



PhD Research Article / Doktora Çalışması Araştırma Makalesi
SEISMIC PERFORMANCE OF A MOMENT RESISTING FRAME WITH
ENERGY DISSIPATIVE SEMI RIGID CONNECTIONS

Nihan DOĞRAMACI AKSOYLAR*, A. Zafer ÖZTÜRK

Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yıldız-İSTANBUL

Received/Geliş: 15.12.2009 Accepted/Kabul: 16.08.2010

ABSTRACT

A low rise long span frame with energy dissipation zones in semi rigid connections, instead of beam ends, is designed in high seismic areas and its seismic performance is evaluated analytically. To achieve this, three story three bay symmetric frames are designed by using rigid and %60 capacity connections. Seismic performances of these frames are evaluated and compared with eigenvalue analyses, nonlinear pushover analyses and nonlinear time history analyses. 25 real strong ground motion records are scaled to three earthquake levels and 150 time history analyses are conducted for two sample frames. As a result of analyses periods, capacity curves, local and global limit states, plastic hinge occurrence locations and sequence, maximum shear forces - maximum displacements, story drifts, beam and column stresses and chord rotations, are determined. Finally results are compared with acceptance criteria of FEMA 356.

Keywords: Moment resisting frame, semi rigid connection, seismic performance, nonlinear pushover analysis, nonlinear time history analysis.

ENERJİ SÖNÜMLENDİREN YARI RİJİT BİRLEŞİMLİ BİR ÇELİK ÇERÇEVENİN DEPREM PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Depremselliği yüksek bölgelerde enerji sönmelenmesinin, kiriş uçları yerine, kiriş kolon düğüm noktalarında oluşacağı yarı rijit birleşimli, az katlı büyük açıklıklı bir çelik yapı tasarlanmış ve deprem etkileri altında performansı analitik olarak incelenmiştir. Bu amaçla üç katlı, üç açıklıklı simetrik bir sistem, rijit ve %60 birleşim kapasiteli olarak tasarlanmıştır. Ardından bu çerçevelerin deprem performansları, özdeğer, doğrusal olmayan statik itme analizi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizleriyle belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Dinamik analizlerde, 25 adet gerçek yer hareketi 3 farklı deprem seviyesine göre ölçeklendirilmiş ve iki örnek çerçeveye 150 adet analiz yapılmıştır. Analizler neticesinde, çerçevelerin periyotları, kapasite eğrileri, lokal ve global sınır durumları, plastik mafsall oluşum yerleri ve sıraları, maksimum kesme kuvveti – maksimum deplasman değerleri, kat öteleme oranları, kiriş, kolon gerilmeleri ve birleşim dönmeleri belirlenmiştir. Son olarak elde edilen sonuçlar FEMA 356’da verilen kabul edilebilirlik kriterleri ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Moment dayanımlı çelik çerçeve, yarı rijit birleşim, deprem davranışı, doğrusal olmayan statik itme analizi, zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz.

*Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: ndograma@yildiz.edu.tr, tel: (212) 383 52 13

1. GİRİŞ

Moment dayanımlı çelik çerçeveli sistemler, yüksek süneklik kapasiteleri ve ekonomik tasarım olanakları nedeniyle depremselliği yüksek bölgelerde az ve orta katlı binalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu tip yapılarda plastik mafsalların kolonlardan önce kirişlerde oluşmasını sağlamak ve yapının sünekliğini artırıp, göçmesini ertelemek için güçlü kolon zayıf kiriş ilkesi uygulanır. Az katlı büyük açıklıklı yapılarda uygulanan bu ilke gerekenden daha büyük kolon kesitlerinin seçilmesine ve ekonomik olmayan, aşırı güvenli tasarımlara neden olabilmektedir. Bu sorunu gidermek için özellikle Amerika'da uygulanan yöntem yapıların sadece dış çerçevelerini yatay yük taşıyan sistemler olarak tasarlamaktır. Ancak bu yapıların başlıca dezavantajlarından biri, sistemin yeniden dağılım imkânının sınırlı olmasıdır. Ayrıca 1994 Northridge ve 1995 Kobe depremleri sırasında rijit birleşimli moment dayanımlı çelik yapılarda ve özellikle tamamen kaynaklı birleşimlerde ağır ve beklenilmeyen hasarlar oluşmuş ve bu tip yapıların tasarım yöntemlerinin gözden geçirilmesine neden olmuştur. Bu çalışmalar kapsamında tamamen kaynaklı birleşimlere alternatif birleşim tipleri de araştırılmış ve yarı rijit birleşimlerin doğru tasarlandığı takdirde deprem etkileri altında yeterli sünekliğe ve kararlı histeretik (çevrimsel) davranışa sahip olduğu gösterilmiştir.

Son yıllarda yarı rijit (kısmi dayanımlı) birleşimlerin davranışı ve bu tarz birleşimli çerçevelerin deprem performansları, araştırmacıların yoğun ilgisini çekmektedir. Yarı rijit birleşimli çerçevelerin deprem performansını deneysel ve analitik olarak inceleyen çalışmaların öncülüğü Nader ve Astaneh [1, 2, 3], Elnashai ve Elghazouli [4], Elnashai vd. [5] ve SAC projesi kapsamında Maison ve Kasai [6] ile Maison vd. [7] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalarda, depremselliği yüksek bölgelerde bulunan rijit birleşimli çerçevelere alternatif olarak, enerji sönmülendirmesinin kiriş uçları yerine kiriş kolon düğüm noktalarında sağlandığı yarı rijit birleşimli çerçeveler incelenmiştir. Çalışmaların sonucunda yarı rijit birleşimlerin (örn. alt ve üst başlıklar ile gövdesi korniyerli, uzatılmış alın levhalı) doğru tasarlandığı takdirde, deprem etkileri altında yeterli sünekliğe ve kararlı histeretik davranışa sahip olduğu gösterilmiş ve depremselliği yüksek bölgelerde kullanılabilmesi vurgulanmıştır. Ayrıca az katlı yapılarda, rijit birleşimli çerçevelerin en ekonomik çözüm olmadığı ve en uygun çözümün, yarı rijit birleşimli çerçevelerle elde edilebileceği de özellikle belirtilmiştir. Yukarıda değinilen çalışmaların yanı sıra, literatürde yarı rijit birleşimli çerçevelerin dinamik davranışını inceleyen birçok çalışma mevcuttur. Bunlardan bazıları Chui ve Chan [8], Lui ve Lopez [9], Awkar ve Lui [10], Foley ve Vinnakota [11, 12], Maison vd. [13] Salazar ve Haldar [14], Akbaş ve Chen [15] tarafından yapılmıştır.

Literatürde yapılan bu çalışmalarda, depremselliği yüksek bölgelerde yapılacak yarı rijit birleşimli çelik çerçevelerin potansiyel avantajlarından sıklıkla bahsedilmiştir. Buna rağmen, yarı rijit birleşimli çerçevelerin bahsedilen bu avantajlarının incelendiği araştırma sayısı oldukça azdır. Bu çalışmalarda da incelenen sistemler genellikle rijit birleşimli olarak tasarlanmış ve sadece rijit birleşimleri, yarı rijit birleşimlerle değiştirilerek kullanılmıştır.

