DİNAMİK-BENZERİ DENEYLERLE YAPI GÜÇLENDİRME TEKNİKLERİNİN İRDELENMESİ

E.G. Kurt[1], B. Binici[2], E. Canbay[2], Ö. Kurç[3], G. Özcebe[4]

[1] *Doktora Öğrencisi, İnşaat Müh. Bölümü, Purdue Üniversitesi, IN, USA*
[2] *Doçent Dr., İnşaat Müh. Bölümü, ODTÜ, Ankara*
[3] *Y. Doçent Dr., İnşaat Müh. Bölümü, ODTÜ, Ankara*
[4] *Profesör Dr., İnşaat Müh. Bölümü, ODTÜ, Ankara*
e-posta: ozcebe@metu.edu.tr

ÖZET:

Üç farklı güçlendirme yönteminin betonarme çerçeveler üzerindeki deprem davranışı iyileştirme etkisi dinamik-benzeri (Pseudo-Dynamic) deney yöntemi uygulanarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında birisi referans çerçevesi, diğer üçü güçlendirilmiş çerçeve olmak üzere toplam 4 adet 1/2 ölçekli, iki katlı, üç açıklıklı eleman deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tüm deneylerde elemanın orta açıklığında delikli tuğla duvar bulunmaktadır. Deney elemanlarında ülkemizdeki inşaat uygulamalarında rastlanabilen düz donatı, düşük beton dayanımı, yetersiz sargı donatısı gibi yapıların deprem davranışlarını olumsuz etkileyen detaylar bulunmaktadır. Referans çerçeveye ek olarak Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007) adlı Türk Deprem Yönetmeliğinde (TDY) yer alan üç ayrı güçlendirme yöntemi bu çalışmada ele alınmıştır. Bu yöntemlerden ilki geleneksel yaklaşım olan "betonarme duvar" ilave ederek yapının güçlendirilmesi ilkesine dayanmaktadır. Doğaldır ki bu güçlendirme yöntemi, kullanılmakta olan binalarda uygulanması pek kolay olmayan bir yöntemdir. Çalışma kapsamında ele alınan diğer iki yöntem ise "kullanıcı dostu" olarak adlandırılan ve güçlendirilen binanın sakinlerine en az düzeyde rahatsızlık vererek bina kullanımda iken güçlendirilmesini sağlayan yöntemlerdir. Bu yöntemler yapılardaki boşluklu tuğla duvarların "lifli polimerler" ve "ön üretimli beton paneller" kullanılarak güçlendirilmesi ilkesine dayanmaktadır. Deney elemanlarına 1999 Düzce yer hareketinin Kuzey-Güney bileşeni üç farklı ölçekte arka arkaya uygulanmıştır. Referans deney elemanı %100 ölçekli yükleme sırasında ağır hasar görmüş, tuğla duvarın bütünlüğünü koruyamamasından ve tuğla duvarı çevreleyen kolonların ciddi hasar görmesinden dolayı göçme aşamasına gelmiştir. Güçlendirilen çerçeveler ise en yüksek seviye olan %140 Düzce yer hareketinde başarılı performans sergilemişlerdir. Deney sonuçları, güçlendirme yöntemlerinin uygulanan deprem yükleri altında önceden belirlenen hedefleri sağladığını göstermiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Dinamik benzeri, güçlendirme, lifli polimer, ön üretimli beton panel, betonarme duvar

1. GİRİŞ

Ülkemizde en yaygın olarak kullanılan güçlendirme yöntemi binalara betonarme duvar eklenmesidir. Bu takviye yöntemi için gerekli inşaat çalışmaları göreceli olarak zahmetli ve uzundur. Bu yöntemin uygulanabilmesi için binanın tümüyle boşaltılması gerekmektedir. Bu durum kullanımdaki mevcut binalarda betonarme perde ile güçlendirme yapılmasına büyük engel oluşturmaktadır. Mevcut yapıların deprem güvenliklerinin sağlanabilmesi amacıyla güçlendirilmeleri ancak "kullanıcı dostu" güçlendirme yöntemleri ile mümkün olabilmektedir. 2001-2006 yılları arasında Orta Doğu Teknik Üniversitesi liderliğinde geliştirilen ve mevcut yapılardaki boşluklu tuğla duvarların güçlendirilerek yapının taşıyıcı sistemi ile bütünleştirilmesine dayanan iki ayrı yöntem bu anlamda büyük bir boşluğu doldurmaktadır (Ozcebe ve diğerleri, 2003; Binici ve diğerleri, 2007; Baran ve Tankut, 2011). Bu çalışmalar dolgu duvarların lifli polimerler (LP) ve ön üretimli beton paneller (ÖBP) ile güçlendirilip yapısal sistemle bütünleştirilmesine dayanmaktadır. Türk Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) bazı şartların sağlanması koşuluyla "kullanıcı

dostu güçlendirme yöntemleri" olarak adlandırılan bu yöntemlerin ülke genelinde kullanımına izin vermektedir.

Yazarlar kullanıcı dostu güçlendirme yöntemlerinin tasarım ilkelerinin ağırlıklı olarak tersinir tekrarlanır yük çevirimleri altında yapılan deney sonuçlarına dayandığını hatırlatmakta fayda görmektedirler. Bu tür yüklemelerde yapıların gerçek deprem hareketleri altındaki istemlerinin belirlenemediği bilinmektedir. Bu nedenle kullanıcı dostu güçlendirme yöntemleri ile güçlendirilmiş yapıların olası bir depremde yapısal istemlerinin ne olacağının belirlenmesi; bu sistemlerin yapısal davranış ve istemlerinin betonarme duvarlarla güçlendirilmiş çerçevelerin yapısal davranış ve istemleri ile karşılaştırılması gibi konular araştırılması gereken konular arasındadır.. Bu bildiride özetlenen çalışmanın amacı dinamik-benzeri deney yöntemler kullanarak yapılan araştırmalarla yukarıda bahsedilen boşluğun doldurulmasıdır.

