

Bölme duvarının ve bölme duvar güçlendirilmesinin çerçeve davranışına etkisi

Hidayet ÖZDEMİR*, İlhan EREN

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Ülkemizde betonarme çerçeve taşıyıcı sistemine sahip binaların birçoğunun, büyük hatta orta şiddetteki depremlere dayanabilecek kalitede olmadığı bilinmektedir. Bu tip binaların deprem öncesi güçlendirilmeleri veya depremi az veya orta hasarlı atlattıktan sonra onarılması ve güçlendirilmesi pratikte oldukça yaygındır. Bu tür yapıların depreme karşı güçlendirilmesi amacıyla belli sayıda betonarme çerçevenin betonarme dolgu duvarlar ile doldurulması ekonomik bir çözüm olabilmektedir. Dolgulu çerçeve iyi analiz edilip, gerektiği gibi projelendirilir ve imal edilirse, perde duvar gibi davranarak yapının yanal rijitliğini ve dayanımı artırabilir ve böylece diğer taşıyıcı elemanların güçlendirilmesine ihtiyaç duyulmayabilir. Bu çalışma kusurlu olarak üretildikleri varsayılan yapılara ait tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin, duvar yüzeyine uygulanan hasır donatı ve sıva ile güçlendirilmelerine yönelik deneysel çalışmayı içermektedir. Bu çalışmada 3 adet tek katlı tek açıklıklı 1/2 ölçekli betonarme çerçeve üretilmiştir. Numunelerden biri boş olarak deneye tabi tutulmuştur. İkinci numuneye duvar örülerek deneye tabi tutulmuş ve bölme duvar etkisi araştırılmıştır. Diğer numune ise dolgu duvar üzerine çelik hasır uygulaması 2007 TDY'de verilen parametreler esas alınarak güçlendirilmiş ve deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla hazırlanan üç adet çerçeve elemanı, tersinir tekrarlanır yatay yük etkisi altında test edilmiştir. Bu imalatlarda tam ankastreliği sağlamak için bir rijit temel ve bu temel üzerine, tek katlı, tek açıklıklı, beton basınç dayanımı düşük, güçlü giriş ve zayıf kolondan oluşan çerçeveler imal edilmiştir. Bu deneysel çalışmada bölme duvarının ve bölme duvar güçlendirmesinin çerçeve davranışına etkisi araştırılmış ve test edilen elemanların yatay yük taşıma kapasiteleri, rijitlik ve enerji yutma kapasitelerindeki değişim incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dolgu duvar, betonarme çerçeve, güçlendirme, çelik hasır donatı.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Hidayet ÖZDEMİR. hozdemir@erciyes.edu.tr; Tel: (352) 437 49 01 dahili: 32377. Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Dolgu duvarlı çerçevelerin hasır çelik donatılı sıva ile güçlendirilmesi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 24.11.2008 tarihinde dergiye ulaşmış, 24.12.2008 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.03.2010 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Effect of infill walls and strengthening of the infill walls on the behavior of reinforced concrete frames

Extended abstract

It is known that most of the reinforced concrete frame buildings in our country are not strong enough to resist the strong or even moderate earthquakes. It is very common that such structures are strengthened before earthquakes or repaired or strengthened being slightly or fairly damaged after the earthquakes. Filling a certain number of reinforced frames with infill walls in order to increase the resistance of these structures to earthquakes may be an economic solution. If the infilled frame is analyzed well, designed properly and produced accordingly, it may behave as a shear wall resulting in an increase in the stiffness and strength and hence the other structural members may not need to be strengthened. Most of the reinforced structures currently in use do not usually have enough lateral strength and stiffness, do not proper reinforcement details, and have concrete of low quality. In addition to this, the fact that there are system defects such as weak story, short column, and strong beam-weak column leads to a very large stock of buildings with insufficient earthquake resistance. It is impossible to expect that these buildings having such weaknesses will respond properly to a strong excitation. For this reason, there is need to increase the seismic safety of present building stock with an order of priority.

In view of the number of buildings requiring the strengthening, it is impossible to strengthen all these buildings in a way to preserve the usability of the buildings after an earthquake. On the other hand, in order to minimize the loss of life and property, it is needed to prevent these buildings from collapsing under a strong earthquake.

For the purpose of enabling the strengthening of dwellings and industrial structures in use, there is need to develop economical methods not requiring the evacuation of the structures, rapid and applicable without the interruption of the structural use.

It is known that hollow-bricked walls increase both the lateral stiffness and strength of the reinforced concrete frames as long as lateral deformations do not exceed a certain threshold. Having said this, if the lateral displacements exceed a certain level, the infill walls do

not play any role due to crushing and tilting and, consequently, they do not provide any resistance to response of reinforced concrete frame during the earthquake shaking. To gain more of the infill walls during an earthquake and to take advantage of their stiffness and strength enhancement, research studies on the infill walls have been carried out.

This study comprises a test series of strengthening of reinforced frame with infilled brick wall which is assumed to be damaged or defective work. In this work, 3 reinforced concrete frames ½ scaled, one-bay, one-story with unreinforced infill walls were produced. One of these specimen is tested without infill walls. The second frame formed with infill wall is subjected to experiment to investigate its influence. The third frame is strengthened by applying mesh reinforcement and cover plaster on infill walls based on the parameters of 2007 Turkish Seismic Code. These above frames were tested under reversed cyclic loading. To obtain the built-in condition, frames with weak column and strong beam on a rigid continuous foundation were manufactured with low strength concrete. In this experimental study the influence of infill wall and strengthening of infill wall was investigated and changes in stiffness and lateral load carrying capacities, and energy absorption capacity were examined.

By changing the bare frame into the infilled one, its lateral load carrying capacity has been increased 3.7 times and its stiffness 34 times. As such, the influence of infill walls has become apparent. The increase in the load-carrying capacity provided by the strengthening of the infill walls has also been obtained graphically. Through the strengthening of infilled wall frame with mess reinforcement and mortar, the lateral load capacity of the specimen has been increased 1.8 times. By strengthening the infilled wall frame in accordance with the Earthquake Code specifications, an increase of 80% in its lateral load carrying capacity has been obtained. Such strengthening yields an increase of around 80% in the lateral stiffness. After testing of the frame specimen, it is seen that infilled wall frame has 7 times more energy absorption capacity than the bare frame and strengthened frame 3.2 times more than infilled wall frame.

Keywords: *Infill walls, RC frames, reinforcement, wire mesh reinforcement.*

Giriş

Yapılardaki taşıyıcı sistemler ömürleri boyunca yatay ve düşey yüklere maruz kalmaktadır. Bu etkiler neticesinde yapıda bazı kusurlar oluşmaktadır. Bu kusurların artması sonucunda hasarlı yapılar ortaya çıkmaktadır.

