

DOLGU TUĞLA DUVARLARIN ÇELİK PROFİLLERLE GÜÇLENDİRİLMESİ

Eray ÖZBEK^a, Hüsnü CAN^b

^aGazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Müh. Böl. Maltepe, Ankara

^bGazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Müh. Böl. Maltepe, Ankara

erayozbek@gazi.edu.tr, husnucan@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 10.07.2012; Kabul/Accepted: 17.10.2012)

ÖZET

Ülkemizdeki betonarme yapıların büyük bir kısmının taşıyıcı sistemi sadece kolon ve kirişlerden oluşmaktadır. Bu tür binaların depreme karşı güçlendirilmesi ise sıklıkla gündeme gelmekte ve yapı çeşitli yöntemler kullanılarak güçlendirilmektedir. Önerilen yöntemlerden biri de betonarme çerçeve içindeki mevcut tuğla duvarların güçlendirilmesidir. Bu konuda önemli sayılabilecek adımlar atılmış ve karbon lifli kumaş takviyesi üzerine yoğunlaşmıştır. Ancak karbon lifli kumaş yurt dışından ithal edilen ve oldukça pahalı bir malzemedir. Bu çalışmada karbon lifli kumaşlara alternatif olarak daha ucuz, yerli üretim ve kolay elde edilebilir malzeme olan çelik profiller kullanılmıştır. Konu kapsamında ½ ölçekli biri referans olmak üzere altı adet tuğla duvar tersinir tekrarlanır yükler altında denenmiş, sonuçta güçlendirilmiş elemanların dayanımı yaklaşık 3,5 kat; rijitlik ise yaklaşık 3 kat artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tuğla duvarların güçlendirilmesi, çelik profillerle güçlendirme

STRENGTHENING OF INFILL BRICK WALLS USING STEEL PROFILES

ABSTRACT

The load-bearing system of majority of the RC structures in Turkey is composed only of columns and beams. Strengthening of RC structures against seismic loading is a trending topic and various methods are utilized. One of the suggested methods is the strengthening of the brick infill walls located in the RC frame. There are important progresses on this topic and studies are revolved around the Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) materials. However, CFRP material is imported from other countries and has high costs. In this study, as an alternative to CFRP materials, cheaper, domestic product and easily applicable steel profiles are utilized. Within the scope of this study, ½ scaled six masonry walls were tested under cyclic loading, one of which was a reference specimen. It is found that the rigidity and horizontal strength capacities of strengthened specimens are improved 3 and 3,5 times respectively.

Keywords: Strengthening of brick infill walls, strengthening by steel profiles

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ülkemizin yüzölçümünün %42'sinin birinci derece deprem bölgesinde olduğu bilinmektedir. Son 20 yılda meydana gelen depremlerde birçok bina ağır hasar almış veya göçmüştür. Göçen veya ağır hasar alan betonarme binaların genellikle yetersiz yanal rijitliğe sahip olduğu görülmüştür. Bu tür yapıların taşıyıcı sistemlerinin çoğunlukla sadece kolon ve kirişlerden oluştuğu, yapı davranışına önemli derecede yanal rijitlik sağlayan betonarme perdelerden yoksun sadece çerçevesel sistem şeklinde inşa edildikleri

bilinmektedir. Oluşturulmuş olan bu betonarme çerçevelerden bazıları iç mimari nedenlerden ötürü tuğla duvarlarla kapatılmaktadır. Bu şekilde oluşturulmuş tuğla duvarlar taşıyıcı olarak kabul edilmeyip hesaplarda dikkate alınmasa da deprem kuvvetleri altında boş çerçeveye oranla rijitliği ve dayanımı arttırdığını daha önce yapılan araştırmalar ortaya koymuştur [1,2]. Yapının deprem davranışına olumlu katkısı bulunan betonarme çerçeve içindeki mevcut tuğla duvarın çeşitli yöntem ve malzemelerle güçlendirilerek ideal betonarme perdeli sistem davranışına yaklaştırılması konusunda oldukça fazla

araştırma yapılmıştır. Karbon liflerle güçlendirme [3-7], çelik lif katkılı sıva ile güçlendirme [8], çeşitli polimer malzemelerle güçlendirme [9], püskürtme beton ile güçlendirme [10], beton panellerle güçlendirme [11], çelik şeritlerle güçlendirme [12], ferrocement ile güçlendirme [13], epoksi ve harç enjeksiyonu ile güçlendirme [13] gibi yöntemler bunlardan bazıları olarak sayılabilir. Bu yöntemlerden karbon lifli kumaşlarla güçlendirmede malzemenin hafif, ince, yüksek dayanımlı ve kısmen uygulaması kolay olması sebebi ile son yıllarda çalışmalar bu yönde yoğunlaşmıştır. Ancak bu malzemenin yurt dışından ithal edilmesi, oldukça pahalı olması, gevrek davranış göstermesi, epoksi ile uygulandığından yangına karşı hassas olması gibi negatif yönleri mevcuttur. Bütün bunların dışında mevcut tuğla duvarın yıkılıp yerine çerçeveye kuvvet aktaran yeni bir betonarme perde duvar üretilmesi de başarısını kanıtlamış bir yöntemdir [14], [15]. Ancak bu yöntemin de uygulaması oldukça zahmetli, zaman alıcı ve maliyetlidir.

Bu çalışmanın temel amacı; kolay uygulanabilir, düşük maliyetli ve yapı içinde yaşayanlara fazla rahatsızlık vermeyen bir teknikte betonarme yapıları depreme karşı güçlendirebilecek alternatif bir yöntem geliştirmektir. Bu doğrultuda malzeme olarak kolay temin edilebilir, yerli malı, sünek, nispeten ucuz olan çelik profiller ve levhalar kullanılmıştır. Yanal rijitliğe sahip olan çelik profillerin kullanılmasındaki amaç, basınç doğrultusunda yük almaya başladığında burkulmanın geciktirilerek duvara etkiyen kuvvetin büyük kısmını kendi üzerine almasına çalışmaktır. Ön ve arka yüzde kullanılacak çelik profiller duvar yüzüne bulonlarla ankrajlanmış, böylece üzerlerine çekme kuvvetleri geldiğinde duvarda oluşacak çatlaklar sınırlandırılmak istenmiştir. Daha önce yapılan deneylerde tuğla duvarların göçme modlarından birisinin de köşelerin ezilmesi olarak saptanmıştır [16]. Bilindiği gibi betonarme karkas yapılarda yatay delikli tuğlalar kullanılmaktadır. Yatay delikli tuğlalar ise homojen ve izotropik olmayan malzemelerdir. Tuğlalar delikleri yönünde diğer yönlere göre daha fazla yük taşımaktadır. Dolgu duvarların sistem davranışına etkileri genellikle statik hesaplara katılmadığından dolayı imalatları esnasında herhangi bir denetimden geçmemektedir. Ancak çoğu zaman uygulamada köşelere denk gelen tuğlalar duvar imalatı sırasında sığmadığı için kırılmakta ve delikleri yukarı bakacak şekilde yerleştirilmektedir. Böylece zaten kritik olan bu bölge yatay kuvvetler altında daha da zayıflatılmaktadır. Bu nedenlerle duvar köşeleri de ayrıca üçgen çelik levhalar kullanılarak güçlendirilmeye çalışılmıştır.

