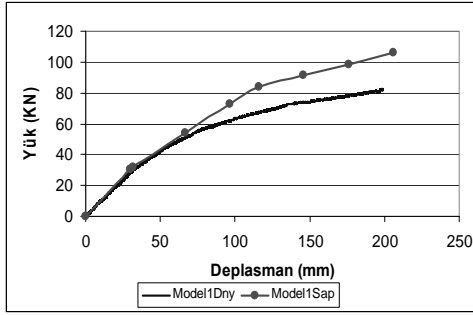
f. Model Genel Görünümü

Şekil 5 Deneysel modellerden görünümüler.

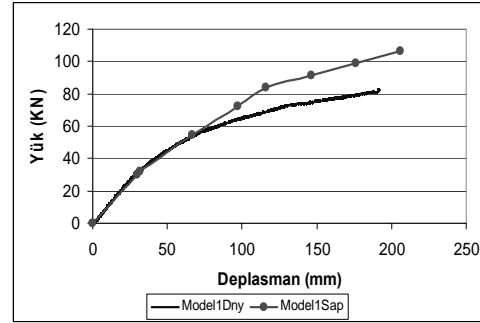
Deneysel modellerin, geometri, kesit özellikleri, birleşim şekilleri ve malzeme özellikleri gibi sistem davranışını etkileyen tüm özellikleri, sayısal incelemede aynen dikkate alınarak gerekli analizler yapılmıştır. Modellerin elastik ötesi davranışını ortaya koyabilmek için kolonlarda aksenal kuvvet ve moment (PMM), kirişlerde sadece moment (M), çapraz elemanlarda ise sadece aksenal kuvvet için plastik masal tanımlaması yapılmıştır. [7,15-16]

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

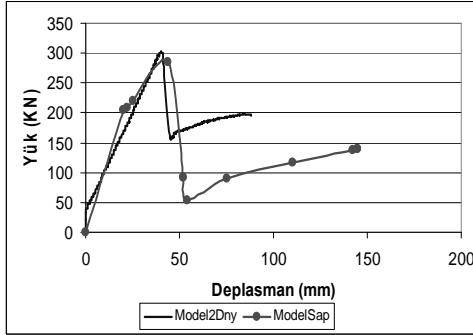
Moment aktaran çelik uzay çerçeve, ters V ve V çelik çapraz perdeli 3 boyutlu, 2 katlı sistemlerin deneysel ve sayısal incelemeleri sonucunda elde edilen yük-deplasman grafikleri Şekil 6 da gösterilmiştir. Her bir model için 2 farklı noktadan (1 ve 2 nolu düğüm noktaları) okuma yapılmış ve bir grafikte karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Grafik ve çizelgelerde, moment aktaran çelik uzay çerçeve (Model 1), Ters V çelik çapraz perdeli sistem Model 2 (bağ kirişi boyu 80mm), V çelik çapraz perdeli sistem de Model 3 (bağ kirişi boyu 160mm) olarak isimlendirilmiştir. Ayrıca grafiklerde deney sonuçları (ModelDny), Sayısal analiz sonuçları da (ModelSap) olarak sunulmuştur.



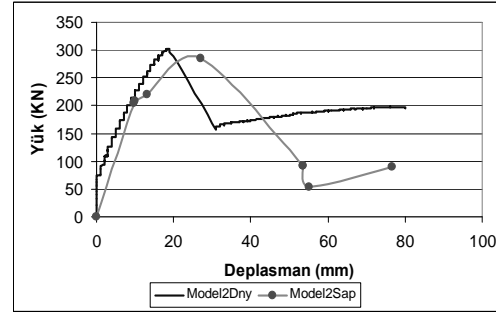
a. Model 1-1. Düğüm Nok. Yük-Dep. Eğrisi



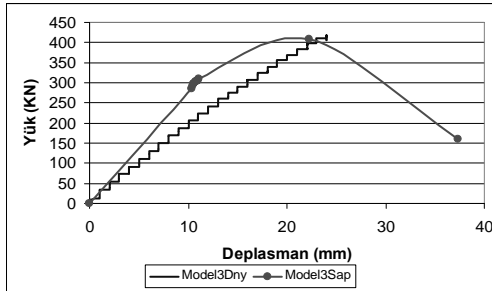
b. Model 1-2. Düğüm Nok. Yük-Dep. Eğrisi



