



Kahramanmaraş Sutcu Imam University

Journal of Engineering Sciences



Çarpışma Önlemenin Çok Serbestlik Dereceli Yapı Sistemlerinin Kalıntı Deplasman Oranları Üzerindeki Etkisinin Deprem ve Yapı Karakteristiklerine Bağlı Olarak İncelenmesi

Effect of Structural Pounding Mitigation Methods on the Residual Displacements of MDOF systems as a Function of Ground Motion and Structure Characteristics

Ayşe Ruşen DURUCAN*

¹ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Elazığ, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ayşe Ruşen DURUCAN , ardurucan@firat.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, birbirine çok yakın olan yapılar üzerinde, deprem esnasında yapıların çarpışması sonucu oluşabilecek hasarları azaltmak için önerilen bazı yöntemlerin deprem sonrasında ortaya çıkan kalıntı deplasman miktarları üzerindeki etkileri deprem ve yapı özelliklerine bağlı olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında çok serbestlik dereceli kayma binalarının idealize edilmiş modelleri oluşturularak deprem ve yapı özelliklerini parametre olarak kabul eden doğrusal ötesi dinamik analizler yapılmıştır. Yapı parametreleri olarak yapıların kütle miktarları ve rijitlikleri ve deprem parametresi olarak ise depremin en büyük yer ivmesinin en büyük yer hızına oranı seçilmiştir. Yapılan analizler sonucunda seçilen parametrelerin ve çarpışma önleme yöntemlerinin yakın konumlanmış yapıların kalıntı deplasman miktarları üzerindeki etkileri ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çekiçleme, En Büyük Yer İvmesi, En Büyük Yer Hızı.

ABSTRACT

This study is focused on the effect of some pounding mitigation systems, proposed to reduce the damage due to structural pounding, on the residual displacements, which occurs after ground motions, of closely located structures, as a function of ground motion and structural parameters. In scope of the study, idealized models of multi degree of freedom shear buildings were constructed and the ground motion effects were simulated by nonlinear dynamic time history analyses. Amount of structural masses and stiffnesses of structures were used as structural parameters and peak ground acceleration to peak ground velocity ratio was used as ground motion parameter. From the analyses results, effects of pounding mitigation systems and selected structural and ground motion parameters on the residual displacement demands of closely located structures were revealed.

Keywords: Structural Pounding, Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity

1. GİRİŞ

Yeryüzünde meydana gelen depremler, diğer doğal afetlere kıyasla çok fazla yıkıma, maddi ve manevi kayıplara yol açmaktadır (Jia Junbo, 2016). Bu sebeple bilim adamları uzun yıllardır depremlerin yapılar üzerindeki etkisini azaltıcı yöntemler araştırmaktadırlar. Yapıya etkimesi beklenen deprem kuvvetlerine karşı koyabilecek yapılar üretmek ise bu araştırma konularındandır. Ancak yapıların beklenen deprem kuvvetleri altında hiç hasar almadan depremi atlattığını sağlayacak şekilde imal edilmesi estetik ve ekonomik açıdan problemler doğurmaktadır. Depremde hiç hasar almayacak yapı yerine kontrol edilebilir ve kısıtlanmış miktarda hasar alacak yapı üretmek ise daha ekonomiktir ve daha düşük boyutlarda yapı elemanları kullanımı gerektirdiğinden daha estetikdir. Kontrollü miktarda hasar alması beklenen yapının hasar miktarını kontrol etmekte kullanılan ölçütlerden biride yapının kat seviyelerinde ve çatı katı seviyesinde yaptığı yatay yer değiştirme miktarıdır. Deprem anında oluşacak bu yatay yer değiştirmelerin en büyük değerleri yapıların tasarım kriterleri arasında yer almaktadır. Bu sebeple yapıların deprem anında yapacakları en büyük yer değiştirme değerlerini önceden tahmin edebilmek için yoğun çalışmalar yapılmış ve performans dayalı tasarım olarak isimlendirilen tasarım yaklaşımında kullanılacak şekilde, yapıların çeşitli şiddetlerdeki yer hareketleri altında yapması beklenen yer değiştirmeleri tahmin edebilen basitleştirilmiş denklemler üretilmiştir.