Bu kapsamda ½ ölçekli biri referans elemanı olmak üzere altı adet tuğla duvar tersinir yatay yükler altında test edilmiştir. Araştırmada çelik profillerin ve bayrak levhalarının dayanım, rijitlik, enerji tüketimleri açısından etkileri ve davranışı incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL WORK)

2.1 Deney Elemanları (Test Specimens)

Deney programı için 1'i referans, 5'i güçlendirilmiş olmak üzere toplam 6 adet deney elemanı üretilmiştir. Tuğla duvarlar 1,25 m boyunda, 1,5 m eninde imal edilerek gerçek yapıdaki boyutlarının yaklaşık ½ ölçeğinde olması sağlanmıştır. İmalat esnasında piyasada uygulanan yöntemler kullanılarak duvarların olabildiğince gerçek yapıdaki durumunu yansıtmayı sağlanmıştır. Yatay delikli tuğlalar 8,5' luk diye bilinen (85x190x190 mm) ebatlarında kullanılmıştır. Her bir duvar yüzü çimento kireç karışımı harçla yaklaşık 15 mm kalınlığında sıvanmıştır.

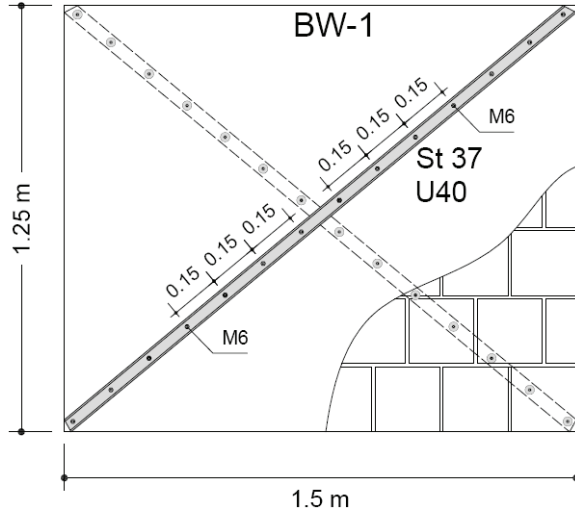
Deney elemanlarının özellikleri özetlenerek Çizelge-1'de topluca sunulmuştur. Güçlendirme detayında temel eleman olarak TS 912 standartlarına uygun NPU40 türünde çelik profiller kullanılmıştır. Kullanılan bayrak levhaları dik üçgen şeklinde olup, taban boyutu yüksekliğine eşittir. Bayrak levhaları 2 mm kalınlığında çelik sac levhadan kesilerek üretilmiştir.

Çizelge 1. Deney elemanlarının özellikleri (Properties of test specimens)

Deney Elemanı Numarası	Deney Elemanı Adı	Çapraz Çelik Profil	Bayrak Levhası Kullanımı	Üçgen Bayrak Levhası Boyutları (mm)
1	BW-R	yok	yok	--
2	BW-1	var	yok	--
3	BW-2	var	tek yüzde	200x200
4	BW-3	var	her iki yüzde	200x200
5	BW-4	var	tek yüzde	400x400
6	BW-5	var	her iki yüzde	400x400

BW-R referans elemanı güçlendirilmemiş sıvalı duvardır. BW-1 elemanı duvarın köşegen uzunluğu olan 1,95 m boyunda iki adet St37 çeliğinden üretilen U40 profille güçlendirilmiştir. Profiller duvara çapraz olarak 6 mm çapında bulonlar ve 150 mm aralıkla karşılıklı olarak sabitlenmiştir. Duvar delinirken her ne kadar özen gösterilse de matkap ucu karşı taraftan çıkarken sıvadan koni biçiminde küçük bir parça kırıp koparmaktadır. Bundan dolayı duvar yüzüne denk gelen somunların altına 35 mm çapında pullar yerleştirilmiştir. Böylece somunlara 3 Nm değerindeki tork kuvveti sağlıklı bir şekilde verilebilmiş ve olası lokal ezilmelerin de önüne geçilmiştir.

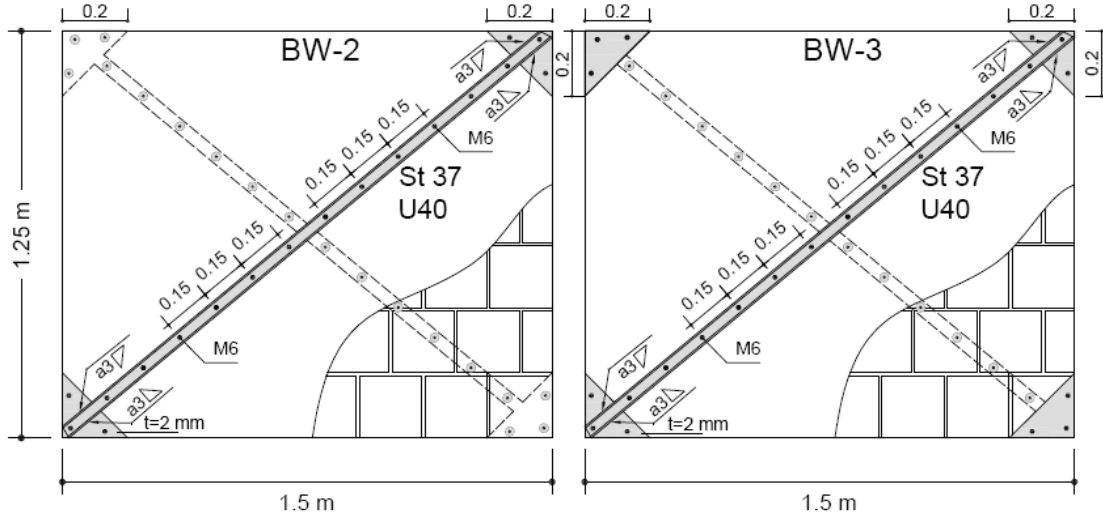
Aktarılabilecek tork değeri için tuğla duvarlar üzerinde daha önce testler yapılmış ve 3 Nm' nin sıvayı çatlamadan güvenle uygulanabilecek değer olacağına kanaat getirilmiştir. BW-1 elemanı ile ilgili detaylar Şekil-1'de gösterilmektedir.