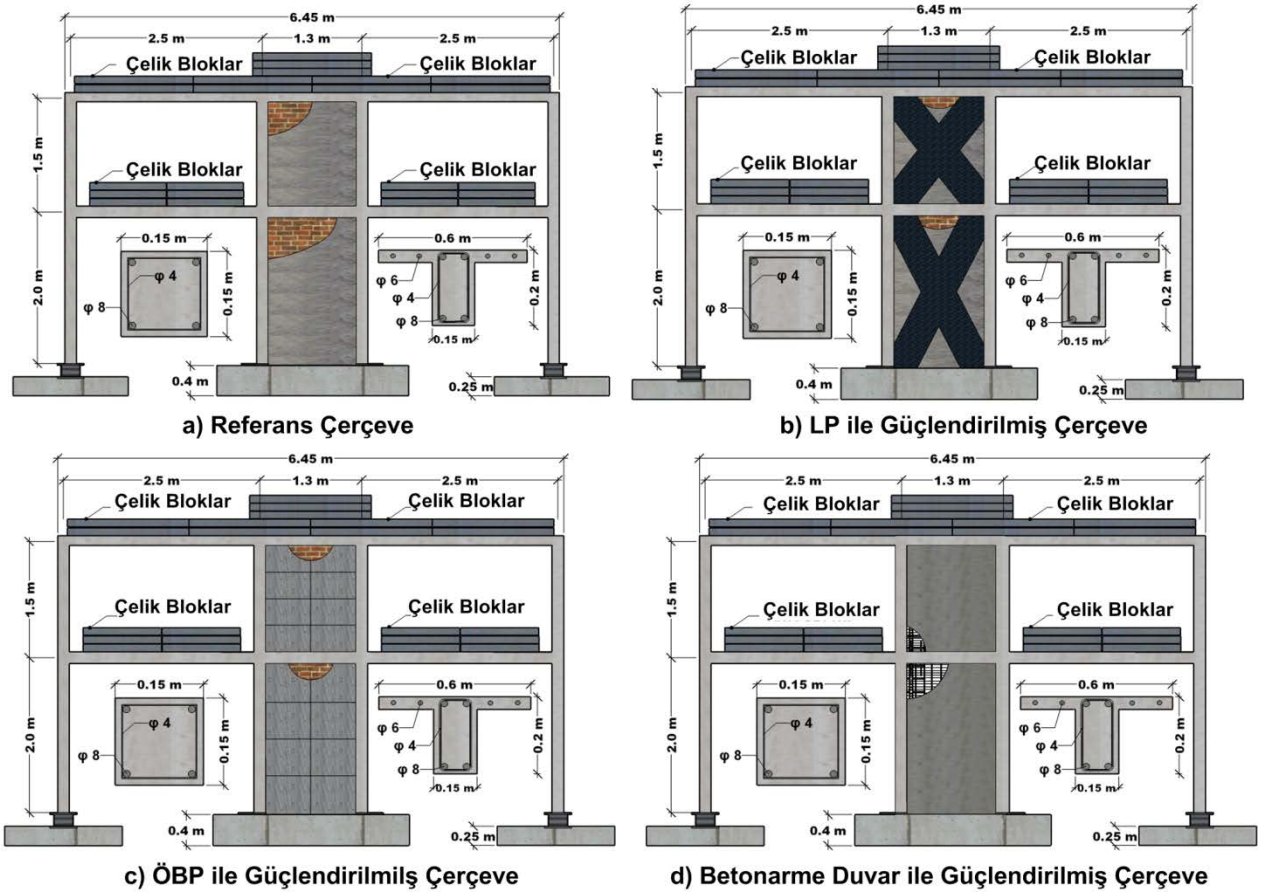
2. DENEY PROGRAMI

Deney çerçevesi olarak Türkiye'de sıkça karşılaşılabilen türde deprem güvenliği açıkları olan betonarme çerçeveler göz önüne alınmıştır. Deney elemanı, böyle bir yapının kritik iki katını temsil eden üç açıklıklı 1/2 ölçekli düzlemsel bir çerçevedir (Şekil 1a). Betonarme duvar uygulamasının yapıldığı deney çerçevesi dışındaki çerçevelerde orta açıklıkta tuğla dolgu duvar bulunmaktadır. Dolgu duvarlar, 12 MPa'lık basınç dayanımına sahip sıva harcı ve 110 mm × 130 mm × 130 mm boyutlarında, %65 boşluk oranı ve 14 MPa'lık tek eksenli basınç dayanımı olan delikli kil tuğlaları kullanılarak üretilmiştir. Kirişler ve kolonlar için boyuna donatı olarak 4 adet 8 mm çapında düz demir kullanılmış ve elemanlarda %1'lik donatı oranı elde edilmiştir. Boyuna donatı olarak kullanılan düz demirlerin akma dayanımı 330 MPa, kopma dayanımı ise 365 MPa olarak belirlenmiştir. Tüm elemanlarda 290 MPa akma dayanımına sahip, 4 mm çaplı, uçları sadece 90 derece bükümlü düz demirler 100 mm aralıkla yerleştirilerek yatay donatı olarak kullanılmıştır. Deney çerçeveleri, donatı detayları ve 7 MPa'lık düşük basınç dayanımı ile ülkemizdeki binalarda yaygın olarak karşılaşılan detay ve üretim hatalarına sahiptir. Güçlendirilen deney elemanları orta açıklığa uygulanan güçlendirme yöntemleri dışında referans çerçeve ile aynı özelliklere sahiptir.

Lifli polimerle yapılan güçlendirmede lifli polimer çapraz şeritler dolgu duvarların her iki yüzüne birbirlerine paralel gelecek şekilde uygulanmış olup genişlikleri 450 mm kalınlıkları ise 0.16 mm'dir, (Şekil 1b). Kullanılan lifli polimerlerin üretici firma verilerine göre elastisite modülü ve çekme dayanımı değerleri sırasıyla 230.000 MPa ve 3.400 MPa'dır. Lifli polimer şeritler hem dolgu duvarın içinden geçen dübellerle birbirlerine, hem de betonarme çerçeve elemanlarına ve betonarme temele doğrudan bağlanmıştır. Bu şekilde lifli polimer uygulanan dolgu duvarlar güçlendirilerek taşıyıcı sisteme sağlam ve güvenilir bir şekilde entegre edilmiştir. Bu bağlantılarla ilgili detaylar yazarların evvelce yayınladıkları diğer yayınlarında mevcut olduğu için burada tekrarlanmayacaktır (Kurt ve diğerleri 2011a; Kurt ve diğerleri 2011b). Bu güçlendirme yöntemindeki ana hedef, lifli polimerlerin yüksek çekme dayanımlarına güvenerek betonarme sistemlerin katlar arası ötelenmelerini kontrol altında tutmak ve güçlendirdikleri yapıların taban kesme kuvvetlerini artırmaktır. Buna ek olarak, LP uygulaması ile dolgu duvarların hasar gördükleri zamanlarda dahi bir bütün olarak kalmalarının sağlanması ve bunun sonucunda düzlem dışı göçmelerinin önlenmesi de hedeflenmektedir.