Ülkemizde halen karşılaşılan önemli sorunlardan biri, hasar görmemiş ve kullanılmakta olan çok sayıda binanın öngörülen depremlere karşı yeterli güvenliğinin olmaması ve taşıyıcı sisteminin orta şiddetteki bir deprem karşısında bile, büyük oranda hasara uğrayacak, hatta göçebilecek durumda bulunmasıdır. Deprem bölgesinde incelenen birçok binada, binaların yatay deprem etkilerine karşı yetersiz olduğu görülmüştür. Bilindiği gibi perdeler, rijitlikleri nedeni ile yatay etkilerin önemli bir kısmını karşıladıkları gibi, çerçeve taşıyıcı sistemin yatay yer değiştirmelerini sınırlayarak deprem etkisinde taşıyıcı olan ve olmayan elemanlarda hasarın sınırlı kalmasını sağlarlar. Benjamin ve Williams (1958), tek katlı boşluklu dolgulu çerçevelerin davranışını araştırmışlardır. Çalışmada, boşluklu dolgulu çerçevelerin davranış ve deformasyon şekilleri incelenmiş, boşluk etrafındaki donatı detayının, boşluk büyüklük ve yerinin ve dolgu çerçeve arasındaki donatı detayının davranışa etkisi araştırılmıştır. Ersoy ve Uzsoy (1971), çalışmalarında, 9 adet tek katlı tek açıklıklı betonarme dolgulu çerçeve deneyi yapmışlardır. Yazarlar, betonarme dolgunun iki ucu mafsallı basınç çubuğu ile modellenmesini önermiş ve bu çubuğa ait geometrik özellikleri belirlemişlerdir. Marjani (1997), tek açıklıklı 2 katlı tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçeveleri test etmiştir. Celep ve Gencoğlu (2003), yaptıkları çalışmada, betonarme çerçeve sistem içinde bulunan bölme duvarlarının yatay yük taşıma kapasitesine olan etkisini incelemişlerdir. Canbay ve diğerleri (2003), çalışmalarında 1/3 ölçekli, iki katlı üç açıklıklı çerçeve üzerinde deneyler yapmışlardır. Kaltakçı ve Köken (2003), bu çalışmalarında, değişik dolgu özelliğine sahip, dört adet çelik çerçeve sisteminin yatay tersinir-tekrarlanır yükleme altındaki davranışı deneysel olarak incelemiştir. Özcebe ve diğerleri (2003), yılında yayınladıkları raporda, betonarme tuğla dolgulu çerçevelerin CFRP ile

güçlendirilmesi konusunda yaptıkları deneylere ve analitik çalışmalara yer vermişlerdir. Perera ve diğerleri (2004), yığma dolgulu betonarme çerçevelerde, dolgunun kaldırılarak çelik K çaprazlarla yapının güçlendirilmesini deneysel olarak araştırmışlardır. Sonuvar ve diğerleri (2004) çalışmalarında orta hasarlı betonarme binaların iyileştirilmesinde betonarme dolgu kullanımını araştırmışlardır. Kesner ve Billington (2005), çelik çerçevelerin çimento esaslı kompozit malzemelerden yapılan panellerle güçlendirilmesi konusunda deneyler yapmışlardır. Güney ve Boduroğlu (2006), yazarlar tasarım aşamasında, dolgu duvarların rijitliklerinin yapı davranışına katkısının dikkate alınmadığını, ancak bu elemanların sahip oldukları rijitliğin, yapıların gerek simetrik gerekse asimetrik plana sahip olması durumunda, deprem etkisi altında, yapı davranışını incelemişlerdir.

Mevcut yapının yanal yük dayanımı yeni yapı elemanlarının eklenmesi ile artırılabilir. Bu elemanlar uygun projelendirildiğinde deprem etkisinin büyük bir kısmına karşı koyarak, mevcut sistemin yükünü önemli ölçüde azaltırlar. Kullanılacak yeni taşıyıcı eleman, mevcut binanın taşıyıcı sistemine ve hasar durumuna bağlıdır. Yeni elemanlarla tüm sistemin deprem davranışının değişebileceği unutulmamalıdır. Güçlendirme için yeni elemanlarla sistemin rijitliği artırılacağı için, genellikle deprem kuvvetleri de artar ve etkiler sistemde değişik bir dağılımında ortaya çıkarabilir. Yeni elemanların yapı içinde düzgün dağıtılmasıyla, etkilerin belirli bölgede yığılması ve istenmeyen burulma etkilerinin meydana gelmesi önlenmiş olur.

Ülkemizde betonarme çerçeve taşıyıcı sistemine sahip binaların çoğunluğunun büyük hatta orta şiddette depreme dayanabilecek kalitede olmadığı bilinmektedir. Bu tip binaların deprem öncesi güçlendirilmeleri veya depremi az veya orta hasarlı atlattıktan sonra onarılması ve güçlendirilmesi pratikte oldukça yaygındır. Bu tür yapıların depreme karşı rehabilite edilmesi amacıyla belli sayıda betonarme çerçevenin betonarme dolgu duvarlar ile doldurulması ekonomik bir çözüm olabilmektedir. Dolgulu çerçeve iyi analiz edilip, gerektiği gibi projelendiril-

lır ve imal edilirse, perde gibi davranarak yapının yanal rijitliğini ve dayanımı artırabilir ve böylece diğer taşıyıcı elemanların takviye edilmesi gereği ortadan kalkabilir.

Bu çalışma kusurlu olarak üretildikleri varsayılan yapılara ait tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin, duvar yüzeyine uygulanan hasır donatı ve beton sıva ile güçlendirilmelerine yönelik deneysel çalışmayı içermektedir. Bu çalışmada 3 adet tek katlı tek açıklıklı ½ ölçekli betonarme çerçeve üretilmiştir. Numunelerden biri boş olarak deneye tabi tutulmuştur. İkinci numuneye duvar örülerek deneye tabi tutulmuş, bölme duvar etkisi araştırılmıştır. Diğer numune ise dolgu duvar üzerine çelik hasır uygulaması 2007 TDY’de verilen parametreler esas alınarak güçlendirilmiş ve deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla hazırlanan üç adet çerçeve elemanı, tersinir tekrarlanır yatay yük etkisi altında test edilmiştir. Bu imalatlarda tam ankastreliği sağlamak için bir rijit temel ve bu temel üzerine, tek katlı, tek açıklıklı, beton basınç dayanımı düşük, güçlü kiriş ve zayıf kolondan oluşan çerçeveler imal edilmiştir. Bu deneysel çalışmada bölme duvarının ve bölme duvar güçlendirmesinin çerçeve davranışına etkisi araştırılmış ve test edilen elemanların rijitlik ve yatay yük taşıma kapasitelerindeki değişim incelenmiştir.

Deneysel çalışma

Yapılan bu deneysel çalışmada 3 adet tek katlı, tek açıklıklı ½ ölçekli çerçeveler üretilmiştir. Bu numuneler uygulamada kusurlu olarak üretilen yapıları temsil etmektedir. Bu çalışmada da yapıların pratikte maruz kalabilecekleri yatay yüklerle karşı, uygulaması basit, kolay ve ekonomik güçlendirme yöntemleri araştırılmaktadır.

Üretilen 3 adet numunenin boyutları, donatı detayları, donatı fiziksel ve mekanik özellikleri, beton sınıfı, güçlendirme de kullanılacak malzeme özellikleri belirlenmiş ve bunların deneyleri yapılmıştır. Bu numunelerin hepsinde aynı fiziksel ve mekanik özelliklere sahip donatı ve beton kullanılmış, donatı detayları, çerçeve boyutları ve kesit detayları değişmeyerek sabit parametre olarak kalmıştır.

Çerçeve arasına örülecek tuğla dolgu duvar, duvar harcı, tuğla duvar yüzeyine uygulanan sıva özellikleri numunelerin tamamında aynı olacak ve yine sabit parametreleri oluşturacaktır.