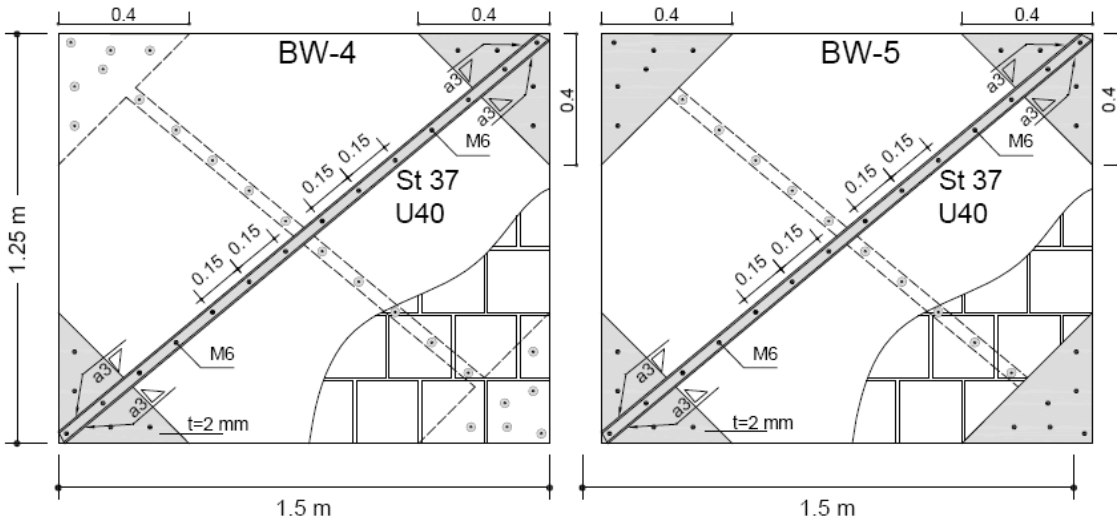
Şekil 1. BW-1 elemanın boyut ve detayları
(Dimension and detail of specimen BW-1)

BW-2 elemanı, BW-1 elemanına benzer olarak üretilmiştir. Ancak BW-2 elemanında duvar köşelerini ezilmeye karşı güçlendirmek amacıyla çelik profillerin uçlarına üçgen şeklinde levhalar kaynakla tutturulmuştur. Üçgen levhaların birbirine dik iki kenarı yaklaşık bir tuğla boyunda olacak şekilde 200 mm olarak ayarlanmıştır. Kullanılan levhanın kalınlığı 2 mm olup 3 mm kaynak kalınlığı ile çelik U profiline teması boyunca kaynaklanmıştır. BW-2 elemanı ile ilgili detaylar Şekil-2'de gösterilmektedir.

BW-3 elemanı da BW-2 elemanına benzer olarak üretilmiştir. Ancak BW-3 elemanında farklı olarak çelik profillerin uçlarındaki üçgen levhalardan tuğla duvarda diğer yüzde kullanılmış ve aralarındaki bağlantı karşılıklı üç bulonla sağlanmıştır. Böylece yatay yük etkisinde köşelerde oluşacak gerilme yığılımlarının daha düzenli bir şekilde duvara aktarılacağı, profil uçlarının duvar düzleminde



Şekil 2. BW-2 ve BW-3 elemanlarının boyut ve detayları
(Dimension and detail of specimens BW-2 and BW-3)



Şekil 3. BW-4 ve BW-5 elemanlarının boyut ve detayları
(Dimension and detail of specimens BW-4 and BW-5)

ayrılarak etkinliğini yitirmesinin geciktirilebileceği düşünülmüştür. BW-3 elemanı ile ilgili detaylar Şekil-2'de gösterilmektedir.

BW-4 elemanı, BW-2 elemanına benzer olarak üretilmiştir. Farklı olarak BW-4 elemanında kullanılan üçgen levhaların birbirine dik iki kenarı yaklaşık iki tuğla boyunda olacak şekilde 400 mm olarak ayarlanmıştır. Böylece güçlendirilen köşenin kapsadığı alan genişletilmiştir. BW-4 elemanı ile ilgili detaylar Şekil-3'de gösterilmektedir.

BW-5 elemanı, BW-3 elemanına benzer olarak üretilmiştir. BW-5 elemanında ise üçgen levhaların birbirine dik iki kenarı yaklaşık iki tuğla boyunda olacak şekilde 400 mm olarak ayarlanmıştır. Güçlendirmeden başka köşe bölgelerde kullanılan üçgen levhalar ve bulonların sargılama etkisiyle o bölgedeki tuğlaların bütünlüğünü korumaya yardımcı olması beklenmiştir. BW-5 elemanı ile ilgili detaylar Şekil-3'de gösterilmektedir.

2.2 Malzeme Özellikleri ve Dayanımları (Material Properties and Strengths)

Duvarların imalatında Türk Standardına (TS EN 771-1) uygun 85x190x190 mm boyutlarında yatay delikli tuğlalar kullanılmıştır. Hacim ağırlığı 650 kg/m³ tür. Tuğlaların delikleri doğrultusundaki ortalama basınç dayanımı 12,5 MPa, deliklere dik yöndeki ise 3,5 MPa olarak ölçülmüştür. Duvar imalatı sırasında tuğlaların arasındaki derzler ve yüzey sıvası harcı aynı karışımdan oluşturulmuştur. Bu karışımda ağırlıkça 1 birim çimento, 2 birim kireç, 10 birim kum oranlarında malzemeler bulunmaktadır. Harcın 28 günlük ortalama basınç dayanımı 2 MPa, çekme dayanımı ise 0,23 MPa olarak ölçülmüştür. Profiller St37 kalitesindeki çelikten üretilmiştir. Levhaların akma ve kopma dayanımları yaklaşık birbirine eşit ve 280 MPa olarak belirlenmiştir. Kaynak işlerinde ark kaynağı ve 3,25 mm çapında elektrotlar kullanılmıştır.