Bu çalışmada depremselliği yüksek bölgelerde enerji sönmülendirmesinin kiriş uçları yerine kiriş kolon düğüm noktalarında oluşacağı yarı rijit birleşimli, az katlı büyük açıklıklı bir yapı tasarlanmış ve deprem etkileri altında performansı analitik olarak incelenmiştir. Bu amaçla üç katlı, üç açıklıklı simetrik bir sistem, rijit ve %60 eğilme kapasiteli (birleşimin moment taşıma kapasitesinin kiriş kapasitesine oranı) birleşimler kullanılarak iki farklı şekilde tasarlanmış ve deprem performansları karşılaştırılmıştır. Yarı rijit birleşimde %10 pekleşme oranı ele alınmış ve histeretik davranışı simetrik üç doğrulu kinematik pekleşmeli olarak modellenmiştir. Ardından bu çerçevelerin deprem performansları, özdeğer, doğrusal olmayan statik itme ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizlerle belirlenmiştir. Dinamik analizlerde 25 adet gerçek yer hareketi 3 farklı deprem seviyesine göre ölçeklendirilmiş ve iki örnek çerçeveye toplam 150 adet analiz yapılmıştır. Sonuç olarak, her iki çerçevenin de tüm deprem seviyelerinde, kabul edilebilirlik kriterlerini sağladığı görülmüştür. Ayrıca %60 kapasiteli birleşimlerin kullanıldığı

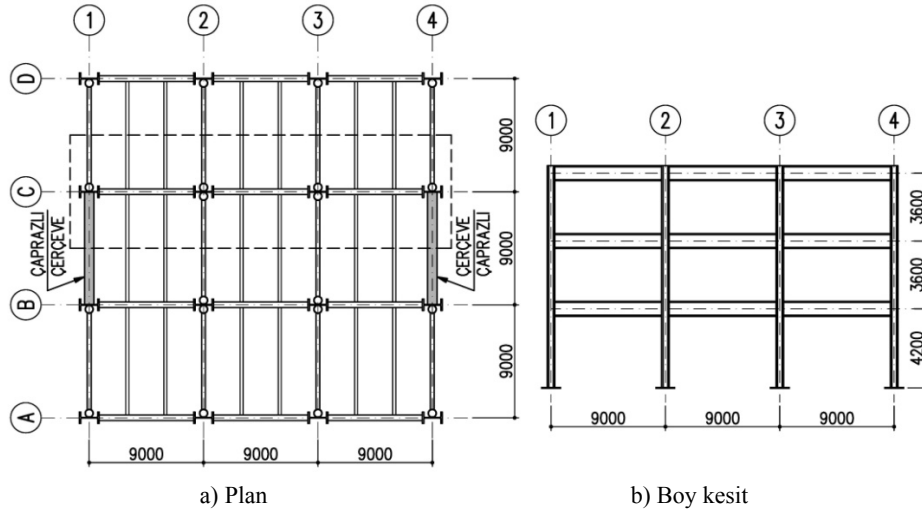
çerçevenin ortalama tepe deplasmanları tasarım ve maksimum deprem seviyesinde rijit birleşimli çerçeveden daha az olmuştur.

2. YAPININ TASARIMI VE ANALİZ PARAMETRELERİ

2.1. Yapının Tasarımı

Bu çalışmada tasarlanan örnek yapıda, tüm çerçeveler yatay yük taşıyan çerçeve olarak düzenlenmiştir. Tasarlanan örnek yapı planda simetrik bir düzenlemeye sahiptir. Yatay yükler kuzey güney (KG) doğrultusunda çaprazlı çerçevelerle, doğu batı (DB) doğrultusunda ise moment dayanımlı çerçevelerle taşınmaktadır. Bu çalışmanın amacı, yarı rijit birleşimli moment dayanımlı çerçevelerin deprem davranışını incelemek olduğundan, yapının KG doğrultusundaki tasarımı ve davranışı kapsam dışında tutulmuştur. Dolayısıyla sadece DB doğrultusunda yer alan moment dayanımlı çerçeveler tasarlanmış ve incelenmiştir. Yapıdaki tüm çerçeveler deprem yükü taşıdığından, sadece tipik bir iç çerçevenin tasarımı yapılmıştır. Ayrıca çerçeveler süneklik düzeyi yüksek çerçeveler olarak ele alınmıştır.

Örnek yapı simetrik üç katlı - üç açıklıklı ve 9.00m aks açıklığı kullanılarak tasarlanmıştır. Ayrıca yapıda, ilk kat yüksekliği 4.20m, diğer katların yüksekliği de 3.60m olarak düzenlenmiştir. Şekil 1'de örnek yapının planı ve boy kesiti verilmiştir. Analizlerde dikkate alınan çerçeve, şekil üzerinde işaretlenmiştir.



Şekil 1. Üç katlı, üç açıklıklı yapının a) planı, b) boy kesiti

Yapının tasarımında kullanılan sabit, hareketli ve deprem yükleri, ASCE 7-05 [17] yönetmeliğine göre belirlenmiştir. Normal katlar ve çatı katı için kabul edilen düşey yük değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Yapının zemin sınıfı D, kısa periyot parametresi $S_s = 1.50g$ ve bir saniye periyot parametresi $S_1 = 0.60g$ olarak alınmıştır.

Çizelge 1. Düşey yükler

Yük	Çatı Katı	Normal Kat
Sabit Yük	3.20 kN/m ²	3.20 kN/m ²
Hareketli Yük	1.00 kN/m ²	3.80 kN/m ²

Yapıların tasarımı Amerikan yönetmeliklerine (ASCE 7-05 [17], AISC 341S1-05 [18] ve 360-05 [19]) göre yapılmıştır. Ancak yarı rijit birleşimli çerçeveleri, depremselliği yüksek bölgelerde yönetmeliklere tamamen uygun olarak tasarlamak mümkün değildir. Bu nedenle %60 birleşim kapasiteli çerçevenin tasarımında, birleşimlerin sahip olması gereken minimum dayanımla ilgili olan yönetmelik maddesine uyulmamıştır. Ayrıca güçlü kolon zayıf kiriş ilkesi de uygulanmamıştır. Bunun yerine Eurocode EN 1998-1 [29] yönetmeliğinde verilen yaklaşıma benzer olarak, kolonların birleşimlerden daha güçlü olması sağlanmıştır. Bu amaçla AISC 341S1-05 [18] yönetmeliğindeki güçlü kolon zayıf kiriş ilkesi, kiriş kapasitesi yerine birleşim kapasitesi kullanılarak uygulanmıştır. Ayrıca yarı rijit birleşimler 6 bulonlu, uzatılmış alın levhalı olarak düzenlenmiştir. Yarı rijit birleşimlerin tasarımı AISC tasarım raporu 4'e [30] göre yapılmış ve Eurocode EN 1993-1-8'de [31] verilen elemana dayalı yöntemle de başlangıç rijitlikleri belirlenmiştir. Bu şekilde tasarlanan çerçevelerin kolon ve kiriş kesitleri Çizelge 2'de verilmiştir. Çerçevelerin bir katındaki tüm kolonlar ve kirişler aynı kesite sahiptir. Rijit birleşimli çerçevenin kiriş ve kolon ağırlıkları 14.3ton olurken, yarı rijit birleşimli çerçeveninki 13.4ton olmuştur.

