



Strengthening of reinforced concrete frames with insufficient earthquake resistance using drywalls sheathed with steel sheet

Fatih Süleyman Balık*

Eregli Kemal Akman Vocational School, Necmettin Erbakan University, 42320, Konya, Turkey

Highlights:

- The earthquake behavior of four different specimens was investigated
- Drywall systems contributed positively to the earthquake behavior of the reinforced concrete frame
- A more efficient strengthening method can be developed by changing the details of drywall systems

Keywords:

- Reinforced concrete
- Strengthening
- Infill walls

Article Info:

Research Article
Received: 08.04.2019
Accepted: 10.06.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.550978

Acknowledgement:

This work was supported by Necmettin Erbakan University Scientific Research Projects Office with the project number 171225001

Correspondence:

Author: Fatih Süleyman Balık
e-mail: fsbalik@erbakan.edu.tr
phone: +90 332 712 7424

Graphical/Tabular Abstract

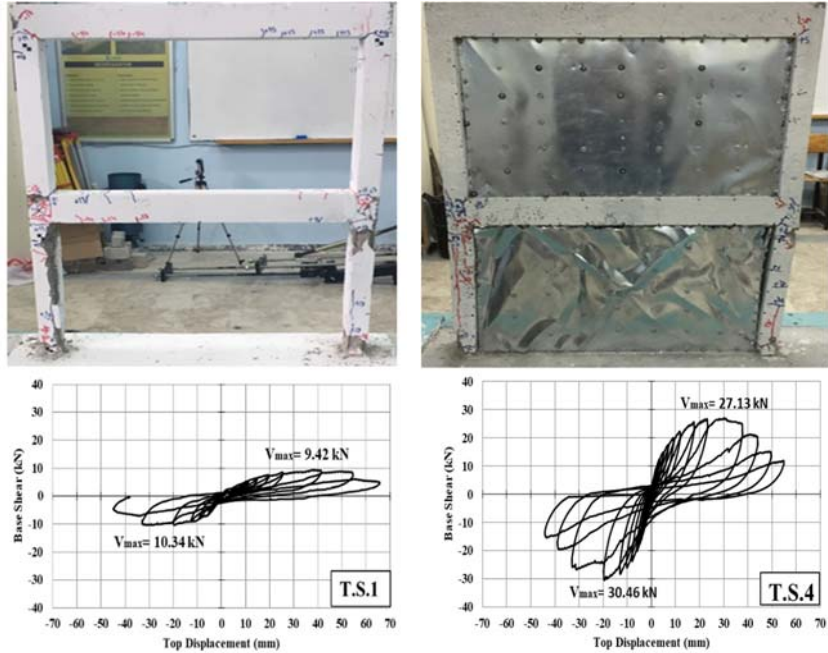


Figure A. Failure mode of T.S.1 and T.S.4

Purpose: The aim of this study is to develop an effective strengthening method for fast, economical, lightweight, functional, heat and sound insulation. For this purpose, a total of 4 reinforced concrete frames were produced in order to reflect the defects in the existing structures. Depending on the purpose of the study, two of these reinforced concrete frames were strengthened by using drywalls sheathed with steel sheet.

Theory and Methods:

In this experimental study; two reinforced concrete frames were strengthened with single skeleton drywall system double skeleton drywall system. In order to determine the effectiveness of these strengthening, two reinforced concrete frames were tested as the reference specimens. The first reference specimen was the bare reinforced concrete frame. The second reference specimen was produced by filling the frame with autoclaved aerated concrete walls. The specimens are subjected to cyclic lateral load reversals while a constant axial load was applied.

Results:

As a result of this study, it has been observed that single and double skeleton drywall systems improves the lateral load carrying capacity, energy dissipation capacity and initial stiffness of the reinforced concrete frame.

Conclusion:

Test results showed that reinforced concrete structures could be strengthened effectively by using dry walls sheathed with steel sheet. In addition, it was concluded that a more efficient strengthening method could be developed by changing the member size and connection details used in dry wall systems.



Çelik sac ile kaplanmış kuru duvarlar kullanarak deprem dayanımı yetersiz betonarme çerçevelerin güçlendirilmesi

Fatih Süleyman Balık*^{ID}

Necmettin Erbakan Üniversitesi, Ereğli Kemal Akman Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, 42320 Ereğli Konya, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Dört farklı numunenin deprem davranışı incelenmiştir
- Kuru duvar sistemleri, betonarme çerçevenin deprem davranışına olumlu katkı sağlamıştır
- Kuru duvar sistemlerinin detayları değiştirilerek daha verimli bir güçlendirme yöntemi geliştirilebilir

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi
Geliş: 08.04.2019
Kabul: 10.06.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.550978

Anahtar Kelimeler:

