

# Betonarme çerçevelerin güçlendirilmesinde özel bir püskürtme beton panel uygulaması

**Pınar TEYMÜR\***, **Sumru PALA**, **Ercan YÜKSEL**

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

## Özet

*Duvarların püskürtme beton ile güçlendirilmesi yöntemi, ülkemizde hasarlı veya hasarsız yığma binaların güçlendirilmesi amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yazıda, püskürtme beton kullanılarak; ülkemizdeki betonarme yapılara yönelik uygun, etkili, kolay uygulanabilir ve ekonomik bir güçlendirme yöntemi önermek amacı ile yapılmış olan çalışmanın bir kısmı sunulacaktır. Püskürtme beton ile güçlendirme yönteminin betonarme çerçevenin yatay yük taşıma, enerji yutma kapasitesi ve rijitlik özelliklerine olan etkisi ile sistemin göçme şekli incelenmiştir. Ülkemizdeki betonarme yapıların genel özelliklerini yansıtan tek katlı ve tek açıklıklı 1/2 ölçekli düzlem çerçevelerin içerisine tuğla duvar yerine ıslak karışımlı püskürtme beton paneller eklenmiştir. Oluşturulan panel; dış çerçevenin kirişlerine kayma kamaları kullanılarak bağlanmış, duvar ve çerçevenin birlikte çalışması amaçlanmıştır. Panel, kolon iç yüzeyine 20 cm mesafeli olarak yerleştirilmiştir. Panel genişliğine karar verirken, çerçeve kirişinde yatay ve düşey yükler etkisinde görece olarak daha az eğilme momenti meydana gelen bir bölgede kalınması hedeflenmiştir. Üretilen numuneler, sabit düşey yük ve tersinir tekrarlı yatay yük çevrimleri etkisinde denenmiştir. Yalın çerçeve ile püskürtme beton bölme duvarlı çerçeve davranışları karşılaştırıldığında, önerilen güçlendirme yöntemi ile sistemin yatay yük taşıma kapasitesinin yaklaşık 1.6 kat arttığı gözlenmiştir. Püskürtme beton ile oluşturulan duvarın sistem davranışına etkisi analitik olarak da incelenmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Püskürtme beton, güçlendirme, betonarme çerçeve.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Pınar TEYMÜR. teymurp@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 37 95 dahili: 3.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Retrofitting of reinforced concrete buildings with shotcrete walls" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 08.06.2009 tarihinde dergiye ulaşılmış, 08.07.2009 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.03.2011 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Bu makaleye "Teymür, P., Pala, S., Yüksel, E., (2010) 'Betonarme çerçevelerin güçlendirilmesinde özel bir püskürtme beton panel uygulaması', İTÜ Dergisi/D Mühendislik, 9: 6, 157-168" şeklinde atıf yapabilirsiniz.

## Usage of a special shotcrete panel to strengthen reinforced concrete frames

### *Extended abstract*

The existence of many vulnerable reinforced concrete buildings in earthquake prone areas that were built before the current Turkish earthquake code, presents one of the most serious problems facing Turkey, especially in Istanbul today. During 1999 Kocaeli Earthquake, buildings had greater damage than expected at that magnitude of an earthquake in the city. Since then researchers have been trying to find cheap and easily applicable strengthening solutions for the reinforced concrete and masonry structures.

Shotcrete is used in lieu of conventional concrete, in most instances, for reasons of cost or convenience. Properly applied shotcrete is a structurally sound and durable construction material which exhibits excellent bonding characteristics to existing concrete, rock, steel, and many other materials. It can have high strength, low absorption, good resistance to weathering and resistance to some forms of chemical attack. Shotcrete is used for repairing of bridges, buildings, marine structures; underground excavations in rock; slope and surface protection and for new structures such as building pools, tanks, walls, floors and domes.

Shotcrete can be applied by two distinct application techniques; the dry-mix process and the wet-mix process. In this study wet-mix shotcrete is used.

Retrofitting structures with shotcrete is commonly used for damaged and undamaged masonry structures in Turkey. The aim of this study is to adapt this retrofitting technique to find out whether it is fast, cheap and adequate method for reinforced concrete structures. To understand the effect of this retrofitting technique, experimental research has been carried out. Panels made from wet-mixed shotcrete in lieu of a traditional masonry are used to form an infill wall within a vulnerable reinforced concrete frame. The frames were chosen to represent weak column/strong beam type structures that were very common in Turkey especially for the buildings constructed before the current earthquake code.

The experimental work is composed of strengthening of one undamaged and one bare frame. Nearly ½ scale one story, one bay specimens were tested under constant vertical loads acting on the columns

and lateral reversed cycling loads. The panel is connected to the beam and the foundation through shear studs used at two edges of the infill wall to create strong bond between panel and reinforced concrete members of the frames. They are connected by lapping the infill reinforcement to the anchorage placed in frame members. The panel has 20 cm distance to the columns.

The specimens had non-seismic details such as large spacing of hoops, no hoop in beam-column connection region and no use of 135° seismic hooks. One story, one bay reinforced concrete frames with a portion of slab on top and a foundation at the bottom have been constructed in the laboratory. The cross sectional dimensions of columns and beam of the frames are 20 cm by 25 cm and 20 cm by 32.5 cm, respectively. The height and the width of the frames are 152.5 cm and 220 cm, respectively. Main reinforcement of the frames was consisted of 16 mm steel bars (average yield stress,  $f_y = 270 \text{ N/mm}^2$ ) and the reinforcement of the panels 4.5 mm steel bars (average yield stress,  $f_y = 320 \text{ N/mm}^2$ ). The reinforcement ratio of the column and the panel are 1.6% and 0.2% respectively.

A wire mesh (Q 106/106) consisting of 4.5 mm steel bars was placed in the middle of the frame. By lapping the infill reinforcement to the anchorages placed in the frame members, full contact of the panel was established. The anchorages used were 10 mm steel bars placed in the frame by epoxy resin. The length of the anchorage in the panel was 20 cm. By using wet-mixed sprayed concrete, a 5 cm-thick panel was formed.

The axial load applied on each column is 132.5 kN. Lateral reversed cycling loading imposed as displacement was applied to the specimen by means of a 250 kN-capacity hydraulic MTS actuators, which were placed at the slab level. Up to 0.467 mm top displacement, the cycles were applied only once. Later target displacements were repeated three times up to 42 mm.

In this study, the effect of the technique on load carrying capacity, energy dissipation, rigidity and the failure mode of the frame is investigated with experiments. The results of the experiments show that the lateral load carrying capacity of the infilled frames strengthened using this method are approximately one and a half times that of the bare one.