Çizelge 2. Çerçevelerin eleman kesitleri

Kat	Rijit		%60 Kapasiteli	
	Kolon	Kiriş	Kolon	Kiriş
3. Kat	W12X96	W18x40	W12X96	W18x50
2. Kat	W12X136	W21x62	W12X106	W21x73
1. Kat	W12X152	W21x62	W12X120	W21x73

2.2. Analiz Platformu

Bu çalışmada çerçevelerin doğrusal olmayan statik itme ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizleri, Illinois Üniversitesi (Urbana-Champaign) Newmark Laboratuvarı'nda geliştirilen Zeus-NL (Elnashai vd. [20, 21]) analiz programıyla yapılmıştır. Bu program statik ve dinamik yükler altında iki ve üç boyutlu çelik, betonarme ve kompozit yapıların, malzeme ve geometri bakımından doğrusal olmayan analizlerini yapabilmektedir. Zeus-NL programında doğrusal olmayan malzeme davranışı, "lif" (fibre) yaklaşımı kullanılarak tek noktada yığılı olarak değil, eleman uzunluğu ve kesit yüksekliği boyunca yayılı olarak ele alınmaktadır. Ayrıca program geometrik olarak doğrusal olmayan analiz yapabildiği için, P- δ ve P- Δ etkilerinin gerçekçi olarak göz önüne alınmasını sağlamaktadır. Zeus-NL programında statik, özdeğer, geleneksel ve adaptif statik itme analizleri ve dinamik analizler yapılabilmektedir.

Analizlerde çelik malzeme, Zeus-NL programında tanımlı kinematik pekleşmeli bilineer elasto plastik malzeme modeli ile tariflenmiştir. Bu çalışmada çeliğin elastisite modülü 200000MPa olarak alınmıştır. AISC 2000c [22] yönetmeliği W profilleri için A992 çeliğinin kullanılmasını önermektedir. Bu sınıftaki çeliğin minimum akma dayanımı 345MPa, beklenen akma dayanımı 390MPa'dır. Statik itme ve dinamik analizler yapının performans değerlendirmesi için yapıldığından, malzeme beklenen akma dayanımı kullanılarak modellenmiştir. Ayrıca pekleşme katsayısı da 0.01 olarak kabul edilmiştir.

Kiriş ve kolonlar üç boyutlu kübik elasto plastik kiriş kolon elemanları kullanılarak modellenmiştir. Bu eleman tipinde nümerik entegrasyonlar iki Gauss kesitinde yapılmaktadır. Her bir Gauss kesitinde gerilmeler ve şekil değiştirmeler, malzeme ilişkilerine dayanan "lif" (fibre)

yaklaşımıyla eleman uzunluğu ve kesit yüksekliği boyunca değişken olarak elde edilir. Bu nedenle mafsallı oluşması beklenen bölgelerde ayrıca mafsallı tanımlaması yapmaya gerek yoktur.

Yarı rijit birleşimlerin kuvvet - deplasman ilişkileri, Zeus-NL programında bulunan noktasal yaylarla tanımlanmıştır. Statik itme ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizlerde yarı rijit birleşimlerin moment dönme ilişkileri, simetrik üç doğrulu bilineer kinematik pekleşmeli yay elemanı (SMTR) ile modellenmiştir (Elnashai vd. [21]). Bu tip elemanlarda rijitlik ya da dayanım azalması göz önüne alınmamaktadır. Bu nedenle birleşimlerin FEMA 356 [16]'da tanımlanan dayanım azalması noktasına ulaşış ulaşmadığı ayrıca kontrol edilmiştir.

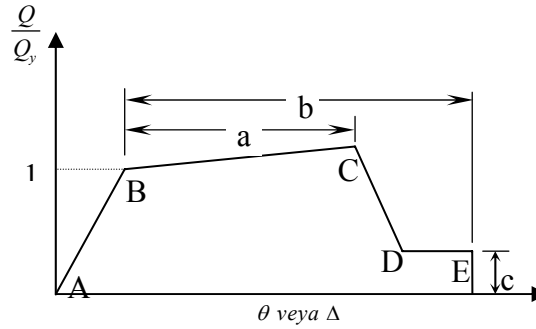
Bu çalışmada rijit ve %60 birleşim kapasiteli çerçeveler, Zeus-NL programında iki boyutlu olarak modellenmiştir. Kolon ve kirişler uç kısımları daha küçük boyutlu elemanlardan oluşacak şekilde sekiz parçaya bölünmüştür. Yapıya etkiyen düşey yükler kiriş - kolon birleşim bölgelerinden ve kirişlerin üçte bir noktalarından etkilmiştir. Statik itme analizinde kullanılan yatay yük dağılımı, yapının birinci moduna uygun olarak ters üçgen şeklinde tanımlanmış ve çerçeveye kat hizalarından etkilmiştir. Dinamik analizlerde kullanılan tüm deprem yer hareketleri, kolon kiriş düğüm noktalarına eşdeğer yatay yük şeklinde etkilmiştir. Ayrıca sönümün etkisi Rayleigh sönümüyle tanımlanmıştır. Her bir çerçevenin kütle ve rijitlikle orantılı sönüm parametreleri, birinci ve üçüncü periyotlar kullanılarak %2 sönüm oranına göre belirlenmiştir. Her bir katın kütlesi ise kiriş kolon birleşim noktalarından yığılı olarak tanımlanmıştır.

2.3. Davranış Kriterleri

Çerçevelerin deprem performanslarını belirlemek için yapılan statik itme ve dinamik analiz sonuçlarının değerlendirilmesi için, taşıyıcı sistemin lokal ve global davranışlarıyla ilgili çeşitli sınır durumlarının tanımlanması gerekmektedir.

Kiriş ve kolon elemanları için lokal akma noktası, enkesitin en uç lifinde çeliğin akma şekil değiştirme değerini aştığı an olarak kabul edilmiştir. Birleşimler için ise bu nokta, Eurocode EN 1993-1-8'de [31] tanımlandığı gibi, taşıma kapasitesinin %67'sinin aşıldığı an olarak kabul edilmiştir. Yapı seviyesinde akma noktasının belirlenmesi, lokal seviyeye göre daha karmaşık bir durumdur. Bu çalışmadaki örnek çerçevelerde akma noktası, sistemin kapasite eğrisine azaltılmış rijitlikli elastik tam plastik idealizasyon yapılarak hesaplanmıştır. Bu idealizasyonda çerçevenin göçme dayanımının %75'inden geçen sekant rijitliği, başlangıç rijitlik değeri olarak kabul edilmiş ve bu rijitliğin göçme dayanımına ulaştığı deplasman ise akma deplasmanı olarak tanımlanmıştır.

Eleman seviyesinde göçme sınırının belirlenmesi, bu noktaya yakın durumlarda eleman davranışında ani değişiklikler olduğundan, akma sınır durumuna göre daha zordur. Bu çalışmada; kolon, kiriş ve birleşimler için FEMA 356 [16]'da verilen ilk dayanım azalma noktası (Şekil 2'de "C" olarak gösterilmiştir.) elemanın göçme sınır durumu olarak kabul edilmiştir.