Yapıların deprem anında yapması beklenen yer değiştirmeleri etkileyen faktörler arasında, birbirlerine çok yakın inşa edilen yapılarda gözlenen, yer hareketinin etkisiyle deprem anında ortaya çıkan, çarpma etkisi de vardır. Bu etkinin ciddi yapısal hasarlara yol açtığı bilinmektedir (Efraimiadou ve ark. 2013). Bu sebeple modern yapı şartnameleri, yapıların deprem anında çarpışmasını engelleyebilmek için yeni inşa edilecek yapıların belli aralıklarla yapılmasını gerektirmektedir. Ancak görece eski yapılarda, inşaat aşamasında yapıların çarpışmasını engelleyecek bu mesafelerin korunmasına dikkat edilmediği sıkça görülmektedir. İşte bu sebepten, mevcut yapılarda oluşan çarpışma etkilerini en aza indirmek amacıyla çeşitli araştırmacılar tarafından çeşitli yöntemler önerilmiştir. Yapıların rijit elemanlarla veya enerji sönümleme yeteneği olan damper tipi elemanlarla birbirlerine bağlanması bu yöntemlerden bazılarıdır (Jankowski ve Mahmoud, 2016). Literatürde, bu

yöntemlere ilişkin çalışmalar bulunmaktadır (Jankowski ve Mahmoud, 2016). Bu yöntemlerle birbirine bağlanmış yapıların deprem performansları değerlendirilirken genelde yapıların çatılarının yer değiştirmelerinin en büyük değerleri takip edilmiştir.

En büyük yer değiştirme değerinin yanında, incelenmesi gereken bir diğer parametre ise kalıntı yer değiştirme miktarıdır. Yapıların deprem sonrası durumunun değerlendirmesi yapılırken yapı üzerinde kalan kalıcı yer değiştirmelerin (kalıntı yer değiştirme) bilinmesi gerekmektedir. Bu değer deprem sonrası ayakta kalan yapının rehabilite edilip edilemeyeceğini gösteren değişkenler arasında yer almaktadır (Yazgan ve Dazio, 2012). Bu sebeple çeşitli şartnamelerde, deprem sonrası ortaya çıkan kalıntı yer değiştirme miktarı ile ilgili kısıtlamalar getirildiği bilinmektedir.

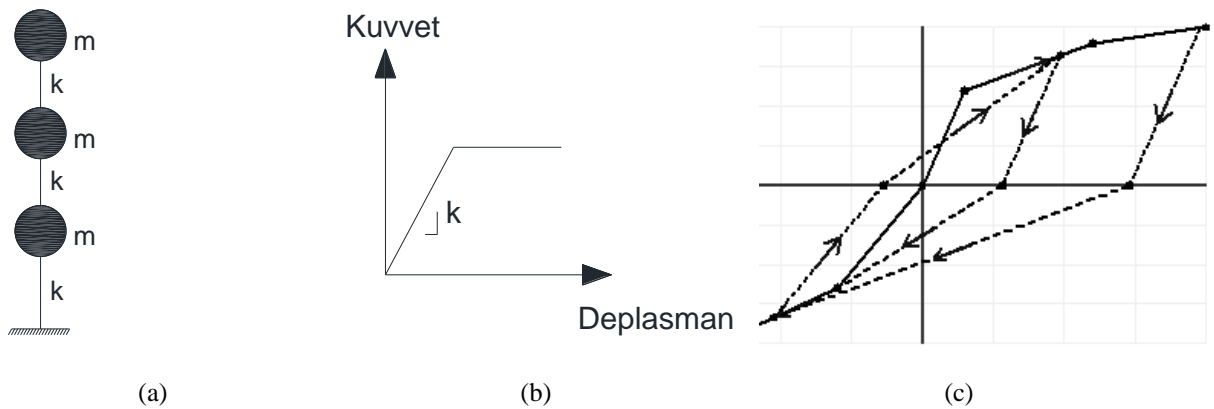
Bu çalışmada, çok serbestlik dereceli basitleştirilmiş yapı sistemler üzerinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan deprem analizleri yapılarak, yapıların çarpışmasını engellemek üzere önerilen sistemlerden bazılarının, deprem sonrası oluşan kalıntı yer değiştirme miktarları üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2. ANALİZLERDE KULLANILAN ÇOK SERBESTLİK DERECELİ SİSTEMLER