**Keywords:** Shotcrete, strengthening, reinforced concrete frame.

## **Giriş**

Ülkemizde yakın geçmişte yaşanan depremlerin, büyüklüklerine oranla çok daha fazla hasara, can ve mal kaybına neden olmaları, mevcut yapı stoğunun yeterli deprem güvenliğine sahip olmadığını göstermektedir. Mevcut binaların deprem güvenliğini yeterli düzeylere çıkarmak, mal ve özellikle can güvenliği açısından son derece önemlidir. Hızlı, ucuz ve güvenilir güçlendirme yöntemleri geliştirilerek mevcut az katlı yığma ve betonarme binaların deprem güvenliğini yeterli düzeylere yükseltmek, ülkemiz için güncelliğini koruyan önemli bir konudur. Güçlendirilme amacı ile sistemde yeni taşıyıcı perdeler oluşturulduğu gibi, mevcut ve taşıyıcı olmayan gevrek dolgu duvarları uygun yatay yük taşıyıcı elemanlara dönüştürmek de mümkün görünmektedir. Dolgu duvarlarından deprem güvenliğini arttırmak için yararlanmanın teknik açıdan önemi, uygulamada kolaylığı ve ekonomik çözümlere ulaşılabilme olanağıdır.

Dolgu duvarları kendilerini çevreleyen betonarme çerçevelere göre daha gevrek oldukları için belirli bir görelî yerdeğiştirme seviyesinde bağılı oldukları çerçeveler kadar esneyemezler ve depremin başlangıcından belli bir süre sonra kırılıp, parçalanırlar. Duvarların güçlendirme elemanı olarak kullanılması amaçlandığında, süneklik düzeylerinin ve yatay yük taşıma kapasitelerinin artırılması önemli olacaktır. Bu amaçla değışik teknikler kullanılmakta ve yeni yöntemler denenmektedir.

En çok kullanılan güçlendirme teknikleri; yüzeyin değışik malzemeler ile güçlendirilmesi, çatlaklara çimento enjeksiyonu, mantolama, tuğla içersine donatı yerleştirilmesi ve duvarın kamalar vasıtası ile mekanik olarak onu çevreleyen çerçeveye bağlanmasının sağlanması olarak sayılabilir.

Yüzey güçlendirilmesi için en çok takviye edilmiş sıva ve püskürtme beton kullanılmaktadır. Sheppard ve diğeri (1980), Kahn (1984), Hutchinson ve diğeri (1984) değışik malzemeler kullanarak duvar yüzeyini güçlendirmişler ve bu güçlendirmenin duvarın düzlem içi dayanımına olan olumlu katkısını gözlemlemişler-

dir. Yüksel ve diğeri (1998) tarafından yapılan çalışmalarda kendini çevreleyen betonarme çerçeve ile beton kamalar yardımıyla bağlantılı olarak inşaa edilmiş duvar, yerdeğiştirme kontrollü olarak yatay yük etkisinde denenmiş ve duvara hasar verilmiştir. Daha sonra hasar görmüş duvarın her iki yüzüne mevcut betonarme sisteme bağılı hasır donatı ve içinde süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi bulunan beton, sıvanarak sistem güçlendirilmiş ve numune tekrardan denenmiştir.

Hasar görmüş olan duvarın üzerindeki çatlaklara çimento enjeksiyonu yaparak deneyler yapan Calvi ve diğeri (1994), Schuller ve diğeri (1994), Sheppard ve diğeri (1980), Hamid ve diğeri (1999) bu şekilde yapılan güçlendirme ile duvarın eski yük taşıma kapasitesine ulaştığını gözlemlemişlerdir.

Duvar yüzeyi üzerine değışik malzemeler yapıştırılarak, dayanımını arttırmaya yönelik bir güçlendirme yöntemi olan duvar mantolaması ile ilgili olarak; Hamid ve diğeri (1996), Rai ve diğeri (1996) duvar yüzeyine çelik plakalar ile; Tumialan ve diğeri (2001) cam lifleriyle ve Ehsani ve diğeri (1997) ise FRP liflerini ile duvarları güçlendirmişlerdir. Deneyler sonucunda bu tip uygulamalar ile güçlendirilen duvarların, kayma dayanımının ve sünekliğinin önemli miktarda arttığını gözlemişlerdir.

Lissel ve diğeri (2003), Plecnik ve diğeri (1986)'nın boşluklu tuğla içersine donatı yerleştirilerek yaptıkları güçlendirmenin, duvar dayanımını oldukça arttırdığı gözlenmiştir. Ancak bu tip güçlendirmenin, sistemde oldukça düzensiz gerilme ve yük dağılımına yol açtığı da belirlenmiştir.

Duvarın mekanik olarak onu çevreleyen çerçeveye bağlantısı en yaygın olarak ön germeli çubuklar ile yapılmaktadır. Bu tip güçlendirme daha çok anıt tipi tarihi eserlerde kullanılmaktadır. Bu konu üzerine Lissel ve diğeri (2003), Rosenboom ve diğeri (2003), Schultz ve diğeri (2003), Laursen ve diğeri (2002), Foti ve diğeri (2000), Lissel ve diğeri (2003), Karantoni ve diğeri (1992) yaptıkları çalışma-

larda dayanımı artırıcı olumlu katkılar gözlenmiştir. Ancak bu tip güçlendirme uygulamaları mutlaka özel eğitilmiş kişiler tarafından yapılmalıdır.

Yeni inşaa edilen yapılar ile eski yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılan tekniklerden biri de püskürtme beton yüzeylerdir. Özellikle kabuk çatılar, duvarlar, su depoları, havuzlar, öngerilmeli beton, tünel ve kanal gibi yapıların betonlanmasında, mevcut kagir, tuğla, çelik ve beton yapıların yüzeylerinin beton tabakasıyla kaplanmasında ve takviye edilmesinde, çelik yapıların sıcaktan korunması ve takviyesinde kullanılmaktadır. Püskürtme beton, basınçlı hava ile uygulanmaktadır. Karışımın hazırlanmasında iki ayrı yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan birisi “Kuru Karışım” olarak bilinmektedir. Bu tür püskürtme beton için makinanın karışım odasında, çimento ve agrega uygun ölçülerde bir araya getirilip karıştırıldıktan sonra, bu kuru karışım basınçlı hava yardımıyla bir hortum içinde püskürtme ucuna iletilmektedir. Tabanca olarak adlandırılan uca gelen kuru karışıma basınçlı su eklenerek elde edilen beton, basınçlı hava yardımıyla betonlanacak yüzeye yüksek hızla püskürtmektedir. Tabancada katılan su miktarı isteğe uygun bir karışım elde edilmesi için kolayca ayarlanabilir ve gerekli olduğunda bu suya beton katkı maddeleri de eklenebilmektedir. “Islak Karışım” yönteminde ise çimento, agrega ve su beraber karıştırılır. Elde edilen karışım benzer şekilde hortumla ve basınçlı hava yardımıyla püskürtme ucuna iletilmektedir.