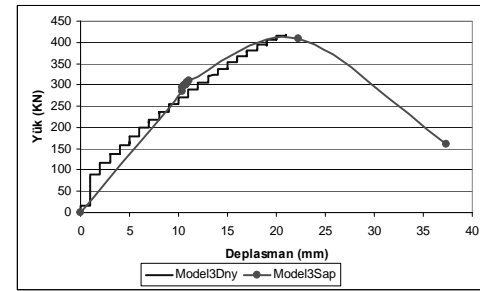
c. Model 2-1. Düğüm Nok. Yük-Dep. Eğrisi



d. Model 2-2. Düğüm Nok. Yük-Dep. Eğrisi.



e. Model 3-1. Düğüm Nok. Yük-Dep. Eğrisi.



f. Model 3-2. Düğüm Nok. Yük-Dep. Eğrisi.

Şekil 6 Yük-Deplasman Grafikleri

Dışmerkez çelik çaprazlı perde sistemler için TDY2007'e göre süneklik kabulünü yapılabilmesi için yönetmelikte verilen bağ kirişi boyu tanım aralığına göre model sayısı, Ters V çelik çapraz sistem için 160mm den başlayarak 400mm ye kadar 20mm lik artımlarla toplamda 13 model sayısal olarak incelenmiştir. V çelik çaprazlı sistem için bağ kirişi boyu 80mm den başlayarak 160mm ye kadar 10mm lik artımlarla 13 model oluşturulmuş ve analiz edilmiştir. Çizelge 3' de modellerin bağ kirişi boyuna göre modellere verilen isimler, yatay yük altında maksimum taşıma kapasitesi ve buna karşılık gelen deplasman değeri tablo halinde gösterilmiştir.

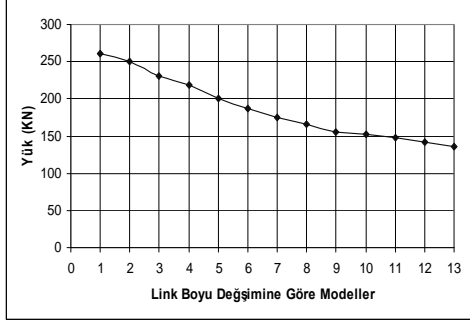
Çizelge 3 Bağ kirişi boyuna göre model isimleri ve maksimum yük ve deplasman değerleri

Model2 No:	Bağ Kiriş Boyu (mm)	Yük (KN)	Deplasman (mm)	Model3 No:	Bağ Kiriş Boyu (mm)	Yük (KN)	Deplasman (mm)
2-1	160	261	26,97	3-1	80	414	22,21
2-2	180	250	27,28	3-2	90	407	19,81
2-3	200	230	21,65	3-3	100	344	16,78
2-4	220	218	22,32	3-4	110	296	14,34
2-5	240	201	19,84	3-5	120	287	14,61
2-6	260	187	17,05	3-6	130	277	15,21
2-7	280	175	16,43	3-7	140	265	16,29
2-8	300	166	17,67	3-8	150	258	16,86
2-9	320	156	17,39	3-9	160	242	15,22
2-10	340	152	18,81	3-10	170	232	17,01
2-11	360	147	20,15	3-11	180	219	17,2
2-12	380	141	21,39	3-12	190	211	17,31
2-13	400	136	22,5	3-13	200	203	19,58

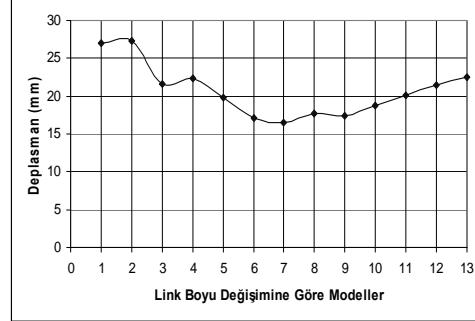
a. Dışmerkez Ters V (Model2) Çelik Çaprazlı Perde Sistem Bağ kirişi boyu değişimine göre maksimum yük-deplasman değerleri

b. Dışmerkez V (Model3) Çelik Çaprazlı Perde Sistem Bağ kirişi boyu değişimine göre maksimum yük-deplasman değerleri