2.3. Deneysel Düzeni (Test Setup)

Deneysel rijit reaksiyon duvarı bulunan platform üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneysel elemanları yatay yük altında gerçek yapıdaki zorlanmaları benzeştiren dört köşesi mafsallı dikdörtgen çelik çerçevenin içine yerleştirilmiştir. Tersinir ve tekrarlanır yatay yük 350 mm genişliği bulunan hidrolik krikolo ile verilmiş, uç kısmına bağlanan yük hücresi ile de sisteme aktarılan kuvvet ölçülmüştür. Sistemdeki yer değiştirme ölçümleri elektronik deplasman ölçerler (LVDT) aracılığı ile alınmıştır. Kullanılan deneysel düzeni ve LVDT yerleşim planı Şekil-4'de gösterilmiştir.

Deneysel belirli bir yükleme programına göre gerçekleştirilmiştir. Buna göre deneysel elemanları 40 kN yatay yük değerine kadar 5kN'luk artan adımlarla çevrimsel yüklenmiş daha sonra 10 kN adımlarla deneysel sonuna kadar çevrimsel yüklemeye devam edilmiştir.

3. DENEYSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

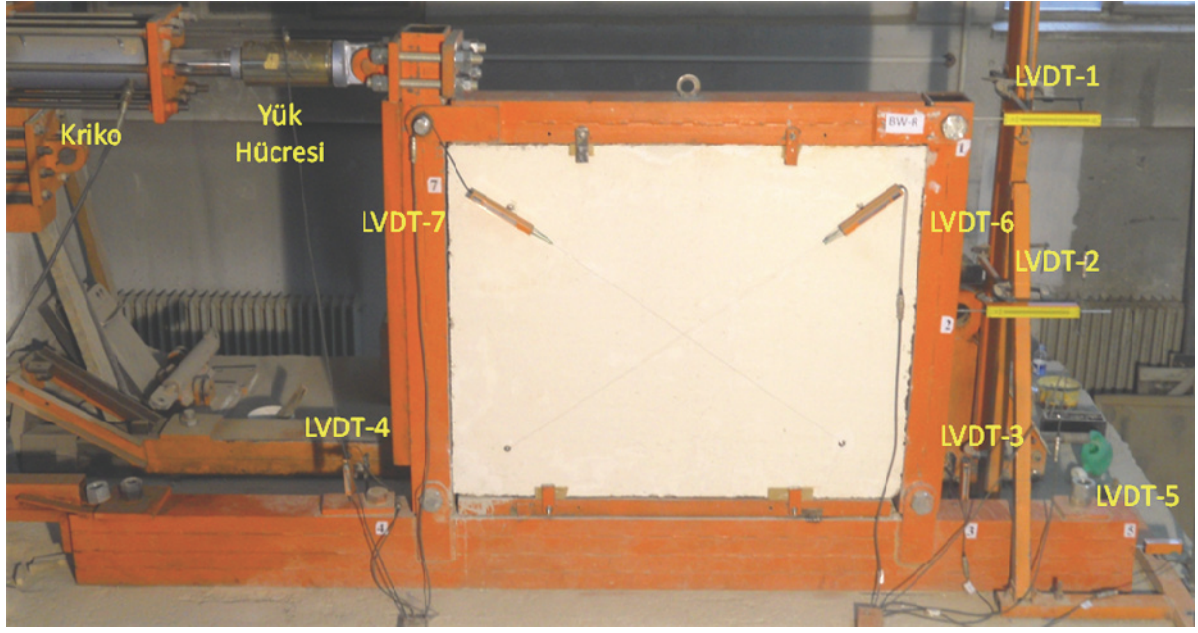
3.1. Deneysel Elemanlarının Davranışları (Behaviour of Test Specimens)

Ülkemizde yaygın duvar imalatı hatalarını içeren deneysel elemanları tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiştir. Referans elemanı olan BW-R'nin ilk çevrimlerde köşe bölgeleri ezilmeye başlamış, ardından diyagonal çatlaklar oluşarak 40 kN yatay yük değerinde taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Başlangıç tuğlası olarak kullanılan ve düşük yük kapasiteli yönde yerleştirilen köşe bölgedeki yarım tuğla diğerlerinden önce kırılmış ve rijitlikte ani düşmeye sebep oluşturur. Elemanın yatay yük-deformasyon eğrisi ve göçme modu Şekil-5'de gösterilmiştir.

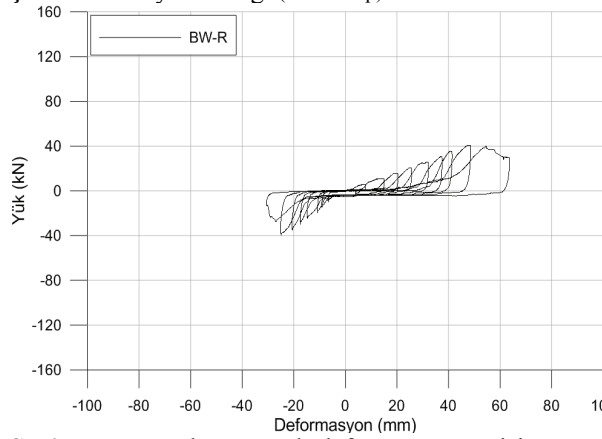
Sadece diyagonal yerleştirilmiş profiller ile güçlendirilen BW-1 elemanı yalın elemana göre oldukça rijit davranış sergilemiş, 90 kN yük ve 50 mm deplasman değerine ulaştıktan sonra ilerleyen çevrimlerde rijitlikte düşmeler meydana gelmiştir. Çatlaklar çok sayıda diyagonal şekilde gelişmiş ancak açıklıkları sınırlı kalmıştır. Yalın elemana göre taşıma kapasitesi yaklaşık 2 kat artmıştır. BW-1'in yatay yük-deformasyon eğrisi ve göçme türü Şekil-6'da gösterilmiştir.

Diyagonal yerleştirilmiş profiller ve onlara eklenmiş 200 mm kenar uzunluğuna sahip üçgen levhalar ile güçlendirilen BW-2 elemanı yine referans elemana göre oldukça rijit davranmıştır. 60 kN yük değerinde köşe bölgedeki başlangıç yarım tuğlanın kırılarak dağılmasıyla iki adet ankraj boşa çıkmış ve ilerleyen çevrimlerde elemanda kademeli olarak yük ve rijitlikte düşme yaşanmıştır. 80 kN yükte çekme yönünde eleman kapasitesine ulaştığı için deneysel son bulmuştur. Çatlaklar çok sayıda diyagonal şekilde gelişmiş ancak açıklıkları sınırlı kalmıştır. Referans elemana göre taşıma kapasitesi yaklaşık 2 kat artmıştır. BW-2'in yatay yük-deformasyon eğrisi ve göçme türü Şekil-7'de gösterilmiştir.

