

Yarı Rijit Birleşimli Çelik Çerçevelerin Kat Öteleme ve Birleşim Dönmelerinin İncelenmesi

Nihan DOĞRAMACI AKSOYLAR*

Amr S. ELNASHAI**

A Zafer ÖZTÜRK***

ÖZ

7.0m ve 9.0m açıklıklı, dört farklı birleşim taşıma kapasitesine sahip 6 adet yarı rijit ve 2 adet rijit birleşimli çerçevenin kat ötelemeleri, birleşim dönmeleri ve aralarındaki ilişkileri zaman tanım alanında yapılan dinamik analizlerle incelenmiştir. Dinamik analizlerde 25 adet gerçek yer hareketi, 3 farklı azalım ilişkisinden üretilen 9 adet faya uzak ve 9 adet faya yakın yapay yer hareketi 2 farklı deprem seviyesine ölçeklendirilerek kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, kat ötelemelerinin ve birleşim dönmelerinin kabul edilebilirlik kontrolleri yapılarak yarı rijit ve rijit birleşimli çerçevelerin kat ötelemeleri karşılaştırılmıştır. Son olarak, birleşim kapasitesinin, davranış modelinin ve faya olan mesafenin, maksimum birleşim dönmesi – kat ötelemesi oranına olan etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kısmi dayanımlı/yarı-rijit birleşim, dinamik analiz, gerçek ve yapay yer hareketi, kat ötelemesi, birleşim dönmesi

ABSTRACT

Story Drifts and Connection Rotations of Semi-Rigid Steel Frames

Story drifts, connection rotations and story drift-connection rotation relationships of 6 partial strength/semi-rigid and 2 rigid frames having 7.0m and 9.0m span lengths and four different connection capacities are investigated with nonlinear dynamic analyses. In dynamic analyses 25 real ground motion records with 2 different earthquake levels and 9 far field and 9 near field artificial records are generated by using three different attenuation relations and scaled to 2 different earthquake levels are used. As a result of the analyses, the story drift ratios and the connection rotations of the frames are determined and their performance limit controls are done and the story drift ratios of partial strength/semi rigid frames and rigid frames are compared. Finally, the story drift-connection rotation relationships are investigated and the effect of connection capacity, connection hysteresis model and the distance from the fault are searched.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 21.03.2011 günü ulaşmıştır.
- 30 Haziran 2013 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, İstanbul - ndogramaci@fsm.edu.tr

** University of Illinois, Civil and Environmental Eng., Urbana, ABD - aelnash@illinois.edu

*** Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - zafer@yildiz.edu.tr

Keywords: Partial strength/semi-rigid connection, dynamic analysis, real and artificial record, story drift ratio, connection rotation

1. GİRİŞ

Depreme dayanıklı çelik yapı sistemlerinden biri olan moment dayanımlı çelik çerçeveler, yüksek süneklik kapasiteleri ve ekonomik tasarım olanakları nedeniyle, depremselliği yüksek bölgelerde az ve orta katlı binalarda sıklıkla kullanılırlar. 1994 Northridge ve 1995 Kobe depremlerine kadar, tamamen kaynaklı moment dayanımlı çerçeveler, birçok mühendis ve araştırmacı tarafından, deprem etkilerinden zarar görmez olarak kabul edilmiş ve uzun yıllar boyunca depreme dayanıklı en güvenilir yapı sistemi olarak kullanılmışlardır. Ancak bu depremler sırasında, çelik yapılarda ve özellikle yerinde tamamen kaynaklı birleşimlerde ağır ve beklenilmeyen hasarlar oluşmuştur. Bu depremlerin sonucunda, bu tip yapıların tasarım yöntemlerinin yeniden gözden geçirilmesi ve deprem davranışlarının daha doğru belirlenmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bunun yanında rijit birleşimli moment dayanımlı çelik çerçevelerin bir diğer dezavantajı ise, plastik mafsalların kolonlardan önce kirişlerde oluşmasını sağlamak ve yapının sünekliğini arttırıp, göçmesini geciktirmek için uygulanan güçlü kolon zayıf kiriş ilkesinden kaynaklanır. Bu ilke az katlı ve nispeten büyük açıklıklı yapılarda gerekenden daha büyük kolon kesitlerinin seçilmesine ve ekonomik olmayan, aşırı güvenli tasarımlara neden olmaktadır. Bu sorunu gidermek için özellikle Amerika'da uygulanan yöntem yapıların sadece dış çerçevelerini yatay yük taşıyan sistemler olarak tasarlamaktır. Ancak bu yöntemin başlıca dezavantajlarından biri, sistemin yeniden dağılım imkânının sınırlı olması ve bir diğeri ise, sistemde oluşan hasarların yapının dışmerkezliğini büyük ölçüde arttırmasıdır.

1994 Northridge ve 1995 Kobe depremleri sonrasında, yukarıda belirtilen dezavantajların giderilmesi için bu tip yapıların tasarım yöntemleri yeniden gözden geçirilmiş ve bu çalışmalar kapsamında tamamen kaynaklı birleşimlere alternatif kısmi dayanımlı/yarı-rijit birleşimler de araştırılmıştır. Bu çalışmalarda yarı rijit birleşim kullanılmasıyla, şantiyede yapılan kaynakların ortadan kaldırılması ve güçlü kolon zayıf kiriş ilkesi yerine güçlü kolon zayıf birleşim yaklaşımı kullanılarak az katlı büyük açıklıklı yapılardaki aşırı güvenli tasarımın giderilmesi amaçlanmıştır.

Kısmi dayanımlı/yarı-rijit birleşimli yapıları deneysel olarak inceleyen öncü çalışmalar arasında [1~4] gösterilebilir. Bu çalışmaların yanı sıra kısmi dayanımlı/yarı-rijit birleşimli yapıların deprem davranışları analitik olarak da [5~7] çalışmalarında incelenmiştir. Yapılan bu çalışmalar sonucunda, kısmi dayanımlı/yarı-rijit birleşimlerin ve çerçevelerin doğru tasarlandığı takdirde, deprem etkileri altında yeterli sünekliğe ve stabil histeretik davranışa sahip olduğu gösterilmiş ve bu yapıların depremselliği orta ve yüksek olan bölgelerde kullanılması için yüksek potansiyellerinin bulunduğu vurgulanmıştır. Ayrıca bu çalışmaların yanı sıra, literatürde kısmi dayanımlı/yarı-rijit birleşimli çerçevelerin davranışını inceleyen çalışmalar arasında [8~11] gösterilebilir. Ancak bu çalışmaların çoğunda, çerçeveler rijit birleşimli olarak tasarlanmış ve kiriş kolon kesitleri aynı tutularak sadece birleşimleri kısmi dayanımlı/yarı rijit birleşimlerle değiştirilerek incelenmiştir.

Bu çalışmanın öncülerinden olan [12]'de ise, 7.0m ve 9.0m açıklığa sahip 3 katlı 3 açıklıklı çerçeveler, rijit ve kısmi dayanımlı/yarı-rijit birleşimler kullanılarak tasarlanmıştır. Kısmi dayanımlı/yarı-rijit birleşimli çerçeveler tasarlanırken güçlü kolon-zayıf kiriş ilkesine

uyulmamış, bunun yerine kolonlar sadece yarı rijit birleşimlerden daha güçlü olarak tasarlanmıştır. Ardından bu çerçevelerin deprem performansları özdeğer, doğrusal olmayan statik itme ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizlerle değerlendirilmiştir. Dinamik analizlerde kısmi dayanımlı/yarı-rijit birleşimler iki farklı birleşim moment pekleşme oranı ve iki farklı çevrimsel davranış modeli kullanılarak modellenmiştir. Ayrıca 25 adet gerçek yer hareketi 3 farklı deprem seviyesi için ölçeklendirilerek kullanılmıştır. Bir diğer öncü çalışma olan [13]'de ise [12]'de tasarlanan yarı rijit birleşimli çerçevelerin rijit birleşimli çerçevelerden daha iyi deprem performansı sergilediği koşullar araştırılmıştır. Bunun için çerçevelerin deprem davranışları önce 9 adet faya uzak ve 9 adet faya yakın yapay yer hareketi altında incelenmiştir. Ardından çerçevelerde oluşan maksimum deplasmanların, yer hareketlerinin spektral özellikleriyle ilişkisi irdelenmiştir.

Bu çalışmada, 7.0m ve 9.0m açıklıklı, dört farklı birleşim kapasiteli (rijit, %70, %60 ve %50) 8 adet çelik çerçevenin kat ötelemeleri, birleşim dönmeleri ve bunların ilişkileri incelemiştir. Kullanılan çerçeveler [12] çalışmasında tasarlanan çerçevelerden seçilmiştir. Kısmi dayanımlı/yarı-rijit birleşimlerin çevrimsel davranışları iki farklı birleşim davranış modeli kullanılarak modellenmiştir. 12 kısmi dayanımlı/yarı-rijit ve 2 rijit birleşimli çerçevenin dinamik analizleri, 25 adet gerçek, 9 adet faya uzak ve 9 adet faya yakın yapay yer hareketi 2 farklı deprem seviyesi için ölçeklendirilerek yapılmıştır. Yapay yer hareketi kayıtları 3 farklı azalım ilişkisi kullanılarak üretilmiştir. Analizler neticesinde, çerçevelerin kat öteleme ve birleşim dönme değerleri elde edilmiş ve kabul edilebilirlik sınır kontrolleri yapılmıştır. Ayrıca birleşim kapasitesinin ve birleşim davranış modelinin, çerçevelerin kat ötelemesi-birleşim dönmesi ilişkisine olan etkileri her kat için ayrı ayrı incelenmiştir.

Analiz sonuçları tüm çerçevelerin ortalama kat öteleme ve birleşim dönme değerlerinin kabul edilebilirlik sınırlarını sağladığını göstermiştir. Ayrıca yarı rijit çerçevelerde oluşan kat ötelemeleri, rijit çerçevelerde oluşan değerlerle karşılaştırılmış ve faya olan mesafenin bu karşılaştırmaya olan etkisi değerlendirilmiştir. Kat ötelemesi-birleşim dönmesi ilişkileri incelendiğinde ise maksimum birleşim dönme değerleriyle maksimum kat öteleme değerlerinin genellikle birbirine yakın olduğu görülmüştür. Bu nedenle, maksimum deprem seviyesi altında, birleşim dönmeleri kat ötelemelerine göre daha baskın tasarım kriteri olmaktadır. Son olarak, yarı rijit birleşim kapasitesi azaldıkça her katta oluşan maksimum birleşim dönmesi kat ötelemesi oranındaki artış belirlenmiştir.

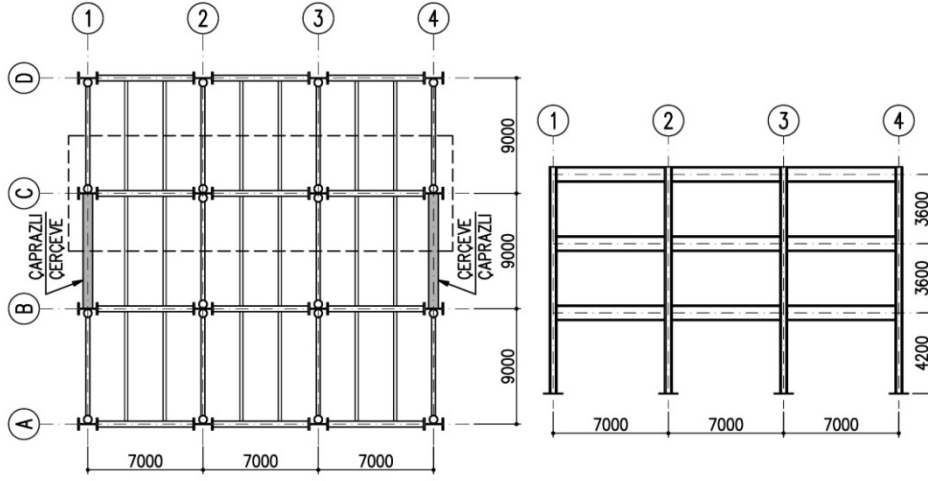
2. ÖRNEK BİNALAR

2.1. Taşıyıcı Sistemin Tanımı

Bu çalışmadaki binalar planda simetrik bir düzenlemeye sahiptir. Yatay yükler kuzey güney (KG) doğrultusunda çaprazlı çerçevelerle, doğu batı (DB) doğrultusunda ise moment dayanımlı çerçevelerle taşınmaktadır. DB doğrultusundaki tüm çerçeveler yatay yük taşıyan çerçeve olarak düzenlenmiş ve deprem altındaki davranışı incelenmiştir. KG doğrultusundaki çaprazlı çerçevelerin tasarımı ve deprem davranışı ise bu çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur. Yapıların DB doğrultusundaki tüm çerçeveleri deprem yükü taşıdığından, sadece tipik bir iç çerçevenin tasarımı yapılmıştır. Ayrıca tasarlanan çerçeveler süneklik düzeyi yüksek çerçeveler olarak ele alınmıştır.