Bu çalışmada analizi yapılan sistemler, daha önce Jankowski (2008) ve Jankowski ve Mahmoud (2016). tarafından üç katlı kesme binası olarak modellenen yapılardır. Kütleleri kat seviyesinde verilerek modellenen bu iki yapı; (i) ana bina ve (ii) ona bitişik sayılabilecek merdiven kulesini temsil etmektedir. Kesme binaları kullanılarak kurulan modellerde (Fujii ve ark. 2004) görülebildiği gibi bu çalışmada da modellenen yapılarda elastik ötesi davranış, eğilme modunda çalışan betonarme elamanlarda sıkça kullanılan Takeda Modeli (Takeda ve ark. 1970) kullanılarak tanımlanmıştır. Yapılara ait; (i) periyot (T), (ii) kat kütlesi (m), (iii) rijitlik (k), (iv)akma kuvveti (F_y), (v) enerji sönümlenme oranları, (vi) toplam kütle miktarları ve (vii) yatay kuvvet oranları ($R=m \cdot S_a / V_y$) değerleri Tablo 1'de verilmiştir. İdealize edilerek modellenen yapıların ve kuvvet – deplasman ilişkilerinin temsili şekli ise Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Yapı özellikleri

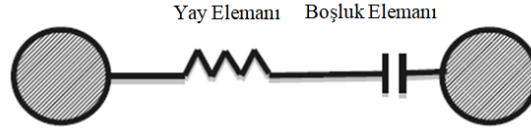
1. Yapı	2. Yapı
$m=25 \times 10^3$ kg	$m=1000 \times 10^3$ kg
$k=3.46 \times 10^6$ N/m	$k=2.215 \times 10^9$ N/m
$F_y=1.369 \times 10^5$ N	$F_y=1.442 \times 10^7$ N
$T=1.2$ s	$T=0.3$ s
%5 Enerji Sönümü	%5 Enerji Sönümü
Toplam Kütle=75 ton	Toplam Kütle =3000 ton
$S_a(g)=1.05, 0.8, 0.8$	$S_a(g)=0.2, 0.35, 0.85$
$V_y=137$ kN	$V_y=14424$ kN
$R=5.64, 4.30, 4.30$	$R=0.41, 0.71, 1.73$



Şekil 1. (a)Modellenen yapılar, (b) kuvvet – deplasman eğrilerinin zarf eğrisi, (c) Takeda Modeli.

Çalışma kapsamında yapılar; (i) birbirleri arasında 1cm mesafe kalacak şekilde (çarpışma hali), (ii) birbirleri ile yeterli mesafe olacak şekilde ve (iii) rijit elemanlarla kat seviyeleri hizasında birbirlerine bağlanmış şekilde modellenmiştir. Rijit elemanlarla kat seviyesinde bağlanmış yapıların birlikte hareket etmesi sağlanarak çarpışmaları önlenmiştir. Çarpışan yapılarda, çarpışmanın modellenmesi için ise kat seviyelerinde birbirlerine seri bağlanmış doğrusal yay ve boşluk elemanı kullanılmıştır (Şekil 2). Bu şekilde, aradaki boşluk kapanana kadar yapıların birbirinden bağımsız, boşluğun kapanma anında ise çarpışma davranışına göre davranması sağlanmıştır. Bu modelleme yöntemi ile gerçek çarpışmalarda ortaya çıkan enerji

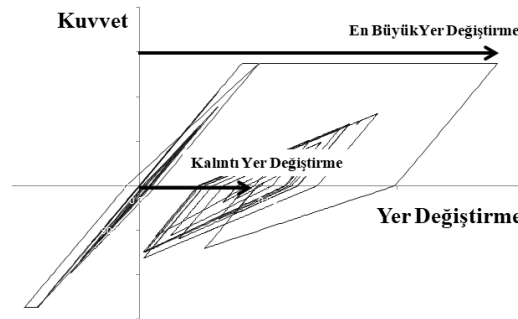
kaybı modellenememektedir. Ancak çalışmanın hedefi gerçek artık yer değiştirme değerlerine ulaşmak değil, parametrik olarak yapılan analizlerden sistemlerin birbirlerine kıyasla ortaya çıkarttıkları artık deplasman değerlerini irdelemektir. Bu sebeple bu modelleme tekniği kullanılarak yapılan çarpışma modellemesi bu çalışma için uygundur. Öte yandan en karmaşık çarpışma modelleri kullanılsa bile, çok serbestlik dereceli yapıların doğrusal ötesi davranışlarını modellerken yapılan malzeme, davranış ve geometri ile ilgili kabullerin artık deplasman değerleri üzerinde ciddi etkisi olduğu bilinmektedir.