Mourtaja ve diğeri (1998, 2009) hasar görmüş bölme duvarını kaldırıp yerine; ortasında hasır donatı ve polistren bulunan, her iki yüzüne de püskürtme beton kullanılarak oluşturulmuş, üç katmanlı panel yerleştirmişler ve bu paneli çevreleyen çerçeve elemanlarına kayma kamaları ile bağlamışlardır. Yerdeğiştirme kontrollü olarak yapılan yüklemeler sonucunda bu panelin kayma dayanımının ve sünekliğinin normal tuğla duvara oranla daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Yığma yapılarda kullanılan çeşitli güçlendirme yöntemlerinin sistem dayanımına etkisi lineer

sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir (Karantoni ve Farantoni, 1992). İncelenen güçlendirme teknikleri: 1) Tavan ve taban seviyelerinde kullanılan betonarme bağ kirişleri; 2) Ahşap döşemelerin betonarme döşemeler ile değiştirilmesi; 3) Tüm yükü taşıyan duvarların birleşim yerlerinde betonarme bağ kolonlarının kullanılması; 4) Püskürtme betonun dış ve/veya iç duvar yüzeylerinde kullanılması; 5) Kemer bölümüne yatay olarak ön gerilme verilmesi; 6) Payandaların düşey olarak öngerilmesi. Ayrıca bu yöntemlerin kombinasyonları da araştırılmıştır. En etkin güçlendirme yönteminin iki taraflı yapılan püskürtme beton kaplamalarının olduğu belirlenmiştir. İki taraflı yapılan püskürtme beton kaplamalarının uygulanması ile yığma yapıda oluşan çekme gerilmesinin %50 oranında azaldığı bulunmuştur.

Dolgu duvarlarının püskürtme beton ile güçlendirilmesi yöntemi, ülkemizde yaygın olarak hasarlı ve hasarsız yığma binaların güçlendirilmesi amacıyla kullanılmaktadır, (Wasti vd., 1997; Celep, 1998; Aydoğan ve Öztürk, 2002). Teymür ve diğeri (2006, 2008) bu güçlendirme yönteminin betonarme binalara uygulanmasını incelemiştir. Dolgu duvarı, hasır donatı ve ıslak karışimli püskürtme beton ile oluşturularak güçlendirilmiş betonarme çerçevelerde yatay yük taşıma, enerji yutma kapasiteleri, rijitlik özellikleri incelenmiş ve sistemin göçme şekilleri belirlenmiştir.

Bu çalışmada; ele alınan numunelerde çerçeve içinde oluşturulan panel kolonlara mesafeli olarak yerleştirilmiş, sadece kirişlere bağlanmıştır.

### **Oluşturulan deney numuneleri**

Numune geometrisi, uygulamada çok karşılaşılan tipik bir betonarme yapıdan, 1/2 ölçekle küçültülerek belirlenmiştir. Bir adet yalın çerçeve bir adet de içerisinde ıslak karışimli püskürtme beton ile oluşturulmuş duvar bulunan iki adet betonarme çerçeve denenmiştir. Numuneler adaptör temele ankastre olacak biçimde mesnetlenmiştir. Bu bağlantı 260\*38\*60 cm boyutlarında betonarme temeller ile yapılmaktadır (Şekil 1).

Tüm numuneler için kolon boyutları 20\*25 cm, kiriş boyutu 20\*32.5 cm, döşeme kalınlığı 12 cm ve tabla genişliği de 82 cm'dir. Ülkemizdeki mevcut yapıları temsil etmesi açısından çerçevede boyuna ve enine donatıları yumuşak çelik olarak seçilmiştir (Şekil 2). Kolon boyuna donatıları; 38 cm kalınlığındaki temel bloğunun alt yüzüne kadar devam etmekte, temel düzeyinde bindirmeli ek bulunmamaktadır.

Betonarme çerçeve içine hasır donatı (Q 106/106) yerleştirilmiş ve çelik ankraj çubukları ile kirişe ve temele bağlantısı sağlanmıştır. Bu bağlantı biçimi ile temele aktarılan moment büyüklüğünün küçültülmesi hedeflenmiştir. Panel genişliğine karar verirken, çerçeve kirişinde yatay ve düşey yükler etkisinde görel olarak daha küçük eğilme momenti oluşan kesitlerde kalınması hedeflenmiş ve panel ile kolonlar arasındaki mesafenin 20 cm olmasına karar verilmiştir. Ankraj elemanı olarak  $\Phi 10$  mm'lik nervürlü çelik çubuklar kullanılmış ve ankraj boyu olarak 20 cm seçilmiştir. Bu ankraj çubukları, yaklaşık 20 cm aralıklarla açılan deliklerin içine epoksi reçinesi enjeksiyonu yapılarak sabitlenmiştir. Güçlendirme panelinin oluşturulması için ıslak karışımı püskürtme beton uygulanmıştır. Oluşturulan panelin kalınlığı 5 cm'dir.

Tablo 1'de çerçeveler ve oluşturulan püskürtme beton duvarın, 15x30 cm silindir beton numunelerden elde edilen basınç dayanımları verilmektedir.

Tablo 1. Ortalama beton basınç dayanımları

Numune	$f_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	
	Çerçeve	Panel
Panelli	12	35
Yalın Çerçeve	16	

## Deneysel çalışmada kullanılan aletler

### Yükleme sistemi

Tersinir tekrarlı yatay yerdeğiştirme çevrimleri, otomatik kontrollü hidrolik veren sistemi kullanılarak uygulanmıştır. Veren fiziksel sınırları; yük için  $\pm 250$  kN, yerdeğiştirme için ise  $\pm 30$  cm'dir. Özel bir kontrol ünitesi ve bu ünitenin

bağlı olduğu bilgisayar vasıtasıyla otomatik yüklemeye ve veri toplama işlemi yapılabilmektedir. Hidrolik veren üzerindeki yük hücresinden, iç yerdeğiştirme ölçerden ve bağımsız referans çerçevelerine mesnetlenmiş dış yerdeğiştirme ölçerlerden gelen büyüklükler saklanmaktadır. Yerdeğiştirme kontrollü test sırasında, tepe yerdeğiştirmesini ölçen dış yerdeğiştirme ölçer esas alınarak, hedef deplasman seviyeleri kontrol edilmiştir.