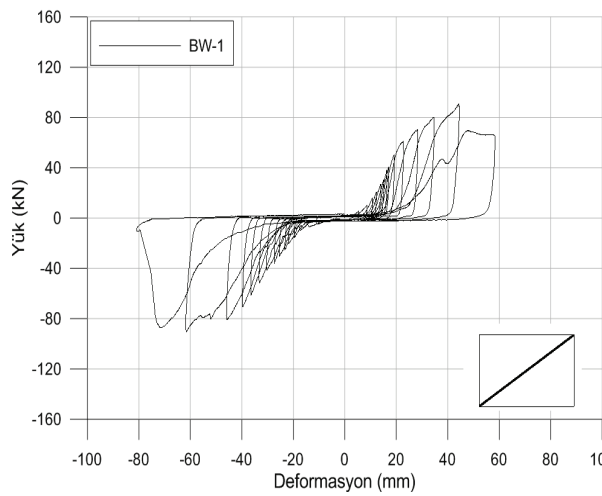
Diyagonal yerleştirilmiş profillerle birlikte her iki yüze de eklenmiş 200 mm kenar uzunluğuna sahip üçgen levhalar ile güçlendirilen BW-3 elemanında 120 kN yük ve yaklaşık 50 mm yatay deformasyon değerine kadar rijitlikte önemli bir değişim gözlenmemiştir. Ancak bu aşamadan sonraki çevrimde ani yük kaybı meydana gelerek deneysel elemanı taşıma gücüne ulaşmıştır. Çatlaklar çok sayıda diyagonal şekilde gelişmiş ancak açıklıkları sınırlı kalmıştır. Köşelerde kullanılan levhalar etkinliğini göstermiş bu bölgedeki tuğlalar bütünlüğünü eleman kapasitesine ulaşıncaya kadar sürdürmüş hasarlar sınırlı kalmıştır. Referans elemana göre taşıma kapasitesi 3 kat artmıştır. BW-3'ün yatay yük-deformasyon eğrisi ve göçme türü Şekil-8'de gösterilmiştir.



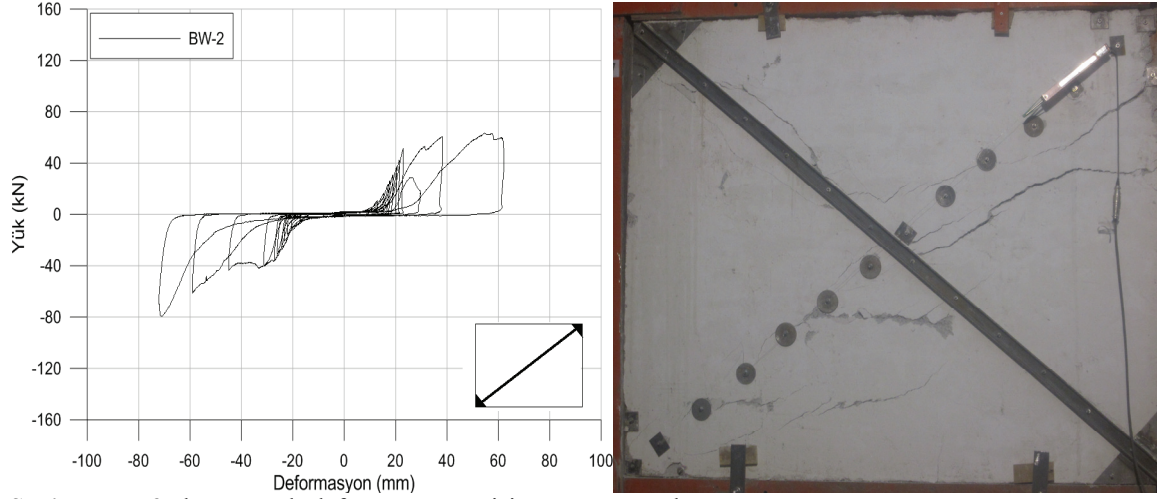
Şekil 4. Deneysel düzeneği (Test Setup)



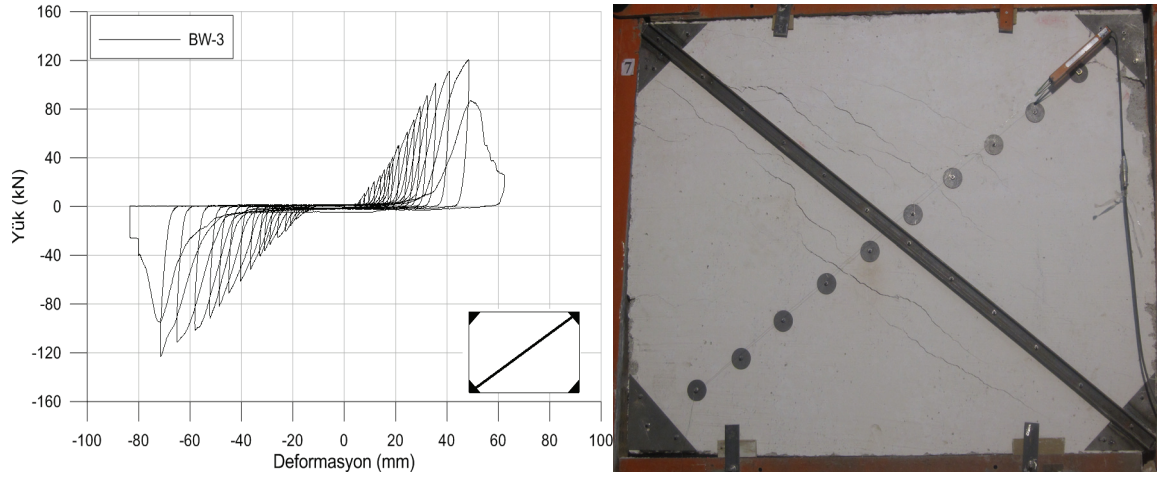
Şekil 5. BW-R elemanı yük-deformasyon eğrisi ve göçme modu (Load deformation curve of specimen BW-R & failure type)