Bu numuneler de kullanılan kesit ve donatı detayları, uygulamada kusurlu olarak üretildikleri varsayılan yapılar temsil edilmektedir. Bu imalatlarda tam ankastreliği sağlamak için rijit bir temel tasarlanmış ve temel üzerine tek katlı, tek açıklıklı, beton basınç dayanımı düşük, güçlü kiriş ve zayıf kolondan oluşan çerçeveler imal edilmiştir.

Deneylerde nervürsüz düz donatılar kullanılmıştır. Etriyeler 90° ve kancasız olarak tasarlanmıştı. Etriye sıklaştırması yapılmamış ve kesitlerde minimum donatı kullanılmıştır.

Numunelerin temelleri 100×310 cm boyutunda ve 50 cm yüksekliğinde imal edilmiştir. Kolon boyutları 15×20 cm, kiriş boyutları 15×25 cm’dir. Numunelerin donatı ve kesit detayları Şekil 1’de verilmiştir.

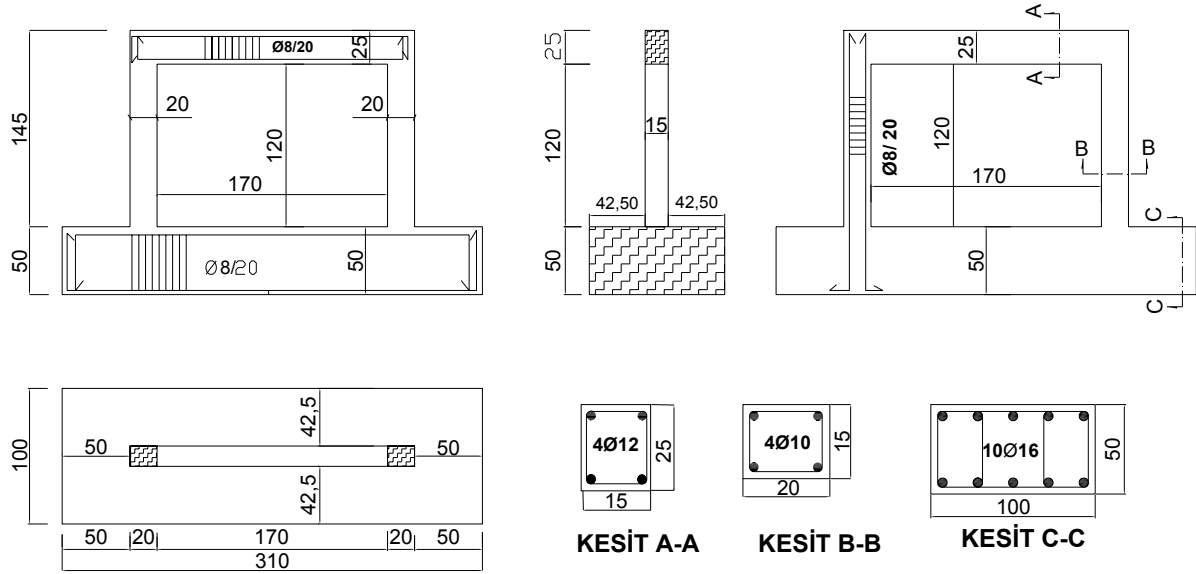
Çerçeveler, Tablo 1’de verilen beton karışım oranlarıyla hazırlanan ve Tablo 2’de beton numune özelliklerine sahip beton kullanılarak üretilmiştir. Tablo 3’te donatıların fiziksel ve mekanik özellikleri verilmiş ve numuneler Şekil 1’de verilen donatı detaylarına uygun olarak üretilmişlerdir. Üretilen numunelerden bir tanesi boş çerçeve olarak deneye tabi tutulmuştur. Diğer çerçeve numunelerinin içi, Tablo 4’te verilen tuğla ve Tablo 5’de verilen harç ile aynı şekil ve özellikteki duvarla örülmüştür.

Bu numunelerin tamamı Tablo 6’da verilen özelliklere sahip sıva ile duvarın her iki yüzü sıvanmıştır.

Üretilen numunelerden ikincisi dolgu duvarlı olarak deneye tabi tutulmuştur.

Üretilen numunelerden üçüncüsü, deprem yönetmeliğine uygun olarak Şekil 2’de verilen güçlendirme detaylarına uygun güçlendirilmiş ve Tablo 7’de verilen güçlendirme sıvası ile sıvanmıştır.

Bölme duvarının ve bölme duvar güçlendirilmesinin çerçeve davranışına etkisi



Şekil 1. Deney elemanları ve donatı detayları (boyutlar cm birimindedir)

Tablo 1. Beton karışım oranları

	Çimento	0-7 Kum	0-6 Mıcır	6-16 Mıcır	Su	Toplam
Ağırlıkça (kg)	200	587	498	925	165	2375
%	8.42	24.71	20.97	38.95	6.95	100

Tablo 2. Beton numune özellikleri

	Numune şekli	Numune boyutları (cm)	Kırılma yükü (kN)	Numune mukavemeti (N/mm ²)	Elastisite modülü (N/mm ²)
Temel	Silindir	15×30	572	32	-
Çerçeve (28 günlük)	Silindir	15×30	157	9	10710

Tablo 3. Donatı özellikleri

	Çap	Akma (N)	Çekme (N)	Akma (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)	Kopma Uzam. %
Kolon (düz)	10	27300	39799	347	506	27
Kiriş (düz)	8	17500	23899	348	475	26
Temel (nervürlü)	12	36700	50000	324	442	31
Ankraj donatısı	8	17500	23899	348	475	26
Hasır donatı	16	99000	118500	494	589	22
	8	25590	25860	509	514	21
	8	21045	25165	419	500	33
	6	12500	13400	442	474	4

Tablo 4. Tuğla basınç dayanımı

	Numune boyut- ları (cm)	Kırılma yükü (kN)	Numune mukave- meti (N/mm ²)	Elastisite modülü (N/mm ²)
Yatay delikli tuğla	19.5×19.5×8.5	36	2.41	1000

Tablo 5. Duvar yapımında kullanılan harç

	Kırılma yükü (kN)	Numune mukavemeti (N/mm ²)
sıva	41	2

Tablo 6. Tuğla yüzeyine uygulanan sıva

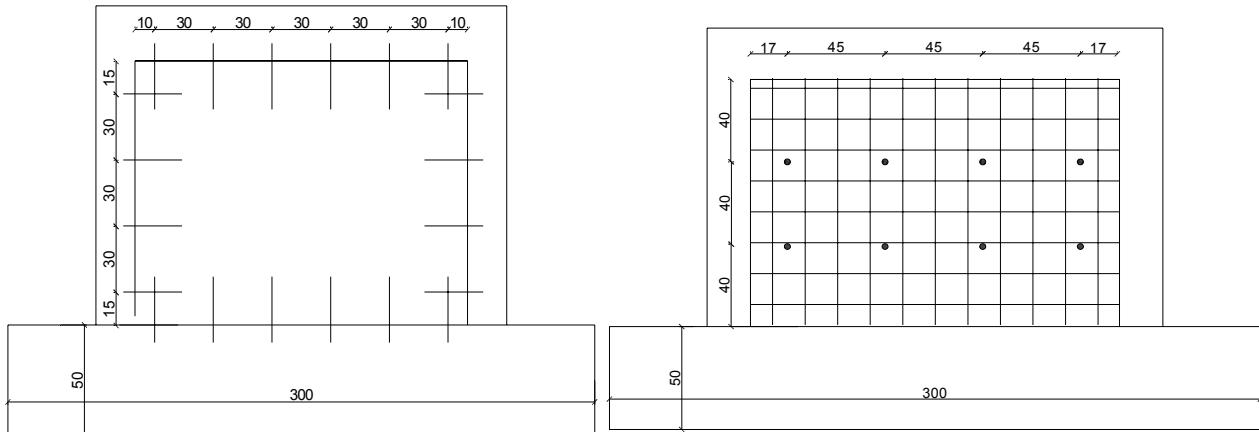
	Kırılma yükü (kN)	Numune mukavemeti (N/mm ²)	Elastisite modülü (N/mm ²)
sıva	128	7	7598