Numune kolonlarına etiketlenen normal kuvvet ise el ile kontrol edilen hidrolik veren yardımıyla uygulanmıştır.

### Veri toplama sistemi

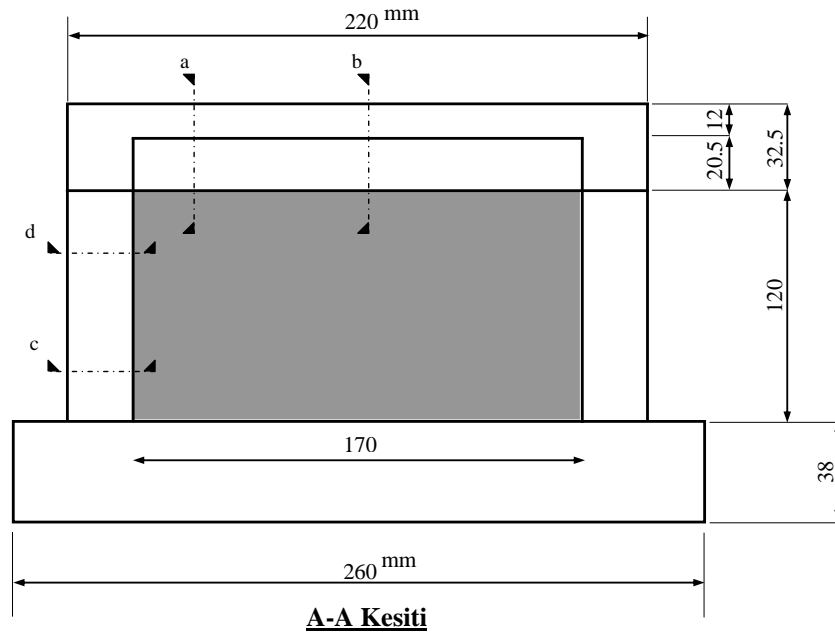
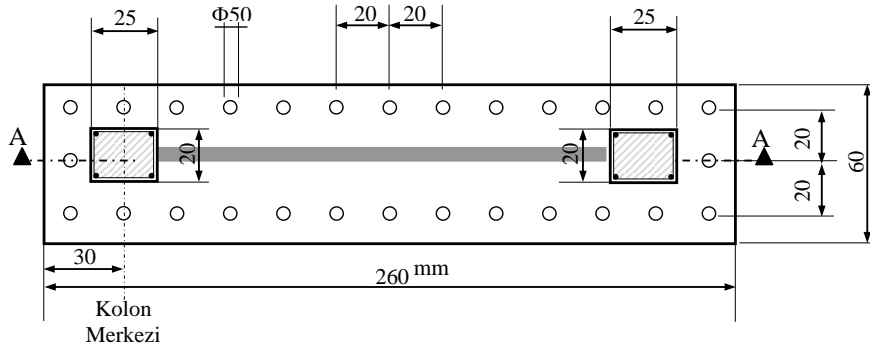
Numuneler üzerine yerleştirilen, şekildeğiştirme ölçer, yerdeğiştirme ölçer ve yük ölçerlerin ürettiği analog bilgiyi fiziksel büyüklüğe çevirip saklamak üzere kullanılan veri toplama sistemi; yönlendirme kutuları, veri dönüştürücü, GPIB kart ve kablosu, bilgisayar ve bir yazılımı içermektedir.

Esasen birbirinden bağımsız olan yüklemeye ve veri toplama sistemleri, yüklemeye sistemini kontrol eden ünitenin gönderdiği uyarı işareti ile eş zamanlı olarak veri toplamaktadır.

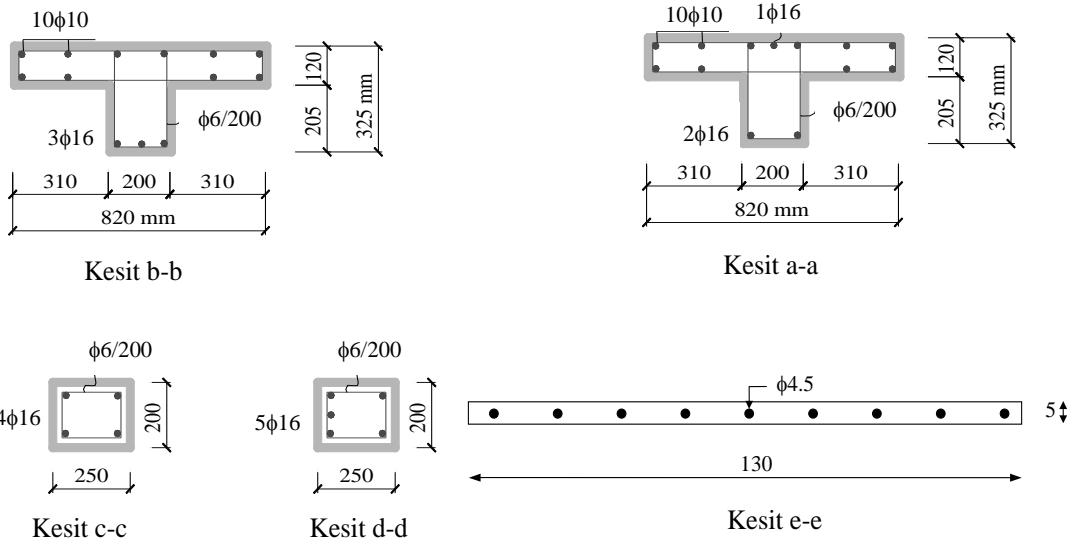
Uygulanan yatay ve düşey yükler değişik kapasitedeki yük hücreleri ile ölçülmüştür. Hidrolik veren hizasındaki yatay yerdeğiştirme bağımsız bir referans çerçeveye bağlı olan ve hidrolik verenin kontrolü için de kullanılan yerdeğiştirme ölçer ile saptanmıştır. Bu iki önemli büyüklükle birlikte, numunelerin değişik kesitlerinde meydana gelen şekildeğiştirme ve yerdeğiştirmeleri ölçmek için muhtelif şekildeğiştirme ölçer ve yerdeğiştirme ölçerler kullanılmıştır.

Deneysel çalışma, İTÜ İnşaat Fakültesi, Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te kullanılmış olan deney düzeneği görülmektedir.