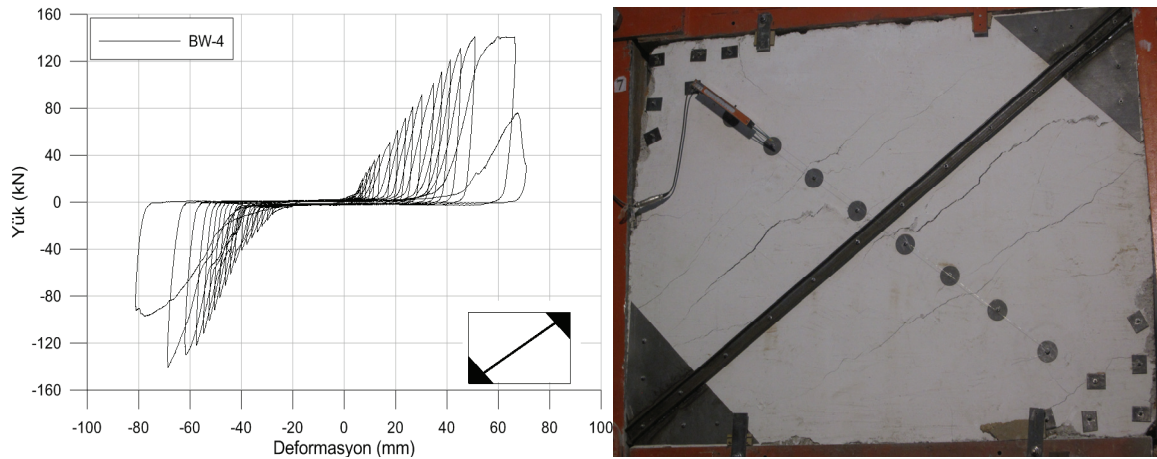
Şekil 6. BW-1 elemanı yük-deformasyon eğrisi ve göçme modu (Load deformation curve of specimen BW-1 & failure type)



Şekil 7. BW-2 elemanı yük-deformasyon eğrisi ve göçme modu (Load deformation curve of specimen BW-2 & failure type)



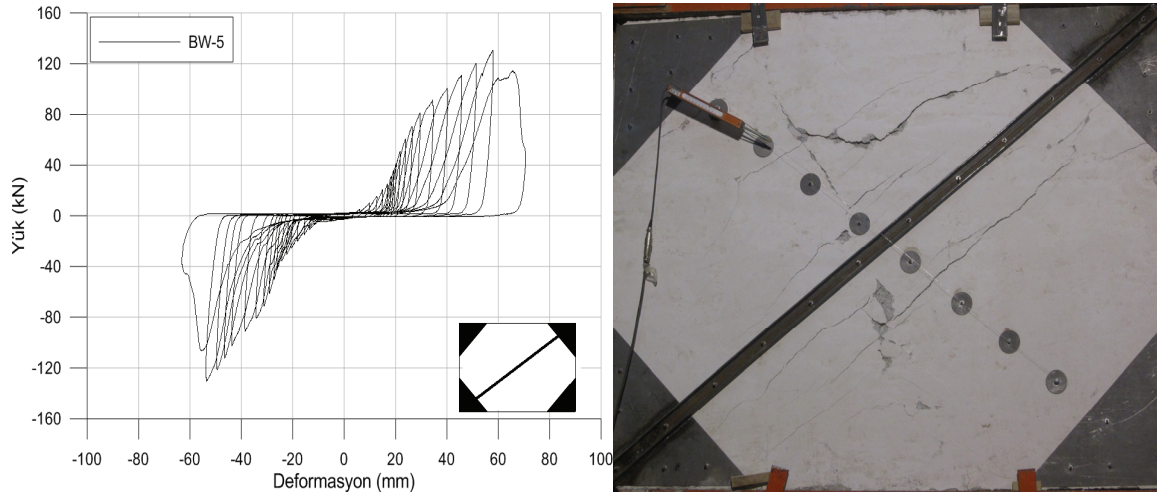
Şekil 8. BW-3 elemanı yük-deformasyon eğrisi ve göçme modu (Load deformation curve of specimen BW-3 & failure type)



Şekil 9. BW-4 elemanı yük-deformasyon eğrisi ve göçme modu (Load deformation curve of specimen BW-4 & failure type)

Diyagonal yerleştirilmiş profiller ve onlara eklenmiş 400 mm kenar uzunluğuna sahip üçgen levhalar ile güçlendirilen BW-4 elemanında 140 kN yük ve yaklaşık 50 mm yatay deformasyon değerine kadar rijitlikte önemli bir değişim gözlenmemiştir. Ancak bu aşamadan sonraki çevrimde ani yük kaybı meydana gelerek deney elemanı taşıma gücüne ulaşmıştır. Çatlaklar çok sayıda diyagonal şekilde

gelişmiş ancak açıklıkları sınırlı kalmıştır. Köşelerde kullanılan levhalar etkinliğini göstermiş bu bölgedeki tuğlalar bütünlüğünü eleman kapasitesine ulaşmaya kadar sürdürmüştür, hasarlar sınırlı düzeyde oluşmuştur. Referans elemana göre taşıma kapasitesi 3,5 kat artmıştır. BW-4'ün yatay yük-deformasyon eğrisi ve göçme türü Şekil-9'da gösterilmiştir.



Şekil 10. BW-5 elemanı yük-deformasyon eğrisi ve göçme modu (Load deformation curve of specimen BW-5 & failure type)

Diyagonal yerleştirilmiş profillerle birlikte her iki yüze de eklenmiş 400 mm kenar uzunluğuna sahip üçgen levhalar ile güçlendirilen BW-5 referans elemana göre oldukça rijit davranmış 130 kN yük ve yaklaşık 55 mm yatay deformasyon değerinde taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Çatlaklar çok sayıda diyagonal şekilde gelişmiş ancak açıklıkları sınırlı kalmıştır. Köşelerde kullanılan karşılıklı levhalar etkinliğini göstererek bu bölgedeki gerilme yığılımlarını azaltmış, tuğlalar bütünlüğünü eleman kapasitesine ulaşınca kadar sürdürmüş ve hasarlar sınırlı kalmıştır. Referans elemana göre taşıma kapasitesi yaklaşık 3,3 kat artmıştır. BW-5' ün yatay yük-deformasyon eğrisi ve göçme türü Şekil-10' da gösterilmiştir.