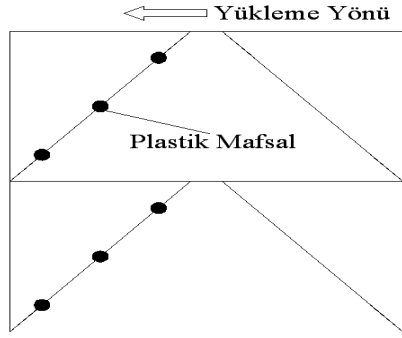
Tablo olarak ifade edilen modellere ait yük deplasman değerleri şekil 7 ve şekil 8 de grafiksel olarak da gösterilmiştir. Şekillerde a- b numaralı grafiklerde maksimum yük ve buna karşılık gelen deplasman değerleri bağ kirişi boyuna göre gösterilmiş olup, c tipi grafikte ise bütün modellerin ortaya koyduğu yük-deplasman ilişkisi bir grafikte toplanmıştır.



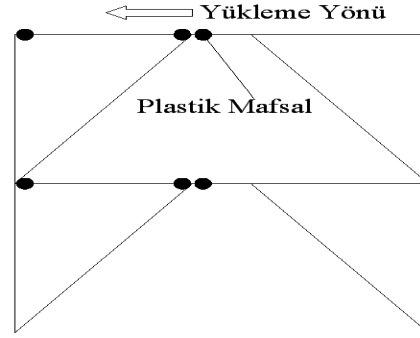
a. Bağ Kirişi Boyuna Göre Yanal Yük Taşıma Kapasitesi Değişimi



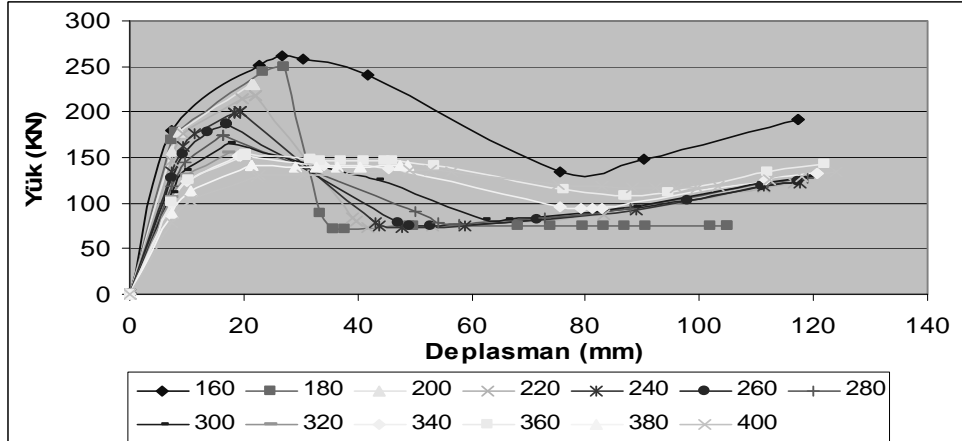
b. Bağ Kirişi Boyuna Göre İlk Plastik Mafsal Anında Deplasman Değişimi



c. Model2. 1-3 arası ilk plastik mafsal oluşum şekli

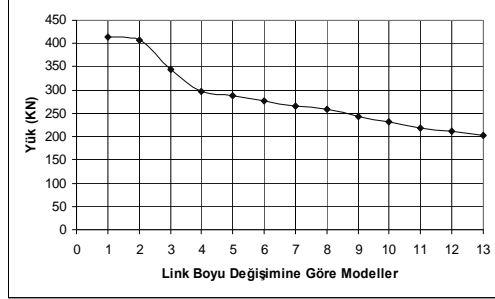


d. Model2. 3-13 arası ilk plastik mafsal oluşum şekli

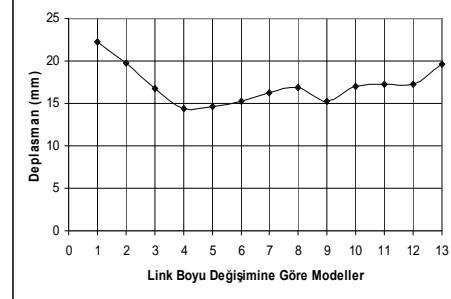


c. Ters V (Model2) Çaprazlı Dışmerkez Çelik Çerçeve Sistem Bağ Kirişi Boyu Değişimine Göre Yük-Deplasman Grafiği