İncelenen üç katlı – üç açıklıklı yapı, iki farklı aks açıklığı (7.0m ve 9.0m) ve 4 farklı birleşim moment taşıma kapasitesi kullanılarak ele alınmıştır. Örnek çerçevelerde kullanılan birleşim tipleri; tamamen kaynaklı birleşimler ve moment taşıma kapasitesi bağlandığı kirişin moment taşıma kapasitesinin %70'ine, %60'ına ve %50'sine eşit olan alın levhali bulonlu kısmi dayanımlı/yarı rijit birleşimlerdir.

Tüm yapılarda ilk kat yüksekliği 4.20m, diğer katların yüksekliği 3.60m dir. 7.0m açıklıklı örnek binanın planı ve boy kesiti Şekil 2.1'de verilmiştir. Ayrıca incelenen çerçeve, şekil üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.1. 7.0m aks açıklıklı örnek yapının planı ve boy kesiti

2.2. Tasarım Metodu

Mevcut yönetmeliklerin bazılarında (örn. AISC 341s1-05 [14], DBYBHY [15]), süneklik düzeyi yüksek kısmi dayanımlı/yarı rijit birleşimli moment dayanımlı çerçeve tasarımı mümkün değildir. Bunun yanı sıra, Eurocode EN 1998-1 [16] yönetmeliğinde bu tarz yapıların kullanılmasına izin verilmiş olsa dahi, tasarım sürecinin tamamını kapsayan ilkeler henüz tamamlanmamıştır. Bu çalışmada [12] çalışmada tasarlanmış çerçeveler kullanılmıştır. Çerçevelerin detaylı tasarımları ilgili çalışmada verildiğinden burada sadece kısaca özetlenmiştir.

Örnek çerçevelerin tasarımı Amerikan AISC 341s1-05 [14] ve AISC 360-05'e [17] yönetmeliklerine göre yapılmıştır. Ancak daha önce de belirtildiği üzere süneklik düzeyi yüksek kısmi dayanımlı/yarı rijit birleşimli çerçeveleri yönetmeliklere tamamen uygun olarak tasarlamak mümkün değildir. Bu nedenle kısmi dayanımlı/yarı rijit birleşimli çerçevelerin tasarımında, birleşimlerin sahip olması gereken minimum dayanımla ilgili olan yönetmelik maddesine (AISC 341s1-05 [14] - Madde 9.2a) ve güçlü kolon zayıf kiriş ilkesine (AISC 341s1-05 [14] - Madde 9.6) uyulmamıştır. Bunun yerine Eurocode EN 1998-1 [16] yönetmeliğinde verilen yaklaşıma benzer olarak, kolonların birleşimlerden daha güçlü olması sağlanmıştır. Bu amaçla AISC 341s1-05 [14] yönetmeliğindeki güçlü

kolon zayıf kiriş ilkesi, kiriş kapasitesi yerine birleşim kapasitesi kullanılarak uygulanmıştır.

Binaların tasarımında kullanılan düşey, rüzgâr ve deprem yükleri ile yükleme kombinasyonları ASCE 7-05 [18] yönetmeliği kullanılarak belirlenmiştir. Normal katlar ve çatı katı için sabit yük değeri 3.20kN/m^2 alınmıştır. Bu yük değerinin, sabit yüklerin yanı sıra taşıyıcı sistem elemanlarının zati ağırlığı ile mekanik ve elektrik ekipmanlarının ağırlığını da içerdiği kabul edilmiştir. Hareketli yük değeri çatı katı için 1.00kN/m^2 ve normal kat için 3.80kN/m^2 alınmıştır. Ayrıca bölme duvarlar için alınan 0.50kN/m^2 'lik yükün de normal katlara etkilene hareketli yükün içinde yer aldığı kabul edilmiştir.

Analizlerde kullanılan binalar ofis binası olarak tasarlandığından, kullanım kategorisi II, yapı önem katsayısı 1 olarak alınmıştır. Binaların, zemin sınıfı D olan bir bölgede yapıldığı kabul edilmiştir. Binalar depremselliği yüksek bölgelerde yapıldığından, kısa periyot parametresi $S_5=1.50g$ ve bir saniye periyot parametresi $S_1=0.60g$ olarak alınmıştır. Yönetmeliklerde yarı rijit birleşimli çelik çerçevelerin taşıyıcı sistem davranış parametreleri (taşıyıcı sistem davranış katsayısı, R, sistem dayanım katsayısı, Ω , ve deplasman büyütme katsayısı Cd) henüz tanımlanmamıştır. Ancak [5] çalışmasında yarı rijit birleşimli çerçevelerin taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) irdelenmiş ve birleşim rijitliğinin kiriş rijitliğine oranı 5'den büyük olduğunda, yarı-rijit birleşimli çerçevelerin taşıyıcı sistem davranış katsayısının (R), süneklik düzeyi yüksek çerçevelere eşit alınabileceği sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada kullanılan tüm yarı rijit birleşimler için bu oran 5'den büyük olduğundan örnek binaların davranış parametrelerinin süneklik düzeyi yüksek moment dayanımlı çelik çerçeveler ile aynı olduğu kabul edilmiştir. Bu nedenle taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R), sistem dayanım katsayısı (Ω) ve deplasman (öteleme) büyütme katsayısı (Cd) sırasıyla 8, 3 ve 5.5 alınmıştır.

Tasarlanan örnek binaların kolon ve kiriş kesitleri olarak Amerikan çelik kesitleri (W kesiti) kullanılmıştır. İncelenen sekiz çerçevenin kolon ve kiriş kesitleri Çizelge 2.1'de ve ilk üç doğal titreşim periyotları Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Kolon ve kiriş kesitleri

Açıklık	Birleşim Kapasitesi	Kolon Kesitleri			Kiriş Kesitleri	
		3.Kat	2.Kat	1.Kat	3.Kat	2. ve 1. Kat
7.0m	Rijit	W10X68	W10X100	W10X112	W16X31	W18X40
	%70		W10X88	W10X100		
	%60	W10X68	W10X77	W10X88	W18X35	W21X50
	%50		W10X68	W10X77		
9.0m	Rijit	W12X96	W12X136	W12X152	W18X40	W21X62
	%70		W12X120	W12X136		
	%60	W12X96	W12X106	W12X120	W18X50	W21X73
	%50		W12X96	W12X96		

Örnek çerçevelerde kullanılan yarı rijit birleşimler, 6 bulonlu uzatılmış alın levhali olarak düzenlenmiştir. Yarı rijit birleşimlerin tasarımı, AISC tasarım raporu 16'da [19] verilen akma çizgilerine dayalı yöntemle göre yapılmıştır. Alın levhası kalınlığının ve bulon çapının belirlenmesinde, alın levhasında büyük akmalara oluşmasını sağlayan ince plak davranışı tasarım metodu kullanılmıştır. Ayrıca yarı rijit birleşimlerin yeterli dönme kapasitesine sahip olması ve gevrek göçme modlarının önlenmesi için Eurocode 1993-1-8'de [20] verilen şartlar da sağlanmıştır. Bu yönetmeliğe göre, kısmi dayanımlı/yarı rijit birleşimin tasarım moment kapasitesini, panel bölgesinin kayma kapasitesi veya kolon başlığının ya da alın levhasının eğilme kapasitesi belirlemelidir. Buna ek olarak bulon çapı, $t \leq 0.36d\sqrt{f_{ub}/f_y}$ denklemini sağlayacak şekilde belirlenmelidir. Bu denklemde t alın levhasının veya kolon başlığı kalınlığıdır. Yarı rijit birleşimlerin moment dönme ilişkileri ise EN 1993-1-8'de [20] verilen elemana dayalı yöntemle belirlenmiştir. Kullanılan yarı rijit birleşimlere ait özellikler [21] çalışmasında detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 2.2 Örnek binaların ilk üç doğal titreşim periyotları

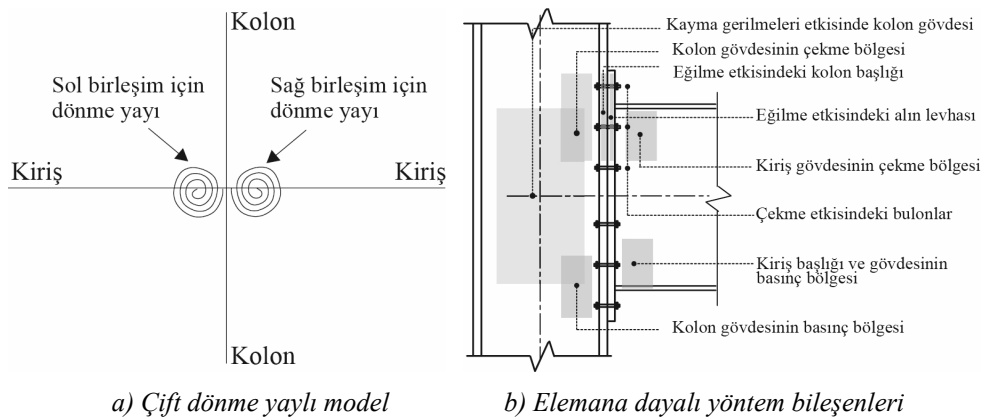
	Çerçeve Tipi	1.Mod	2.Mod	3.Mod
7.0m	Rijit	0.903	0.294	0.156
	70%	0.926	0.305	0.166
	60%	0.975	0.320	0.177
	50%	1.029	0.334	0.188
9.0m	Rijit	0.767	0.251	0.130
	70%	0.835	0.266	0.138
	60%	0.874	0.278	0.146
	50%	0.929	0.294	0.157

3. ANALİZ PLATFORMU VE MODELLEME

Çerçevelerin dinamik analizleri, Illinois Üniversitesi'nde (Urbana-Champaign) geliştirilen Zeus-NL [22] analiz programıyla yapılmıştır. Zeus-NL programında doğrusal olmayan malzeme davranışı, "lif" (fiber) 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. Bu programın doğruluğu önceki çalışmalarda bir çok kez gösterilmiştir [23, 24].

Analizlerde çelik malzeme, Zeus-NL programında tanımlı kinematik pekleşmeli bileer elasto plastik malzeme modeli ile tariflenmiştir Çeliğin elastisite modülü 200000MPa olarak alınmış ve pekleşme katsayısı 0.01 olarak kabul edilmiştir. AISC 360-05 [17] yönetmeliği W profilleri için A992 çeliğinin kullanılmasını önermektedir. Bu sınıftaki çeliğin minimum akma dayanımı 345MPa, beklenen akma dayanımı 390MPa'dır. Dinamik analizler yapının performans değerlendirilmesi için yapıldığından, malzeme beklenen akma dayanımı kullanılarak modellenmiştir.

Örnek çerçevelerde kullanılan yarı rijit birleşimler, yapısal analizlerde Şekil 3.1a'da verilen çift dönme yaylı basitleştirilmiş model kullanılarak modellenmiştir. Literatürde sıklıkla kullanılan bu modelde, her iki dönme yayının moment dönme davranışı EN 1993-1-8'de [20] verilen elemana dayalı yöntemle belirlenmiş ve 3 doğrulu yay elemanı olarak analiz yazılımına yansıtılmıştır. 6 bulonlu uzatılmış alın levhali birleşimler için elemana dayalı yöntemde göz önüne alınan bileşenler Şekil 3.1b'de verilmiştir. Şekilden de görülebildiği üzere, kolon kayma bölgesi ve kolon başlığı deformasyonları da bu yayların moment dönme ilişkileri içinde tanımlanmaktadır.