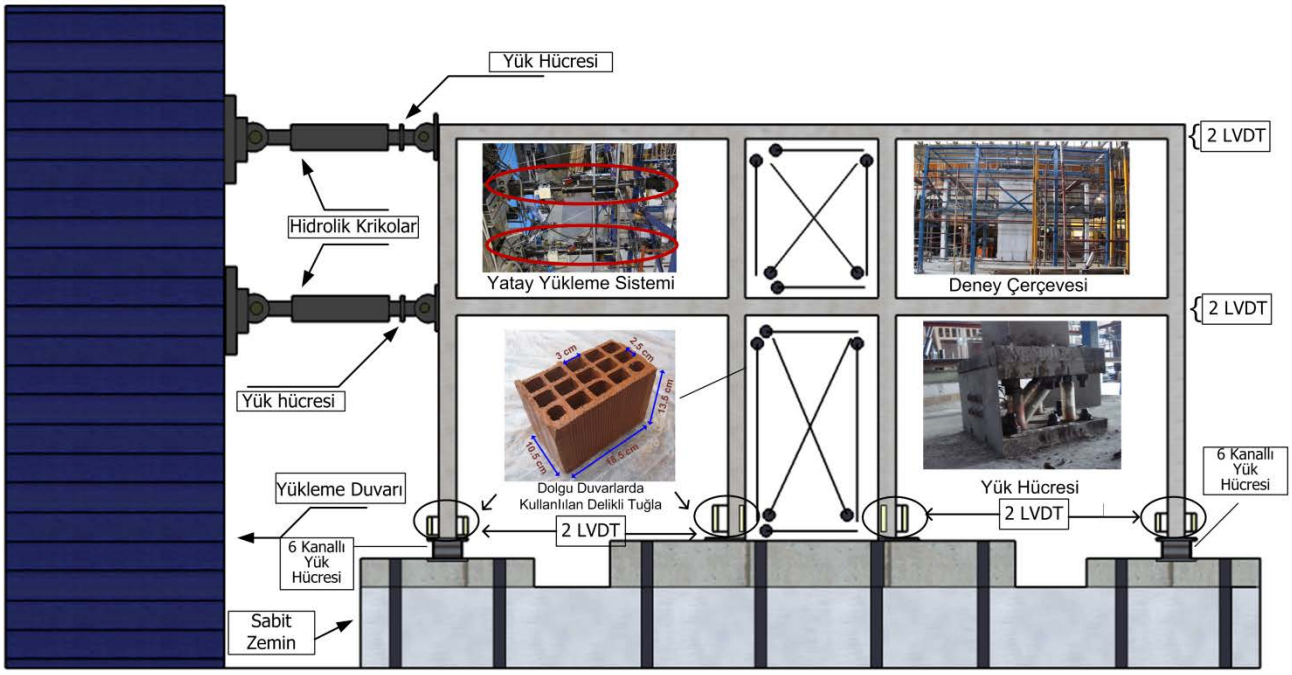
Ön dökümlü betonarme panel (ÖBP) ile güçlendirilmiş çerçevelerde 25 mm kalınlığında sekiz ön dökümlü beton panel elemanı dolgu duvarlara yalnızca bir yüzden uygulanmıştır, (Şekil 1c). ÖBP'lerin basınç dayanımları deney gününde 40 MPa olarak ölçülmüştür. Panellerde her iki yönde de yaklaşık %0,3 oranında boyuna hasır çelik donatı kullanılmıştır. ÖBP'ler kolonlara, kirişlere ve temellere 10 mm çapında ve en az 150 mm boyunda ankrajlarla bağlanmıştır. Bu amaçla panel arayüzlerinde önceden belirlenen aralıklarla boşluklar bırakılmıştır. Ankrajlar öncelikle serbest uçları panel arayüzlerinde oluşturulan bu dişlere gelecek bir düzende ekilmiştir. Daha sonra ÖBP'ler dolgu duvarların üzerine epoksi bazlı yapıştırıcılarla tutturulmuş ve diş boşlukları yüksek dayanımlı sıvayla (50 MPa'lık tek eksenli basınç dayanımı) doldurulmuştur. Ön üretimli beton panel kullanmanın yerinde dökme beton duvara karşı başlıca üstünlüğü, iki kişi tarafından rahatlıkla taşınabilecek olmaları ve bina sakinlerine fazlaca bir rahatsızlık vermeden yapının taşıyıcı sistemine entegre edilebilmeleridir.

Üçüncü güçlendirme yönteminde ise betonarme duvar uygulaması çerçevenin orta açıklığında, temel kotundan en üst kata kadar tüm katlarda kesintisiz şekilde yapılmıştır. Mevcut kolonların deprem detaylarının yetersiz olması nedeniyle perde içlerinde saklı ve mevcut iç kolonlara komşu perde uç elemanları oluşturulmuştur, (Şekil 1d). Tümüyle perde içerisinde kalacak şekilde oluşturulan bu uç elemanları kolon şeklinde detaylandırılmıştır. Her birinde 4 adet 8 mm çaplı nervürlü boyuna donatı kullanılmıştır. Enine donatı olarak da 50 mm aralıklı 4 mm çaplı düz demirler kullanılmıştır. Duvar içerisinde boyuna ve enine düz 4 mm çaplı demirler döşenmiştir. Betonarme duvarlar temele ve kirişlere 10 mm çaplı nervürlü donatıdan üretilmiş 175 mm'de bir ankraj çubukları kullanılarak bağlanmışlardır. Benzer şekilde, betonarme duvar ile kolon bağlantıları da 8 mm çaplı 200 mm'de bir ankraj çubukları kullanılarak sağlanmıştır. Açılan bütün ankraj delikleri 50 MPa'lık basınç dayanımına sahip tamir harcı ile doldurulmuştur. Deney gününde betonarme duvar için beton basınç dayanımı 22 MPa olarak ölçülmüştür.