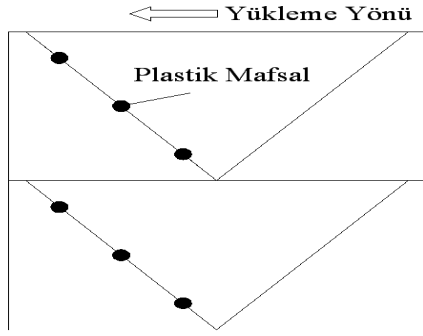
Şekil 7 Dışmerkez Ters V (Model2) Çelik Çaprazlı Perde Sistemde Bağ kirişi boyu değişimine göre sistem yatay yük taşıma kapasitesi değişimleri



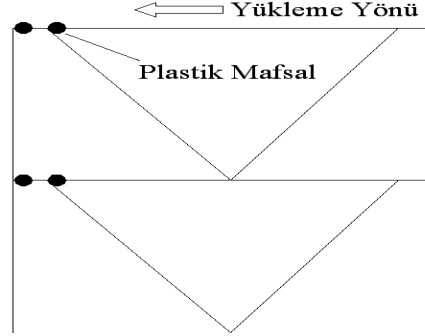
a. Bağ Kirişi Boyuna Göre Yanal Yük Taşıma Kapasitesi Değişimi



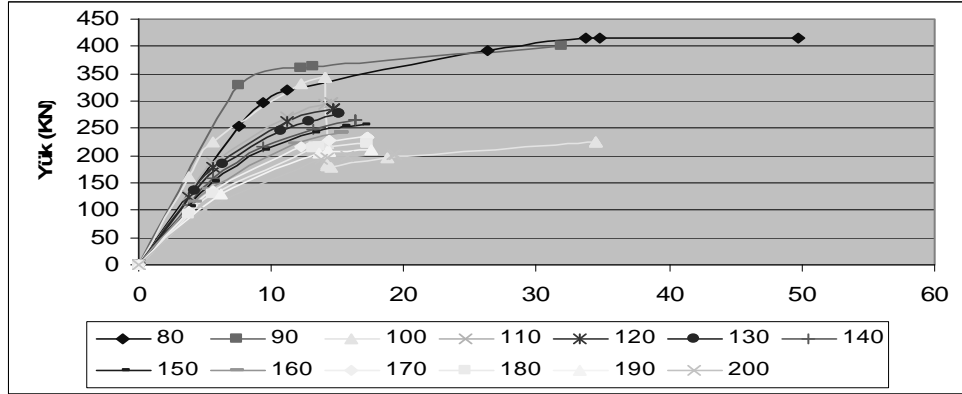
b. Bağ Kirişi Boyuna Göre Yanal Yük Taşıma Kapasitesi Değişimi



c. Model 1-4 arası ilk plastik mafsıl oluşum şekli



d. . Model 5-13 arası ilk plastik mafsıl oluşum şekli



e. Dışmerkez Çelik V Çaprazlı Perde Sistemde Bağ kirişi boyu değişimine göre Yük-Deplasman Grafiği

Şekil 8 Dışmerkez Çelik V Çaprazlı Perde Sistemde Bağ kirişi boyu değişimine göre sistem yatay yük taşıma kapasitesi değişimleri

5. SONUÇ

TDY 2007’de (Bölüm 4) kutu kesit kullanımı durumunda enkesit koşulları ile ilgili kriterler verilmiştir. (Tablo 4.3) bağ kirişi ile ilgili birleşim detayı ve buna bağlı olarak bağ kirişi boyu sadece I profili kullanımına göre verilmiştir. Dolayısıyla kutu kesitli profil kullanımına göre birleşim detayı verilmediğinden bağ kirişi boyu kriterlerinin kutu profil kullanımını durumunda geçerliliği ile ilgili bir hüküm bulunmamıştır. Özellikle madde 4.8.5’de verilen kriterlerin kutu kesitler için geçerliliği belirsizdir.