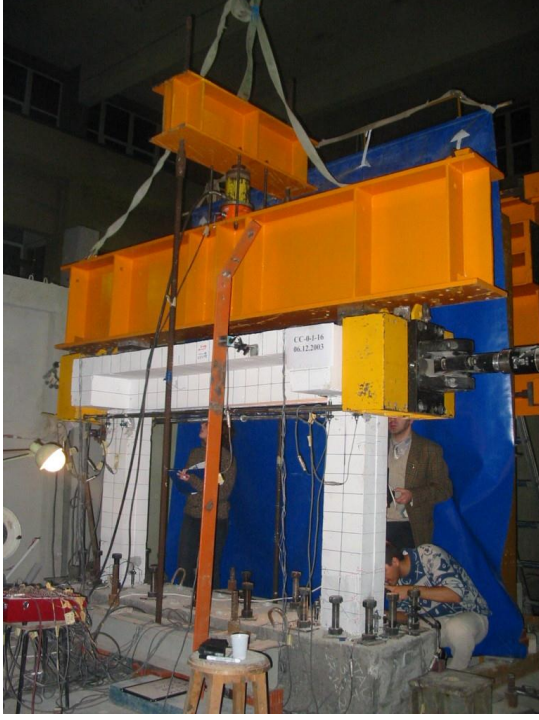
Yerdeğiştirme kontrollü olarak çalıştırılan hidrolik veren vasıtasıyla, Tablo 2'de gösterilen yüklemeye formu yatay yönde numunelere tatbik edilmiştir. Her seviyedeki yerdeğiştirme; 0.467



Şekil 1. Numune geometrisi



Şekil 2. Donatı detayları



Şekil 3. Deney düzeneği

mm'ye kadar birer kez daha sonra ise üçer kez tekrarlanmıştır. Kolon normal kuvvetleri, yaklaşık olarak kolon aksenal yük taşıma kapasitesinin %20'sine karşılık gelmektedir.

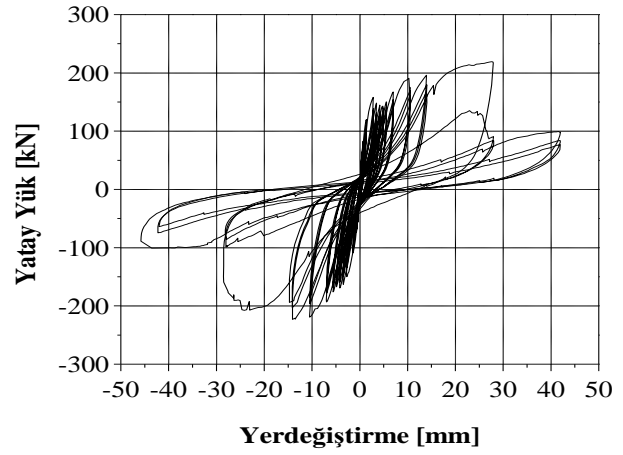
Tablo 2. Uygulanan yerdeğiştirme eşikleri

Yük Seviyesi	Tepe yerdeğiştirmesi [mm]	Rölatif kat yerdeğiştirmesi $\delta/H$
1	0.035	0.000025
2	0.070	0.000050
3	0.140	0.000100
4	0.280	0.000200
5	0.350	0.000250
6	0.467	0.000300
7	0.700	0.000500
8	1.400	0.001000
9	2.800	0.002000
10	3.500	0.002500
11	4.200	0.003000
12	4.900	0.003500
13	5.600	0.004000
14	7.000	0.005000
15	10.500	0.007500
16	14.000	0.010000
17	28.000	0.020000
18	42.000	0.030000

### Deneyel çalışma sonuçları

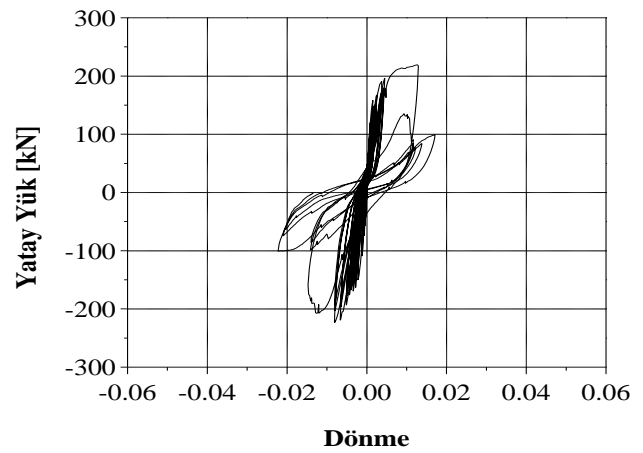
Bu bölümde, püskürtme beton ile üretilmiş duvar ile güçlendirilmiş betonarme çerçevenin davranışını ortaya koyan yatay yük-tepe yer değiştirmesi eğrileri, kritik bazı kesitlerdeki şekil değiştirme eğrileri ile hasar dağılımları verilecektir.

Şekil 4'te püskürtme beton duvar ilaveli numunenin yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi verilmiştir.



Şekil 4. Yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi

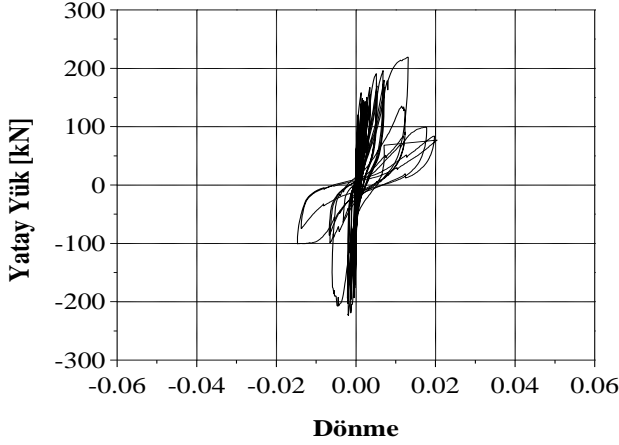
Şekil 5 ve Şekil 6'da sırasıyla sağ kolon (yükleme tarafındaki kolon) taban ve üst kesitinde oluşan dönmenin yatay yük ile ilişkisi verilmektedir.



Şekil 5. Sağ kolon taban kesitinde oluşan dönme

Ulaşılan en büyük dayanımlar, itmede 217 kN, çekmede ise 223 kN olmuştur. Kirişin sağ

ucundaki eğilme çatlakları ile sağ kolon alt ve üst uçlarında ayrılma 2.8 mm'lik itme çevriminde oluşmuştur. Bu yer değiştirme seviyesindeki dayanım 158 kN'dur. Püskürtme beton paneldeki ilk diyagonal çatlak, kirişin sol ucundaki eğilme çatlakları, sol kolon alt ve üst uçlarındaki ayrılma 2.8 mm'lik çekme çevriminde meydana gelmiştir. Bu aşamada dayanım 150 kN olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 6. Sağ kolon üst kesitinde oluşan dönme

Numunede gözlenen hasar durumu genel olarak Şekil 7'de verilmektedir. Şekil 8'de deney so-

nunda, oluşmuş tüm çatlaklar en büyük genişlikleri ile verilmiştir.