Betonarme,
güçlendirme,
dolgu duvarları

ÖZET

Bu çalışmanın amacı; hızlı, ekonomik, hafif, fonksiyonel, ısı ve ses yalıtımında etkili bir güçlendirme yönteminin geliştirilmesidir. Bu deneysel çalışmada, mevcut yapılardaki kusurları yansıtabilecek şekilde toplam 4 adet betonarme çerçeve sınanmıştır. Çalışmanın amacı dahilinde betonarme çerçevelerden iki adedi çelik sac ile kaplanmış kuru duvarlar kullanarak güçlendirilmiştir. Uygulan bu güçlendirmelerin etkinliğini belirleyebilmek amacıyla betonarme çerçevelerden ikisi referans numune olarak test edilmiştir. Birinci referans numunesi boş betonarme çerçeve olarak, ikinci referans numune ise gaz beton dolgu duvarlarla üretilmiştir. Bu numunelerin testleri, sabit eksenel yük ve tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında gerçekleştirilmiştir. Çalışma neticesinde; tek ve çift iskeletli kuru duvar sistemlerin, betonarme çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesine, enerji tüketme kapasitesine ve başlangıç rijitliğine olumlu yönde katkı sağladığı görülmüştür.

Strengthening of reinforced concrete frames with insufficient earthquake resistance using drywalls sheathed with steel sheet

H I G H L I G H T S

- The earthquake behavior of four different specimens was investigated
- Drywall systems contributed positively to the earthquake behavior of the reinforced concrete frame
- A more efficient strengthening method can be developed by changing the details of drywall systems

Article Info

Research Article
Received: 08.04.2019
Accepted: 10.06.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.550978

Keywords:

Reinforced concrete,
strengthening,
infill walls

ABSTRACT

The aim of this study is develop an effective strengthening method to provide a fast, economical, lightweight, functional system which also ensures good heat and sound insulation. The experimental study includes a total of 4 reinforced concrete frames that were produced to reflect the defects in the existing structures. Two of the reinforced concrete frames were strengthened by using drywalls sheathed with steel sheet. Other two frames were the reference specimen to check the effectiveness of the strengthening strategy. The first reference specimen was a bare reinforced concrete frame. The second reference specimen was produced by filling the frame with autoclaved aerated concrete walls. The specimens are subjected to cyclic lateral load reversals while a constant axial load was applied. As a result of this study, it has been observed that single and double skeleton drywall systems improves the lateral load carrying capacity, energy dissipation capacity and initial stiffness of the reinforced concrete frame.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: fsbalik@erbakan.edu.tr / Tel: +90 332 712 7424

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yüksek sismik riske sahip ülkelerde, yeterli deprem dayanımına sahip yapıların tasarlanması ve inşa edilmesi hayati öneme sahiptir. Geçmişte yaşanan depremlerde, deprem davranışı yetersiz birçok betonarme binanın ağır yapısal hasar aldığı veya bazılarının ise tamamen yıkıldığı bilinmektedir [1-3]. Çeşitli tasarım ve yapım hatalarına bağlı olarak ülkemizde birçok mevcut betonarme binanın da deprem davranışının yetersiz olduğu bilinmektedir [4]. Bu nedenle, gelecekte yaşanacak olası depremlerde can ve mal kaybının azaltılabilmesi için deprem davranışı yetersiz olan bu binaların hızlı ve etkin bir şekilde güçlendirilmesi gerekmektedir [1, 5]. Günümüze kadar, betonarme çerçeve yapıların güçlendirilmesi konusunda birçok farklı çalışma yapılmıştır. Literatürde, mevcut betonarme çerçeve içerisine betonarme perde duvarların eklenmesi yöntemi ile yapıların deprem davranışının iyileştirilmesi konusunda birçok başarılı çalışma yer almaktadır. Yapılan bu çalışmalar da, betonarme çerçeveye boşluksuz betonarme perde duvarlar, kapı/pencere boşluklarına sahip betonarme perde duvarlar veya farklı parametrelere sahip betonarme perde duvarlar eklenerek, bu tür güçlendirme yönteminin etkinliği araştırılmıştır [1, 4, 6-8]. Deprem yüklerine karşı yapıların dayanımını ve rijitliğini artıran mevcut tuğla duvarların güçlendirilmesi konusunda yapılan çalışmalar, hasır çelik donatılı özel sıvalarla [9], çeşitli lifli polimerlerle [10-13], prefabrik beton/betonarme panellerle [14, 15], çelik şeritler veya profillerle [3, 16] ve delikli çelik levhalarla yapılan güçlendirilmeler [17] şeklinde sıralanabilir. Delikli saç levhalar kullanılarak tuğla dolgu duvarların güçlendirilmesi konusunda yapılan deneysel çalışmalar neticesinde, numunelerin dayanım, süneklik ve enerji tüketme özelliklerinde önemli derecede iyileşmeler sağlandığı sonucuna ulaşılmıştır [17]. Betonarme çerçeve tuğla dolgu duvarların delikli saç levhalarla güçlendirilmesi ile yapılan çalışmalarda da numunelerin oldukça sünek davranış sergilediği ve %7,5 görel kat ötelenme oranlarında dahi önemli dayanım kaybına uğramadığı görülmüştür [18]. Yapılan bu çalışmaların sonuçlarına göre analitik çalışmalar yapılmış ve delikli saç levhalarla güçlendirilme konusunda modelleme yapabilmek için dayanım, rijitlik ve deformasyon sınırları açısından yaklaşık hesap yöntemi geliştirilmiştir [19]. Ayrıca, farklı malzemelerden oluşturulan dolgu duvarlı sistemler üzerinde gerçekleştirilen birçok çalışmada yapılmıştır. Özellikle çelik panellerle oluşturulan dolgu duvarlı sistemler bu çalışmalar arasında yer almaktadır [20, 21]. Yapıların deprem davranışının iyileştirilmesi konusunda yapılan bu çalışmalar sayesinde araştırmacılar konu hakkında önemli sonuçlara ulaşabilmiştir. Yapıların güçlendirilmesinde, yapının yeterli deprem dayanımına kavuşturulması düşüncesi daima öncelikli olmuştur. Ancak bu öncelikle beraber güçlendirme uygulamasının, tamamlanma süresi, yapıların fonksiyonelliğine etkisi, yapı ölü yükünü ne kadar artırdığı ve maliyeti de önemli hususlardır. Belirtilen bu hususlar dikkate alındığında özellikle mevcut betonarme çerçeveye, betonarme perde duvarların eklenmesi ile gerçekleştirilen güçlendirmeler;