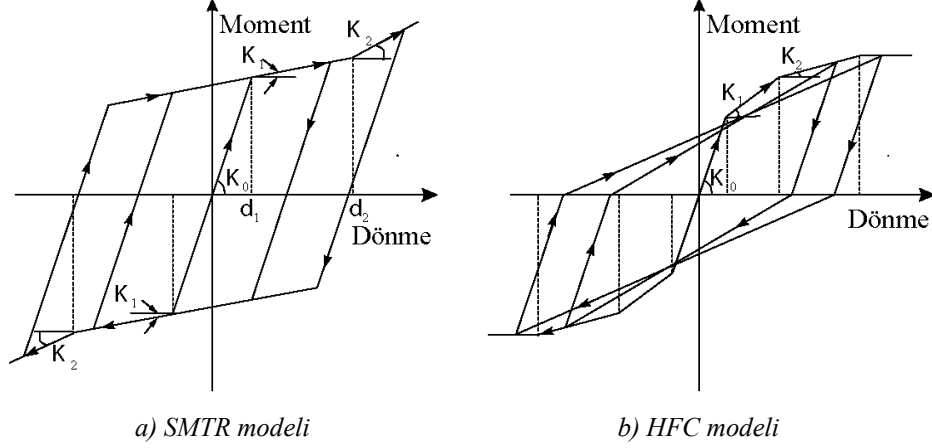


Şekil 3.1. Birleşim modellemesi

Bu çalışmadaki tüm kısmi dayanımlı/yarı-rijit birleşimlerin gevrek göçme modları önlenerek yeterli dönme kapasitesine sahip olacak şekilde tasarlandığı kabul edilmiştir. Yarı rijit birleşimlerin çevrimsel davranışları, sistemin deprem etkileri altındaki tepkilerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bunun da ötesinde yarı rijit birleşimlerin çevrimsel davranışları birleşim tipine, geometrisine ve malzeme özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada kullanılan birleşimlerin çevrimsel davranışları [1~7] çalışmalarında elde edilen sonuçlara dayanarak iki ayrı şekilde modellenmiştir.

Bu modellerden ilki Şekil 3.2a'da görülen, simetrik üç doğrulu bilineer kinematik pekleşmeli modeldir (SMTR). Bu eleman tipinde çevrimsel yükler altında rijitlik azalması yoktur. Kullanılan diğer model ise Şekil 3.2b'de görülen, sabit eksenel kuvvet altında histeretik eğilme modelidir (HFC). Bu elemanda çevrimsel yükler altında rijitlik azalması mevcuttur. Kullanılan modeller hakkında daha detaylı bilgi [22] çalışmasında mevcuttur. Yarı rijit birleşimler için iki farklı çevrimsel davranış modeli kullanılmasıyla, 8 adet örnek çerçevenin toplamda 14 adet analiz modeli oluşturulmuştur.

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.



Şekil 3.2. Birleşimlerde kullanılan çevrimsel davranış modelleri [22]

Örnek çerçeveler, Zeus-NL programında iki boyutlu olarak modellenmiştir. Kolon ve kirişler üç boyutlu kübik elasto plastik kiriş kolon elemanları kullanılarak modellenmiş ve 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. Dinamik analizlerde kullanılan tüm deprem yer hareketleri, kolon kiriş düğüm noktalarına eşdeğer yatay yük şeklinde etkilmiştir. Ayrıca sönüm

3.1. Kabul edilebilirlik Kriterleri

Çerçevelerin dinamik analizlerden elde edilen davranışlarının değerlendirilebilmesi için lokal ve global davranışlarıyla ilgili belirli kriterlerin ve “kabul edilebilirlik kriteri” olarak ifade edilen sınır değerlerin tanımlanması gerekmektedir.

Kolon, kiriş ve birleşimler için elemanın göçme sınır durumu FEMA 356’da [25] tanımlanan, ilk dayanım azalma (DA) noktası olarak kabul edilmiştir. Kabul edilebilirlik sınırları ise, performans seviyelerinin bir fonksiyonudur ve her eleman ve yapı tipi için FEMA 356’de [25] verilmiştir. Örnek çerçeveler iki farklı performans seviyesine göre değerlendirilmiştir. Bunlar seyrek depremler için Can Güvenliği (CG) (tasarım depremi) ve çok seyrek depremler için Göçmenin Önlenmesi (GÖ) (maksimum deprem) performans seviyeleridir. Yapının global seviyedeki performansını belirlemek için ise moment dayanımlı çelik çerçevelerin kat öteleme sınırı, CG performans seviyesi için %2.5 ve GÖ performans seviyesi için %5 olarak alınmıştır. Bu çalışmada kullanılan kabul edilebilirlik kriterleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Kabul edilebilirlik ve dayanım azalması kriterleri [25]

Eleman / Hareket	Kabul edilebilirlik sınırları*		Dayanım Azalması**
	CG	GÖ	
Kirişler / Eğilme	$6\theta_y$	$8\theta_y$	$11\theta_y$
Kolonlar $P/P_{CL} < 0.20$	$6\theta_y$	$8\theta_y$	$11\theta_y$
Kolonlar $0.20 < P/P_{CL} < 0.50$	$8\left(1-1.7\frac{P}{P_{CL}}\right)\theta_y$	$14\left(1-1.7\frac{P}{P_{CL}}\right)\theta_y$	$17\left(1-1.7\frac{P}{P_{CL}}\right)\theta_y$
Birleşimler Uzatılmış Alın Lev.	0.028	0.035	0.042

*: Kirişler ve kolonlar için yay (chord) dönmesi, birleşimler için dönme

** : Kirişler ve kolonlar için plastik yay (chord) dönmesi, birleşimler için plastik dönme

4. DEPREM KAYITLARI

Örnek çerçevelerin kat öteleme ve birleşim dönme değerlerini elde edebilmek için yapılan dinamik analizlerde 25 adet gerçek ve 18 adet yapay yer hareketi kaydı kullanılmıştır.

4.1. Gerçek Yer Hareketi Kayıtları

Dinamik analizlerde kullanılan 25 adet gerçek yer hareketi deprem büyüklüğüne (M), kaynak mekanizmasına, faya olan uzaklığına ve zemin koşullarına göre seçilmiştir. Seçilen yer hareketi kayıtlarına ait özellikler Çizelge 4.1’de verilmiştir. Bu kayıtların ilk 13 tanesi faya uzak yer hareketlerini son 12 tanesi ise faya yakın yer hareketlerini göstermektedir.

Çizelge 4.1 Gerçek yer hareketi kayıtları

No	Yıl	Deprem	M	Kayıt İstasyonu	Mes. (km)	Zem. Sınıfı	Bileşeni	PGA (g)
1	1999	Kocaeli	7.5	Düzce	15.4	D	DZC180	0.312
2	1989	Loma Prieta	6.9	Emeryville	77.0	D	EMY260	0.260
3	1995	Kobe	6.9	Shin Osaka	19.2	D	SHI090	0.212
4	1999	Kocaeli	7.5	Düzce	15.4	D	DZC270	0.358
5	1979	Imper. Valley	6.5	El Centro#11	12.5	D	HE11230	0.380

Çizelge 4.1 Gerçek yer hareketi kayıtları (devam)

No	Yıl	Deprem	M	Kayıt İstasyonu	Mes. (km)	Zem. Sınıfı	Bileşeni	PGA (g)
6	1994	Northridge	6.7	CanyonCount	12.4	D	LOS000	0.410
7	1989	Loma Prieta	6.9	Emeryville	77.0	D	EMY350	0.215
8	1976	Friuli	6.5	Tolmezzo	15.8	C	ATMZ270	0.315
9	1999	Düzce	7.1	Bolu	12.0	D	BOL000	0.728
10	1992	Cape Mend.	7.0	Rio Dell Ov.	14.3	D	RIO360	0.549
11	1995	Kobe	6.9	Nishi Akashi	7.1	C	NIS090	0.503
12	1989	Loma Prieta	6.9	Capitola	15.2	D	CAP000	0.529
13	1989	Loma Prieta	6.9	Capitola	15.2	D	CAP090	0.443
14	1999	Düzce	7.1	Düzce	6.6	D	DZC180	0.348
15	1999	Düzce	7.1	Düzce	6.6	D	DZC270	0.535
16	1994	Northridge	6.7	Slymar O. V.	5.3	C	SYL360	0.843
17	1999	Kocaeli	7.5	İzmit	7.2	B	IZT090	0.220
18	1992	Erzincan	6.7	Erzincan	4.4	D	ERZEW	0.496
19	1976	Gazli	6.8	Karakyr	5.5	C	GAZ090	0.718
20	1989	Loma Prieta	6.9	Corralitos	3.9	C	CLS000	0.644
21	1992	Cape Mend.	7.0	Cape Mend.	7.0	C	CPM000	1.497
22	1979	Imp. Valley	6.5	Bonds Cor.	2.7	D	HBCR140	0.588
23	1994	Northridge	6.7	Arleta	8.7	D	ARL360	0.308
24	1979	Imp. Valley	6.5	Bonds Cor.	2.7	D	HBCR230	0.775
25	1985	Nahanni	6.8	Site 1	9.6	C	S1010	0.978

Gerçek yer hareketi kayıtları kendilerine has özellikleri (maksimum yer ivmesi, etkin süreleri, frekans içeriği v.b.) açısından farklılık gösterirler. Bu nedenle benzer bir deprem seviyesini yansıtmaları için ölçeklendirilmeleri gerekir. Bu çalışmada ölçeklendirme işlemi iki adımda gerçekleştirilmiştir. Öncelikle yer hareketi kayıtları spektrum hız şiddeti metodu (Housner metodu, [26]) kullanılarak normalize edilmiş, ardından ASCE 7-05'de [18] 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 elastik hız spektrumunun altında kalan bölgenin alanı olarak tanımlanmıştır:

$$SI_H = \int_{0.1}^{2.5} S_v(T, \xi) dT \quad (1)$$

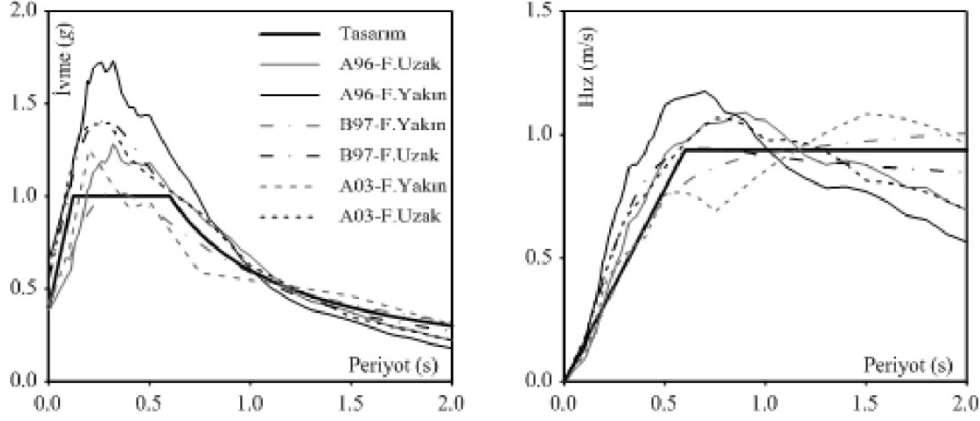
Burada S_v hız spektrumu eğrisi, T titreşim periyodu ve ξ sönüm katsayısıdır. Bu çalışmada Housner'in çalışmasındaki entegrasyon sınırlarından farklı olarak yapının periyoduna bağlı 0.8T ile 1.5T entegrasyon sınırları kullanılmıştır. Ayrıca normalize edilen kayıtlar, ortalama ivme spektrumları, 0.8T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