Tablo 7. Deprem yönetmeliğinde verilen karışım oranına göre hazırlanmış sıva

	Kırılma yükü (kN)	Numune mukavemeti (N/mm ²)	Elastisite modülü (N/mm ²)
sıva	75	4	6816

Çerçeve arasına örülen bölme duvarların yüzeylerinin sıvasında kullanılacak sıva karışımı, 6 hacim kum / 2 hacim çimento / 1 hacim kireç karışımıyla sıva yapılmıştır. Bu karışım ile yapılan sıvanın basınç dayanımı Tablo 6'da verilmiştir.

Sıva kalitesi yönetmelikte verilen karışım oranlarına uygun olarak hazırlanmıştır. Sıva karışım oranları yönetmelikte verilen sıva olup, 4 hacim kum/1 hacim çimento/1 hacim kireç karışımıyla sıva yapılmıştır. Bu karışım ile yapılan sıvanın basınç dayanımı Tablo 7'de verilmiştir.



Şekil 2. I-FA30-WA8-P1

(Çerçeve Ankrāj aralığı 30 cm, duvar düzlemine dik ankrāj sayısı 8 adet, 3 cm yönetmelikteki sıva)
(Deprem Yönetmeliği'ne uygun)

Numunelerden birincisi boş çerçeve olarak test edilmiş ve bu numune **B** olarak isimlendirilmiştir. Numunelerden ikincisi ise dolgu duvarı örülmüş ve her iki tarafı 1 cm'lik normal sıva ile sıvanmış dolgu duvarlı çerçeve olarak test edilmiş ve bu numune **I** olarak isimlendirilmiştir. Diğer üçüncü numune ise dolgu duvarlı sıvanmış numune üzerine deprem yönetmeliğinde verilen parametrelerle, güçlendirilme yapılarak çerçeve test edilmiş ve **I-FA30-WA8-P1** olarak isimlendirilmiştir.

Deney ve ölçüm düzeneği

Deneylerin yapıldığı laboratuarda çelik konstrüksiyondan yapılmış bir yüklem çerçevesi ve numunelerin sabitlendiği rijit bir platform mevcuttur (Şekil 3). Deneylerde yer değiştirmeleri ölçmek için LVDT ler kullanılmıştır. Yüklem kriko ile yapılmış ve kriko önünde bulunan yük hücresinden uygulanan yükler veri toplama aletlerine aktarılmıştır. LVDT'ye bağlanan kanallar yine veri toplama aletine ve oradan da bilgisayara aktarılmıştır.

Yapılan deneylerde 14 adet LVDT kullanılmıştır. Bu LVDT'ler den 3 tanesi tepe yer değiştirmeleri ölçmek için kullanılmıştır. Şekil 4'te görüldüğü üzere ön ve arka yüzdeki duvarlarda ikişer adet olmak üzere toplam 4 adet LVDT monte edilerek ölçümler alınmıştır. Ölçümlerin alındığı kolonun alt ucuna her iki yüzde 2 adet olmak üzere toplam 4 adet

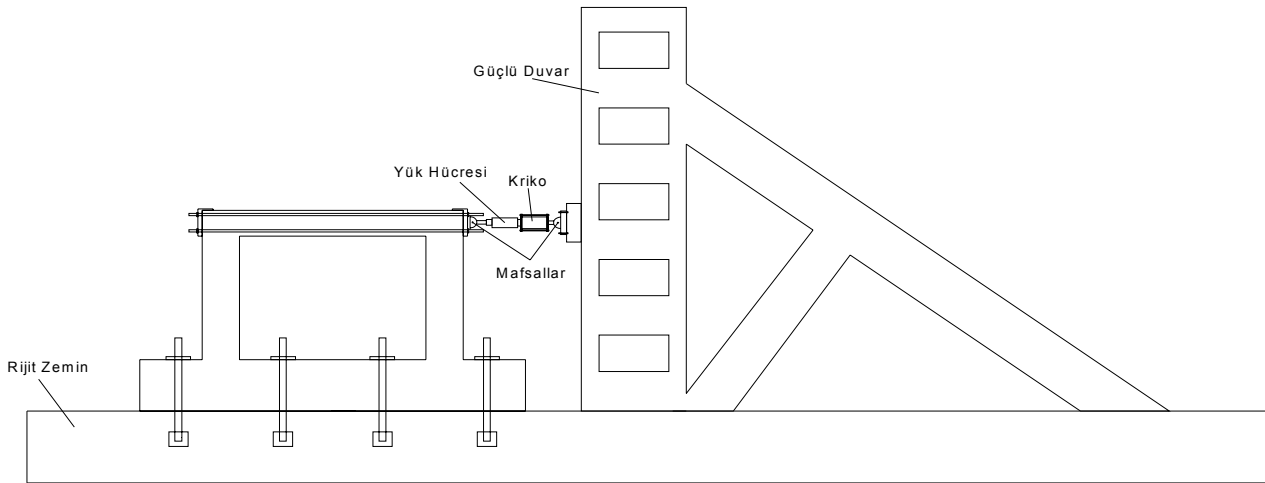
LVDT bağlanmış ve okumalar alınmıştır. Temel hareketi ve dönmeleri içinde aynı şekilde LVDT'ler Şekil 4'te görüldüğü gibi bağlanmış ve okumalar alınmıştır.

Deney elemanlarında iç yüzeyde girinti oluşturabilmek amacıyla dış yüzeye birebir hizalanarak örülen dolgu duvarların tersinir tekrarlanır yatay yük uygulanması sırasında elemanlarda düzlem dışı harekete sebep olabileceği düşünülmüş ve bu hareketin önlenmesi için çerçeve elemanlarının çevresine güçlü temele mesnetli çelik kafes sistemi yapılmıştır. Bu sisteme deney elemanlarının kirişleri hizasına gelecek şekilde bağlanan kayıcı mesnetler yardımıyla yatay yükün, elemanların sadece düzlem içinde hareketine izin verecek şekilde uygulanması sağlanmıştır.