Şekil 2. Genelleştirilmiş yük – deplasman ilişkisi (FEMA 356 [16]'dan alınmıştır)

Yapı seviyesinde göçme sınır durumunu belirlemek için ise üç ayrı kriter kullanılmıştır. Bu kriterler; *i*) yatay kat ötelemesi sınırı, *ii*) göçme mekanizması oluşumu ve *iii*) yatay dayanımda azalmadır. Kat ötelemesi (KÖ) sınırı en temel ve en sık kullanılan göçme kriteridir. Literatürde KÖ sınır durumu için çeşitli değerler önerilmiştir (Broderick ve Elnashai [23], Elghazouli vd. [24], vb.). FEMA 356 [16] yönetmeliği ise moment dayanımlı çelik çerçevelerin kat öteleme sınırını, can güvenliği (CG) performans seviyesi için %2.5 ve göçmenin önlenmesi (GÖ) performans seviyesi için %5 olarak vermiştir. Bu çalışmada KÖ sınırı olarak, hem yönetmeliğin verdiği sınırlar hem de literatürde yapılan çalışmalarda önerilen %3 değeri kullanılmıştır. Ayrıca ilk göçme mekanizması oluşma anı da global göçme noktası olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada en kesitin her iki ucunun en uzak noktası, akma şekil değiştirme değerine ulaştığında, plastik mafsal oluştuğu (Broderick ve Elnashai [23]; Elghazouli vd. [24]) kabul edilmiştir. Bu sınır durumlarına ek olarak yapının yatay dayanım kapasitesinin %10 azalması da göçme kriteri olarak kabul edilmiştir.

2.4. Yer Hareketi Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi

Dinamik analizlerde, yapının bulunduğu bölgenin zemin karakteristiği belirli ise, buranın sismolojik ve geoteknik koşullarını yansıtan kayıtlar, uygun yer hareketlerinden seçilebilir. Aksi takdirde kullanılacak yer hareketi kaydı tasarım deprem seviyesini yansıtacak şekilde ölçeklendirilmelidir. Bu çalışmada kullanılan gerçek yer hareketleri ATC 63 [25] yönetmeliğinde önerilen kayıt setleri göz önüne alınarak, deprem büyüklüğüne, kaynak mekanizmasına, faya olan uzaklığa, zemin koşullarına ve PGA/PGV oranına göre seçilmiştir.

Sawada vd. [26] çalışmasında düşük PGA/PGV oranlı yer hareketlerinin, geniş davranış spektrumu, baskın düşük frekans, uzun etkin süre, orta ve yüksek büyüklüklü deprem ve uzak merkez üssü mesafe özelliklerine sahip olduğunu belirtmiştir. Benzer şekilde yüksek PGA/PGV oranlı kayıtların ise dar davranış spektrumu, baskın yüksek frekans, kısa etkin süre, küçük ve orta büyüklüklü deprem ve kısa merkez üssü mesafe özelliklerine sahip olduğunu belirtmiştir. Broderick ve Elnashai [23], Elnashai ve McClure [27] çalışmalarında ise zemin şartlarının tam olarak bilinmediği bölgelerde yapılan yapıların deprem davranışlarını incelemek için bu yaklaşım kullanılmıştır. Rijit yapılarda, PGA/PGV oranı yüksek olan yer hareketi kayıtları daha etkili olurken, daha esnek yapılarda, PGA/PGV oranı düşük olan yer hareketi kayıtları etkili olmaktadır. PGA/PGV oranı için yaklaşık aralıklar:

Düşük	$PGA/PGV < 0.8$
Orta	$0.8 < PGA/PGV \leq 1.2$
Yüksek	$PGA/PGV > 1.2$

şeklinde verilmiştir. Burada PGA değeri (g) ve PGV değeri (m/sn) cinsinden verilmiştir.

Seçilen faya uzak ve yakın yer hareketi kayıtları sırasıyla Çizelge 3'de ve Çizelge 4'de verilmiştir. Ayrıca her bir gruptaki yer hareketi kayıtları PGA/PGV oranlarına göre de sınıflandırılmıştır.

Yer hareketi kayıtları kendilerine has özellikleri (örn. maksimum yer ivmesi, etkin süreleri, frekans içeriği v.b.) açısından çeşitlilik gösterirler. Yer hareketinin bir girdi parametresi olarak deprem talebi üzerindeki etkisini incelemek için aynı şiddet seviyelerine sahip kayıtların kullanılması zorunludur. Bu nedenle yer hareketi kayıtlarının benzer bir şiddet seviyesi göstermesi için ölçeklendirmesi gerekir. Ölçeklendirme işlemi temelde iki adımdan oluşur. İlk olarak kayıtlar, aralarında olabilecek büyük farkları gidermek amacıyla normalize edilir. Daha sonra normalize edilen kayıtlar belirli bir deprem etkisini yansıtmak için ölçeklendirilir.

Bu çalışmada yer hareketi kayıtları öncelikle spektrum hız şiddeti (Housner [28]) metodu kullanılarak normalize edilmiş, ardından ASCE 7-05'de verilen ölçeklendirme yöntemine göre ölçeklendirilmiştir. Spektrum şiddetiyle ölçeklendirme metodunun temeli olan Housner

çalışmasında, belirli bir bölgedeki deprem etkisi spektrum şiddetiyle ifade edilmiş ve bu değer 0.1sn ile 2.5sn periyot aralığında elastik hız spektrumunun altında kalan bölgenin alanı olarak tanımlanmıştır:

$$SI_H = \int_{0.1}^{2.5} S_v(T, \xi) dT$$

burada S_v hız spektrumu eğrisi, T titreşim periyodu ve ξ sönüm katsayısıdır. Bu çalışmada Housner'in çalışmasındaki entegrasyon sınırlarından farklı olarak yapının periyoduna bağlı entegrasyon sınırları kullanılmıştır. Bu sınırlar $0.8T$ ile $1.5T$ olarak alınmıştır. Ayrıca normalize edilen kayıtlar, ortalama ivme spektrumları, $0.8T$ ile $1.5T$ arasında tasarım spektrumunun üstünde kalacak şekilde ölçeklendirilmiştir.

Çizelge 3. Faya uzak yer hareketi kayıtları

No	Yıl	Deprem	M	Kayıt İstasyonu	Mes. (km) ^a	Zem. Sınıfı ^b	Bileşeni	PGA (g)	$\frac{PGA}{PGV}$ (g/ms-1)
1	1999	Kocaeli	7.5	Düzce	15.4	D	DZC180	0.312	0.531
2	1989	Loma Prieta	6.9	Emeryville	77.0	D	EMY260	0.260	0.633
3	1995	Kobe	6.9	Shin Osaka	19.2	D	SHI090	0.212	0.760
4	1999	Kocaeli	7.5	Düzce	15.4	D	DZC270	0.358	0.772
5	1979	Imper.Valley	6.5	El Centro#11	12.5	D	HE11140	0.380	0.903
6	1994	Northridge	6.7	CanyonCount	12.4	D	LOS000	0.410	0.953
7	1989	Loma Prieta	6.9	Emeryville	77.0	D	EMY350	0.215	1.000
8	1976	Friuli	6.5	Tolmezzo	15.8	C	ATMZ270	0.315	1.023
9	1999	Düzce	7.1	Bolu	12.0	D	BOL000	0.728	1.291
10	1992	Cape Mend.	7.0	Rio Dell Ov.	14.3	D	RIO360	0.549	1.304
11	1995	Kobe	6.9	Nishi Akashi	7.1	C	NIS090	0.503	1.374
12	1989	Loma Prieta	6.9	Capitola	15.2	D	CAP000	0.529	1.449
13	1989	Loma Prieta	6.9	Capitola	15.2	D	CAP090	0.443	1.512

2.5. Yapılan Analizler

Rijit ve %60 kapasiteli çerçevenin elastik periyotlarının ve mod şekillerinin belirlenmesi için özdeğer analizleri yapılmıştır. Çerçevelerin statik itme analizleri yer değiştirme kontrollü olarak ve kuvvet bazlı artımsal yatay yükler etkilerek gerçekleştirilmiştir. Artımsal yatay yükler uygulanmadan önce yapıya sabit düşey yükler etkilmiştir. Çerçevelere kat hizalarından etkilenen artımsal yatay yükler, yönetmeliğin (ASCE 7-05 [17]) önerdiği ve yapının etkin moduna yakın olan dağılımla (ters üçgen) uygulanmıştır. Bu yükler, kontrol noktasının seçilen yer değiştirme değerine ulaşmasına kadar monotonik olarak artırılmıştır. Bu analizler sonucunda çerçevelerin kapasite eğrileri, lokal ve global akma ve göçme sınır durumları belirlenmiştir. Ayrıca çerçevelerin dinamik analizleri 11 farklı depremden elde edilen 25 adet gerçek deprem yer hareketi kaydı altında yapılmıştır. Bu yer hareketlerinin 13'ü faya uzak, 12'si ise faya yakın yer hareketlerinden oluşmaktadır. Bu analizlerin sonucunda yapıların maksimum kesme kuvveti-maksimum deplasman değerleri, kat ötelemeleri, kolon ve kiriş gerilmeleri ve birleşim dönmeleri belirlenmiştir.