Şekil 1. Deney Çerçeveleri

Çerçevelere düşey yükler çelik blok ağırlıklar kullanılarak uygulanmıştır (Şekil 1 ve 2). Çelik blokların konumları dış ve iç kolonlarda sırasıyla 0,13 ve 0,23'lük düşey yük oranı (eksenel yük / eksenel yük taşıma kapasitesi) elde edilecek şekilde ayarlanmıştır. Kat kesme kuvvetine ve deplasmanlarına ek olarak, dış kolonların tabanında oluşan iç kuvvetler de (eğilme momenti, kesme kuvveti ve eksenel kuvvet) izlenmiştir. Bu amaçla Canbay ve diğerleri (2004) tarafından üretilen özel yük hücreleri kullanılmıştır. Bu yük hücreleri, gerekli ayarlamalar yapıldıktan sonra, Şekil 2'de gösterildiği gibi dış kolonlar ile temel bloku arasına yerleştirilmiştir. Dış kolonların plastik mafsal bölgelerindeki dönmeler kolonların her iki yüzüne yerleştirilen LVDT'ler aracılığı ile ölçülmüştür, Şekil 2. Benzer uygulamanın iç kolonlarda da yapılmasına orta açıklıkta yer alan dolgu duvar izin vermemiştir. Bu nedenle tüm çerçevelerde iç kolonların yalnızca dış yüzlerine birer LVDT yerleştirilerek bu bölgelerdeki kolon dibinde oluşan hareketler izlenmiştir. Yapılan bu ayarlamalar sayesinde, kolonların uçlarında oluşan dönmeler, çerçeveye uygulanan toplam yatay kuvvet ve katlar arası ötelenmeler ve eleman iç kuvvetleriayrı ayrı elde edilebilmiştir.



Şekil 2. Deney Sistemi ve ekipmanı

Sürekli dinamik-benzeri deney yöntemi (Molina ve diğerleri, 1999) kullanılarak gerçekleştirilen deneyler sırasında belirtik integral (explicit integration) yöntemi kullanılmıştır. Dinamik-benzeri deneyler gerçek zamanlı harekete göre 1.000 kat daha yavaş gerçekleştirilmiştir. Deneyler için 7,1 moment büyüklüğündeki Düzce yer hareketinin Kuzey-Güney bileşeni kullanılmıştır ve ivme kaydı ölçeklenerek üç farklı seviyede (%50, %100 ve %140) deney çerçevelerine uygulanmıştır. Bu ölçeklendirmeyle üç farklı tehlike düzeyindeki tepkinin incelenmesi hedeflenmiştir:

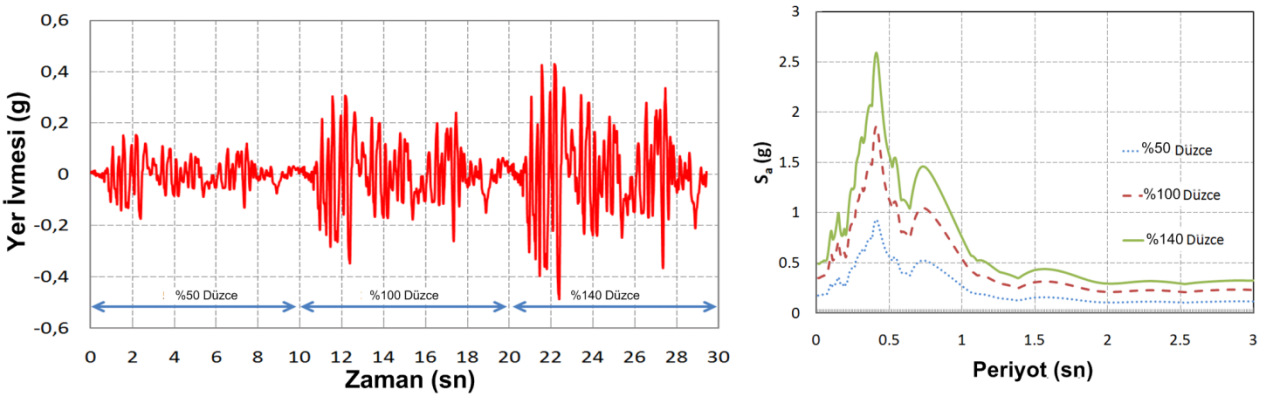
i) *%50 Düzce:* %50 ölçekli Düzce yer hareketi uygulamasında çerçevenin doğal periyoduna karşılık gelen spektral ivme değeri referans çerçevenin temel kesme kapasitesi oranıyla (temel kesme kapasitesi/yapı ağırlığı) benzerdir. Dolayısıyla dolgu duvarların varlığı dikkate alındığında, yapının akma noktasının altında ya da çok yakınında bulunacağı beklenmektedir. Bu düzeyin hemen kullanım düzeyinde hasara yol açacağı belirtilebilir.

ii) *%100 Düzce:* Gerçek Düzce yer hareketinin kullanımı tehlike düzeyini daha az sıklıktaki olaylar için gerçekçi bir şekilde temsil edebilir.

iii) *%140 Düzce:* Bu deprem tehlike düzeyi yüksek ve ender olan bir depreme karşılık gelmekte olup, yapının deney öncesi tahmini doğal periyodunun sert zemin koşullarında yaklaşık olarak TDY'de birinci derece deprem bölgesi için verilen tasarım spektrumuna yakın bir spektral ivme (SA) değeri vardır. Hareketin ivme-zaman dizisi ve ivme spektrumu Şekil 3'de gösterilmiştir. Benzeşim yasasına uygun olarak ölçek etkilerini dâhil etmek için orijinal yer hareketinin süresi $1/\sqrt{2}$ çarpanıyla sıkıştırılmıştır.

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Dört çerçevenin üç farklı yer hareketi ölçeği için zaman içinde göreli kat ötelenmeleri (kat kayma deformasyonu/kat yüksekliği) Şekil 4'de gösterilmiştir. Aynı şekilde ayrıca deneyler sonrasında elemanlarda gözlemlenen hasarların resimleri de sunulmaktadır. Deney elemanlarının temel kesme kuvveti-tepe deplasmanı çevrimsel ilişkileri Şekil 5(a-d)'de gösterilmiştir. Bu grafiklerin zarf eğrileri ise Şekil 5(e)'de verilmiştir. Tablo 1'de farklı yer hareketi düzeyleri için gözlemlenen deney sonuçlarının özeti sunulmuştur.