Uygulamada çoğu kez kutu kesit kullanımı halinde Şekil 5-a’da verilen birleşim detayı kullanılmaktadır. Böyle bir detay kullanımı halinde, kesit tesirlerinin elemanlarda dağılımı, lokal burkulmalar v.b davranış problemleri ortaya çıkmaktadır. Bu durum, plastik mafsalların oluşum sırasını, yapı sisteminin genel davranışını ve buna bağlı olarak yapının yatay yük kapasitesini etkilemektedir. Dolayısıyla kutu kesitli dışmerkez çelik çapraz perdeli sitemlerde belirli birleşim detayları oluşturulmadığı sürece bağ kirişi boyu TDY 2007 ‘de verilen formülasyona göre hesaplanması uygun olmayacaktır.

Yapılan deneysel ve sayısal testler sonucunda elde edilen sonuçlar, aşağıda verilmiştir.

1. Moment aktaran çelik çerçeve sistemde(MODEL 1) sayısal analiz yanal yük dayanım değeri, deneysel değere göre daha büyük çıkmaktadır.(Şekil 6). Bu durum, sayısal testlerde lokal burkulma etkilerinin, mesnet koşullarının kullanılan bilgisayar programında tam olarak yansıtılmamasından kaynaklanmaktadır.
2. Tüm modeller için sonuçlar arasındaki fark ve kapasite eğrisi grafiği birbiri ile yakın bir uyum içerisindedir. Özellikle plastik mafsalin ilk oluştuğu noktaya kadarki davranış, tamamıyla üst üste düşmektedir.
3. Ters V çaprazlı sistemde(MODEL 2) görülen ani kapasite kaybı, çapraz elemanın burkulması ile gerçekleşmiştir. Daha sonra mafsallaşma kiriş elemanda başlamış ve buna göre yapının yatay yük dayanımı Moment Aktaran Çerçeveye göre iki katından çok daha büyük olmuştur. Bu durum, çapraz elemanların boyutlandırılmasında Türk Deprem Yönetmeliği 2007’de verilen burkulma kriterinin yeniden değerlendirilmesi gereğini ortaya çıkarmaktadır.
4. V çaprazlı sistemde(MODEL 3) ise dayanım değeri, Moment aktaran çerçevenin yaklaşık 4 katı civarında olmasına rağmen, bu sistemde, çapraz elemanın burkulması ile birlikte ani bir kapasite kaybı görülmemiştir. Böylece özellikle Ters V veya V çapraz durumuna göre çapraz elemanın burkulma kriterinin ayrı ayrı verilmesinin daha uygun olacağı görülmektedir.

Sonuç olarak , hem V çapraz, hem ters V çaprazlı çerçeve sistemlerde, yatay yük dayanımı bağ kirişi boyu arttıkça azalmaktadır. Diğer taraftan bağ kirişi boyu yönetmelik sınırları içerisinde bir değere gelinceye kadar ilk plastik mafsal çapraz elemanda olmaktadır. İlk plastik mafsalin çapraz elemanda değil de bağ kirişinde olmasının sağlanması için, çapraz elemanlar için yönetmelikte öngörülen narinlik sınırlarının belirlenmesinde, çapraz elemanın kesit tipi ve boyunun yanı sıra, bağ kirişi boyu ve kesitinin de göz önüne alınması gerekmektedir. Böylece, hem yatay yük dayanımı yüksek hem de sünek bir sistem oluşturmak mümkün olacaktır. **Sınırlı sayıda model için yapılan deneysel ve sayısal bu çalışmada**, TDY2007 yönetmeliğin ön gördüğü sınır değerler içerisinde kalan farklı bağ kirişi uzunluklarının, dışmerkez çapraz perdeli çelik bir

çerçevenin yanal yük kapasitesi üzerine etkisi incelenmeye çalışılmıştır. Konu ile ilgili kesin hükümler çıkarmak için değişik birleşim, kesit ve geometriye sahip sistemler için çok sayıda çalışmaya ihtiyaç vardır.