4.2. Yapay Yer Hareketi Kayıtları

Yapay yer hareketi kayıtları, Ambraseys vd., [27] (A96), Boore vd., [28] (B97) ve Ambraseys ve Douglas [29] (A03) tarafından önerilen üç farklı azalım ilişkisi kullanılarak üretilmiştir. Bu ilişkilerde en yakın uzaklık, faya yakın davranış spektrumu için 5km ve faya uzak davranış spektrumu için 20km alınmıştır. Azalım ilişkilerindeki deprem büyüklükleri ise elde edilen davranış spektrumlarının tasarım deprem seviyesini yansıtacağı şekilde belirlenmiştir. Bu amaçla elde edilen davranış hız spektrumunun 0.0s ile 2.0s arasında altında kalan alanın tasarım hız spektrumunun altında kalan alanla aynı olması sağlanmıştır. Faya yakın ve faya uzak davranış spektrumları için belirlenen deprem büyüklükleri ve uzaklıkları Çizelge 4.2'de verilmiştir. Bu değerler kullanılarak %5 sönüm için elde edilen davranış spektrumları (ivme ve hız) ve elastik tasarım spektrumu Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Üç farklı azalım ilişkisinden elde edilen 6 adet davranış spektrumunun her birine uygun 3 adet yapay yer hareketi kaydı SIMQKE – 1 [30] programı kullanılarak üretilmiştir. Sonuç olarak 9 adet faya uzak ve 9 adet faya yakın, toplamda 18 adet yapay yer hareketi kaydı elde edilmiştir. Yapay yer hareketi kayıtlarının toplam süreleri 24s ve zaman artış aralıkları da 0.01s olarak alınmıştır. Üretilen yapay yer hareketi kayıtlarının davranış spektrumlarına uygunluğu [21] çalışmasında detaylı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Faya yakın ve faya uzak davranış spektrumları için seçilen parametreler

	Ambraseys 1996 (A96)		Boore 1997 (B97)		Ambraseys 2003 (A03)	
	M_s	Uzaklık	M	Uzaklık	M_s	Uzaklık
Faya Yakın	6.18	5km	6.17	5km	6.27	5km
Faya Uzak	7.13	20km	7.18	20km	7.43	20km



Şekil 4.1 Azalım ilişkilerinden elde edilen faya yakın ve faya uzak davranış spektrumları

5. ANALİZ SONUÇLARI

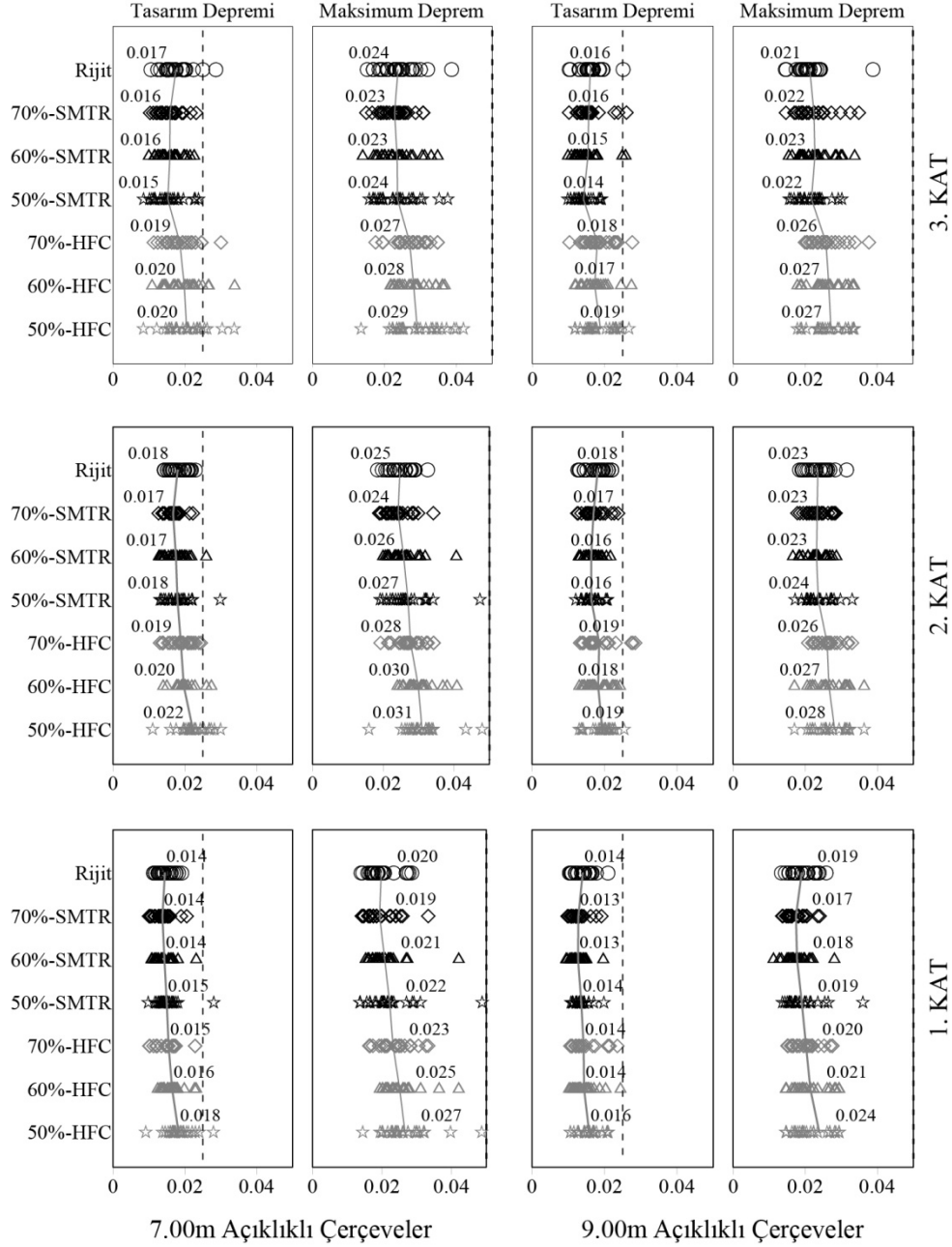
Örnek çerçevelerin deprem davranışlarını incelemek için 25 adet gerçek yer hareketi kaydı ve 18 adet yapay yer hareketi kaydı iki farklı deprem seviyesi (tasarım depremi, maksimum deprem) için ölçeklendirilmiş ve 14 örnek çerçevenin toplam 1204 adet analizi yapılmıştır. Yapılan analizler neticesinde, çerçevelere ait kat öteleme değerleri ve birleşim dönme değerleri elde edilmiş ve kabul edilebilirlik sınırlarına göre kontrolleri yapılmıştır. Son olarak kat öteleme-birleşim dönmesi ilişkileri her kat için ayrı ayrı incelenmiş ve birleşim kapasitesiyle birleşim davranış modelinin bu ilişkiye etkisi araştırılmıştır.

5.1. Kat Ötelemeleri

Gerçek yer hareketi kayıtları altında yapılan analizler sonucunda 7.0m ve 9.0m açıklıklı çerçeveler için elde edilen maksimum kat öteleme değerleri ve ortalamaları, Şekil 5.1'de verilmiştir.

25 adet gerçek yer hareketi kaydı altında her iki deprem seviyesi için, hem yarı rijit hem de rijit birleşimli çerçevelerin ortalama kat öteleme değerleri kabul edilebilirlik sınırlarını sağlamıştır. Ancak sonuçlar tek tek incelendiğinde, tasarım depremi ve maksimum deprem için yapılan 700 adet analizden 31 tanesinde kabul edilebilirlik sınırları aşılmıştır. Kabul edilebilirlik sınırı 5 adet SMTR modeli, 24 adet HFC modeli yarı rijit çerçevenin ve 2 adet rijit birleşimli çerçevenin tasarım depremi seviyesi analizinde aşılmıştır.

Tasarım deprem seviyesi için SMTR birleşim modeli yarı rijit çerçevelerin hepsinde, rijit birleşimli çerçeveye göre daha az ortalama kat öteleme oluşmuştur. Buna karşın, her iki deprem seviyesi altında, HFC birleşim modeli çerçevelerin hepsinde rijit birleşimli çerçeveye göre daha büyük ortalama kat öteleme oluşmuştur.



Şekil 5.1. Çerçeveselerin gerçek kayıtlar altında kat ötelemeleri

Yarı Rijit Birleşimli Çelik Çerçevelerin Kat Öteleme ve Birleşim Dönmelerinin İncelenmesi

Her bir yer hareketi kaydı altında oluşan maksimum kat ötelemeleri, tüm deprem seviyeleri ile tüm örnek çerçevelerin ortalaması dikkate alınarak ayrı ayrı incelenmiştir. Yarı rijit çerçevelerin kat ötelemelerinde, rijit çerçeveye göre oluşan maksimum azalış ve artışların gerçekleştiği yer hareketleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

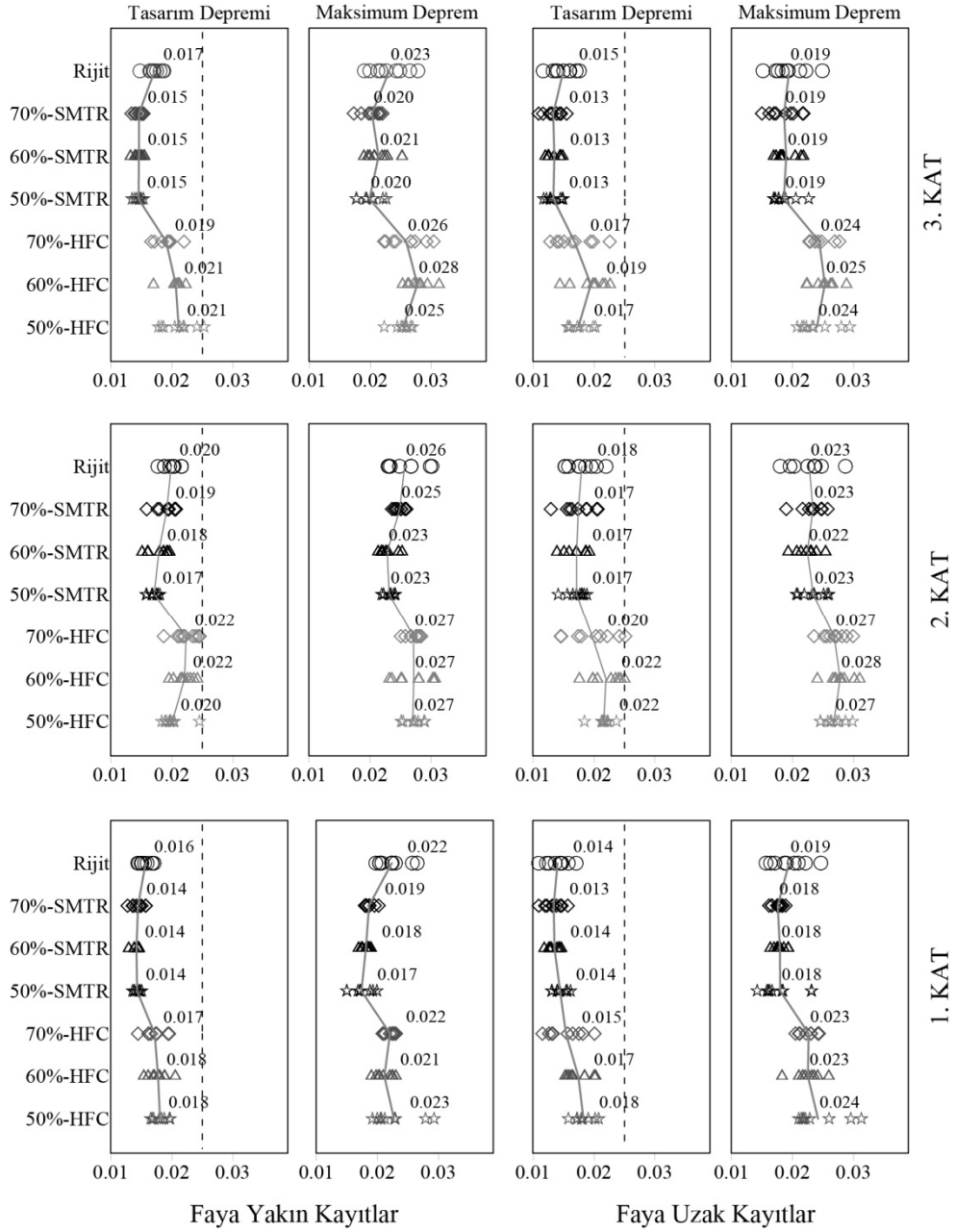
Çizelge 5.1 Kat ötelemelerinde oluşan maksimum azalış ve artışlar