yapı ölü yükünün artmasına, güçlendirme işleminin uzun sürmesine ve bu süreçte yapının kullanımında zorlukların yaşanmasına neden olmaktadır [17]. Bu tür dezavantajları azaltmak amacıyla mevcut güçlendirme yöntemlerine alternatif olabilecek yeni yöntemlerin geliştirilebilmesi için konuyla ilgili çalışmalar ve araştırmalar günümüzde de devam etmektedir. Yeni güçlendirme yöntemlerinin geliştirilebilmesinde uygun güçlendirme malzemelerinin tercihi oldukça önemlidir. Betonarme çerçeve yapıların dolgu duvarlarının inşasında, farklı özelliklere sahip birçok yapı malzemesi kullanılmaktadır. Kullanımları nispeten yeni olan çelik malzemeden üretilen ve soğuk şekillendirilmiş profillerin kullanıldığı kuru duvar sistemleri de bunlardan biridir. Kuru duvar sistemlerinin diğer duvar sistemlerine göre hafif olması, hızlı uygulanabilir olması, fonksiyonel olması, ısı ve ses yalıtımının daha iyi olması en önemli avantajları olarak sıralanabilir. Bu avantajları sayesinde kuru duvar sistemleri günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Böylelikle soğuk şekillendirilmiş çelik profillerle imal edilmiş kuru duvarların deprem davranışlarının belirlenmesi amacıyla son yıllarda araştırma çalışmalarının yapıldığı görülmektedir. Konuyla ilgili yapılan bu çalışmalarda, soğuk şekillendirilmiş çelik profilli çerçevelerin yüzeyleri, lifli çimento panellerle [22] ve çelik sac levhalarla kaplanarak [23] testlere tabi tutulmuştur. Bu çalışmalara ek olarak kuru duvar sistemlerinin, betonarme yapıların deprem davranışına etkilerini belirleyebilmek için yeni araştırmaların yapılması gerekliliği de önemli görülmektedir.

Bu çalışmada; hızlı, ekonomik, hafif, fonksiyonel ve ısı ve ses yalıtımında etkili yeni bir güçlendirme yönteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda kuru duvar sistemlerinin, betonarme yapıların deprem davranışına katkısını belirleyebilmek için çalışma kapsamında 1/5 ölçekli, tek açıklıklı, iki katlı 4 adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Üretilen betonarme çerçevelerden; biri dolgu duvarsız betonarme çerçeve olarak, biri gaz beton dolgu duvarlı betonarme çerçeve olarak, iki adedi ise tek iskeletli ve çift iskeletli kuru duvar sistemleri ile güçlendirilerek sabit eksenel yük ve tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında test edilmiştir. Testler sonunda numunelere ait sonuçlar; kuru duvar sistemlerinin, mevcut yapılarıdaki kusur ve zayıflıklara sahip betonarme çerçevelerin deprem davranışına katkılarını belirleyebilmek için dayanım, rijitlik ve enerji tüketim özellikleri dikkate alınarak değerlendirilmiş ve birbirleriyle kıyaslanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL WORK)