Çizelge 4. Faya yakın yer hareketi kayıtları

No	Yıl	Deprem	M	Kayıt İstasyonu	Mes. (km) ^a	Zem. Sınıfı ^b	Bileşeni	PGA (g)	$\frac{PGA}{PGV}$ (g/ms-1)
1	1999	Düzce	7.1	Düzce	6.6	D	DZC180	0.348	0.580
2	1999	Düzce	7.1	Düzce	6.6	D	DZC270	0.535	0.641
3	1994	Northridge	6.7	Slymar O. V.	5.3	C	SYL360	0.843	0.650
4	1999	Kocaeli	7.5	İzmit	7.2	B	IZT090	0.220	0.738
5	1992	Erzincan	6.7	Erzincan	4.4	D	ERZEW	0.496	0.771
6	1976	Gazli	6.8	Karakyr	5.5	C	GAZ090	0.718	1.003
7	1989	Loma Prieta	6.9	Corralitos	3.9	C	CLS000	0.644	1.167
8	1992	Cape Mend.	7.0	Cape Mend.	7.0	C	CPM000	1.497	1.175
9	1979	Imp. Valley	6.5	Bonds Cor.	2.7	D	HBCR140	0.588	1.301
10	1994	Northridge	6.7	Arleta	8.7	D	ARL360	0.308	1.328
11	1979	Imp. Valley	6.5	Bonds Cor.	2.7	D	HBCR230	0.775	1.688
12	1985	Nahanni	6.8	Site 1	9.6	C	S1010	0.978	2.126
1	1999	Düzce	7.1	Düzce	6.6	D	DZC180	0.348	0.580

^a En yakın uzaklık

^b ASCE 7-05 yönetmeliği Tablo 20.3-1'e göre V_s (kayma dalgası hızı) = 760 – 1500 m/sn için B, V_s = 360 – 760 m/sn için C ve V_s = 180 – 360 m/sn için D verilmiştir.

3. ANALİZ SONUÇLARI

3.1. Özdeğer Analizleri

Yapıların özdeğer analizlerinden elde edilen ilk üç periyodu Çizelge 5'de verilmiştir. Birleşim rijitliğinin azalması periyotların artmasına yol açmıştır. %60 birleşim kapasiteli çerçevenin, rijit çerçeveye göre birinci, ikinci ve üçüncü periyotlarındaki artış sırasıyla %14, %11 ve %12 olmuştur. Yapıların periyotlarındaki bu artış deprem tasarımları için oldukça önemlidir. Yapıların yatay rijitliklerinin azalması nedeniyle yatay yer değiştirmeler artmaktadır. Diğer taraftan uzun periyotlu yapılara etkileyecek deprem yükü de daha azdır.

Çizelge 5. Elastik periyotlar

Çerçeve Tipi	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot
Rijit	0.767	0.251	0.130
% 60 kapasiteli	0.874	0.278	0.146
Artış	%14	%11	%12

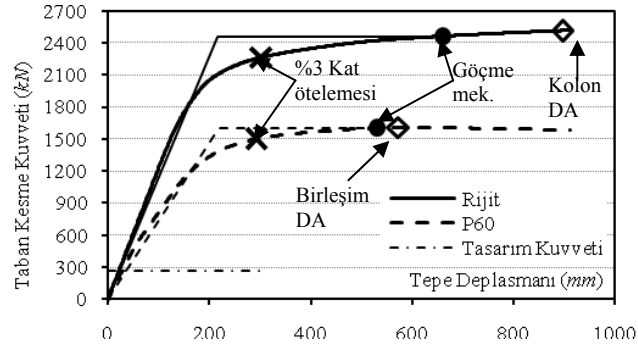
3.2. Statik İtme Analizleri

Rijit ve %60 birleşim kapasiteli çerçevelerin statik itme analizleri sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti – tepe deplasmanı ilişkisi Şekil 3'de verilmiştir. Ayrıca çerçevelerin deprem tasarımında kullanılan taban kesme kuvveti değeri de şekil üzerinde gösterilmiştir. Beklenildiđi

üzere birleşimin taşıma kapasitesindeki azalma, çerçevenin başlangıç rijitliğini ve toplam yatay yük taşıma kapasitesini azaltmıştır.

Çerçeve elemanlarının akma ve göçme sınır durumlarının gerçekleşme anlarına karşı gelen tepe deplasman değerleri Çizelge 6'da verilmiştir. Analiz sonuçlarından görüldüğü üzere rijit birleşimli çerçevelerde ilk akma kiriş elemanında gerçekleşirken, yarı rijit birleşimli çerçevelerde ilk akma birleşimlerde ve rijit çerçeveye nispeten oldukça erken bir zamanda meydana gelmiştir. Ayrıca yarı rijit birleşimli çerçevede kolon akması rijit birleşimli çerçeveye göre daha geç bir tepe deplasmanında gerçekleşmiştir. Rijit birleşimli çerçeve kolonlarının 899mm tepe deplasmanında göçme sınır durumuna ulaşmasına rağmen yarı rijit birleşimli çerçevenin kolonlarında göçme sınır durumuna ulaşılmamıştır. Buna karşılık yarı rijit birleşimli çerçevenin birleşimlerinde göçme sınır durumuna 573mm tepe deplasmanında ulaşılmıştır.

Rijit ve %60 kapasiteli çerçevelerin incelenen global göçme sınır durumlarına karşı gelen tepe deplasman değerleri Çizelge 7'de verilmiştir. Ayrıca bu sınır değerlerin gerçekleşme anları Şekil 3'de verilen kapasite eğrisi üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3. Kapasite eğrileri ve global göçme sınırları

Çizelge 6. Lokal sınır durumlarının gerçekleşme tepe deplasmanları (mm)

Çerçeve Tipi	Lokal Akma			Lokal Göçme		
	Kiriş	Kolon	Birleşim	Kiriş	Kolon	Birleşim
Rijit	105	139	-	-	899	-
% 60 kapasiteli	-	156	39	-	-	573

Çizelge 7. Global göçme sınırlarının gerçekleşme deplasmanları (mm)