Açıklık	Birleşim Modeli	Kat	Azalan Kayıt Sayısı	Maksimum Azalış		Maksimum Artış	
				Kayıt	Oran	Kayıt	Oran
7.0m	SMTR	1.Kat	9	LOS000	%36	HE11230	%37
		2.Kat	13	LOS000	%28	SYL360	%41
		3.Kat	14	IZT090	%30	EMY260	%25
	HFC	1.Kat	3	LOS000	%31	HE11230	%86
		2.Kat	3	LOS000	%31	SYL360	%60
		3.Kat	5	IZT090	%19	ATMZ270	%56
9.0m	SMTR	1.Kat	21	IZT090	%33	S1010	%24
		2.Kat	21	IZT090	%26	HE11230	%13
		3.Kat	19	HBCR230	%33	HE11230	%21
	HFC	1.Kat	8	IZT090	%16	S1010	%31
		2.Kat	7	HBCR230	%06	SYL360	%28
		3.Kat	5	RIO360	%20	EMY260	%37

Yarı rijit birleşim kullanılmasıyla, maksimum kat ötelemelerinde oluşan azalmalar genellikle belirli yer hareketi kayıtlarında (LOS000, IZT090, HBCR230 vd.) gerçekleşmiştir. Bu yer hareketlerinin benzer özelliği, kayıt istasyonunun deprem merkezine olan uzaklığının kısa olmasıdır. Bu nedenle, 3 ayrı azalım ilişkisi kullanılarak faya uzak ve faya yakın yapay yer hareketleri üretilmiş ve faya olan uzaklığın kat ötelemesi ve birleşim dönmesi değerlerine etkisi daha detaylı olarak araştırılmıştır.

Örnek çerçevelerin faya uzak ve faya yakın yapay yer hareketleri altında elde edilmiş maksimum kat öteleme değerleri ve ortalamaları 9.0m açıklıklı çerçeveler için Şekil 5.2’de verilmiştir. 7.0m açıklıklı çerçevelerin kat ötelemeleri [21] çalışmasında bulunabilir.

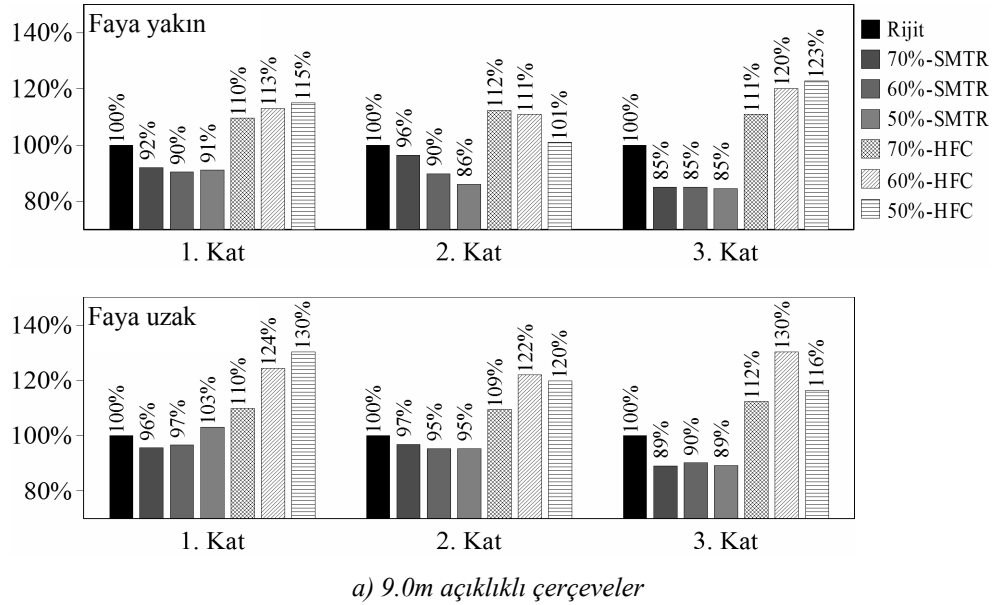
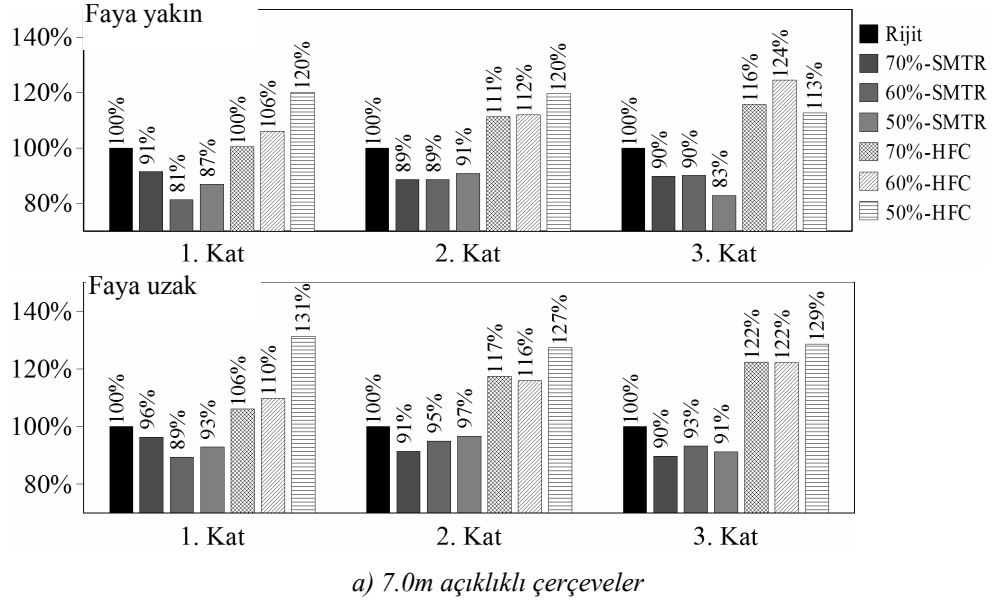
Her iki deprem seviyesi için, 9 faya uzak ve 9 faya yakın yer hareketi kaydı altında hem yarı rijit hem de rijit birleşimli çerçevelerin ortalama kat öteleme değerleri kabul edilebilirlik sınırlarını sağlamıştır. Ancak sonuçlar tek tek incelendiğinde, tasarım ve maksimum deprem seviyesi için yapılan 504 analizden 20 tanesinde kabul edilebilirlik sınırları aşılmıştır. Kabul edilebilirlik sınırının aşıldığı 20 analizin 17 tanesi, 7.0m açıklıklı HFC modelli çerçevelerin tasarım depremi seviyesinde, 3 tanesi ise 9.0m açıklıklı HFC modelli çerçevelerin tasarım depremi seviyesinde oluşmuştur. Ayrıca SMTR birleşim davranış modelinin kullanıldığı hiçbir analizde kabul edilebilirlik sınırlarında aşılmamıştır.



Şekil 5.2. 9.0m açıklıklı çerçevelerin yapay kayıtlar altında kat ötelemeleri

Yarı Rijit Birleşimli Çelik Çerçevelerin Kat Öteleme ve Birleşim Dönmelerinin İncelenmesi

Yarı rijit birleşimli çerçevelerin ortalama kat ötelemelerinin, rijit birleşimli çerçeve sonuçlarına oranı da incelenmiş ve tasarım depremi altındaki karşılaştırmaları Şekil 5.3'de verilmiştir. Maksimum deprem seviyesi için yapılan karşılaştırmalar [21] çalışmasında bulunabilir.



Şekil 5.3. Yapay kayıtlar altında ortalama kat ötelemelerinin karşılaştırılması

7.0m ve 9.0m açıklıklı çerçevelerde en düşük ortalama kat ötelemeleri, hem faya yakın hem de faya uzak yer hareketi kayıtları altında SMTR modellenli yarı rijit birleşimli çerçevelerde oluşmuştur. Ayrıca faya yakın yer hareketleri altında; SMTR birleşim modellenli tüm yarı rijit çerçevelerde ve tüm katlarda, rijit birleşimli çerçeveden daha az ortalama kat ötelemesi oluşmuştur. SMTR birleşim modellenli çerçevelerdeki bu azalmalar tasarım deprem seviyesinde %19'lara, maksimum deprem seviyesinde ise %22 mertebelerine kadar varmaktadır. Bunun yanında HFC modellenli tüm çerçevelerde oluşan ortalama kat ötelemeleri rijit birleşimli çerçevelerde oluşan kat ötelemelerinden daha büyüktür. HFC birleşim modellenli çerçevelerdeki bu artışlar tasarım deprem seviyesinde %31'lere, maksimum deprem seviyesinde ise %42'lere kadar varmaktadır. Tüm çerçevelerde ve tüm deprem seviyelerinde, faya yakın kayıtlar altında elde edilen oranlar (yarı rijit birleşimli çerçevelerin ortalama kat ötelemelerinin, rijit birleşimli çerçeve sonuçlarına oranı) faya uzak kayıtlar altında elde edilen oranlardan daha küçüktür.

Elde edilen tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, yarı rijit birleşim kullanılmasının çerçeve rijitliğini azaltmasına rağmen, kat ötelemelerini aynı ölçüde arttırmadığı görülmektedir. Bunun nedeni olarak, rijit birleşimli çerçevenin periyodundan sonra ivme spektrumundaki hızlı düşüşün, yarı rijit birleşimli çerçevelere rijit birleşimli çerçevelerden daha az deprem yükü etkimesi olduğu düşünülmektedir. Özellikle faya yakın deprem kayıtlarının ivme spektrumunda bulunan bu hızlı düşüş bölgesi incelenen bazı yarı rijit birleşimli çerçevelerde daha küçük deplasmanların oluşmasına yol açmıştır. Bu nedenle faya yakın bölgelerde yapılacak yapılarda yarı rijit birleşimlerin kullanılmasına ait bir potansiyelin olduğu düşünülmektedir. Ancak bu sonuçların uygulamaya yansıtılabilmesi için daha detaylı analitik ve deneysel çalışmaların yapılması gerekmektedir.