3.2. Deneysel Sonuçlarının Değerlendirilmesi (Discussion of Test Results)

Deneysel sonuçları Çizelge-2' de özetlenerek topluca sunulmuştur. Güçlendirilmiş elemanların maksimum taşıma güç değerleri referans elemanı ile karşılaştırıldığında BW-1 elemanında dayanımın 2,3 kat, BW-2 elemanında ortalama 1,8 kat, BW-3 elemanında 3 kat arttırıldığı gözlenmiştir. Bu elemanlardan BW-2'nin kapasitesi öngörülen bir miktar az çıkmıştır. Bunun sebebi köşede başlangıç

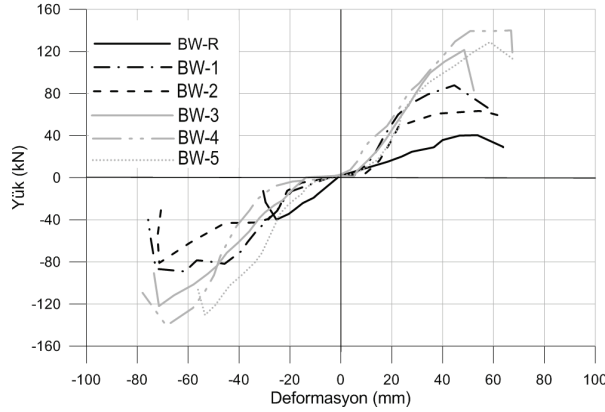
tuğlası olarak kullanılan yarım tuğlada 3 adet ankraj deliği açılmasıyla birlikte zaten zayıf olan bölgeye daha çok hasar verilmiş, tek taraflı kullanılan üçgen levha ise bu durumu tolere etmeyi başaramamıştır. Ancak üçgen levhanın karşılıklı kullanıldığı BW-3 elemanında köşe tuğlasında oluşacak gerilme yığılımlarının büyük bölümünü levhalar üstlenebilmiş ve davranış oldukça iyileştirilmiştir. Sadece diyagonal profiller ile güçlendirilen BW-1 elemanında köşedeki tuğlalarda sadece 1 adet ankraj deliği bulunduğu unutulmamalıdır. BW-4 elemanında köşelerde bulunan üçgen levhalar tek yüzde olmasına rağmen levhanın kapsadığı alan arttırıldığı için köşe bölgeler oldukça iyi korunarak dayanım 3,5 katına çıkmıştır. Benzer davranış BW-5 elemanında gözlenmiş ancak dayanımdaki artış 3,3 kat ile sınırlı kalmıştır. Bunun nedeninin ise tuğla duvarların dayanımını etkileyen birçok parametre olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil-11' de ki zarf eğrileri tersinir tekrarlanır yüklemeye elde edilen yük deformasyon grafiklerinde tepe noktalarının birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Rijitlik değerleri bulunurken bu grafikteki referans elemanın kapasitesi olan 40 kN değerine kadar olan son deformasyonlar ve elemanların etkin biçimde yük almaya başladığı 5kN değerindeki

Çizelge 2. Deneysel sonuçlarının özeti (Summary of test results)

Deneysel Elemanı Adı	Maksimum Yük (kN)		Maksimum Yükte Ötelenme Oranı (δ_{\max}/h)	Rijitlik (kN/mm)		Ortalama Göreceli Rijitlik	Göreceli Tüketilen Enerji Oranı
	İtme	Çekme		İtme	Çekme		
BW-R	40	40	0,040	0,78	1,40	1	1,00
BW-1	90	90	0,040	2,70	2,20	2,70	3,25
BW-2	65	80	0,044	2,30	2,30	2,52	2,00
BW-3	120	122	0,040	2,70	2,40	2,80	4,00
BW-4	140	141	0,055	3,00	2,60	3,07	5,44
BW-5	132	131	0,046	2,70	2,40	2,80	4,70

deformasyonlar dikkate alınmıştır. Çelik yükleme çerçevesi ile duvar arasında bir miktar boşluk bulunduğu da unutulmamalıdır. Elemanların itmede ve çekmede rijitlik değerleri Çizelge-2’ de gösterilmiştir. Rijitlikte katkı sağlayan ana unsur çelik diyagonal profiller olduğu için güçlendirilmiş elemanlarda yalın elemana göre rijitliğin ortalama 2,7 kat artmış olduğu görülmüştür.



Şekil 11. Deney elemanlarının zarf eğrileri (Response envelopes of specimens)

Bütün deprem yönetmeliklerinde olduğu gibi Türkiye’ de ki Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik’ te görel kat ötelenmelerini (δ_{mak}/h) sınırlar. Bu yönetmeliğe göre güvenlik sınırı 0,03, göçme sınırı ise 0,04 değerindedir [17]. Bir başka deyişle gerçek yapıda tuğla duvarın dışında bulunan betonarme çerçevenin eğer yeterince sünekse bu değerler arasında ileri hasar düzeyinde olacağını, 0,04 oranından sonra ise göçme bölgesine gireceğini belirtmektedir. Güçlendirilmiş elemanların maksimum yükteki ötelenme oranlarına Çizelge-2’ den bakıldığında 0,04 civarında olduğu görülmektedir. Bu açıdan bakıldığında güçlendirilmiş elemanların bu sınır değerinde yaklaşık tam kapasite ile çalışacağı anlaşılmaktadır.

3.3. Deney Sonuçları ile Analitik Sonuçların Karşılaştırılması (Comparison of experimental and analytical results)

Referans duvarın yük taşıma kapasitesi hesabı FEMA 306’ya göre davranışı diyagonal çatlakların oluşumuyla göçme moduna ulaşan duvarlar için önerilmiş denklem (1) ile hesaplanmıştır[18].

$$V_{dt} = f_{dt} A_n (\beta) (1 + f_{ae}/f_{dt})^{1/2} \quad (1)$$

Burada f_{dt} diyagonal çekme dayanımını, A_n harç-sıva dahil net alanı, f_{ae} aksel yük, β ise en boy oranına göre değişen katsayıdır. En boy oranının 1 den büyük olduğu durumlarda 1’ e eşit alınmaktadır.

Hesap denklem (1) kullanılarak yapıldığında sonuç 39,7 kN çıkmakta ve yapılan deney sonucu kapasitesi

40 kN çıkan BW-R referans elemanının deney sonucuyla oldukça iyi uyumaktadır.

Güçlendirilmiş elemanlarda çelik profillerin aksel basınç yönünde burkulmadan taşıyabilecekleri yükler Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları (TS648) standardına göre hesaplanmıştır[19]. Buna göre 150 mm de bir ankajlanmış St37 kalitesinde U40 profilin burkulmadan taşıyabileceği maksimum aksel yük akma dayanımı kullanılarak 78 kN olarak hesaplanmıştır. Yatay yükleme doğrultusu duvar köşegeniyle yaklaşık 40 derece açı yapmaktadır. Köşegen doğrultusunda 78 kN yük miktarına ulaşabilmek içinse kuvvetlerin bileşenlerinden yararlanılarak yatay doğrultuda 100 kN uygulamak gerekmektedir. Hesaplama için çelik sistemin ve duvarın yatay doğrultuda yük kapasiteleri süperpoze edilmiş ve 140 kN bulunmuştur. Sistemin öngörülen bu değere ulaşabilmesi için elbette ankajların tam kapasiteyle çalışması, herhangi bir şekilde sıyrılmaya veya kopmanın olmaması gerekir. Deneylerde bu şekilde davrandığı gözlemlenen BW-4 ve BW-5 elemanlarının maksimum yüklerine Çizelge-2’ den bakıldığında analitik hesapla bulunan değerle oldukça iyi örtüştüğü anlaşılmaktadır. BW-3 elemanı ise hesaplanan değere %85 oranında yakınsamaktadır.