Şekil 9'da yalın çerçeveye ait yatay yük-tepe yer değiştirmesi ilişkisi verilmiştir.

Şekil 10 ve Şekil 11'de sırasıyla sağ kolon taban ve üst kesitinde oluşan dönmenin yatay yük ile ilişkisi verilmektedir.

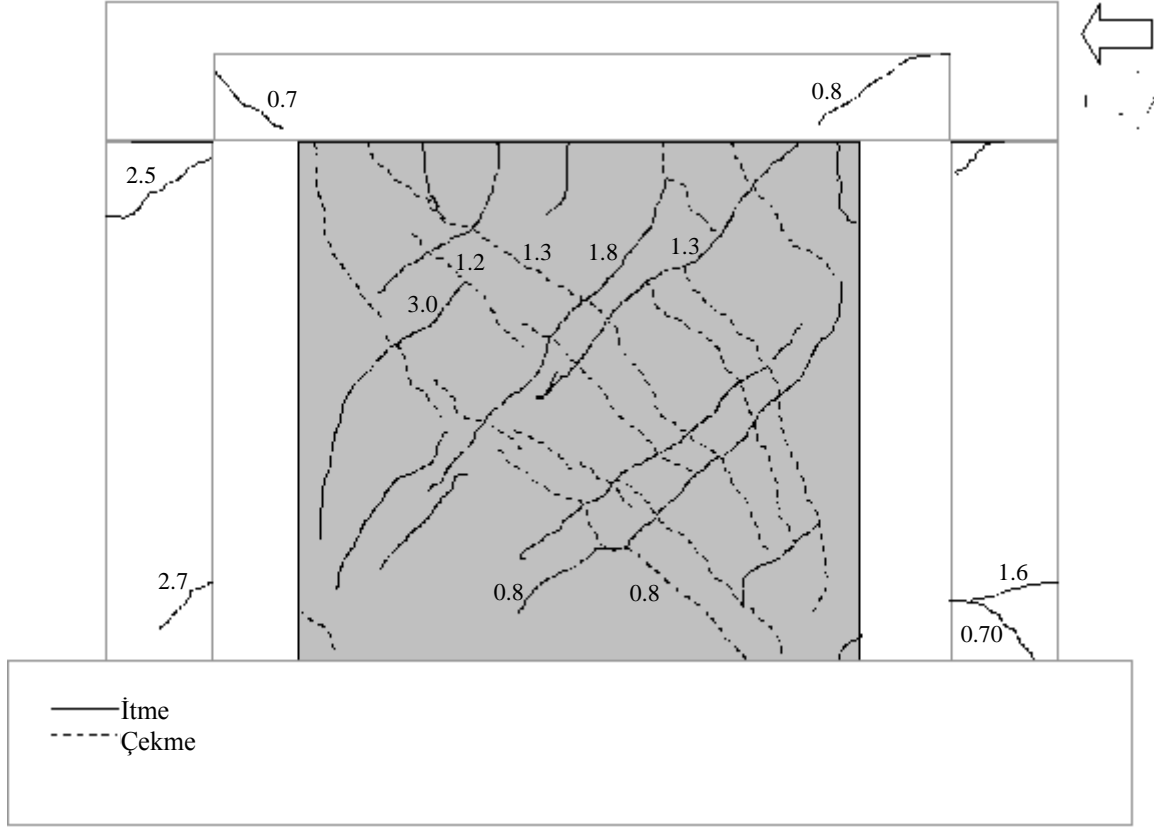
DeneySEL bölümde incelenen çerçeveler sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Bu amaçla, SeismoStruct (2006) isimli lif modellemesi yaklaşımı ile analiz yapabilen bir program kullanılmıştır. Deney numunelerinin kiriş ve kolonları doğrusal olmayan davranışın gözönüne alındığı elemanlar ile modellenmiş; etriye aralığı sabit betonarme elemanlar için lineer olmayan beton malzeme modeli, tek eksenli Monti-Nutti donatı modeli ve 4-düğüm noktalı duvar elemanları, çerçeve içerisindeki dolgu duvar davranışını temsil etmek amacıyla kullanılmıştır. Duvarlar 5 adet çapraz eleman ile temsil edilmektedir. Statik zaman tanım alanı analiz türü ile yüklemeler yapılmıştır.

Çerçevenin analitik modeli Şekil 12'de verilmiştir.

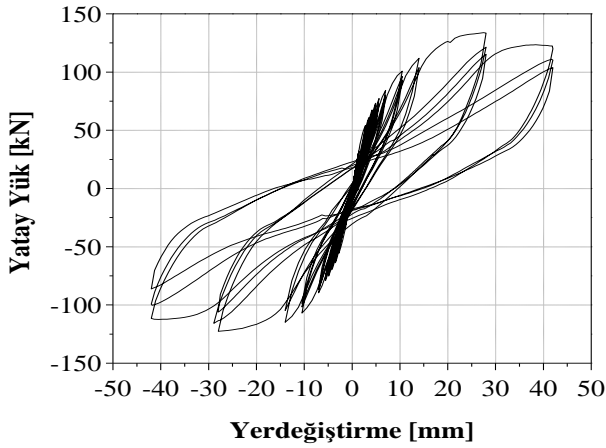


Şekil 7. Deney sonu hasar durumu





Şekil 8. Deney sonu çatlak dağılımları



Şekil 9. Yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi

Şekil 13'te yalın çerçeve için, Şekil 14'te de içerisinde püskürtme beton duvar bulunan çerçevelerin deney sonuçları ile analitik sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, kullanılan program ile her iki deney sırasında gerçekleşen en büyük dayanım değerlerine oldukça yaklaşıldığı görülmektedir. Ancak yalın çerçeve deney grafiğinde gözlenen çövrüm daralması, program tarafından yansıtılamamıştır.