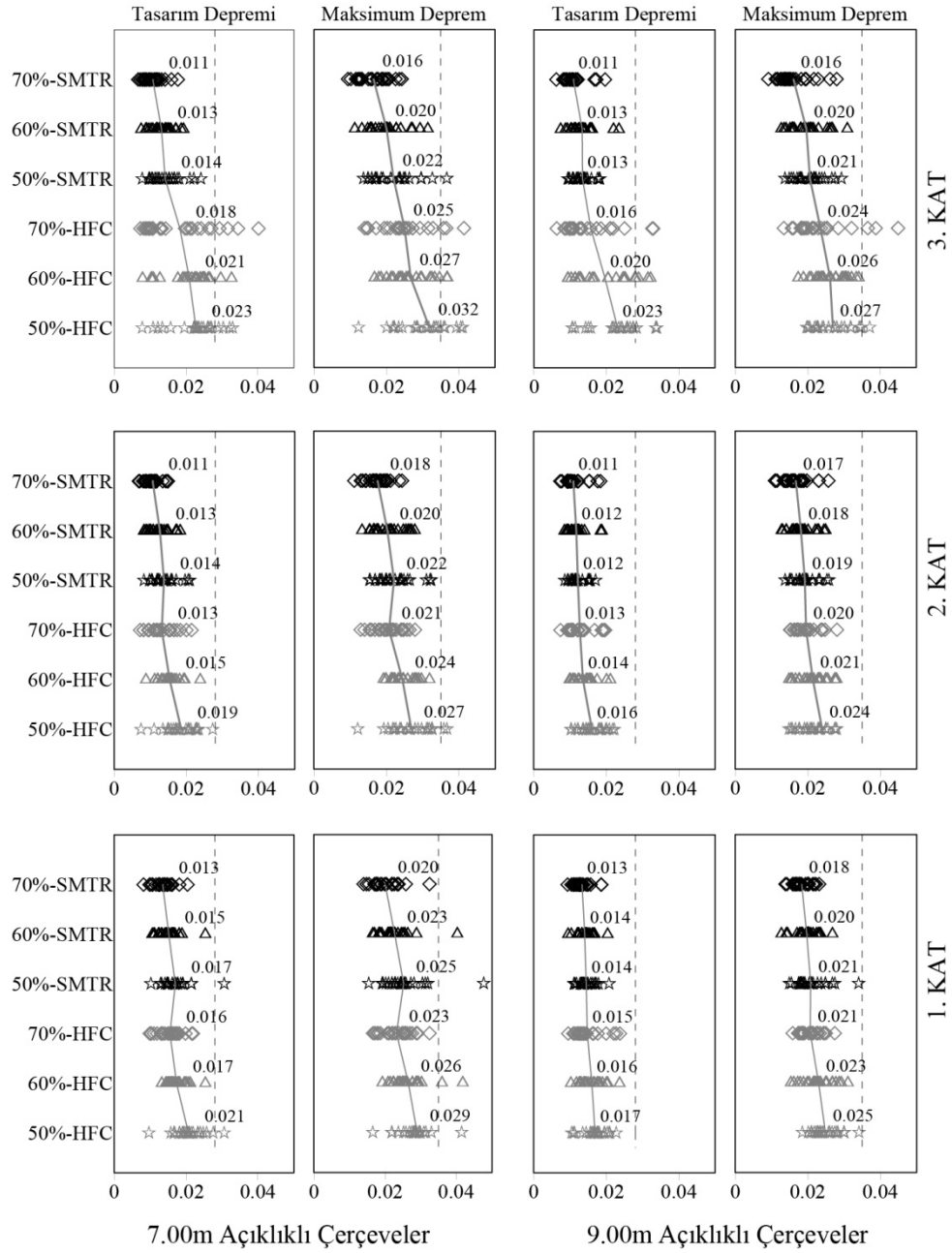
5.2. Birleşim Dönmeleri

Gerçek yer hareketi kayıtları kullanılarak yapılan analizler sonucunda çerçevelerin her katındaki maksimum birleşim dönme değerleri, tasarım ve maksimum deprem seviyesi için belirlenmiş ve Şekil 5.4'de verilmiştir. Verilen birleşim dönme değerleri sadece birleşim bölgesinde (Şekil 3.1a'da tanımlanan dönme yayında) oluşan dönme olup, kirislerde oluşan plastik dönme içermemektedir. Bu çalışmada hem rijit hem de yarı rijit birleşimli çerçevelerin kirisleri fiber tabanlı elemanlarla modellenmiş ve davranışları [21]'de detaylı olarak incelenmiştir.

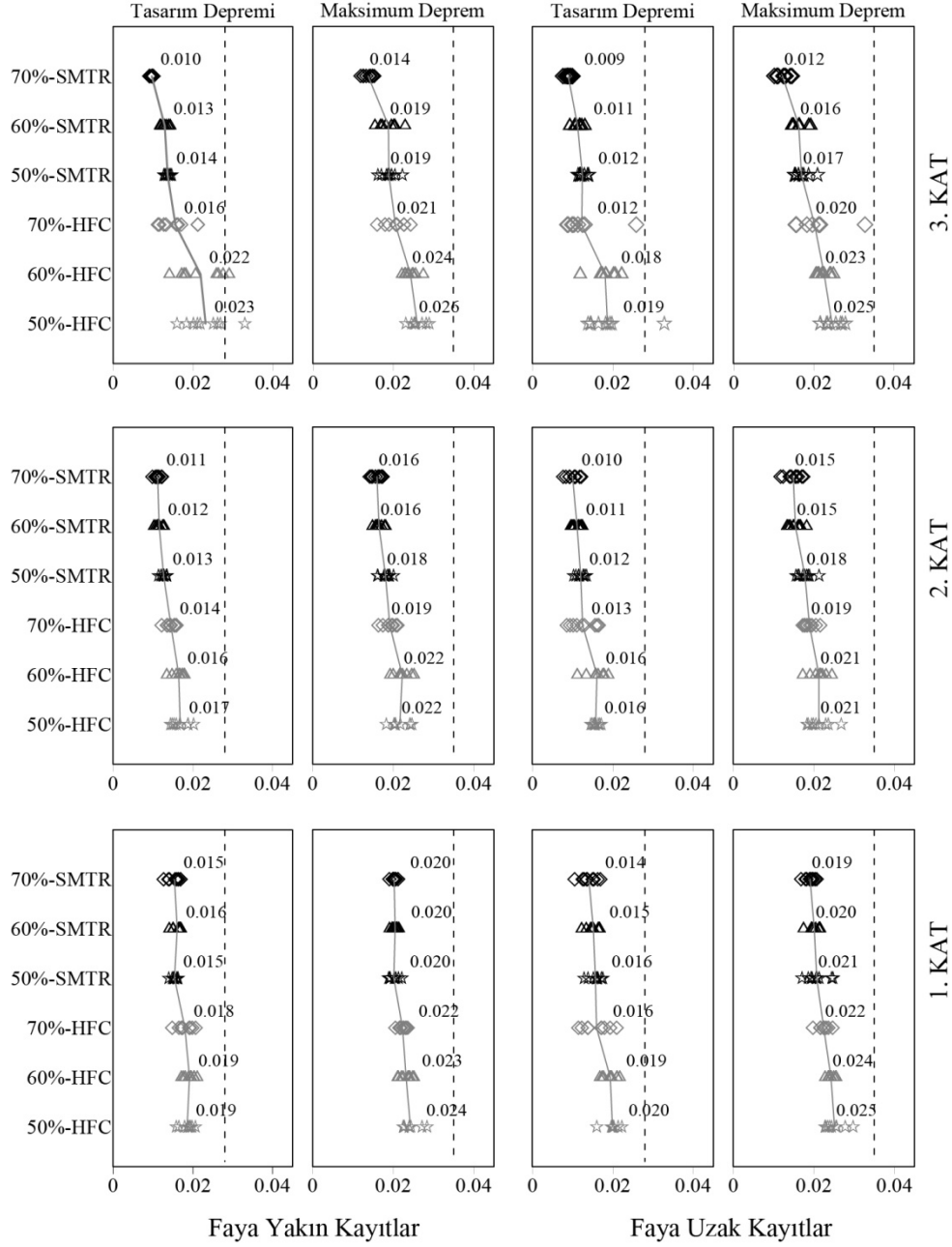
Hem tasarım hem de maksimum deprem seviyesi için tüm çerçevelerin ortalama birleşim dönme değerleri kabul edilebilirlik sınırlarını sağlamıştır. Ancak sonuçlar tek tek incelendiğinde, tasarım ve maksimum deprem için yapılan 600 adet analizden 58 tanesinde kabul edilebilirlik sınırları aşılmıştır. Kabul edilebilirlik sınırı SMTR birleşim modelinin kullanıldığı sadece 4 analizde aşılmıştır. Bunun yanında kabul edilebilirlik sınırının aşılması 1. ve 2. kat seviyelerine nispeten 3. kat seviyesinde yoğunlaşmıştır. Bunun da en büyük nedenlerinden biri, bu kattaki kiris boyutlarının küçük olmasıdır. Küçük olan kiris kapasiteleri kullanılarak hesaplanan birleşim kapasiteleri de dolayısıyla daha da küçük olmaktadır.

Faya uzak ve faya yakın yer hareketleri altında yapılan dinamik analizler sonucunda örnek çerçevelerin her katında elde edilen maksimum birleşim dönme değerleri 9.0m açıklıklı çerçeveler için Şekil 5.5'de verilmiştir.

Yarı Rijit Birleşimli Çelik Çerçeveslerin Kat Öteleme ve Birleşim Dönmelerinin İncelenmesi



Şekil 5.4. Çerçeveslerin gerçek kayıtlar altında birleşim dönmeleri



Şekil 5.5. 9.0m açıklıklı çerçevelerin yapyay kayıtlar altında birleşim dönmeleri

7.0m açıklıklı çerçevelerin maksimum birleşim dönme değerleri [21] çalışmasında bulunabilir. Her iki deprem seviyesi için 9 faya yakın ve 9 faya uzak yapay yer hareketi altında tüm yarı rijit çerçevelerin ortalama birleşim dönme değerleri kabul edilebilirlik sınırlarını sağlamaktadır. Ancak sonuçlar tek tek incelendiğinde, tasarım ve maksimum deprem için yapılan 432 adet analizden 23 tanesinde kabul edilebilirlik sınırları aşılmıştır. SMTR birleşim davranış modelinin kullanıldığı hiçbir analizde kabul edilebilirlik sınırı aşılmamıştır. Gerçek yer hareketi altındaki sonuçlara benzer olarak kabul edilebilirlik sınırının aşılması 1. ve 2. kat seviyelerine nispeten 3. kat seviyesinde yoğunlaşmıştır.

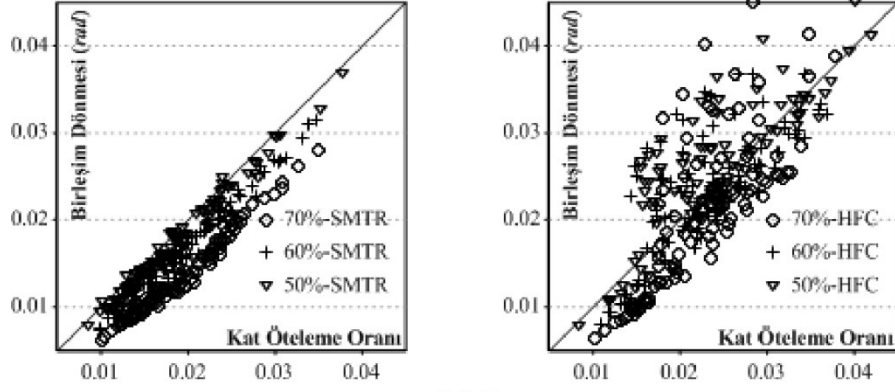
Hem gerçek hem de yapay yer hareketleri altında birleşimin moment kapasitesi azaldıkça birleşim dönme değerleri artmıştır. Ayrıca HFC birleşim modelli çerçevelerde, SMTR modelli çerçevelerden daha büyük birleşim dönme değerleri elde edilmiştir.

5.3. Birleşim Dönmesi – Kat Ötelemesi İlişkisi

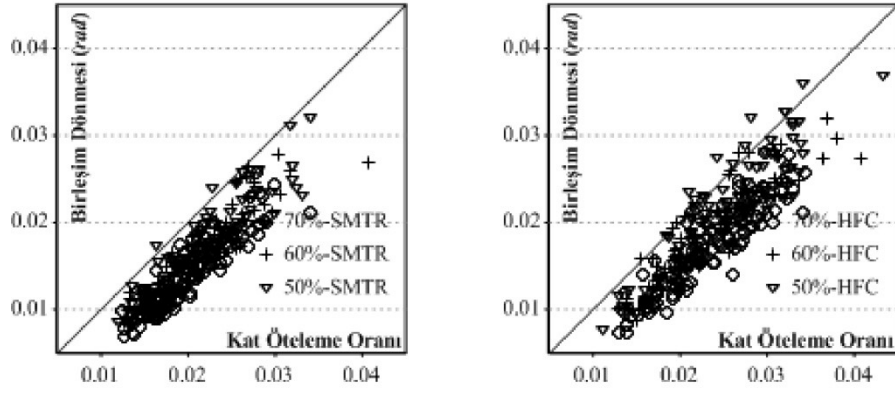
Gerçek ve yapay deprem kayıtları altında elde edilen her kattaki maksimum birleşim dönmesi - kat ötelemesi ilişkisi sırasıyla Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de verilmiştir.