Şekil 2. Yapıların çarpışmasında kullanılan seri bağlı yay ve boşluk elemanı

3. ANALİZLER İÇİN SEÇİLEN DEPREM KAYITLARI

Çalışma kapsamında yapılan dinamik analizlerin gerçekleştirilebilmesi için toplam 21 adet deprem kaydı kullanılmıştır. Bu deprem kayıtları seçilirken, deprem dalgalarının frekans içeriği hakkında önemli bilgi sağlayan PGA/PGV (Nejati ve ark. 2012) özellikleri dikkate alınmıştır. Bilindiği gibi bir deprem kaydına ait PGA/PGV değeri, gelen dalgaların frekans dağılımını temsil eden bir değerdir (Nejati ve ark. 2012). Bu değer, kayıttın alındığı zemin tipine, kayıttın alındığı bölgenin ana faya olan uzaklığına, fayın tipine ve ana depremin büyüklüğü gibi parametrelere bağlıdır. Ayrıca bu değer küçük olduğu depremlerde, tepki spektrumunda ortaya çıkan ivmeye duyarlı bölgenin diğer depremlere kıyasla daha geniş olduğu da bilinmektedir (Malhotra, 1999). Yine, Malhotra(1999)'nın verdiği bilgilere göre ivme-duyarlı bölgenin genişliği arttıkça: (i) yapıların görünen esnekliği azalmakta, (ii) taban kesme kuvveti ve katlar arası ötelenme değerleri artmakta, (iii)yüksek modların davranış üzerindeki etkisi azalmakta, (iv) ek enerji sönmü sağlayan mekanizmaların etkisi azalmakta ve (v) yapıya gelen süneklik talebi artmaktadır. Yukarıda verilen etkiler PGA/PGV değerinin depremin yapılar üzerindeki etkisinin derecesine dair ciddi bir değer taşıdığını göstermektedir. Bu etkilerden olan süneklik talebindeki artış ise bu çalışmaya konu olan analizler açısından özel bir önem taşımaktadır. Çünkü süneklik talebi arttıkça kalıntı yer değiştirme miktarı (talep) artmaktadır (Christopoulos, 2003). Kalıntı yer değiştirmenin kuvvet deplasman ilişkisindeki yeri temsili olarak Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Kalıntı yer değiştirme ve kuvvet-deplasman ilişkisi

Yukarıda verilen bilgiler ışığında, yazıf, orta şiddete ve yıkıcı depremleri temsil etmek üzere PGA/PGV değeri bir deprem parametresi olarak kullanılmıştır. Buna göre PGA/PGV değeri küçük olan depremler, geniş ivmeye duyarlı bölgeye sahip olan ve buna bağlı olarak yıkıcı potansiyel taşıyan depremler olarak kabul edilmiştir. PGA/PGV değeri büyük olan depremler ise aynı PGA değerine sahip diğer depremlere göre yıkıcı potansiyeli daha az olan depremler olarak kabul edilmiştir. Buna bağlı olarak seçilen depremlerin PGA değeri 0.4g olacak şekilde ölçeklendirilmiştir. Analizlerde kullanılan depremler faya olan en kısa mesafeleri 20km'den büyük olan uzak saha olarak nitelendirilebilecek depremler arasından seçilmiştir. Çünkü faya olan mesafesi 20km'den daha az olan depremler çeşitli yakın saha etkilerine bağlı olarak tek taraflı veya çift taraflı hız darbeleri içerebilmektedirler. Bu hız darbeleri yakın saha depremleri uzak saha depremlere kıyasla daha yıkıcı kılmaktadır. Bu sebeple son dönemlerde yapılan birçok çalışmada yakın saha ve uzak saha depremlerin ayrı kategoriler altında değerlendirildikleri görülmektedir. Bu çalışmada da bu ayrıma sadık kalarak ve yakın saha depremlerin özel etkilerinden arındırılmış sonuçlar elde edebilmek için, kullanılan deprem kayıtlarının tamamı uzak saha depremler arasından seçilmiştir. Her bir kategori için toplam 7 adet deprem seçilerek analiz edilmiş, daha sonra bu 7 depreme ait sonuçların ortalaması alınarak genel sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 2, 3 ve 4'te çalışma kapsamında kullanılan depremlerin isimleri ve bu depremlere ait özellikler, sırasıyla kuvvetli, orta ve zayıf depremler için sunulmuştur.