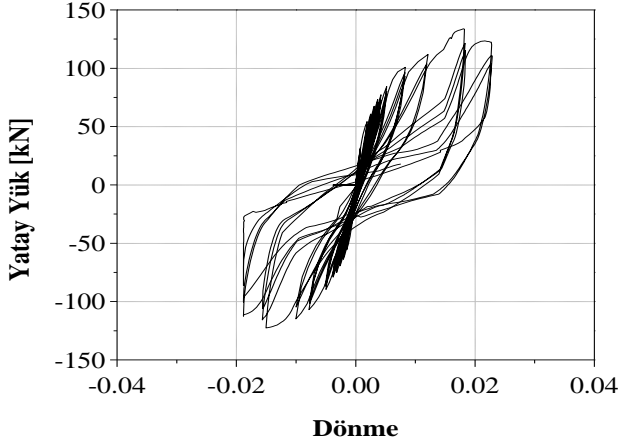
## Sonuçlar

Yalın ve püskürtme betonlu panel ile güçlendirilmiş çerçeve deneylerinin zarf eğrileri Şekil 15'de karşılaştırılmıştır. Bu güçlendirme yönteminin, çerçeve yatay dayanım ve rijitliği üzerine olumlu etkileri olduğu gözlenmektedir.

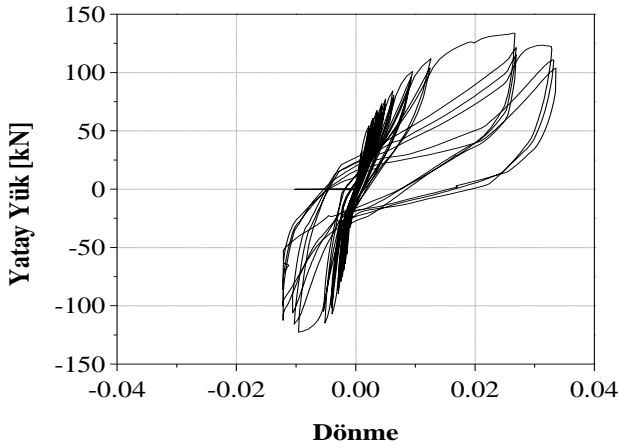
Şekil 16'da, yalın ve püskürtme betonlu panel ile güçlendirilmiş çerçeve deneyleri yığışlım çevrimsel enerjiler açısından karşılaştırılmıştır.

- Püskürtme panelli çerçevenin ilk çatlak oluşmadan hemen önceki yatay rijitliği, yalın çerçeveye oranla  $K_p/K_b = 9$  kat daha fazladır,
- Püskürtme panelli çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesi, yalın çerçeveye oranla 1.6 kat daha fazladır. Püskürtme panelli çerçevede kolonlardan birinde gözlenen kayma kırılması ile deney tamamlanmıştır (Tablo 3).
- Yapılan güçlendirme neticesinde kolon uçlarındaki dönme miktarı yalın çerçeveninki ile aynı olduğu halde, buna karşılık gelen yatay yük miktarları yaklaşık 1.5 kat artmıştır,

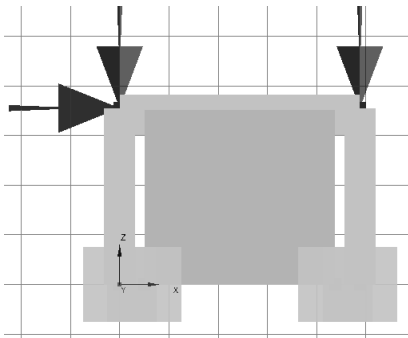
- Duvarlı çerçevenin yığışimli çevrimsel enerji miktarının, yalın çerçeveye oranı; %1 görel kat ötelemesinde 5 kat, %2 görel kat ötelemesinde 2.7 kat ve %3 görel kat ötelemesinde ise 1.7 kat olmuştur.



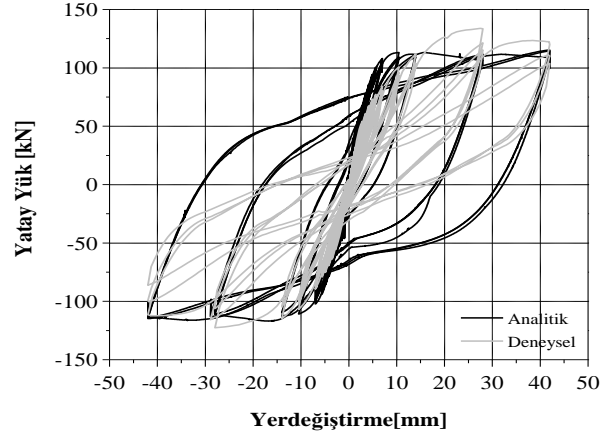
Şekil 10. Sağ kolon taban kesitinde oluşan dönme



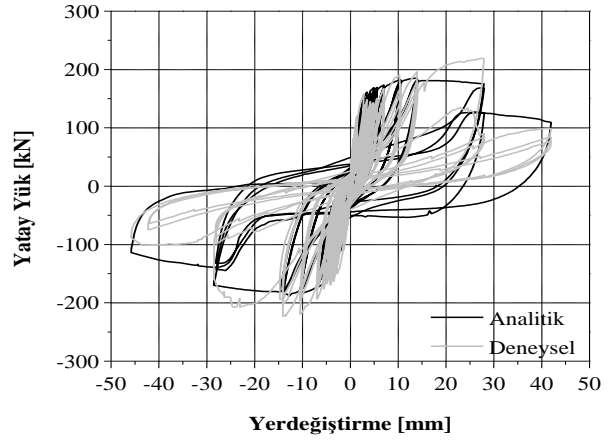
Şekil 11. Sağ kolon üst kesitinde oluşan dönme



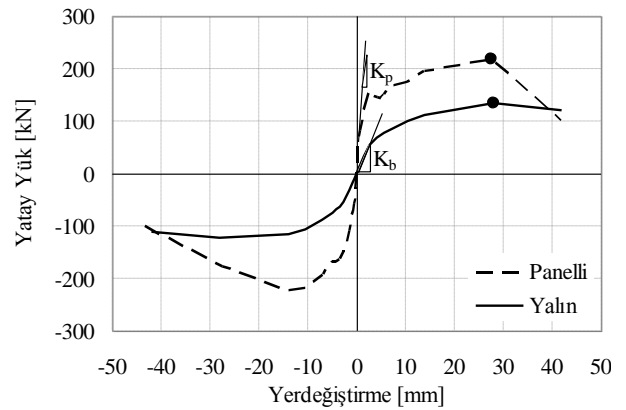
Şekil 12. Analitik model



Şekil 13. Yalın çerçeve deneysel ve analitik karşılaştırması



Şekil 14. Duvarlı çerçeve deneysel ve analitik karşılaştırması



Şekil 15. Zarf eğrilerinin karşılaştırılması

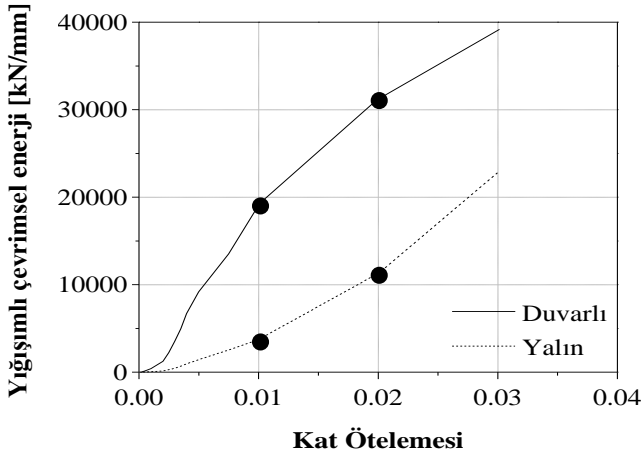
## Teşekkür

Bu çalışmanın değişik aşamalarına yaptığı katkılardan dolayı Prof.Dr.Faruk Karadoğan'a ve

deneysel çalışmanın gerçekleştirildiği İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederiz.