a) İvme – Zaman Grafiği b) Ölçeklendirilmiş Yer Hareketlerinin Spekturmu

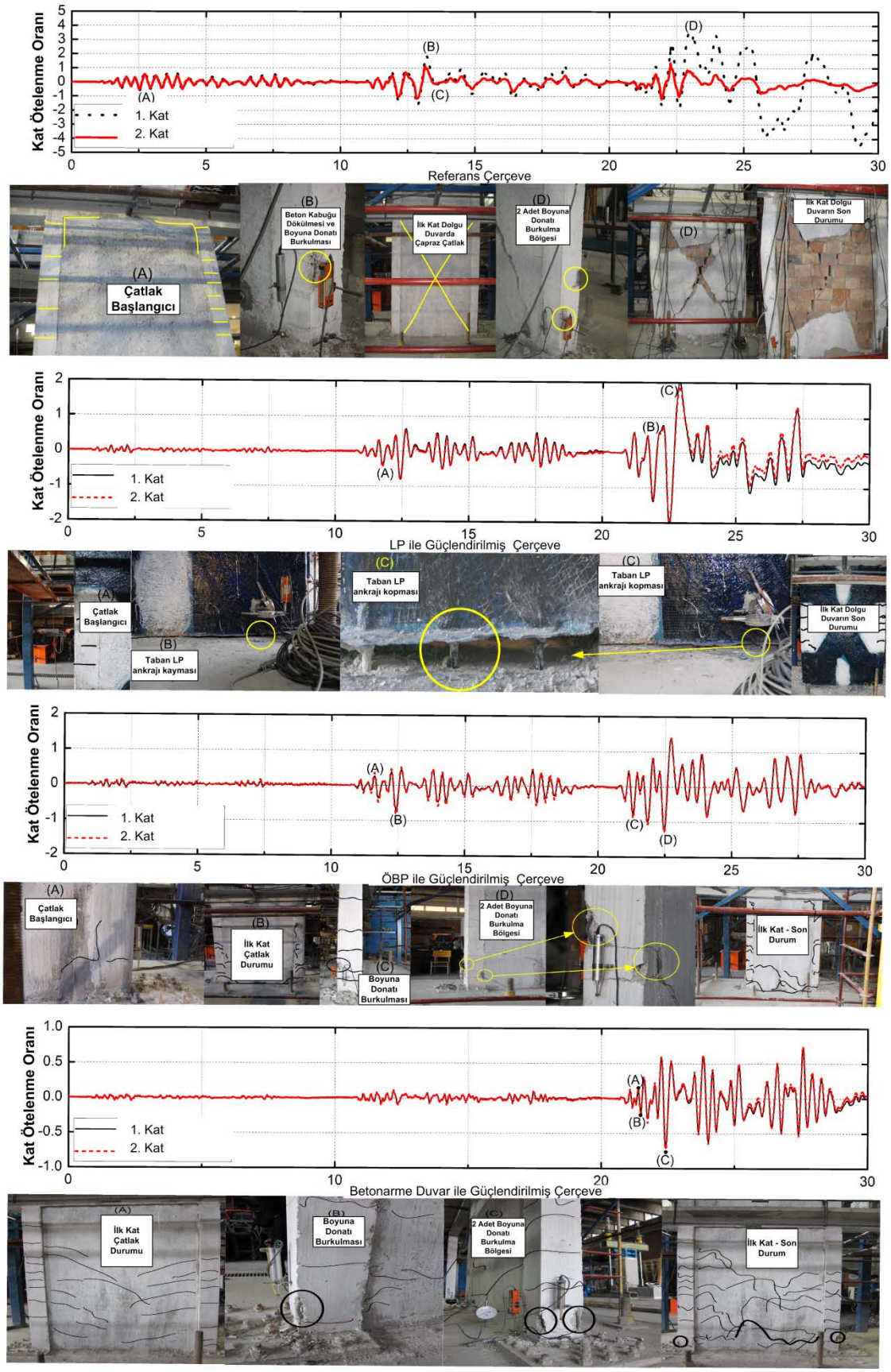
Şekil 3. Düzce yer hareketi

Tüm çerçeveler %50 yer hareketi düzeyinde hafif hasar görmüştür. Referans çerçevesinde, dolgu duvar ile sınır çerçeve elemanları arasında arayüz çatlaklarının oluşumu gözlemlenen en önemli hasardır. Referans çerçevesinde bu yer hareketi düzeyinde elde edilen azami kat ötelenmesi %0,7 iken bu değerin LP ve ÖBP takviyeli deney elemanlarında yaklaşık %0,1; betonarme duvar uygulamasında %0,05 mertebesinde olduğu tespit edilmiştir. Temel kesme kuvveti–tepe deplasmanı grafikleri incelendiğinde, referans deney çerçevesinin taşıma gücüne %50 ölçekli yer hareketi altında ulaştığı gözlemlenmiştir. Diğer yandan, aynı yer hareketi altında, taban kesme kuvveti isteminin temel kesme kapasitesine oranı LP ve ÖBP uygulanan elemanlarda yaklaşık 1/2, betonarme duvarla güçlendirilen elemanda ise 1/3 değerinde kaldığı gözlenmiştir.