Tablo 2. Kullanılan kuvvetli depremler ve özellikleri

Deprem	Kayıt İsmi	PGA(g)	PGV(cm/s)	PGA/PGV	Kayma Dalgası Hızı (V_{s30})	Mesafe	Büyüklik
Chi-Chi, Taiwan 1999/09/20	ILA004-N	0.066	26.1	2.48	124	87	7.62
Chi-Chi, Taiwan 1999/09/20	ILA004-W	0.078	29.3	2.61	124	87	7.62
Chi-Chi, Taiwan 1999/09/20	CHY076-W	0.072	24	2.94	170	42	7.62
Chi-Chi, Taiwan 1999/09/20	TCU094-N	0.096	29.2	3.23	590	55	7.62
Chi-Chi, Taiwan 1999/09/20	ILA044-W	0.084	22.5	3.66	158	78	7.62
Chi-Chi, Taiwan 1999/09/20	TCU015-N	0.114	29.5	3.79	426	50	7.62
Borrego Mtn 1968/04/09	A-ELC180	0.13	26.3	4.85	213	45	6.5

Tablo 3. Kullanılan orta yıkıcılıkta depremler ve özellikleri

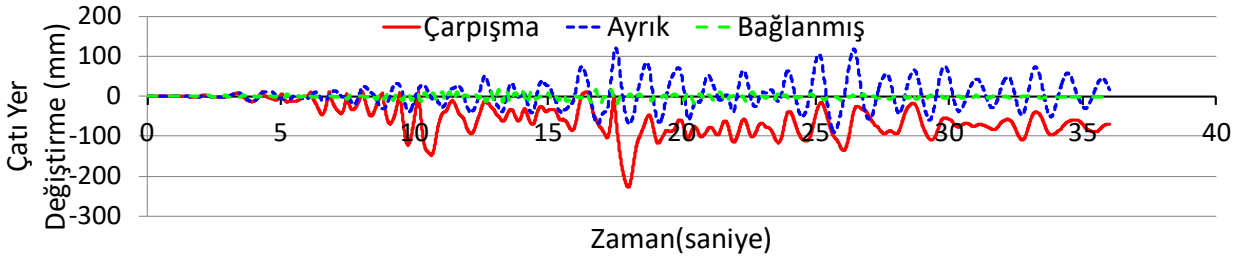
Deprem	Kayıt İsmi	PGA(g)	PGV(cm/s)	PGA/PGV	Kayma Dalgası Hızı (V_{s30})	Mesafe	Büyüklik
Borah Peak, ID 1983/10/28	CEM090	0.019	1.7	10.96	660	25	5.1
Morgan Hill 1984-04-24	FRE075	0.025	2.4	10.22	368	31	6.19
Friuli, Italy 1976/09/15	B-COD000	0.03	2.7	10.90	275	41	5.91
Irpinia, Italy 1980/11/23	A-ARI000	0.031	2.9	10.49	1000	53	6.9
Borrego 1942/10/21	B-ELC090	0.044	4.0	10.79	213	58	6.5
Morgan Hill 1984-04-24	SJB213	0.044	4.3	10.04	371	27	6.19
Central Calif 1954/04/25	A-HCH181	0.049	4.7	10.23	199	27	5.3

Tablo 4. Kullanılan zayıf depremler ve özellikleri

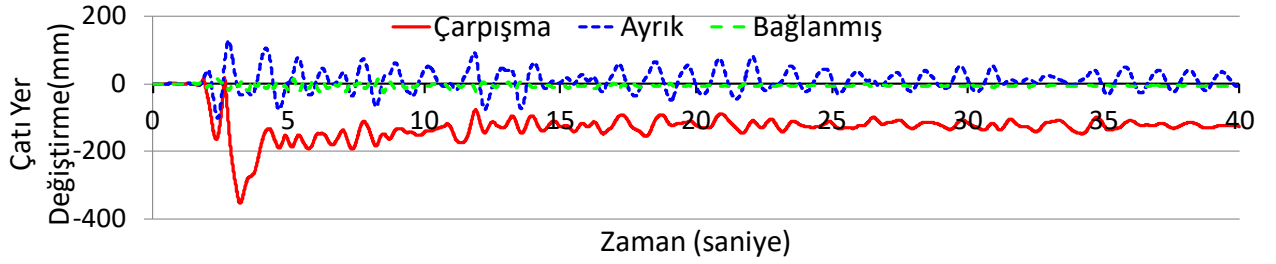
Deprem	Kayıt İsmi	PGA(g)	PGV(cm/s)	PGA/PGV	Kayma Dalgası Hızı (V_{s30})	Mesafe	Büyüklik
Morgan Hill 1984/04/24	A01310	0.068	3.9	17.10	116	54	6.19
N. Palm Springs 1986/07/08	JOS090	0.065	3.9	16.35	379	27	6.06
Northridge 1994/01/17	CUC090	0.071	4.2	16.58	822	80	6.69
Northridge 1994/01/17	BAL180	0.07	4.3	15.97	339	71	6.69
Whittier Narrows 1987/10/01	A-ORR000	0.071	4.4	15.83	450	72	5.99
San Fernando 1971/02/09	PSL180	0.089	5.3	16.47	970	22	6.61
N. Palm Springs 1986/07/080	AZF225	0.099	5.8	16.74	339	42	6.06