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER (ASSESSMENT OF CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

Çalışmada ½ ölçekli birisi referans beş adet güçlendirilmiş olmak üzere altı adet tuğla duvar tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir. Varılan sonuçların deneysel çalışmanın kapsamı ile sınırlı olduğu ve sınırlı sayıda elemandan elde edildiği unutulmamalıdır.

- 1) Çelik profil ve üçgen levhalar kullanılarak yapılan güçlendirme sırasıyla duvar yatay yük kapasitesini ve rijitliğini iyileştirmiştir. Kullanılan üçgen levhanın bir kenarı iki tuğla boyunda olan elemanlarda dayanım 3,5 kat; rijitlik ise 3 kat artmıştır.
- 2) Kullanılan üçgen levhalar köşe bölgelerin ezilmesini geciktirmiştir. Ancak bu levhaların iki yüzde karşılıklı kullanılması önerilmektedir.
- 3) Kullanılan teknikler yapıdaki görel kat ötelenmesi göçme sınırları dâhilinde etkinliğini sürdürmüştür. Bir başka deyişle yapı göçme sınırına gelmeden güçlendirilmiş duvarında göçmeyeceği düşünülmektedir.
- 4) Analitik hesaplamalarla deneysel sonuçlar oldukça iyi örtüşmektedir.

- 5) Bu güçlendirme tekniğinde yerli üretim, kolay edinilebilir malzemeler kullanılmıştır. Kullanılan miktarlarda göz önünde bulundurulduğunda maliyeti oldukça azdır.
- 6) Üzerinde çalışma yapılan güçlendirme yönteminin gerçek yapıda uygulaması oldukça kolaydır ve bunun için binadaki insanları boşaltmak gerekmecektir.
- 7) Benzer tekniklerin birde betonarme çerçeve içinde bulunan duvarlarda uygulanması ve test edilmesi önerilmektedir.

5. SEMBOLLER (SYMBOLS)

δ_{mak}	Duvar maksimum uç yer değiştirmesi
h	Duvar yüksekliği
V_{dt}	Duvar yatay yük kapasitesi
f_{dt}	Duvar için diyagonal çekme dayanımı
A_n	Harç-sıva dahil net en kesit alanı
β	En boy oranına göre değişen katsayı
f_{ae}	Eksenel yük

6. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Sevil, T., Baran, M. ve Canbay E., “Tuğla Dolgu Duvarların B/A Çerçevesi Yapılarının Davranışına Etkilerinin İncelenmesi; Deneysel ve Kuramsal Çalışmalar”, **International Journal of Engineering Research and Development**, Cilt 2, No 2, 35-42, 2010.
2. Marjani, F., Ersoy, U., “Behavior of Brick Infilled Reinforced Concrete Frames Under Reversed Cyclic Loading”, **ECAS2002 International Symposium on Structural and Earthquake Engineering**, ODTU, Ankara, 143-150, Ekim 2002.
3. Binici, B., Özcebe, G. ve Özçelik, R., “Analysis and design of FRP composites for seismic retrofit of infill walls in reinforced concrete frames”, **Composites: Part B**, Cilt 38, 575-583, 2007.
4. Altın, S., Anil, Ö., Kara, M.E., Kaya, M., “An experimental study on strengthening of masonry infilled RC frames using diagonal CFRP strips”, **Composites: Part B**, Cilt 39, 680-693, 2008.
5. Erdem, İ., Akyüz, U., Ersoy, U., Özcebe, G., “An experimental study on two different strengthening techniques for RC frames”, **Engineering Structures**, Cilt 28, 1843-1851, 2006.
6. El-Dakhkhni, W.W., Hamid, A.A., Hakam, Z.H.R., b, Elgaaly, M., “Hazard mitigation and strengthening of unreinforced masonry walls using composites”, **Composite Structures**, Cilt 73, 458-477, 2006.
7. Triantafillou, T.C., “Strengthening of masonry structures using epoxy bonded FRP laminates”, **ASCE J Compos Constr**, Cilt 2, No 2, 96-104, 1998.
8. Sevil, T., Baran M., Bilir, T., Canbay, E., “Use of steel fiber reinforced mortar for seismic strengthening”, **Construction and Building Materials**, Cilt 25, 892-899, 2011.
9. Papanicolaou, C., Triantafillou, T., Lekka, M., “Externally bonded grids as strengthening and seismic retrofitting materials of masonry panels”, **Construction and Building Materials**, Cilt 25, 504-514, 2011.
10. ElGawady, M.A., Lestuzzi, P., Badoux, M., “Retrofitting of Masonry Walls Using Shotcrete”, **2006 NZSEE Conference**, Yeni Zelanda, No 45, Mart 2006.
11. Baran, M., Tankut T., “Experimental Study on Seismic Strengthening of Reinforced Concrete Frames by Precast Concrete Panels”, **ACI Structural Journal**, Cilt 108, No 2, 227-237, 2011.
12. Farooq, S.H., Ilyasb, M., Ghaffarb, A., “Technique for strengthening of masonry wall panels using steel strips”, **Asian journal of civil engineering (building and housing)**, Cilt 7, No 6, 621-638, 2006.
13. ElGawady, M., Lestuzzi, P., Badoux, M., “A review of conventional seismic retrofitting techniques for URM”, **13th International Brick and Block Masonry Conference**, Amsterdam, 1-9, Haziran, 2004.
14. Anil, Ö., Altın S., “An experimental study on reinforced concrete partially infilled frames”, **Engineering Structures**, Cilt 29, 449-460, 2007
15. Anil, Ö., Altın S., “An experimental study on reinforced concrete partially infilled frames”, **Cement & Concrete Composites**, Cilt 30, 612-621, 2008.
16. Asteris, P.G., Kakaletsis, D.J., Chrysostomou, C.Z., Smyrou E.E., “Failure Modes of In-filled Frames”, **Electronic Journal of Structural Engineering**, Cilt 11, No 1, 11-20, 2011.
17. TMMOB, “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik”, Ankara, Temmuz, 2007.
18. FEMA 306, “Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings”, **Federal Emergency Management Agency**, 1998.
19. TS648, “Çelik yapıların tasarım ve yapım kuralları”, **Türk Standardları Enstitüsü**, Ankara, Aralık, 1980.