Şekillerden görüldüğü üzere, her kattaki maksimum birleşim dönmesinin maksimum kat ötelemesine oranı yaklaşık olarak 1 civarında gerçekleşmektedir. Yapıların 1. katlarında maksimum birleşim dönmesi genellikle kat ötelemesinden büyük olurken, 2. ve 3. katlarında maksimum birleşim dönmesi genellikle kat ötelemesinden küçük çıkmıştır. Ancak bu durumun incelenen çerçevelere özgü olduğu ve yapının taban mesnet koşuluna bağlı olarak değişebileceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca her iki birleşim modelli çerçevelerin tüm katlarında maksimum birleşim dönmesinin kat ötelemesine oranı belirli bir değer etrafında yoğunlaşmaktadır. Ancak HFC birleşim modelli çerçevelerin 3. katında bu oranda yayılma gözlenmiştir. HFC birleşim modelli yarı rijit çerçevelerde oluşan maksimum birleşim dönmesi ve maksimum kat ötelemeleri her ne kadar SMTR birleşim modelli çerçevelerde oluşan değerlerden büyük olsa da, her kat için maksimum birleşim dönmesinin maksimum kat ötelemesine oranı her iki modelli çerçevelerde de benzer kalmaktadır.

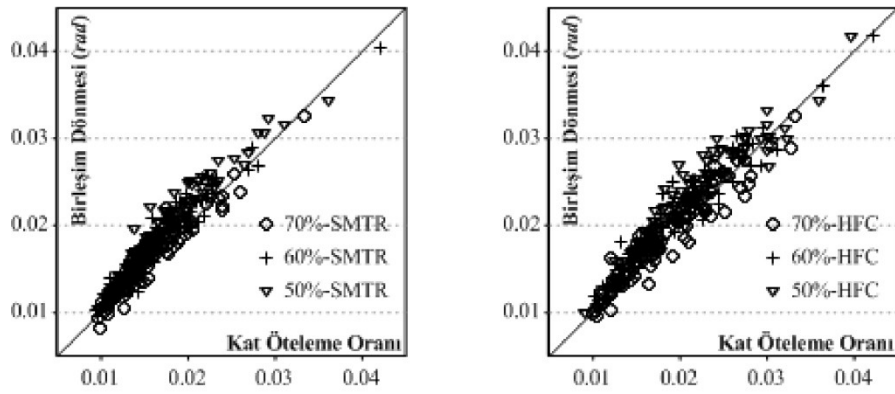
Yarı rijit birleşim kapasitesinin, maksimum birleşim dönmesi kat ötelemesi oranına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla SMTR birleşim modelli çerçevenin üçüncü katında oluşan maksimum birleşim dönmesi-kat ötelemesi ilişkisi Şekil 5.8’de %70, %60 ve %50 birleşim kapasiteli çerçeveler için ayrı ayrı verilmiştir. Ayrıca tüm yarı rijit çerçevelerin her katında oluşan maksimum birleşim dönmesinin kat ötelemesine oranlarının ortalamaları Çizelge 5.2’de verilmiştir. Şekilden ve çizelgeden görülebildiği üzere, yarı rijit birleşim kapasitesi azaldıkça her katta oluşan maksimum birleşim dönmesinin kat ötelemesine oranı artmaktadır. Bu artış, birleşim kapasitesinde yapılan her %10’luk azalma için ortalama %7 olarak gözlemlenmiştir.



a) 3.Kat



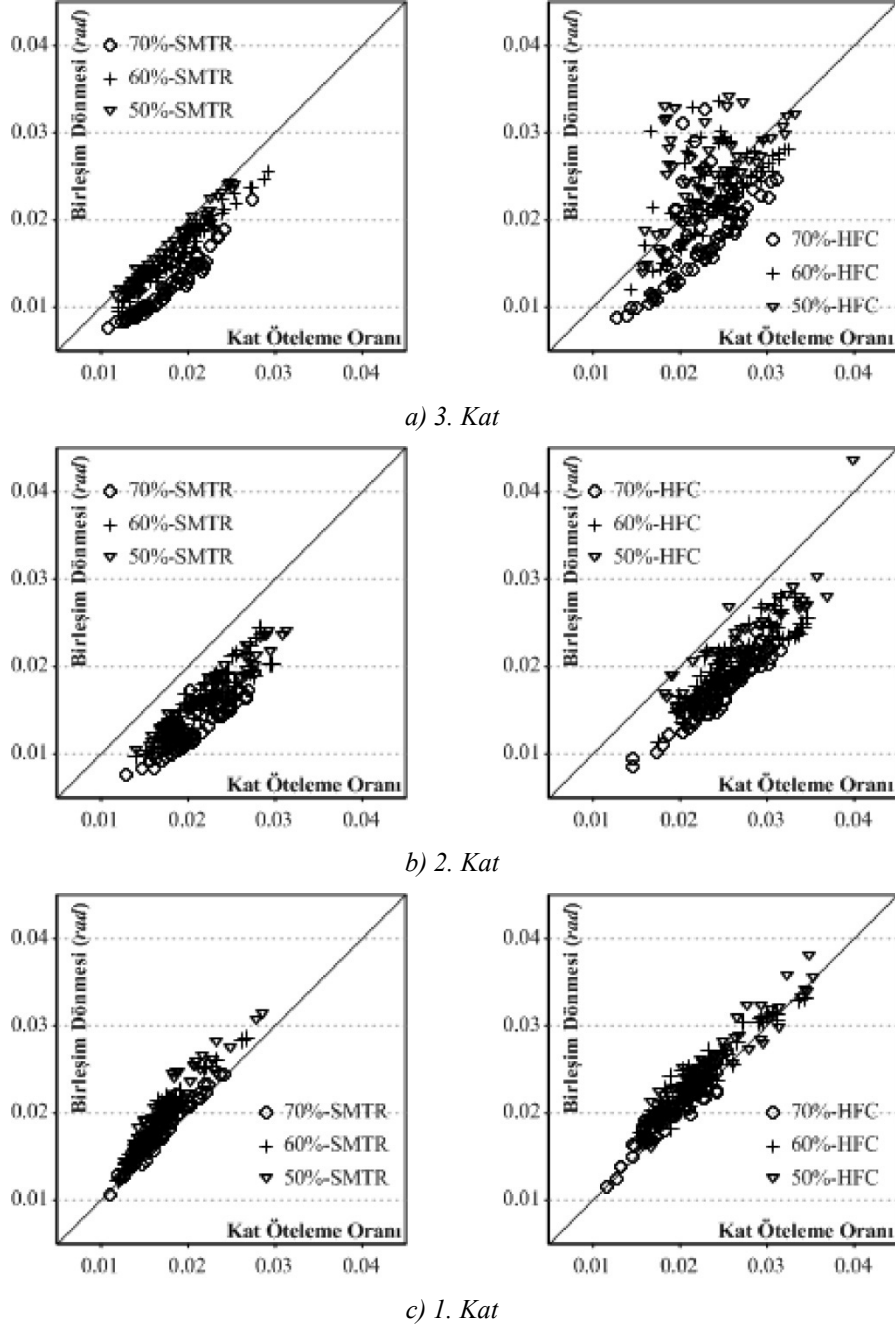
b) 2.Kat



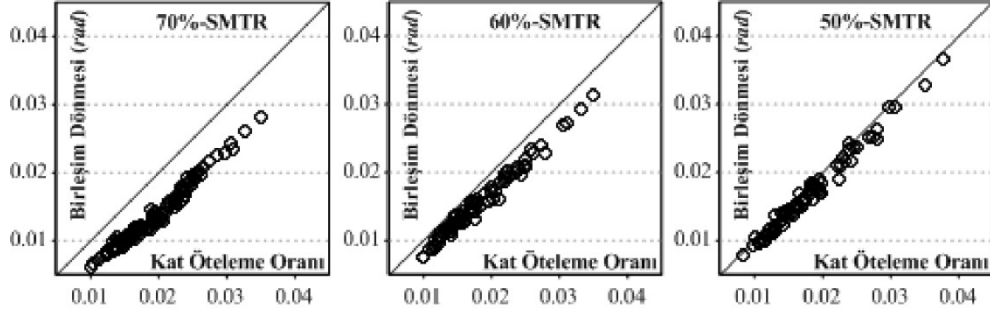
c) 1.Kat

Şekil 5.6. Gerçek kayıtlar altında birleşim dönmesi – kat ötelemesi ilişkisi

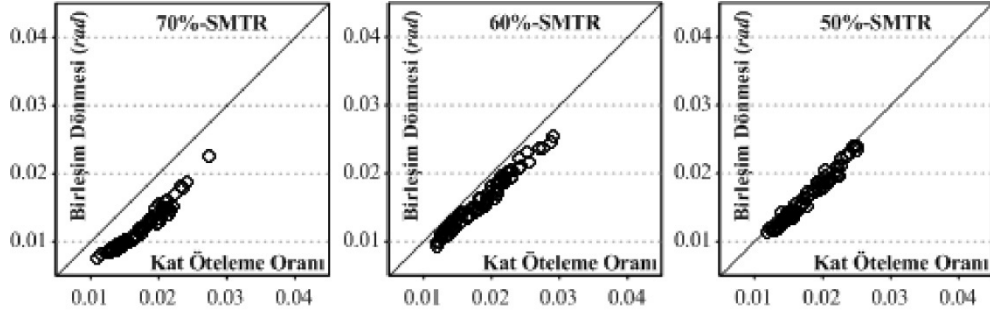
Yarı Rijit Birleşimli Çelik Çerçevelerin Kat Öteleme ve Birleşim Dönmelerinin İncelenmesi



Şekil 5.7. Yapay kayıtlar altında birleşim dönmesi – kat ötelemesi ilişkisi



a) Gerçek deprem kayıtları



b) Yapay deprem kayıtları

Şekil 5.8. 3. Kat birleşim dönmesi – kat ötelemesi ilişkisi

Çizelge 5.2. Ortalama birleşim dönmesi kat ötelemesi oranları

		70% SMTR	60% SMTR	50% SMTR	70% HFC	60% HFC	50% HFC
Gerçek deprem kayıtları	1.Kat	0.98	1.14	1.19	1.10	1.16	1.21
	2.Kat	0.66	0.77	0.81	0.79	0.83	0.92
	3.Kat	0.69	0.86	0.91	1.13	1.15	1.17
Yapay deprem kayıtları	1.Kat	1.06	1.13	1.15	1.05	1.09	1.08
	2.Kat	0.62	0.71	0.76	0.69	0.77	0.81
	3.Kat	0.68	0.86	0.92	0.81	0.98	1.07

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde maksimum birleşim dönme değerleriyle maksimum kat öteleme değerlerinin genellikle birbirine yakın olduğu görülmüştür. Bu ilişkiyi göz önüne alarak, kat ötelemelerinin ve birleşim dönmelerinin kabul edilebilirlik sınırlarını incelemekte fayda vardır. Kat ötelemesi ve birleşim dönmesi için can güvenliği ve göçmenin önlenmesi performans seviyelerinde FEMA 356'da [25] verilen sınırlar Çizelge 5.3'de verilmiştir. Yapay yer hareketi kullanılan tüm analizler sonucunda her kat için elde

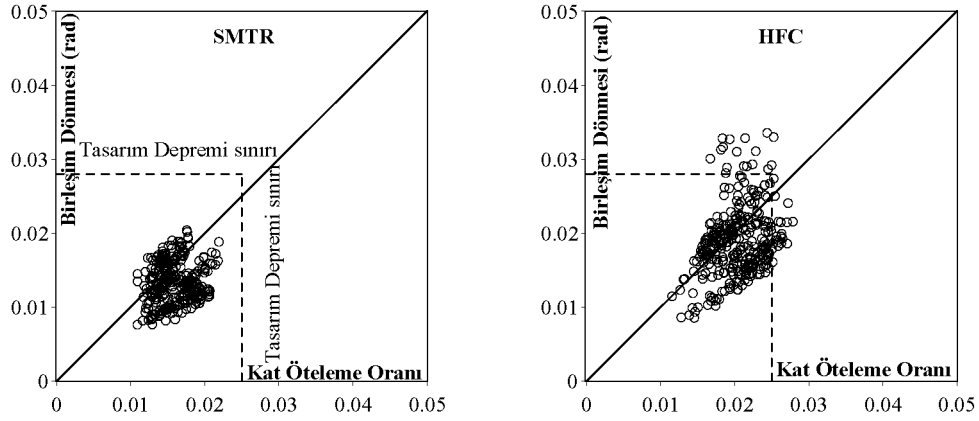
Yarı Rijit Birleşimli Çelik Çerçevelerin Kat Öteleme ve Birleşim Dönmelerinin İncelenmesi

edilen maksimum birleşim dönmesi-kat ötelemesi değerleri, kabul edilebilirlik sınırlarıyla birlikte Şekil 5.9'da tasarım depremi ve maksimum deprem seviyesi için ayrı ayrı verilmiştir.