4. ANALİZLERDEN ELDE EDİLEN SONUÇLAR

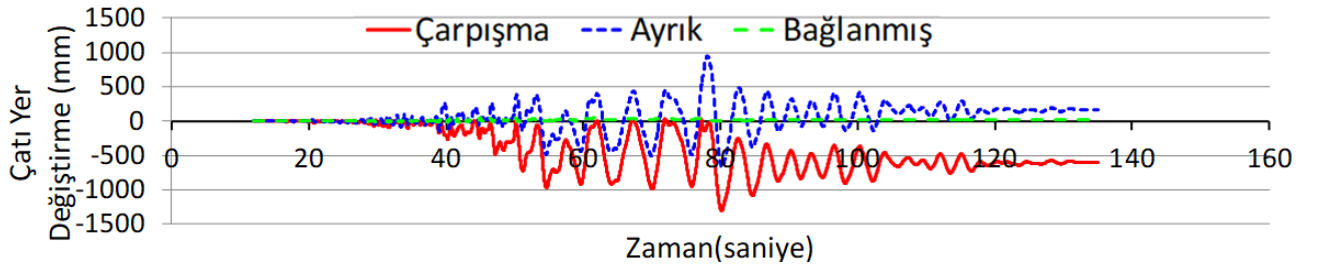
Bu bölümde çalışmadan elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. İlk olarak merdiven kulesini temsil eden hafif yapının her üç deprem seviyesi için zaman-yer değiştirme ilişkileri sunulmuştur. Her bir grafik içinde, yapıların birbirlerinden ayrık oldukları (çarpışmadıkları), yakın nizamda bulunmalarına bağlı olarak çarpıştıkları ve rijit elemanlarla birbirlerine bağlandıkları için birlikte hareket etmelerinin sağlandığı durumlar farklı renkte çizgiler yardımıyla verilmiştir. Şekil 4, 5 ve 6'da sırasıyla zayıf, orta ve kuvvetli depremler için sonuçlar gösterilmiştir.



Şekil 4. Zayıf depremler için seçilen kayıtlardan çatı yer değiştirmesi – zaman sonuçları



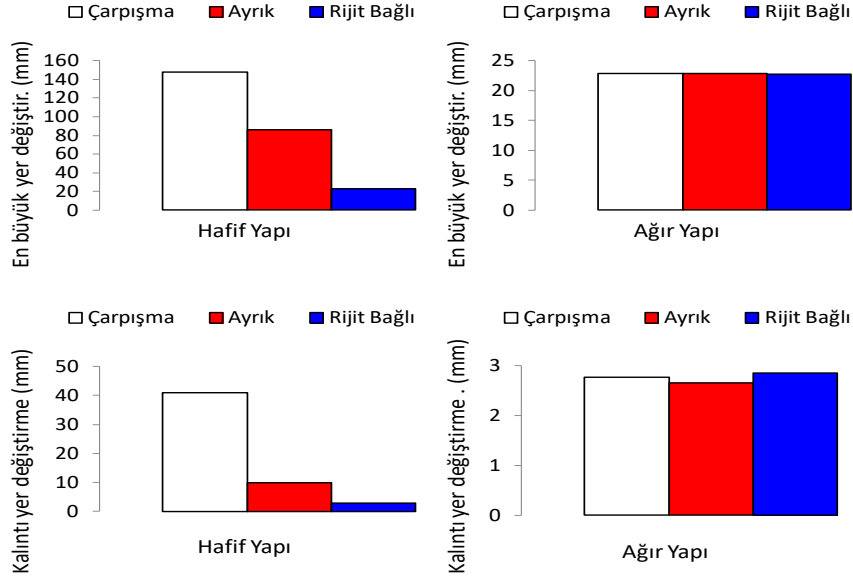
Şekil 5. Orta depremler için seçilen kayıtlardan çatı yer değiştirmesi – zaman sonuçları