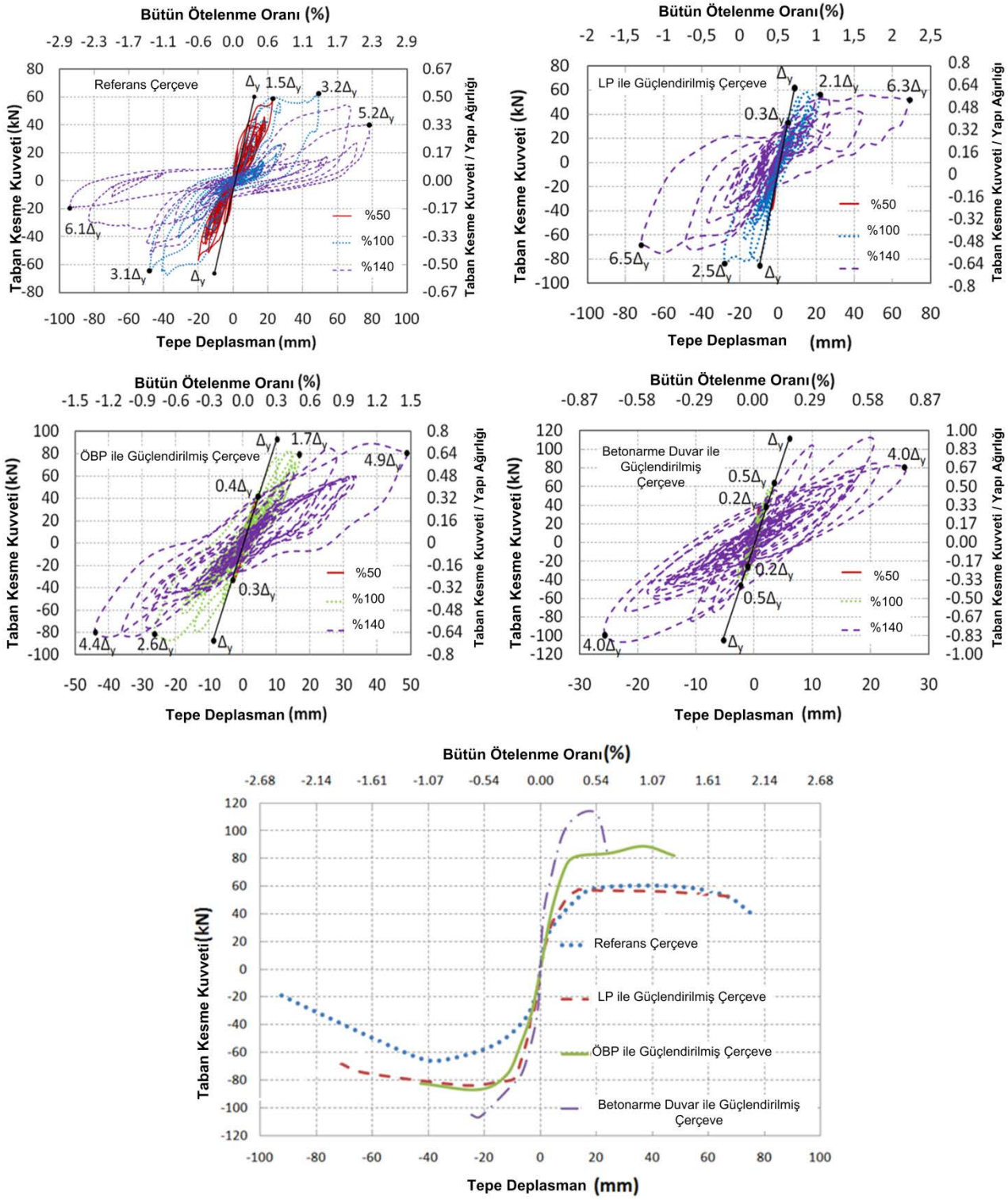
Tablo 1. Deney sonuçları

Deney Çerçevesi	Yer Hareketi	Azami Deplasman İstemi (mm)		Katlar Arası Azami Ötelenme Oranı (%)		Azami Kat Kesme Kuvveti (kN)		Kolon Plastik Dönme İstemleri	
		1.Kat	2.Kat	1.Kat	2.Kat	1.Kat	2.Kat	θ_{p1} * $\mu_{\phi 1}$**	θ_{p4} $\mu_{\phi 4}$
Referans	%50 Düzce	15	23	0.7	0.6	60.4	27.6	0 0.3	0 0.6
	%100 Düzce	35	49	1.8	1.1	67.9	58.2	0.003 2.0	0.006 2.6
	%140 Düzce	85.3	93.8	4.5	1.4	54.5	52.9	0.029 9.3	0.036 11.5
LP	%50 Düzce	2.2	4	0.1	0.1	38.7	26.5	0 0.03	0 0.05
	%100 Düzce	16.3	28.2	0.8	0.8	83.9	57.9	0 0.4	0 0.4
	140% Düzce	42	71.8	2.1	2.0	74.8	53.7	0.008 3.4	0.008 3.1
ÖBP	%50 Düzce	1.9	4.1	0.1	0.1	40.2	26.2	0 0.02	0 0.03
	%100 Düzce	14.3	26.4	0.4	0.5	87.2	59.2	0 0.3	0 0.4
	%140 Düzce	28.2	48.8	1.4	1.4	88.9	60.9	0.001 1.3	0.002 1.6
Betonarme Duvar	%50 Düzce	0.8	1.4	0.04	0.04	40.2	21.0	0 0.02	0 0.02
	%100 Düzce	1.9	3.5	0.09	0.11	65.0	45.0	0 0.04	0 0.04
	%140 Düzce	14.9	26.1	0.75	0.75	115.0	49.0	0 0.6	0 0.5

*Plastik Dönme
**Eğrilik Sünekliği



Şekil 4. Deney elemanlarının kat ötelenme oranları ve gözlemlenen hasarlar



Şekil 5. Deney elemanlarının tepkileri

%100 Düzce yer hareketinde referans çerçeve ile LP ve ÖBP uygulanmış çerçeveler ciddi elastik ötesi deformasyonlar sergilemişlerdir. Referans çerçevesinin dolgu duvarında önemli çapraz çatlama ve kolon tabanı plastik mafsal bölgesinde yüzey çatlaması gibi hasarlar görülmüştür. Diğer yandan, LP takviyeli çerçevede temel ankrajlarında aderans çözülmesi nedeniyle dolgu duvarın temelden ayrıldığı görülmüştür.