Tablo 3. Gözlenen göçme modu

Numune	Göçme Modu
Yalın Çerçeve	Kolon uçlarında eğilme + Kayma çatlağı
Panelli Çerçeve	Kolonlardan birinde kayma kırılması



Şekil 16. Yiğışimli çevrimsel enerji

## Kaynaklar

- Aydoğan, M. ve Öztürk, T., (2002). Betonarme yapı- lar- da güçlendirme uygulamaları, Prof.Dr. Kemal Özden'i Anma Semineri Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi Alanında Gelişmeler, 39-69, İstanbul.
- Calvi, G. ve Magenes, G., (1994). Experimental results on unreinforced masonry shear walls damaged and repaired, 10th IB2MaC, Calgary, 509-518, Canada.
- Celep, Z., (1998). Post-earthquake rehabilitation of moderately damaged masonry structures, Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering, 1, 73-90, İstanbul.
- Ehsani, M.R., Saadatmanesh, H. ve Al-Saidy, A., (1997). Shear behavior of unreinforced masonry retrofitted with FRP overlays, *Journal of Composites for Construction*, 1, 1, 17-25.
- Foti, D. ve Monaco, P., (2000). Post-tensioned masonry: state of the art, *Prog. Structural Engineering Mat.*, 2, 311-318.
- Hamid, A., El-Sayed, T. ve Salama, A., (1999). Seismic retrofit of historic multiwythe stone masonry walls, 8th NAMC, Austin, Texas, USA.

- Hamid, A., Mahmoud, A. ve Abo El Maged, S., (1994). Strengthening and repair of unreinforced masonry structures: State-of-the-art, 10th IB2MaC, 485-497, Calgary, Canada.
- Hutchison, D., Yong, P. ve McKenzie, G., (1984). Laboratory testing of a variety of strengthening solutions for brick masonry wall panels, 8th WCEE, 575-582, San Francisco, USA.
- Kahn, L., (1984). Shotcrete retrofit for unreinforced brick masonry, 8th WCEE, 583-590, USA.
- Karantoni, F. ve Fardis, M., (1992). Effectiveness of seismic strengthening techniques for masonry buildings, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 118, 7, 1884-1902.
- Laursen, P., Davidson, B. ve Ingham, J., (2002). Seismic analysis of prestressed concrete masonry shear walls, 12th ECEE, Paper reference 247, London, England.
- Lissel, S. ve Shrive, N., (2003). Construction of diaphragm walls post-tensioned with carbon fiber reinforced polymer tendons, 9th NAMC, 192-203, Clemson, South Carolina, USA.
- Mourtaja, W., Yüksel, E., İlki, A. ve Karadoğan, H.F., (1998). Strengthening and/or upgrading the RC frames by means of special shotcreted diaphragms, Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering, 1, 318-326, İstanbul.
- Mowrtage, W. ve Karadogan, F., (2009). Behavior of single-story lightweight panel building under lateral loads, *Journal of Earthquake Engineering*, 13, 100-107.
- Plecnik, J., Cousins, T. ve O.conner, E., (1986). Strengthening of unreinforced masonry buildings, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 112, 1070-1087.
- Rai, D. ve Goel, S., (1996). Seismic strengthening of unreinforced masonry piers with steel elements, *Earthquake Spectra*, 12, 845-862.
- Rosenboom, O. ve Kowalsky, M., (2003). Investigation of alternative details for seismic design of posttensioned clay masonry walls, 9th NAMC, 475-485, South Carolina, USA.
- Schultz, A., Bean, J. ve Stolarski, H., (2003). Resistance of slender post-tensioned masonry walls with unbonded tendons to transversal loading, 9th NAMC, 463-473, South Carolina, USA.
- Schuller, M., Atkinson, R. ve Borgsmiller, J., (1994). Injection grouting for repair and retrofit of unreinforced masonry. 10th IB2MaC, 549-558B, Calgary, Canada.
- SeismoSoft, (2006), SeismoStruct – A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures, (online), available from URL: <http://www.seismosoft.com>.

- Sheppard, P. ve Tercej, S., (1980). The effect of repair and strengthening methods for masonry walls, 7thWCEE, **6**, 255-262, Istanbul.
- Teymür Tuga, P., Yüksel, E., Pala, S., Taşkın, K. ve Karadoğın, F., (2006). Wet-mixed shotcrete usage in low ductile reinforced concrete frames, *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology* (a joint event of the 13th ECEE & 30th General Assembly of the ESC), 3-8 September, Paper Number: 892, Geneva, Switzerland.
- Teymür, P., Yüksel, E. ve Pala, S., (2008). Wet-mixed shotcrete walls to retrofit ductile reinforced concrete frames, 14th World Conference on Earthquake Engineering, 12-17 October, Beijing, China.
- Tumialan, G., Huang, P., Nanni, A. ve Silva, P., (2001). Strengthening of masonry walls by FRP structural repointing, *Non-Metallic Reinforcement for Concrete Structures, FRPRCS-5*, Cambridge.
- Wasti, S.T., Erberik, M.A., Kaur, C. ve Sucuoğlu, H., (1997). Dinar depreminde hasar görmüş yığma yapıların onarım ve güçlendirme çalışması, Dördüncü Ulusal Deprem Mühendisliğı Konferansı, 230-241, Ankara.
- Yüksel, E., İlki, A. ve Karadoğın, H.F., (1998). Brick masonry infill walls integrated to the peripheral RC element and strengthening, *Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering*, **1**, 309-317, İstanbul.
- Yüksel, E., İlki, A. ve Karadoğın, H.F., (1998). Strengthening of reinforced brittle masonry, 11<sup>th</sup> European Conference on Earthquake Engineering, Rotterdam.