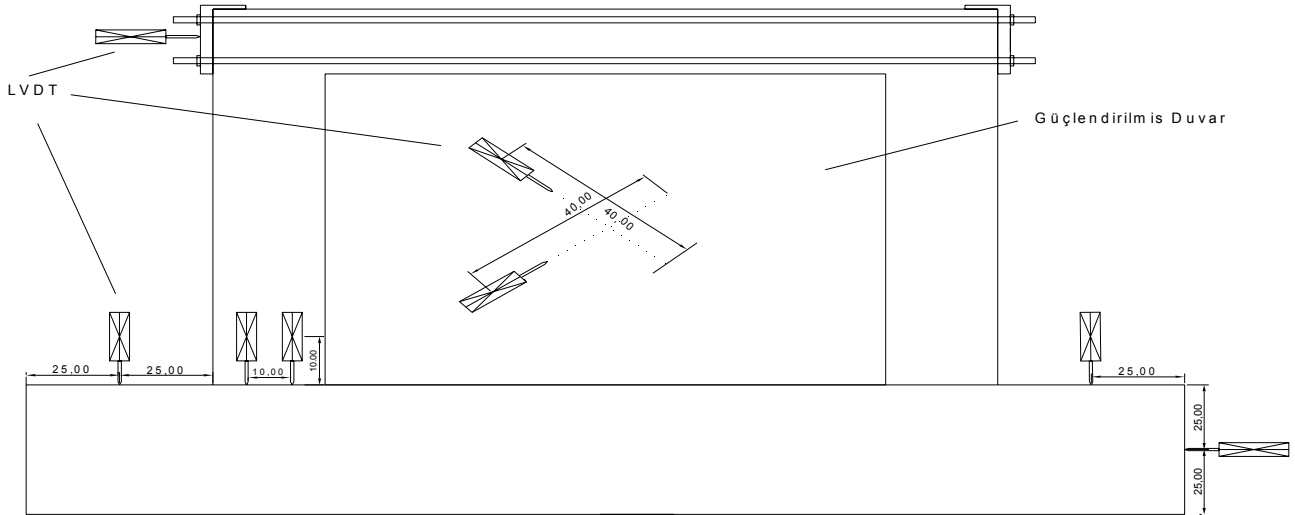
Gerçekleştirilen deneyler yer değiştirme kontrollü yürütülmüştür. Deney elemanları üzerine yerleştirilen veri toplama aletlerinden gelen veriler eş zamanlı olarak bilgisayarda toplanmıştır. İtme ve çekmeler çift çevrim uygulanmış ve 2. çevrimlerin sonunda deneylere kısa süre ara verilerek elemanlar üzerindeki çatlak ve hasarlar tespit edilmiştir.

Deney sonuçları

Bu numuneler den 1 no'lu boş çerçeve, 2 no'lu bölme duvarlı çerçeve ve deprem yönetmeliğine uygun güçlendirilmiş 3 no'lu numune kıyaslanmış, bölme duvarının ve bölme duvar güçlendirilmesinin çerçeve davranışına etkisi araştırılmıştır.



Şekil 3. Deney düzeneği



Şekil 4. Deney veri toplama düzeneği

Deprem yönetmeliğinde verilen parametrelerle güçlendirilen numunede, çerçeve ankrj aralığı 30 cm olarak uygulanmış ve bu parametre kısaltması **FA30** olarak kullanılmıştır. Duvar düzlemine dik ankrj sayısı 8 adet olarak uygulanmıştır. Bu parametre kısaltması **WA8** olarak kullanılmıştır. Diğer parametre sıva kalitesi olup, sıva karışım oranları yönetmelikte verilmiş olan, 4 hacim kum/1 hacim çimento/1 hacim kireç karışımıyla sıva yapılmıştır. Bu parametre kısaltması **P1** olarak kullanılmıştır.

Bu üç numune taşıdıkları maksimum yük, rijitlik ve enerji yutma kapasiteleri yönünden değerlendirilmiştir.

Numunelerin taşıdığı maksimum yatay yük, bu üç numunede karşılaştırıldığında;

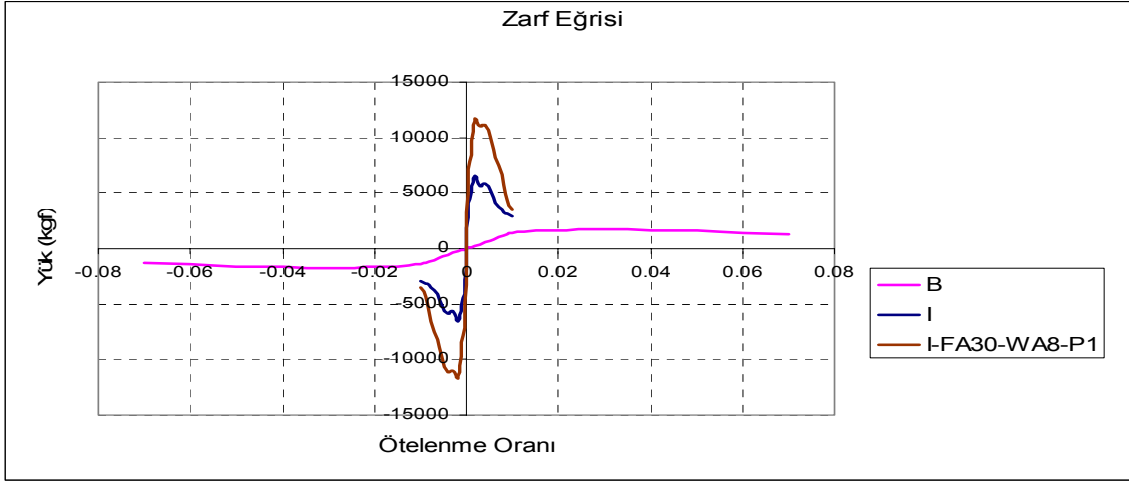
Boş çerçevede (B) $P_{max} = 1.76$ ton
 Dolgu duvarlı çerçeve (I) $P_{max} = 6.51$ ton
 Dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçevede (I-FA30-WA8-P1) $P_{max} = 11.60$ ton

elde edilmiştir. Boş çerçevenin duvarlı hale getirilmesiyle $6.505 / 1.758 = 3.7$ kat yük taşıma kapasitesinde bir artış görülmektedir. Bölme duvarların etkisi ciddi manada ortaya çıkmaktadır. Şekil 5'te elde edilen grafikte bölme duvarının ve güçlendirilmiş çerçevenin etkisi görülmektedir.

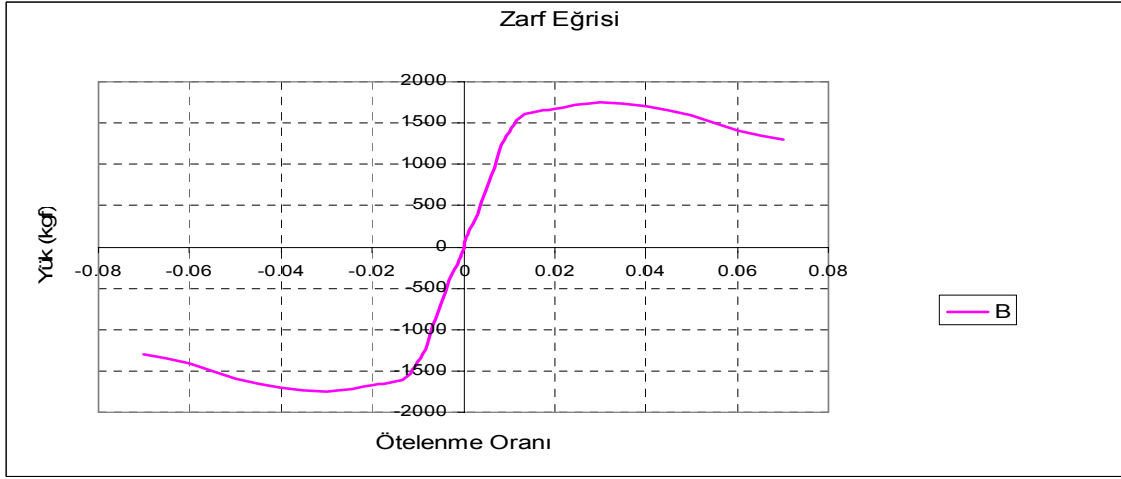
Ancak olası bir deprem esnasında güçlendirilmemiş duvarın büyük olasılıkla düzlem dışına devrilebilecek ve bölme duvarın bu katkısı tam kullanılmayarak kaybedilecektir. Oysaki güçlendirme sonrasında ankrjlar sayesinde duvar yerinde kalacak ve böylece hem duvarın hem de güçlendirmenin yük taşımadaki katkısı korunacaktır. Yapılan deneylerde de çerçevenin düzlem dışı hareketi engellenmiş ve duvarın bu katkısı ciddi manada görülmüştür.