Semboller

b	Genişlik
h	Gövde levhası yüksekliği
Es	Yapı çeliği elastisite modülü
Md	Düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan Eğilme momenti
Mp	Eğilme momenti kapasitesi
Mpa	Kolonun alt ucunda hesaplanan moment kapasitesi
Mpi	Kirişin sol ucu i’de hesaplanan pozitif veya negatif moment kapasitesi
Mpj	Kirişin sağ ucu j’de hesaplanan negatif veya pozitif moment kapasitesi
Mpn	İndirgenmiş moment kapasitesi
Mpü	Kolonun üst ucunda hesaplanan moment kapasitesi
t	Kalınlık
tw	Gövde kalınlığı
Sap2000	Nonlinear Analiz Programı
TDY	Türk deprem yönetmeliği
σ_a	Yapı çeliğinin akma gerilmesi

Kaynaklar

- [1] Berman, J.W., 2004. Testing of a Laterally Stable Eccentrically Braced Frame for Steel Bridge Piers. Student Research Accomplishments 2003-2004, MCEER- 04-SP05, 1-6, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY. MCEER Student Paper Competition Winner.
- [2] Chao, S.-H., Goel, S. C., 2006. Performance-Based Design of Eccentrically Braced Frames Using Target Drift and Yield Mechanism. AISC Engineering Journal, American Institute of Steel Construction, Third Quarter, 2006, 173-200.
- [3] Özakgöl, K., Uzgider, E., 2005. Üç Boyutlu Çelik Çerçevelerin Üç Bileşenli Deprem Yükleri Etkisinde Göçme Mekanizmaları ve Sünekliğinin Belirlenmesi. İTÜ Dergisi, 5, (4), 131-143.

- [4] Sabelli, R., Mahin, S., Chang, C., 2005. Seismic Demands On Steel Braced Frame Buildings With Buckling Restrained Brace. NASCC The Steel Conference, 123-143, Canada.
- [5] Yang, T.Y., Stojadinovic, B., Moehle, J., 2007. Hybrid Simulation Evaluation Of Innovative Steel Braced Framing System. Proceedings, Eighth National Conference on Earthquake Engineering, CD, 1415, San Francisco, California.
- [6] Gioncu V, Mazzolani, M. F., “Ductility of Seismic Resistant Steel Structures” 2002, Canada, USA.
- [7] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara, 2007
- [8] Uzgider, E., Çağlayan, B.Ö.,” Depreme Dayanıklı Çelik Yapılar.”, Türk Yapısal Çelik Derneği, Alp Ofset, İstanbul., Teknik Yayınlar Dizisi 1, 58s, 2005.
- [9] Çelik, D., “Merkezi ve Dışmerkezi Güçlendirilmiş Çelik Uzay Çerçevelerin Sismik Performansı.” SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Yüksek Lisans Tezi, 73s, 2008.
- [10] Korkmaz A., Ay Z., Çelik D., “Merkezi Çaprazlı Çelik Yapıların Deprem Davranışlarının İncelenmesi”, Sigma Cilt 26, Sayı 1, Syf. 58–68, İstanbul, 2008
- [11] Korkmaz A., Ay Z., Çelik D., “Merkezi ve Dışmerkezi Çaprazlarla Güçlendirilen Çelik Binaların Doğrusal Olmayan Davranış”, Teknoloji, Cilt 11(2), Syf.105-120, Zonguldak, 2008
- [12] Korkmaz A., Ay Z., Çelik D., “Investigation of Inelastic Behaviour Concentric and Eccentric Braced Steel Building Type Structures”, Eurosteel, September 2008, Graz, Austria
- [13] TS 648, Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü. Ankara., 1980.
- [14] TS 498, Yapı Elamanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara., 1987.
- [15] Chopra, A.K., Goel R.K.,” Capacity – Demand – Diagram Methods for Estimating Seismic Deformation of Inelastic Structures: Sdf Systems”, report no. PEER- 1999/02, 1999.
- [16] Fajfar, P., EERI, M.,” A Nonlinear Analysis Method for Performance Based Design.”, earthquake spectra, vol.16, (no.3), pp.573-592, 2000.
- [17] Wilson E., Habibullah A.,” Sap 2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual”, Computers and Structures, Berkeley, 1998