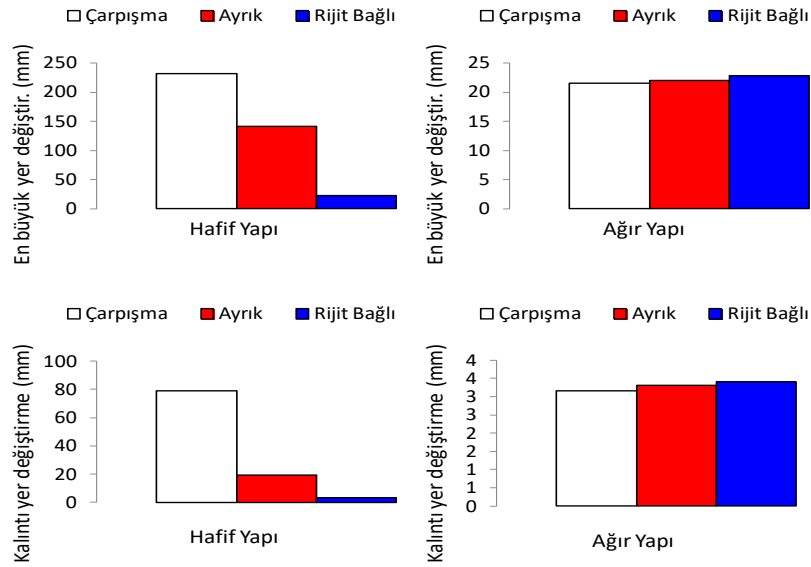
Şekil 6. Kuvvetli depremler için seçilen kayıtlardan çatı yer değiştirmesi – zaman sonuçları

Şekil 4, 5 ve 6'da verilen sonuçlar incelendiğinde en büyük artık yer değiştirme değerlerinin, seçilen deprem kaydı için, çarpışma durumunda ortaya çıktığı görülmüştür. Yapılar birbirlerinden ayrık olarak inşa edilmiş olsaydı artık deplasman değerleri ciddi oranda düşmüş olacaktı. İki yapının birbirine bağlı olduğu durumda ise deprem süresince bütün yer değiştirme değerlerinin oldukça düşük kaldığı görülmüştür. Bunun en temel sebebi hafif olan merdiven kulesinin çok daha ağır olan ana yapıya bağlanması sonucu davranışı ağır olan ana yapının belirliyor olmasıdır.

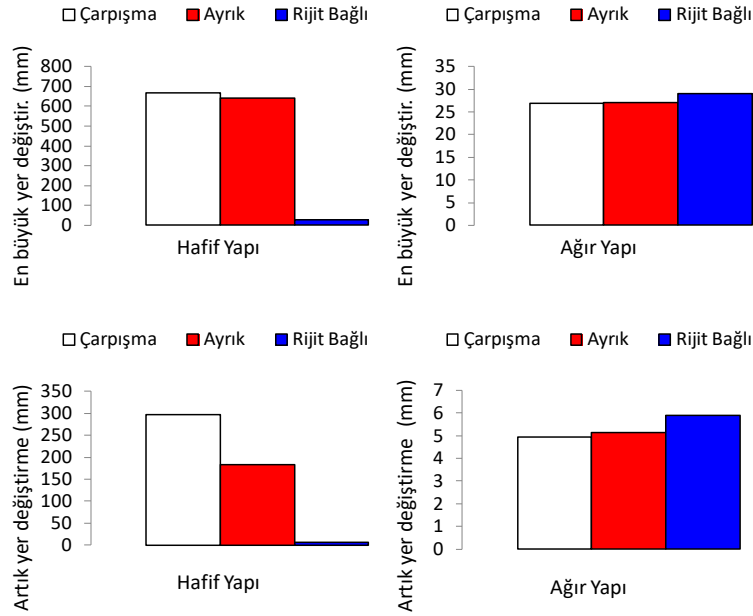
İkinci olarak, her gruptaki 7 depremin ortalaması alınarak çizilmiş olan grafikler hafif ve ağır yapının en büyük ve artık yer değiştirme değerlerini gösterecek biçimde, Şekil 7, 8 ve 9'da sırasıyla zayıf, orta ve kuvvetli depremler için sunulmuştur. Sonuçlardan genel olarak görülebileceği gibi hafif yapı, merdiven kulesi, ana yapıya kıyasla, ayırma ve rijit bağlama yöntemlerine ciddi anlamda olumlu tepki vermiştir. Rijit bağlı sistemde elde edilen yer değiştirme değerleri ayrık sistemden elde edilenlere göre çok daha küçüktür. Bunun sebebi ise hafif yapının çok daha büyük bir kütleyle, ana yapıya, bağlanarak depreme daha kolay karşı koyabilmesidir. Ağır yapı açısından ise elde edilen yer değiştirme değerlerinin hem en büyük hem de artık yer değiştirmeler açısından ihmal edilebilir seviyede değişikliğe uğradığı görülmüştür.