Bölme duvarının güçlendirilmesiyle sağlanan yük artışı Şekil 5'te görülmektedir. Bölme duvarlı çerçevenin, hasır çelik ve sıva ile güçlendirilmesiyle numunenin yatay yük taşıma kapasitesindeki artış $11.599 / 6.505 = 1.78$ kat artmaktadır. Deprem yönetmeliğinde belirtilen verilere göre yapılmış, bölme duvarlı çerçevenin güçlendirilmesi ile yatay yük taşıma kapasitesinde % 78 oranında artış sağlanmıştır. Bölme duvarlı çerçevenin güçlendirilmesiyle elde edilen rijitlik artışı % 80 mertebelerinde iken, maksimum yükteki artış % 78 mertebelerinde olmaktadır.

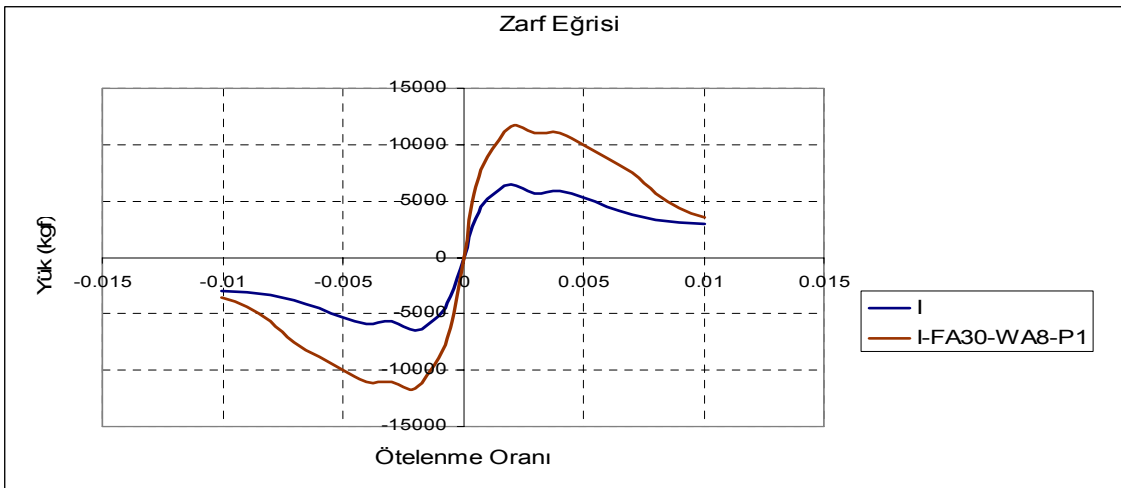
Başlangıç rijitlikleri açısından bakıldığında boş çerçeve (B) numunesi başlangıç rijitliği 1.52 kN/mm, dolgu duvarlı çerçeve (I) numunesi başlangıç rijitliği 52.39 kN/mm, dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve (I-FA30-WA8-P1) numunesi başlangıç rijitliği ise 94.26 kN/mm dir.



Boş çerçeve (B), dolgu duvarlı çerçeve (I), dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve (I-FA30-WA8-P1)



Boş çerçeve (B)



Dolgu duvarlı çerçeve (I), dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve (I-FA30-WA8-P1)

Şekil 5. Zarf eğrisi

Rijitlik değişim grafiklerine bakıldığında (Şekil 6) boş çerçeve başlangıç rijitliği 1.52 kN/mm olup, 0.004 ötelenme oranında 1.01 kN/mm değerine kadar rijitlik azalmış ve eğilme çatlakları oluşmuştur. 0.008 ötelenme oranına kadar rijitlikte bir miktar artış olmuş ve 1.11 kN/mm değerine ulaşmıştır. Bu seviyeden sonra kiriş mesnet yüzeyinde eğilme çatlaklarının oluşmasıyla rijitlik azalmaya başlamış ve deneyin sonlandırıldığı 0.07 ötelenme oranında rijitlik 0.14 kN/mm değerine inmiştir. Şekil 5'te verilen dolgu duvarlı çerçeve (I), dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve (I-FA30-WA8-P1) rijitlik değişimi grafiğine bakıldığında artan ötelenme oranlarıyla beraber rijitlik belirli bir eğilimde azalmaktadır. 0.01 ötelenme oranında iki numunenin rijitliği birbirine yaklaşmıştır.

Boş çerçevenin (B), dolgu duvarlı (I) hale getirilmesi ile 34 kat rijitlik artışı, boş çerçevenin (B), dolgu duvarlı güçlendirilmiş numune (I-FA30-WA8-P1) ile kıyaslandığında 62 kat rijitlik artışı gözlenmiştir.

Dolgu duvarlı çerçeve ile dolgu duvarlı çerçevenin güçlendirilmesiyle elde edilen rijitlik artışı 1.80 katı olup % 80 oranında bir rijitlik artışı sağlanmıştır.

Boş çerçeve (B) numunesinde, ötelenme oranı (DR) % 1 iken rijitliğinin % 70'ini korurken, ötelenme oranı (DR) % 5'te rijitliğinin % 16 seviyesine inmiştir.

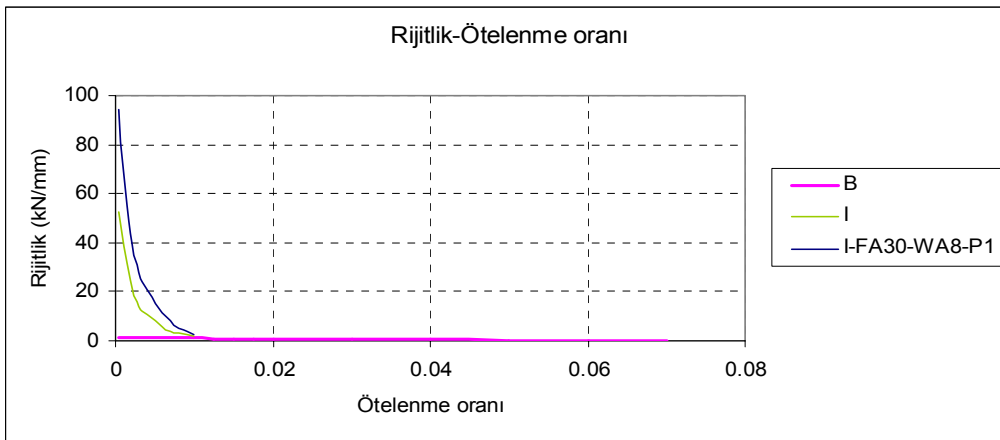
Bölme duvarlı çerçevede (I), ötelenme oranı (DR) 0.002 iken rijitliğinin % 47'sini korurken, 0.01 ötelenme oranında rijitliğin % 4'ü mertebesine kadar azalmıştır.

Dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçevede (I-FA30-WA8-P1), ötelenme oranı (DR) 0.002 iken rijitliğin % 46'sı korunmakta, 0.01 ötelenme oranında ise rijitliğin % 3'ü korunmaktadır.

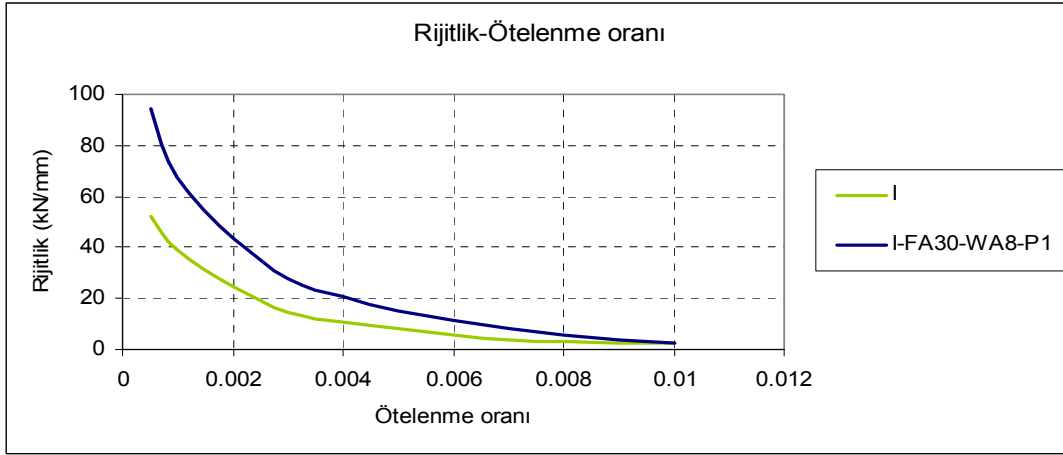
Burada, dolgu duvarlı çerçeve (I) ve dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve (I-FA30-WA8-P1) de rijitlik azalmasına bakıldığında başlangıç rijitliği fazla olan çerçevede, rijitlik azalması daha hızlı olmuştur. Şekil 7'deki grafikte bu değişim görülmektedir.

Numunelerin enerji yutma kapasiteleri, bu üç numunede karşılaştırıldığında; Şekil 8'de verilen grafikte dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve (I-FA30-WA8-P1) numunesinin, dolgu duvarlı çerçeveye (I) göre enerji yutma kapasitesinin çok iyi olduğu görülmektedir.

% 20 dayanım kaybının olduğu ötelenme oranına kadar yutulan enerjiyi karşılaştırırsak; boş çerçeve için % 20 dayanım kaybı 0.006 öteleme oranında oluşmakta ve yutulan enerji miktarı 300356 kgfmm, dolgu duvarlı çerçeve (I) için % 20 dayanım kaybı 0.005 öteleme oranında oluşmakta ve yutulan enerji miktarı 22598 kgfmm, dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve (I-FA30-WA8-P1) için % 20 dayanım kaybı 0.006 öteleme oranında oluşmakta ve yutulan enerji miktarı 87533 kgfmm'dir.



Şekil 6. Boş çerçeve (B), dolgu duvarlı çerçeve (I), dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve (I-FA30-WA8-P1) rijitlik değişim grafiği



Şekil 7. Dolgu duvarlı çerçeve (I), dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve (I-FA30-WA8-P1) rijitlik değişim grafiği

Dolgu duvarlı çerçeve (I) ve dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve (I-FA30-WA8-P1) numunesi 0.01 ötelenme oranında durdurulmuştur. 0.01 ötelenme oranına kadar, grafikten de görüldüğü üzere çıplak çerçeveye göre daha fazla enerji yutma kapasitelerinin olduğu görülmektedir.

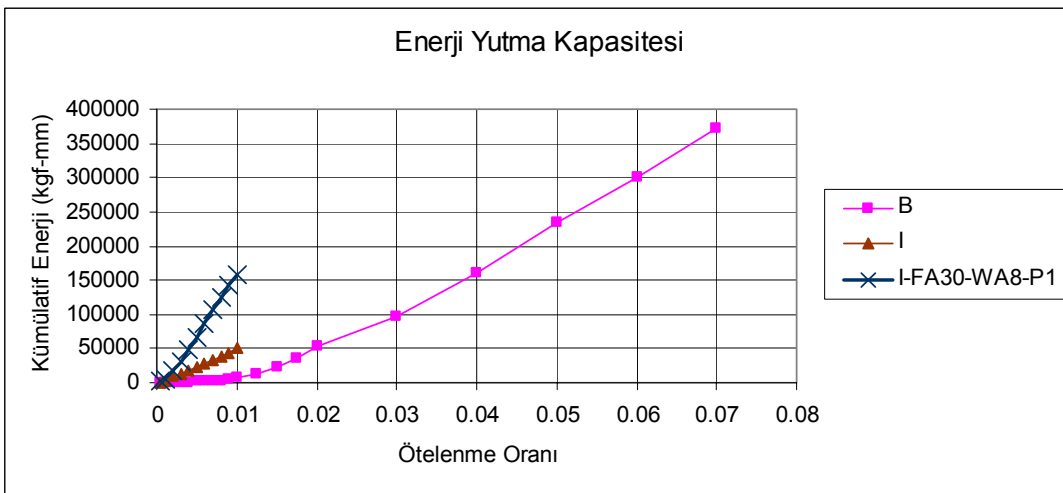
0.01 ötelenme oranında, çıplak çerçevenin enerji yutma kapasitesi 7123 kgfmm, bölme duvarlı çerçevenin enerji yutma kapasitesi 50484 kgfmm, dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçevenin enerji yutma kapasitesi 157936 kgfmm'dir. 0.01 ötelenme oranında bölme duvarlı çerçeve, boş çerçeveye göre 7 kat, Şe-

kil 9'da verilen grafikte, 0.01 ötelenme oranında güçlendirilmiş çerçeve, bölme duvarlıya göre 3.2 kat daha fazla enerji yutma kapasitesine sahip olduğu görülmektedir.