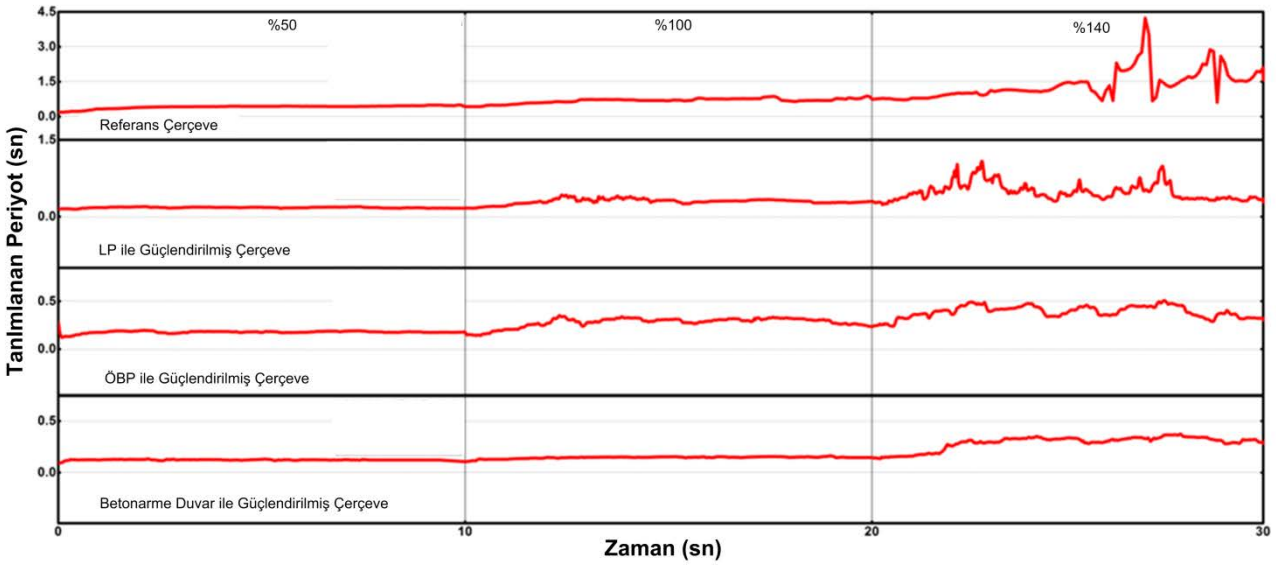
ÖBP uygulanmış elemanda, komşu kolonlardan uzanan bazı eğik çatlakların yanında arayüz çatlakları görülebilmektedir (Şekil 4). Betonarme duvar güçlendirmeli çerçevede duvar ve kolonlarda ince çatlaklar gözlemlenmesinin haricinde ciddi bir hasar bulunmamaktadır. Referans çerçeve ile LP ve ÖBP güçlendirmeli elemanlar %100 ölçekli yer hareketi süresince yanal yük kapasitelerini koruyabilmişlerdir. Diğer yandan betonarme duvar takviyeli çerçeve yanal yük kapasitesinin yarısına erişebilmiştir. Azami kat ötelenmeleri referans çerçeve, LP, ÖBP ve betonarme duvar takviyeli çerçeveler için sırasıyla %1,7, %0,8, %0,4 ve %0,1 olarak ölçülmüştür. Deneyler sırasında ölçülen en büyük deplasmanların, akma deplasmanına bölünmesiyle hesaplanan deplasman süneklik değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Güçlendirmenin ardından %100 ölçekli deprem hareketi düzeyinde elemanların süneklik istemlerinin LP ve ÖBP uygulanmış çerçeve elemanlarında yaklaşık %30 düştüğü gözlenmiştir. Bu çerçevelerde gözlemlenen dayanım artışının yaklaşık %25 olduğu söylenebilir. Öte yandan betonarme duvar takviyeli çerçeve referans çerçevenin yaklaşık olarak iki katı dayanım göstermiştir.

Son yer hareketi ölçek düzeyi (%140) referans çerçeveyi göçme konumuna ulaştırmıştır. Bu deprem hareketi altında referans çerçevesinin dolgu duvarındaki sıva tamamen ayrılmış, dolgu duvar stabilitesini kaybedecek aşamaya gelmiş ve düzlem dışı deformasyonlar sergilemiştir. Çerçevenin iç kolonlarında boyuna donatı görünür bir şekilde burkulmuştur, (Şekil 4). Dolgu duvarın ağır hasar görmesi sonucunda yapıda yumuşak kat oluşumu gözlemlenmiştir. Bunun sonucu olarak ilk katta %4,2'lik katlar arası öteleme meydana gelirken, ikinci katta bu oran %1,3 olarak tespit edilmiştir. Aynı yer hareketinde LP uygulanmış elemanda sınırlı düzeyde hasar gözlenirken, bu deney elemanında gözlemlenen en önemli hasar tabandaki LP ankrajlarının yuvalarından sıyrılması olmuştur. Tüm yükleme süresince güçlendirilmiş olan dolgu duvarda herhangi bir hasar gözlemlenmemiştir. Yukarıda belirtilen ankraj sıyrılmaları sadece temelde olup kolon ve kirişlerle yapılan bağlantılarında gözlemlenmediği için duvarlarda düzlem dışı devrilme olmamıştır. Diğer yandan ÖBP uygulanmış elemanda duvar-kolon arayüzlerinde ciddi çatlaklar gözlenmiştir. Şekil 4'de görüleceği üzere duvar yüzeylerindeki eğik çatlaklar kolonlardan duvar tabanına ilerlemiştir.

Betonarme duvar takviyeli çerçeve de ise orta açıklıkta kolon diplerinde boyuna donatı burkulmasına ek olarak, bu bölgelerde yoğun olmak üzere kolon boyuna yayılan enine çatlaklar gözlemlenmiştir. LP ve ÖBP ile güçlendirilmiş elemanlarda en büyük katlararası ötelenmeler %2 civarında iken bu ölçüm betonarme duvar takviyeli çerçevede %0,75 civarında gerçekleşmiştir. LP uygulanmış elemanın deplasman süneklik istemi referans elemanınkine benzer düzeydeyken, ÖBP ile güçlendirilen elemanın yaklaşık %30 daha az deplasman süneklik istemi sergilediği belirlenmiştir. Güçlendirilmiş elemanlardaki kayma kontrol mekanizması sayesinde, kolon plastik dönme istemleri yaklaşık 4 kat veya daha fazla azalarak plastik mafsal bölgelerinde olması beklenilen hasarları sınırlandırmıştır.

4. DİNAMİK ÖZELLİKLERİN BELİRLENMESİ

Molina ve diğerlerinin (1999b) yöntemi kullanılarak deney elemanlarının anlık periyotları elde edilmiştir. Deneyler sırasında ölçülen anlık ötelenmelerden ve dengeleyici kuvvetlerden (restoring force) faydalanılarak sistemin sekant rijitliği belirlenmiş ve daha sonra iki serbestlik dereceli sistemin hareket denklemi bulunan bu sekant rijitliği ve eşdeğer viskoz sönüm değerleri kullanılarak çözülmüştür. Deney elemanlarının temel periyotlarındaki değişim tüm yükleme boyunca hesaplanmıştır, Şekil 6. Hasarsız referans deney çerçevesinin doğal periyodu 0,17 saniye olup, bu periyot değerinin %50 ve %100 Düzce hareketlerinin sonunda sırasıyla yaklaşık 0,65 ve 0,90 saniyeye uzadığı gözlemlenmiştir. LP ve ÖBP ile güçlendirilen çerçeveler, başlangıç olarak yaklaşık 0,16 saniyelik temel periyot değeri sergilerken bu değer betonarme duvar ile güçlendirilen elemanda 0,11 saniye olarak belirlenmiştir. LP, ÖBP ve betonarme duvarlı elemanların başlangıç periyot değerleri %50 Düzce yer hareketinden sonra sırasıyla 0,18, 0,18 ve 0,11 saniyeye uzamıştır. Bu değerler %100 Düzce yer hareketlerinin sonunda ise sırasıyla 0,30, 0,26 ve 0,14 saniyeye ulaşmışlardır.