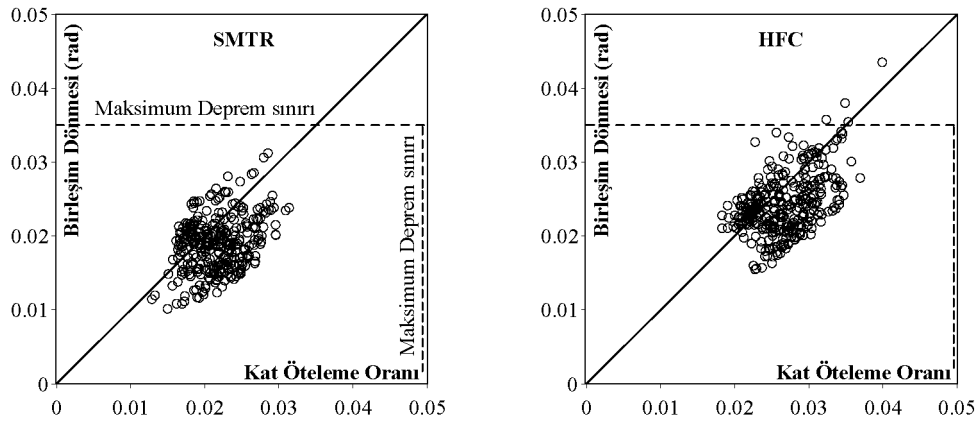
Çizelge 5.3. Kat ötelemesi ve birleşim dönmesi için kabul edilebilirlik sınırları [25]

	Can Güvenliği (Tasarım Depremi)	Göçmenin Önlenmesi (Maksimum Deprem)
Kat Ötelemesi	0.025rad	0.050rad
Birleşim Dönmesi*	0.028rad	0.035rad

*: Alın levhalı, bulonlu birleşimin ince levha davranışı için



a) Tasarım depremi



b) Maksimum deprem

Şekil 5.9. Birleşim dönmesi-kat ötelemesi ilişkisi ve kabul edilebilirlik sınırları

Kat ötelemesi ve birleşim dönmesi için can güvenliği seviyesine ait kabul edilebilirlik sınırları birbirine yakın değerlerdir. Örnek çerçevelerde bu iki sonucun birbirine yakın çıktığı göz önüne alınırsa, tasarım depremi altında her iki sınırı da sağlayacak çerçeveleri ekonomik olarak tasarlamak mümkündür. Ancak göçmenin önlenmesi performans seviyesi için, birleşim dönmesi sınırı, kat ötelemesi sınırının %70'i kadardır. Bu da maksimum deprem seviyesi altında, birleşim dönmesini belirleyici tasarım kriteri haline getirmektedir.

6. SONUÇLAR

Dört farklı birleşim taşıma kapasitesine (rijit, %70, %60, %50) ve iki farklı açıklığa (7.0m ve 9.0m) sahip kısmi dayanımlı/yarı rijit birleşimli çelik çerçevelerin kat ötelemeleri, birleşim dönmeleri ve aralarındaki ilişkiler zaman tanım alanında dinamik analizler yapılarak incelenmiştir. Dinamik analizlerde 25 adet gerçek yer hareketi ve 18 adet yapay yer hareketi kaydı iki farklı deprem seviyesine ölçeklendirilerek kullanılmıştır. Ayrıca analizlerde kısmi dayanımlı/yarı rijit birleşimlerin çevrimsel davranışı iki farklı model kullanılarak modellenmiştir.

Tüm çerçevelerin ortalama kat öteleme ve birleşim dönme değerlerinin, hem tasarım hem de maksimum deprem seviyelerinde kabul edilebilirlik sınırlarını sağladığı görülmüştür. Ancak 1204 analizinin 51 adetinde kat öteleme sınırı, 81 adetinde ise birleşim dönme sınırı aşılmıştır. Birleşim dönmelerinin kabul edilebilirlik sınırlarını aştığı durumlar genellikle en üst katta yoğunlaşmıştır. Bunun nedeni, bu kattaki kiriş kesitlerinin ve devamında birleşim taşıma kapasitelerinin diğer katlara nazaran daha küçük olmasıdır. Bu nedenle en üst katlarda, diğer katlara oranla daha fazla kapasite oranlı yarı rijit birleşim tasarlanmasında fayda vardır. Ayrıca birleşim kapasitesinin azalması ve çevrimsel yükler altında rijitlik azalmasına maruz kalması, birleşim dönmelerini arttırmıştır. Bundan dolayı tasarlanacak yarı rijit çerçevelerde, birleşim kapasitesinin %50 veya daha üzerinde seçilmesinde fayda vardır. Ayrıca yarı rijit birleşim tipi olarak, genellikle rijitlik azalmalı çevrimsel davranışa sahip birleşimler (başlıkları korniyerli veya yarım I profilli) yerine nispeten daha az rijitlik azalması gösteren birleşimler (örn. uzatılmış aln levhalı bulonlu) tercih edilmelidir.

Bunların yanı sıra yarı rijit birleşimli çerçevelerin ortalama kat ötelemelerinin, rijit birleşimli çerçeve sonuçlarına oranı da incelenmiştir. Gerçek yer hareketleri altında ve tasarım deprem seviyesinde, 7.0m açıklıklı %50 birleşim kapasiteli çerçeve haricinde SMTR birleşim modeli (çevrimsel yükler altında rijitlik azalması göstermeyen) tüm yarı rijit çerçevelerde ve tüm katlarda, rijit birleşimli çerçeveden daha az ortalama kat ötelemesi oluşturduğu gözlenmiştir. Benzer şekilde faya yakın yer hareketleri altında; SMTR birleşim modeli tüm yarı rijit çerçevelerde ve tüm katlarda, rijit birleşimli çerçeveden daha az ortalama kat ötelemesi oluşturduğu gözlenmiştir.

Yarı rijit çerçevelerin birleşim dönmesi-kat ötelemesi ilişkisi her kat için ayrı ayrı incelenmiş ve birleşim kapasitesinin ve davranış modelinin bu ilişkiye olan etkisi irdelenmiştir. Analizler sonucunda, her katta oluşan maksimum birleşim dönmesinin maksimum kat ötelemesine oranının 1'e yakın olduğu gözlenmiştir. Birleşim dönmesi-kat ötelemesi ilişkileri değerlendirildiğinde, tasarım depremi altında her iki davranış için verilen performans seviyelerinin benzer olması nedeniyle çerçeveleri her iki davranış açısından benzer güvenlik seviyelerinde tasarlanmanın mümkün olduğu görülebilmektedir. Ancak maksimum deprem seviyesi kriterleri göz önüne alındığında birleşim dönmesi kat

ötelemesine oranla daha baskın bir tasarım kriteri olmaktadır.

Elde edilen sonuçlar, analizlerde kullanılan çerçeve sistemlerine özgü olup, bu sonuçların genellenmesi ve uygulamaya yansıtılabilmesi için öncelikle farklı yapı geometrileri kullanılarak çalışmaların tekrarlanması ve gerçek boyutlu fiziksel testlerle elde edilen sonuçların doğrulanması gerekmektedir.

Kaynaklar

- [1] Nader, M.N., Astaneh, A.A., Dynamic behavior of flexible, semirigid and rigid steel frames, *Journal of Construction Steel Research*, 18, 179-192, 1991
- [2] Nader, M.N., Astaneh, A.A., Shaking table tests of rigid, semirigid and flexible steel frames, *Journal of Structural Engineering*, 122, 6, 589-596, 1996
- [3] Elnashai, A.S., Elghazouli, A.Y., Seismic behavior of semi rigid steel frames, *Journal of Constructional Steel Research*, 29, 149-174, 1994
- [4] Elnashai, A.S., Elghazouli, A.Y., Denesh-Ashtiani, F.A., Response of semi rigid steel frames to cyclic and earthquake loads, *Journal of Structural Engineering*, 124, 8, 1998
- [5] Nader, M.N., Astaneh, A.A., Seismic behavior and design of semirigid steel frames, UCB/EERC-92/06, University of California at Berkeley, 1992
- [6] Maison, B.F., Kasai, K., Seismic performance of 3 and 9 story partially restrained moment frame buildings, SAC/BD-99/16, SAC Joint Venture, 2000
- [7] Maison, B.F., Kasai, K., Mayangarum, A., Effects of partially restrained connection stiffness and strength on frame seismic performance, SAC/BD-99/17, 2000
- [8] Lui, E.M., Lopez, A., Dynamic analysis and response of semi rigid frames, *Engineering Structures*, 19, 8, 644-654, 1997
- [9] Salazar, A.R., Haldar, A., Energy dissipation at PR frames under seismic loading, *Journal of Structural Engineering*, 12, 5, 588-592, 2001
- [10] Akbas, B., Shen, J., Seismic behavior of steel buildings with combined rigid and semi rigid frames, *Turkish Journal of Engineering Environment Science*, 27, 253-264, 2003
- [11] Sekulovic, M., Danilovic, M.N., Contribution to transient analysis of inelastic steel frames with semi rigid connection, *Engineering Structures*, 30, 976-989, 2008
- [12] Aksoylar, D.N., Elnashai, A.S., Mahmoud, H., The design and seismic performance of low-rise long-span frames with semi-rigid connections, *Journal of Constructional Steel Research*, 67, 114-126, 2011
- [13] Aksoylar, D.N., Elnashai, A.S., Mahmoud, H., Seismic performance of semi-rigid moment-resisting frames under far and near field records, *Journal of Structural Engineering*, 138, 2, 157-169, 2012
- [14] American Institute of Steel Construction, Inc., Seismic provisions for structural steel buildings, AISC 341S1-05, 2005

- [15] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007
- [16] Eurocode EN 1998-1, Design of structures for earthquake resistance-part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, CEN, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2004
- [17] American Institute of Steel Construction, Inc., Specification for structural steel buildings, AISC 360-05, 2005
- [18] American Society of Civil Engineers, Minimum design loads for building and other structures”, ASCE SEI 7-05, 2006
- [19] American Institute of Steel Construction, Inc., Steel design guide series 16, flush and extended multiple - row moment end-plate connections, AISC, 2003
- [20] Eurocode EN 1993-1-8, Design of steel structures-part 1-8: Design of joints, CEN, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2005
- [21] Aksoylar, N.D., Yarı rijit birleşimli çelik çerçevelerin deprem performansının belirlenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009
- [22] Elnashai, A.S., Papanikolaou, V. Lee, D.H., Zeus-NL user manual version 1.8.1, Mid-America Earthquake Center, University of Illinois Urbana – Champaign, 2008
- [23] Elnashai, A.S., Elghazouli, A.Y., Performance of composite steel/concrete members under earthquake loading, part I: analytical model, Earthquake Engng Struct. Dyn. 22, 4, 314–345, 1993
- [24] Elnashai, A.S., Izzuddin, B.A., Modeling of material nonlinearities in steel structures subjected to transient dynamic loading, Earthquake Engng Struct. Dyn. 22, 509–532, 1993
- [25] FEMA 356 (Federal Emergency Management Agency), Prestandart and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, Washington D. C, 2000
- [26] Housner, G.W., Spectrum intensities of strong motion earthquakes, Earthquake Engineering Research Institute from Proceedings of the Symposium on Earthquakes and Blast effects on Structures, University of California at Los Angeles, June 1952
- [27] Ambraseys, N.N., Simpson, K.A., Bommer, J.J., Prediction of horizontal response spectra in Europe, Earthquake Engng Struct. Dyn., 25, 371-400, 1996
- [28] Boore, D.M., Joyner, W.B., Fumal, T.E., Equations for estimating horizontal response spectra and peak acceleration from western North American earthquakes: A summary of recent work, Seismological Research Letters, 68, 1, 1997
- [29] Ambraseys, N.N., Douglas, J., Near field horizontal and vertical earthquake ground motions, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 23, 1-18, 2003
- [30] Gasparini, D.A., Vanmarcke, E.H., Simulated earthquake motions compatible with prescribed response spectra, Department of Civil Engineering, Research Report R76-4, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA, 1976