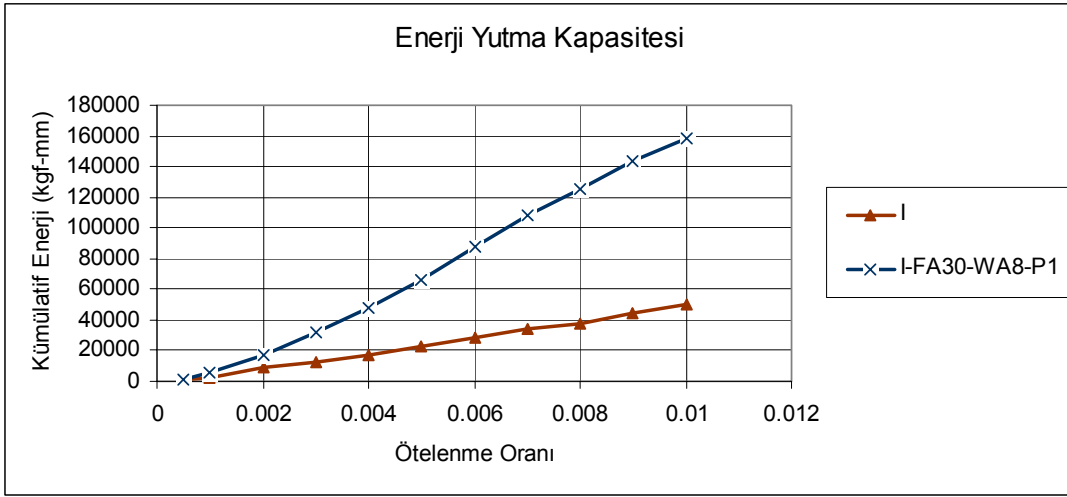
Sonuçlar

Boş çerçevenin duvarlı hale getirilmesiyle 3.7 kat yük taşıma kapasitesinde bir artış görülmektedir. Bölme duvarların etkisi ciddi manada ortaya çıkmaktadır.

Bölme duvarlı çerçevenin, hasır çelik ve sıva ile güçlendirilmesiyle numunenin yatay yük taşıma kapasitesindeki artış 1.78 kat artmaktadır.



Şekil 8. Boş çerçeve (B), dolgu duvarlı çerçeve (I), dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve (I-FA30-WA8-P1), enerji yutma kapasitesi



Şekil 9. dolgu duvarlı çerçeve, dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve, enerji yutma kapasiteleri

Başlangıç rijitlikleri açısından bakıldığında boş çerçeve (B) numunesi başlangıç rijitliği 1.52 kN/mm, dolgu duvarlı çerçeve (I) numunesi başlangıç rijitliği 52.39 kN/mm, dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve (I-FA30-WA8-P1) numunesi başlangıç rijitliği ise 94.26 kN/mm'dir.

Boş çerçevenin (B), dolgu duvarlı (I) hale getirilmesi ile 34 kat rijitlik artışı, boş çerçevenin (B), dolgu duvarlı güçlendirilmiş numune (I-FA30-WA8-P1) ile kıyaslandığında 62 kat rijitlik artışı gözlenmiştir. Dolgu duvarlı çerçeve ile dolgu duvarlı çerçevenin güçlendirilmesiyle elde edilen rijitlik artışı 1.80 katıdır.

Numunelerin enerji yutma kapasiteleri, dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçeve (I-FA30-WA8-P1) numunesinin, dolgu duvarlı çerçeveye (I) göre enerji yutma kapasitesinin çok iyi olduğu görülmektedir.

0.01 ötelenme oranında, çıplak çerçevenin enerji yutma kapasitesi 71.23 kNmm, bölme duvarlı çerçevenin enerji yutma kapasitesi 504.84 kNmm, dolgu duvarlı güçlendirilmiş çerçevenin enerji yutma kapasitesi 1579.36 kNmm'dir.

0.01 ötelenme oranında bölme duvarlı çerçeve, boş çerçeveye göre 7 kat, güçlendirilmiş çerçeve, bölme duvarlıya göre 3.2 kat daha fazla enerji yutma kapasitesine sahip olduğu görülmektedir.

Bölme duvarının ve bölme duvar güçlendirilmesinin, çerçeve yatay yük taşıma kapasitesini, yanal rijitliğini, enerji yutma kapasitesini ciddi anlamda artırmaktadır. Ancak tek başına bölme duvarlar olası bir depremde düzlem dışına devrilebilecek ve bölme duvarların bu katkısı tam kullanılamayabilecektir. Bölme duvarların güçlendirilmesi ile ankrajlar ve yapılan güçlendirme sıvasının etkisiyle duvar yerinde kalacak, böylece duvarın düzlem dışına devrilerek erken devreden çıkması önlenerek hem duvarın hem de güçlendirmenin katkısı olası deprem boyunca korunacaktır.

Bu çalışmada yapılan tüm deneylerde düzlem içi yükleme yapılmış, düzlem dışı hareket engellenmiş ve düzlem dışı bir etki dikkate alınmamıştır. Dolayısıyla yapılan bu yorumlar düzlem içi yükler için geçerli olmaktadır. Bu konuda daha kesin sonuçlara ulaşabilmek için düzlem dışı yükler etkisi altında da davranışların incelenmesi gerekliliği düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Benjamin, J.R. ve Williams, H.A., (1958). Blast and earthquake resistant design data: Behavior of one-story reinforced concrete shear walls containing openings, *ACI Structural Journal*, **30**, 5, 605-618.
- Celep, Z. ve Gencoğlu, M., (2003). Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul Bildiri No: AT-121.
- CSI, (2005). CSI analysis reference manual for SAP2000, ETABS & SAFE, Computers and Structures Inc, California, USA.

- Canbay, E., Ersoy, U. ve Özcebe, G., (2003). Contribution of reinforced concrete infills to seismic behavior of structural systems, *ACI Structural Journal*, **100**, 5, 637-643.
- DBYYHY, (2007). *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik*, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- Ersoy, U. ve Uzsoy, Ş., (1971). The behavior and strength of infilled frames, TÜBİTAK Araştırma Projesi Raporu, Proje No: MAG-205. Ankara.
- FEMA 356, (2000). Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington DC, USA.
- Güney, D. ve Boduroğlu M.H., (2006). Deprem etkisi altındaki simetrik ve asimetrik yapıların, lineer olmayan tepkilerine dolgu duvarlarının katkısı, *İTÜ Dergisi/d mühendislik*, Haziran 2006, **5**, 3, 165-174.
- İlki, A., (2000). Betonarme elemanların yön değiştiren tekrarlı yükler altında doğrusal olmayan davranışı, *Doktora Tezi*, İTÜ.
- Kaltakçı, M.Y. ve Köken, A., (2003). Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul Bildiri No: AT-026.
- Kesner, K. ve Billington, S.L., (2005). Investigation of infill panels made from engineered cementitious composites for seismic strengthening and retrofit, *ASCE Journal of Structural Engineering*, **131**, 11, 1712-1720.
- Marjani, F., (1997). Behavior of brick-infilled reinforced concrete frames under reversed cyclic loading, *Doktora Tezi*, İnşaat Mühendisliği, METU.
- Özcebe, G., Ersoy, U., Tankut, T., Erduran, E., Keskin, R.S.O. ve Mertol, C., (2003) Strengthening of brick-infilled RC frames with CFRP, Teknik Rapor, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Perera, R., Gómez, S. ve Alarcón, E., (2004). Experimental and analytical study of masonry infill reinforced concrete frames retrofitted with steel braces, *ASCE Journal of Structural Engineering*, **130**, 12, 2032-2039.
- Sonuvar, M.O., Özcebe, G. ve Ersoy, U., (2004). Rehabilitation of reinforced concrete frames with reinforced concrete infills, *ACI Structural Journal*, **101**, 4, 494-500.
- TS500, (2000). Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.