Şekil 6. Zamana bağlı periyot değerleri

Bu sonuçlar güçlendirilmiş elemanların daha yavaş dayanım ve rijitlik azalması sergilediğini göstermektedir. Güçlendirilmiş çerçevelerin %100 Düzce hareketinin sonundaki (hasar görmüş haldeki) rijitliklerinin, referans çerçevenin hasarsız durumdaki rijitliğine yakın olduğu görülmüştür. Bu durum kullanılan güçlendirme yöntemlerinin mevcut betonarme çerçevelerin olası deprem hareketleri altında katlararası ötelenme istemlerini önemli derecede azaltabileceğinin ve kontrol altına alabileceğinin göstergesidir.

5. SONUÇLAR

Üç farklı güçlendirme yönteminin mevcut betonarme çerçeveler üzerindeki deprem davranışı iyileştirme etkisi dinamik-benzeri deney yöntemi uygulanarak incelenmiştir. Birisi referans çerçeve, diğer üçü değişik yöntemlerle güçlendirilmiş çerçeveler olmak üzere toplam dört ayrı deney elemanı dinamik benzeri yükleme protokolleri kullanılarak denenmiş ve her bir deney elemanının üç ayrı ölçekli yer hareketi altında ötelenme istemleri belirlenmiştir. Gözlemlenen hasar düzeyleri eleman ve yapı istem parametreleri açısından tartışılmıştır. Dengeleyici kuvvetlerin zaman dizilerinin tespiti, periyot değişiminin belirlenmesine ve bu değişimin hasarla olası bağlantısının ortaya koyulmasına olanak tanımıştır. Bu çalışmanın sınırları içerisinde aşağıda sıralanan sonuçların dikkat çekici olduğu söylenebilir:

- Üç farklı ölçekte uygulanan Düzce yer hareketi (%50, %100 ve %140) takviyesiz referans çerçeve elemanında sırasıyla az, orta ve ağır hasar oluşmasına neden olmuştur. Deneylerin sonunda referans çerçevede önemli dayanım azalması gözlemlenmiş, dolgu duvarlarda önemli hasar oluşmuş ve bunun sonucunda duvarlarda düzlem dışı göçme eğilimi belirlenmiştir. Bunun yanı sıra iç kolonlarda önemli yapısal hasar tespit edilmiştir.
- LP ve ÖBP ile güçlendirilen elemanların deplasman süneklik istemleri, 100% ölçekli Düzce depreminde sırasıyla %50 ve %35 azaltmıştır.
- LP ile güçlendirilen deney elamanında dolgu duvarın hasar görmediği, çerçeve ile bütünleşik davranış sergilemeyi sürdürdüğü görülmüştür.
- LP ile güçlendirilen elemanda ankraj sıyrılması nedeniyle dayanım kaybı yaşanmıştır. Bu durum LP uygulamalarında ankrajın önemini bir kez daha vurgulamaktadır.
- LP ve ÖBP ile güçlendirilmiş eleman dayanım azalması olmadan en az 5'lik bir deplasman sünekliği gösterebilmiştir. Bu elemanlarda katlararası ötelenme oranı tüm deneyler boyunca %2'nin altında kaldığından her iki güçlendirme yönteminin de katlararası ötelenmenin kontrolü açısından güvenle kullanılabilir yöntemler olduğu söylenebilir.

- Betonarme duvar takviyeli çerçeve diğer çerçevelere kıyasla daha fazla rıjitlik sergilemiştir. Söz konusu çerçeve 4'lük deplasman istemi ile birlikte diğer güçlendirilmiş çerçevelerden daha fazla yatay yüklere maruz kalmıştır.
- Anlık periyot değerleri değişimlerindeki ani atımlar fiziksel hasarın bir göstergesi olarak kabul edilebilir. Anlık periyot değişimleri en az düzeyde betonarme duvar ile güçlendirilmiş çerçevede gözlemlenmiştir. Betonarme duvar uygulaması ile katlar arası ötelenme daha etkili bir şekilde kontrol edilebilmiş ve yanal dayanım önemli ölçüde artmıştır. Bu anlamda tüm deneyler sonunda en az hasar bu elemanda oluşmuştur.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 106M451 sayılı TÜBİTAK projesi aracılığı ile sağlanan finansman ile gerçekleştirilmiştir. Yazarlar TÜBİTAK'a en içten teşekkürlerini sunmayı borç bilirler.

KAYNAKLAR

Baran, M., Tankut, T. (2005). Experimental Study on Seismic Strengthening of Reinforced Concrete Frames by Precast Concrete Panels. *ACI Structural Journal* **108:2**, 227-237.

Binici, B., Ozcebe., G., Ozcelik, R. (2007). Analysis and design of FRP composites for seismic retrofit of infill walls in reinforced concrete frames. *Composites Part B: Engineering* **38**, 575-583.

Canbay, E., Ersoy, U., Tankut, T. (2004). A Three-Component Force Transducer for RC Structural Testing. *Engineering Structures* **26**, 257-265.

DBYBHY, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, Türkiye.

Kurt, E.G., Binici, B., Kurc, O., Canbay, E., Akpinar, U., Ozcebe, G. (2011a). Performance of a Seismic Deficient Reinforced Concrete Test Frame with Infill Walls. *Earthquake Spectra*, basımda

Kurt, E.G., Kurc, O., Binici, B., Canbay, E., Ozcebe, G. (2011b). Performance Examination of Two Seismic Strengthening Procedures by Pseudo Dynamic Testing. *Journal of Structural Engineering-ASCE*, basımda

Molina, F.J., Verzeletti, G., Magonette, G., Buchet, P.H., Géradin, M. (1999a). Bi-Directional Pseudodynamic Test of a Full-Size Three-Storey Building. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* **28**, 1541-1566.

Molina F. J., Pegon, P., Verzeletti, G. (1999b). Time-domain identification from seismic pseudodynamic test results on civil engineering specimens. 2nd International Conference on Identification in Engineering Systems, University of Wales, Swansea, Mart 29-31.

Ozcebe, G., Ersoy, U., Tankut, T., Erduran, E., Keskin, R.S. ve Mertol, H.C. (2003). Strengthening of brick-infilled RC frames with CFRP. TÜBİTAK İnşaat Mühendisliği Araştırma Birimi Raporu, No. 2003-01.