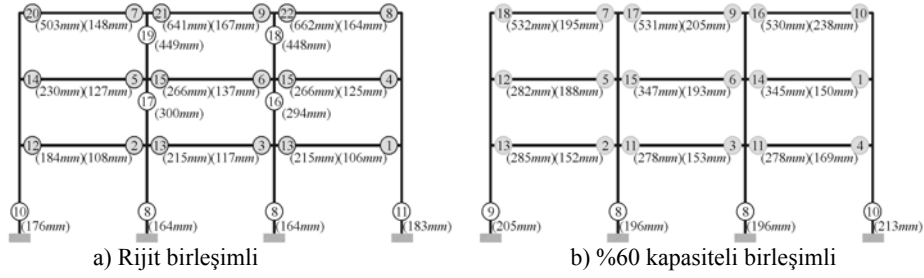
Çerçeve Tipi	%3 Kat Ötelemesi	Göçme Mek.	Dayanım Azalması
Rijit	303	662	-
% 60 kapasiteli	294	532	-

Yapıların global akma noktası belirlenirken her bir global göçme sınır durumu ayrı ayrı ele alınmıştır. Çerçevelerin global akma noktaları, bu sınır durumlarına göre kapasite eğrilerine azaltılmış rijitlikli bilineer elastik tam plastik idealizasyon yapılarak bulunmuştur. Göçme mekanizması oluşması sınır durumuna göre elde edilen bilineer idealizasyon Şekil 3'de gösterilmiştir. Çerçevelerin elde edilen akma deplasmanları ise Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 8. Global akma sınırlarının gerçekleşme deplasmanları (mm)

Çerçeve Tipi	%3 Kat Ötelemesi	Göçme Mek.	Dayanım Azalması
Rijit	190	217	-
% 60 kapasiteli	197	218	-

Statik itme analiziyle rijit birleşimli ve %60 kapasiteli çerçevelerde oluşan plastik mafsall oluşum yerleri ve sıraları Şekil 4’de verilmiştir. Rijit çerçevede plastik mafsallar kiriş ve kolon uçlarında, yarı rijit çerçevede ise kiriş - kolon birleşim bölgelerinde ve kolon uçlarında oluşmuştur. Her iki yapının da göçme mekanizmasını, kiriş mekanizmaları oluşturmuştur. %60 birleşim kapasiteli çerçevede en alt kolonların alt uçları hariç hiçbir kolonda plastik mafsall oluşmamıştır. Buna karşın rijit birleşimli çerçevenin ikinci ve üçüncü kat kolonlarında plastik mafsallar oluşmuştur.

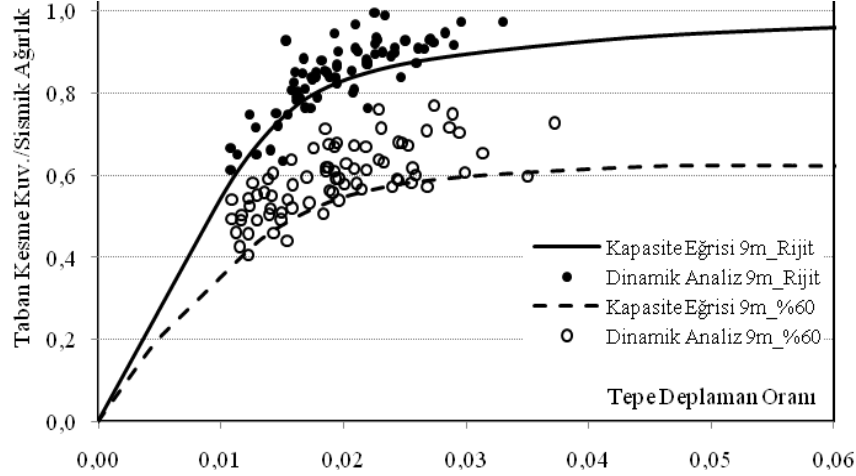


Şekil 4. Plastik mafsall oluşum yerleri ve sırası

Son olarak hedef deplasman değerleri, FEMA 356’da verilen katsayılar yöntemine göre, rijit ve %60 birleşim kapasiteli çerçeveler için sırasıyla 137mm ve 156mm olarak hesaplanmıştır. Belirlenen hedef deplasman değerine göre yapılan kabul edilebilirlik kontrolleri, her iki çerçevede de sağlanmıştır.

3.3. Dinamik Analizler

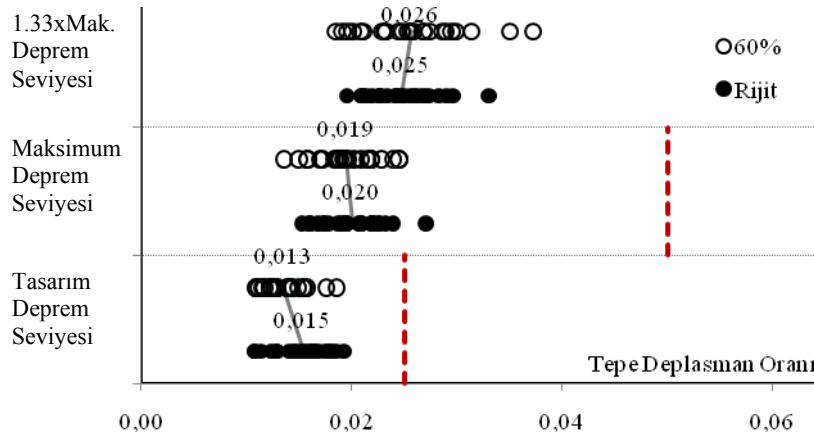
25 adet yer hareketi kaydı üç farklı deprem seviyesi için ölçeklendirilmiş ve 75 adet kayıt üretilmiştir. Ele alınan üç farklı deprem seviyesi: *i*) Tasarım deprem seviyesi, *ii*) Maksimum deprem seviyesi (1.5xTasarım Depremi) ve *iii*) 1.33xMaksimum deprem seviyesidir. Her bir örnek çerçevenin, elde edilen 75 adet yer hareketi altında dinamik analizi yapılmıştır. Rijit ve yarı rijit birleşimli çerçevelerin global davranışları hakkında daha iyi bir değerlendirme yapabilmek için dinamik analiz sonucu elde edilen maksimum taban kesme kuvveti – maksimum tepe deplasmanı değerleri, statik itme analizinden elde edilen kapasite eğrileri ile karşılaştırılarak Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. Taban kesme kuvveti – tepe deplasmanı ilişkisi

Yukarıdaki grafikten de görüldüğü gibi yapı elastik sınırlar içinde olduğunda, statik itme ve dinamik analiz sonuçları birbirlerine daha yakın sonuçlar vermiştir. Yapının elastik ötesi davranışında ise dinamik analizlerle statik itme analizi arasındaki fark artmıştır. Ayrıca yarı rijit birleşim kullanılması, çerçevede oluşan taban kesme kuvvetini azaltmıştır.

Dinamik analizler sonucunda çerçevelerin maksimum tepe deplasmanları ve her katın yatay öteleme değerleri tasarım, maksimum ve maksimum depremin 1.33 katı için belirlenmiştir. Rijit ve %60 birleşim kapasiteli çerçevelerin, 25x3 yer hareketi kaydı altında elde edilen tepe deplasman oranları karşılaştırmalı olarak Şekil 6'da gösterilmiştir. Ayrıca her deprem seviyesi için rijit ve %60 birleşim kapasiteli çerçevelerin her katındaki minimum, maksimum ve ortalama kat öteleme oranları ise sırasıyla Çizelge 9 ve Çizelge 10'da verilmiştir.