Şekil 7. Zayıf depremler için ortalama yer değiştirme sonuçları



Şekil 8. Orta depremler için ortalama yer değiştirme sonuçları



Şekil 9. Kuvvetli depremler için ortalama yer değiştirme sonuçları

Grafiklerde sunulan yer değiştirme değerleri, çarpışan yapıların yer değiştirme değerlerine göre normalize edilerek, hafif yapı için Tablo 5’te sunulmuştur. Tablo 5’ ten görüldüğü gibi en büyük ve artık yer değiştirmeler açısından, zayıf, orta ve kuvvetli depremler için rijit bağlı durumun ayrık duruma göre çok daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Benzer sonuçlar Tablo 6’da ise ağır yapı için sunulmuştur, normalize edilmiş değerlerden görüleceği gibi ağır yapı analiz parametrelerinden hafif yapıya göre daha az etkilenmiştir. Genel olarak bakılırsa, kuvvetli ve orta depremler için en büyük deplasman açısından yapıları ayırmak rijit bağlamaya kıyasla küçükte olsa daha avantajlı sonuçlar vermiştir. Zayıf depremler için ise sonuçlar arasında fark gözlenmemiştir. Kalıntı yer değiştirmeler açısından bakılacak olursa, kuvvetli ve zayıf depremlerde yapıları ayırmak rijit bağlamaktan daha iyi sonuçlar vermiştir. Orta şiddette depremlerde ise iki yöntem arasında fark yoktur. Ancak ağır yapı için yöntemler arasında oluşan farklar ihmal edilebilir seviyededir.

Tablo 5. Hafif yapı için normalize edilmiş yer değiştirme sonuçları

Yer Değiştirme	Kuvvetli			Orta			Zayıf		
	Çarpışma	Ayrık	Rijit Bağlı	Çarpışma	Ayrık	Rijit Bağlı	Çarpışma	Ayrık	Rijit Bağlı
En büyük	1,00	0,96	0,04	1,00	0,61	0,10	1,00	0,58	0,15
Artık	1,00	0,62	0,02	1,00	0,24	0,04	1,00	0,24	0,12

Tablo 6. Ağır yapı için normalize edilmiş yer değiştirme sonuçları

Yer Değiştirme	Kuvvetli			Orta			Zayıf		
	Çarpışma	Ayrık	Rijit Bağlı	Çarpışma	Ayrık	Rijit Bağlı	Çarpışma	Ayrık	Rijit Bağlı
En büyük	1,00	1,00	1,08	1,00	1,02	1,06	1,00	1,00	1,00
Artık	1,00	1,04	1,19	1,00	1,08	1,08	1,00	0,96	1,03

5. KAYNAKLAR

Christopoulos, C., Pampanin, S., Priestley, M.J.N. (2003). Performance-based seismic response of frame structures including residual deformations. Part 1: single degree of freedom systems. *Journal of Earthquake Engineering*, 7(1), 97-118.

Efraimiadou, S., Hatzigeorgiou, G.D., Beskos, D.E. (2013). Structural pounding between adjacent buildings subjected to strong ground motions. Part I: The effect of different structures arrangement. *Earthquake engineering and structural dynamics*. 42:1509–1528.

Fujii, K., Nakano, Y. ve Sanada, Y.(2004). Simplified nonlinear analysis procedure for asymmetric buildings. *13th World Conference on Earthquake Engineering* Vancouver, B.C., Canada August 1-6, Paper No. 149

Jankowski, R. ve Mahmoud, S. (2016). Linking of adjacent three-storey buildings for mitigation of structural pounding during earthquakes. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 14:3075–3097

Jankowski, R. (2008). Earthquake-induced pounding between equal height buildings with substantially different dynamic properties. *Engineering Structures*, 30:2818–2829.

Jia, J. (2017). *Modern Earthquake Engineering Offshore and Land-based Structures*, Springer-Verlag GmbH Germany

Malhotra, P. K. (1999). Response of buildings to near-field pulse-like ground motions. *Earthquake engineering and structural dynamics*. 28: 1309-1326 .

Nejati, H.R., Ahmadi. M. ve Hashemolhosseini H. (2012). An investigation on the ground motion parameters and seismic response of underground structures. *Earthquake Science*, 25: 253–261

Takeda, T., Sözen, M.A., Nielsen, N.N. (1970). Reinforced concrete response to simulated earthquakes. *Journal of Structural Engineering*. 96(12), 2557–73.

Yazgan, U. Ve Dazio, A. (2012). Post-earthquake damage assessment using residual displacements. *Earthquake engineering and structural dynamics*. 41, 1257–1276