Şekil 6. Tepe deplasman oranları

Şekil 6'dan da görüldüğü üzere tüm deprem seviyeleri için 25 adet yer hareketi altında hem rijit birleşimli, hem de %60 birleşim kapasiteli çerçevenin ortalama tepe deplasman oranları

kabul edilebilirlik sınırlarını (tasarım deprem seviyesi için %2.5 ve maksimum deprem seviyesi için %5) sağlamıştır. Ayrıca %60 birleşim kapasiteli çerçevenin ortalama tepe deplasmanları tasarım ve maksimum deprem seviyelerinde rijit birleşimli çerçeveden daha küçüktür.

Çizelge 9. Rijit birleşimli çerçevenin kat öteleme oranları

Kat	Tasarım Depremi			Maksimum Deprem			1.33xMaks. Deprem		
	Min	Ort.	Maks.	Min	Ort.	Maks.	Min	Ort.	Maks.
1. Kat	0.010	0.014	0.021	0.013	0.019	0.026	0.017	0.025	0.038
2. Kat	0.013	0.018	0.022	0.018	0.023	0.031	0.023	0.028	0.037
3. Kat	0.010	0.016	0.025	0.014	0.021	0.039	0.018	0.026	0.044

Çizelge 10. %60 birleşim kapasiteli çerçevenin kat öteleme oranları

Kat	Tasarım Depremi			Maksimum Deprem			1.33xMaks. Deprem		
	Min	Ort.	Maks.	Min	Ort.	Maks.	Min	Ort.	Maks.
1. Kat	0.009	0.013	0.019	0.011	0.018	0.028	0.015	0.023	0.044
2. Kat	0.013	0.016	0.022	0.017	0.023	0.029	0.023	0.030	0.042
3. Kat	0.010	0.015	0.026	0.015	0.023	0.034	0.022	0.030	0.041

Rijit ve %60 birleşim kapasiteli çerçevelerin, tüm katlarında oluşan ötelemeler kabul edilebilirlik şartlarını tüm deprem seviyelerinde ve tüm yer hareketi kayıtları altında sağlamıştır. Rijit ve %60 birleşim kapasiteli çerçevelerin ortalama kat öteleme değerleri her kat ve her deprem seviyesi için Çizelge 11'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 11. Çerçevelerin ortalama kat ötelemelerinin karşılaştırılması

Kat	Tasarım Depremi			Maksimum Deprem			1.33xMaks. Deprem		
	Ort. $K\ddot{O}$			Ort. $K\ddot{O}$			Ort. $K\ddot{O}$		
	Rijit	%60	Oran	Rijit	%60	Oran	Rijit	%60	Oran
1. Kat	0.014	0.013	%90	0.019	0.018	%93	0.025	0.023	%94
2. Kat	0.018	0.016	%90	0.023	0.023	%99	0.028	0.030	%106
3. Kat	0.016	0.015	%96	0.021	0.023	%107	0.026	0.030	%117

Çizelge 11'den görüldüğü üzere %60 birleşim kapasiteli çerçevenin ortalama kat ötelemeleri, rijit birleşimli çerçeveye göre tasarım deprem seviyesinde %4 ~ %10 arasında azalmıştır. Maksimum deprem seviyesinde %7 azalma ve %7 artma, 1.33xMaksimum deprem seviyesinde ise %6 azalma ve %17 artma gözlenmiştir.

Ayrıca dinamik analizler sonucunda rijit ve %60 birleşim kapasiteli çerçevenin her katı için maksimum kolon gerilme değerleri, tasarım, maksimum ve maksimum depremin 1.33 katı için belirlenmiştir. Çerçevelerin ortalama kolon gerilme değerleri her kat ve her deprem seviyesi için Çizelge 12'de verilmiştir.

%60 birleşim kapasiteli çerçevenin tasarımında, rijit çerçeveye göre daha küçük kolon kesitleri seçilmiştir (Çizelge 2). Ancak, %60 birleşim kapasiteli çerçevede rijit çerçeveye göre birleşim kapasitesi azalmasına rağmen, 3. katta mümkün olan en küçük kolon kesiti kullanıldığından kolon boyutunda bir değişiklik olmamıştır. Kolonlarda oluşan gerilmeler incelenirken, kolon boyutlarındaki bu değişim de göz önüne alınmalıdır.

Çizelge 12. Çerçeveselerin ortalama kolon gerilmeleri (MPa)

Kat	Tasarım Depremi			Maksimum Deprem			1.33xMaks. Deprem		
	Ort. $K\ddot{O}$		Oran	Ort. $K\ddot{O}$		Oran	Ort. $K\ddot{O}$		Oran
	Rijit	%60		Rijit	%60		Rijit	%60	
1. Kat	393	383	%98	404	398	%99	416	408	%99
2. Kat	339	290	%85	385	342	%89	392	372	%95
3. Kat	301	237	%79	359	289	%80	384	325	%85

Çizelge 12'den de görüldüğü gibi, %60 birleşim kapasiteli çerçevelerin ortalama kolon gerilmeleri her katta ve her deprem seviyesinde rijit çerçevenin ortalama kolon gerilmelerinden daha azdır. Tasarım deprem seviyesi için bu azalma % 2 ile %21 arasında, maksimum deprem seviyesinde %1 ile %20 arasında, 1.33xMaksimum deprem seviyesi için de %1 ile %15 arasında olmuştur. Azalmalar kolon kesitlerinin değişmediği 3. katta diğer katlara nazaran daha büyüktür.

%60 birleşim kapasiteli çerçevenin, her kat birleşimlerinde oluşan maksimum dönme değerleri tasarım, maksimum ve maksimum depremin 1.33 katı için analizler sonucunda belirlenmiştir. %60 birleşim kapasiteli çerçevenin her kat ve her deprem seviyesi için minimum, maksimum ve ortalama birleşim dönme değerleri Çizelge 13'de verilmiştir.

Çizelge 13. %60 birleşim kapasiteli çerçevenin minimum, ortalama ve maksimum birleşim dönmeleri (rad)

Kat	Tasarım Depremi			Maksimum Deprem			1.33xMaks. Deprem		
	Min	Ort.	Maks.	Min	Ort.	Maks.	Min	Ort.	Maks.
1. Kat	0.009	0.014	0.022	0.013	0.021	0.030	0.020	0.028	0.045
2. Kat	0.008	0.012	0.020	0.013	0.020	0.027	0.019	0.027	0.036
3. Kat	0.007	0.013	0.026	0.013	0.021	0.036	0.018	0.029	0.042

Tüm deprem seviyeleri için, 25 adet yer hareketi kaydı altında %60 birleşim kapasiteli çerçevenin her katında ortalama birleşim dönme değerleri, kabul edilebilirlik sınırlarını (uzatılmış alın levhalı bulonlu birleşimin ince levha davranışı için, tasarım deprem seviyesinde 0.028rad ve maksimum deprem seviyesinde 0.035rad) sağlamıştır. Ancak sonuçlar kayıt bazında tek tek incelendiğinde, tasarım deprem ve maksimum deprem seviyesi için yapılan 50 adet analizden sadece 1 tanesinde (maksimum deprem seviyesinde, 3.katta) kabul edilebilirlik sınırı aşılmıştır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada deprenselliği yüksek bölgelerde enerji sönmülmesinin kiriş uçları yerine kiriş kolon düğüm noktalarında oluşacağı %60 taşıma kapasiteli yarı rijit birleşimli bir yapı tasarlanmış ve yer hareketleri altında deprem performansı analitik olarak incelenmiştir. Ayrıca aynı yapı rijit birleşimli olarak da tasarlanmış ve yer hareketleri altındaki davranışı %60 birleşim kapasiteli yapı ile karşılaştırılmıştır. Tasarlanan %60 birleşim kapasiteli çerçevenin kolon ve kirişlerinin toplam ağırlığı, rijit birleşimli çerçeve ağırlığından %6 daha azdır.

%60 birleşim kapasiteli çerçevenin periyodu, hem kesitlerin azalmasıyla hem de yarı rijit birleşimlerin kullanılmasıyla rijit çerçeveye göre artmış, dolayısıyla çerçeveye gelen deprem yükleri azalmıştır. Yapılan statik itme analizleri sonucunda yarı rijit birleşimli çerçevenin taşıma kapasitesinin azaldığı ve göçme sınır durumlarına rijit çerçeveye göre daha erken ulaşıldığı görülmüştür. 25 adet yer hareketi altında yapılan dinamik analizler neticesinde, %60 birleşim kapasiteli çerçevede daha az taban kesme kuvveti olduğu ve ortalama tepe deplasmanlarının tasarım ve maksimum deprem seviyesinde rijit birleşimli çerçeveden daha az olduğu görülmüştür. Ayrıca yarı rijit birleşimli çerçevede oluşan kolon gerilmeleri rijit çerçevede oluşanlardan daha az

olmuştur. Bu azalma kolon kesitlerinin her iki çerçevede de aynı olduğu üçüncü katlarda %15 ila %21 arasında değişmiştir.

Sonuç olarak her iki çerçeve kolonlarının, kirişlerinin, birleşimlerinin ve kat ötelemelerinin tüm deprem seviyeleri için kabul edilebilirlik şartlarını sağladığı ve deprem etkileri altında yeterli ve güvenilir bir performansa sahip oldukları görülmüştür.

REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Nader, M.N. and Astaneh, A.A., (1991), "Dynamic Behavior of Flexible, Semirigid and Rigid Steel Frames", Journal of Construction Steel Research, 18, 179-192.
- [2] Nader, M.N. and Astaneh, A.A., (1992), "Seismic Behavior and Design of Semirigid Steel Frames", UCB/EERC-92/06, University of California at Berkeley.
- [3] Nader, M.N. and Astaneh, A.A., (1996), "Shaking Table Tests of Rigid, Semirigid and Flexible Steel Frames", Journal of Structural Engineering, 122, 6, 589-596.
- [4] Elnashai, A.S., Elghazouli, A.Y., (1994), "Seismic Behavior of Semi Rigid Steel Frames", Journal of Constructional Steel Research, 29, 149-174.
- [5] Elnashai, A.S., Elghazouli, A.Y., and Denesh-Ashtiani, F.A., (1998), "Response of Semi Rigid Steel Frames to Cyclic and Earthquake Loads", Journal of Structural Engineering, 124,8.
- [6] Maison, B.F. and Kasai, K., (2000), "Seismic Performance of 3 and 9 Story Partially Restrained Moment Frame Buildings", SAC/BD-99/16, SAC Joint Venture.
- [7] Maison, B.F., Kasai, K. and Mayangarum, A., (2000), "Effects of Partially Restrained Connection Stiffness and Strength on Frame Seismic Performance", SAC/BD-99/17, SAC Joint V.
- [8] Chui, P.P.T. and Chan, S.L., (1996), "Transient Response of Moment Resistant Steel Frames with Flexible and Hysteretic Joints", Journal of Constructional Steel Research, 39, 3.
- [9] Lui, E.M. and Lopez, A., (1997), "Dynamic Analysis and Response of Semi Rigid Frames" Engineering Structures, 19, 8, 644-654.
- [10] Awkar, J.C., and Lui, E.M., (1999), "Seismic Analysis and Response of Multistory Semi Rigid Frames", Engineering Structures, 21, 425-441.
- [11] Foley, C.M., Vinnakota, S., (1999), "Inelastic Behavior of Multistory Partially Restrained Steel Frames. Part I", Journal of Structural Engineering, 125, 8, 854-861.
- [12] Foley, C.M., Vinnakota, S., (1999), "Inelastic Behavior of Multistory Partially Restrained Steel Frames. Part II", Journal of Structural Engineering, 125, 8, 862-869.
- [13] Maison, B.F., Rex, C.O., Lindsey, S.D. and Kasai, K., (2000b), "Performance of PR Moment Frame Buildings in UBC Seismic Zones 3 and 4", Journal of Structural Engineering, 126,1,108-116.
- [14] Salazar, A.R., Haldar, A., (2001), "Energy Dissipation at PR Frames Under Seismic Loading", Journal of Structural Engineering, 127, 5, 588-592.
- [15] Akbas, B., Shen, J., (2003), "Seismic Behavior of Steel Buildings with Combined Rigid and Semi Rigid Frames", Turkish Journal of Engineering Environment Science, 27, 253-264.
- [16] FEMA 356 (Federal Emergency Management Agency), (2000), "Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings", Washington D. C.
- [17] American Society of Civil Engineers, (2006), "Minimum Design Loads for Building and Other Structures", ASCE SEI 7-05.
- [18] American Institute of Steel Construction, Inc., (2005), "Seismic Provisions for Structural Steel Buildings", AISC 341S1-05.
- [19] American Institute of Steel Construction, Inc., (2005), "Specification for Structural Steel Buildings", AISC 360-05 .

- [20] Elnashai, A.S., Papanikolaou, V. and Lee, D.H., (2002), "Zeus-NL - A System for Inelastic Analysis of Structures" Mid-America Earthquake Center, University of Illinois.
- [21] Elnashai, A.S., Papanikolaou, V. and Lee, D.H., (2008), "Zeus-NL User Manual Version 1.8.1" Mid-America Earthquake Center, University of Illinois Urbana – Champaign.
- [22] American Institute of Steel Construction, Inc., (2005c), "Steel Construction Manual", Thirteenth Edition, AISC.
- [23] Broderick, B.M. and Elnashai, A.S., (1996), "Seismic Response of Composite Frames-I. Response Criteria and Input Motion", *Engineering Structures*, 18, 9, 696–706.
- [24] Elghazouli, A.Y., Castro, J.M. and Izzuddin, B.A., (2008), "Seismic Performance of Composite Moment Resisting Frames", *Engineering Structures*, 30, 1802-1819.
- [25] Applied Technology Council, (2008), "Quantification of Building Seismic Performance Factors", ATC 63 Project Report %90 Draft, Redwood City, California.
- [26] Sawada, T., Hirao, K., Yamamoto, H. ve Tsujihara, O., (1992). "Relation between maximum amplitude ratio and spectral parameters of earthquake ground motion," *Proceedings of 10th World Conference on Earthquake Engineering*, Madrid, Spain, 2: 617-622.
- [27] Elnashai, A.S. ve McClure, D.C., (1996), "Effect of Modelling Assumptions and Input Motion Characteristics on Seismic Design Parameters of RC Bridge Piers", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 25, 435-463.
- [28] Housner G.W., (1952) "Spectrum Intensities of Strong Motion Earthquakes" *Eartquake Engineering Research Institute from Proceedings of the Symposium on Earthquakes and Blast effects on Structures*, University of California at Los Angeles, June 1952, pp. 20-36).
- [29] Eurocode EN 1998-1, (2004), *Design of Structures for Earthquake Resistance-Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings*", CEN, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- [30] American Institute of Steel Construction, Inc., (2003a), "Steel Design Guide Series 4, Extended End - Plate Moment Connections", AISC.
- [31] Eurocode EN 1993-1-8, (2005), "Design of Steel Structures-Part 1-8: Design of Joints", CEN, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.