2.1. Deneysel Elemanları (Test Specimens)

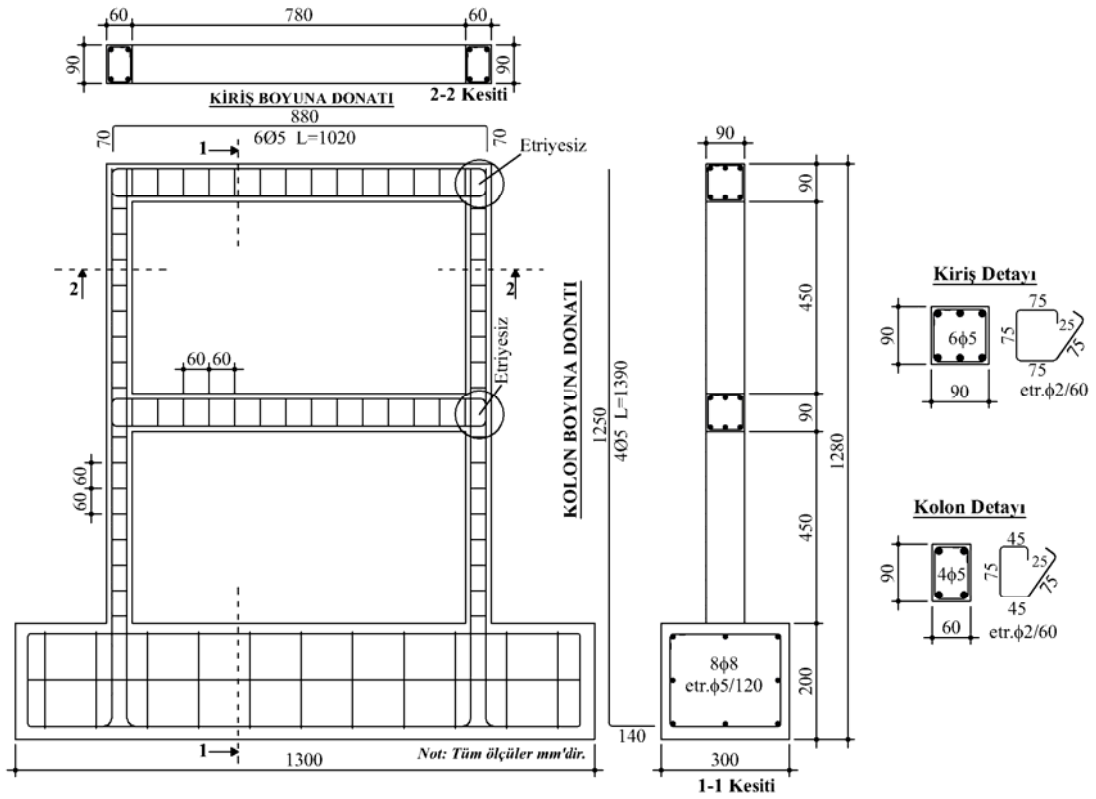
Deneysel çalışma için, 1/5 geometrik ölçekli, tek açıklıklı, iki katlı toplam 4 adet betonarme çerçeve laboratuvar ortamında yatay olarak üretilmiştir. Üretilen bu betonarme çerçevelerin mevcut yapılarıdaki kusur ve zayıflıkları yansıtabilmesi amacıyla [13], düşük basınç dayanıma sahip beton kullanılmış, etriye sıklaştırması yapılmamış, kolon-

kiriş birleşim bölgesi içinde kolon etriyesi devam ettirilmemiş, etriye kanca büküm açısı 90° yapılmış ve etriye aralıkları TBDY 2018'e [24] ve TS500'e [25] göre büyük tutulmuştur. Mevcut betonarme yapıların birçoğunun çerçevelerin, zayıf kolonlara ve güçlü kirişlere sahip olduğu bilinmektedir. Bu nedenle deney numunelerinde, kiriş boyutları 90×90 mm, kolon boyutları ise 60×90 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Betonarme çerçevenin mesnetlendiği temel kirişinin boyutları ise $200 \times 300 \times 1300$ mm'dir. Betonarme çerçevelerin kolonlarında 4 adet $\phi 5$ mm çapında, kirişlerinde ise 6 adet $\phi 5$ mm çapında nervürlü donatı kullanılmıştır. Kolon ve kirişlerinde etriye aralığı 60 mm tutularak, $\phi 2$ mm çapında düz yüzeyli donatı kullanılmıştır. Üretilen betonarme çerçevelerde kat yüksekliği 540 mm ve kat açıklığı ise 840 mm'dir. Betonarme çerçevelerin donatı ve boyut detayları Şekil 1'de verilmiştir. Deney numunelerine ait özellikler ise Tablo 1'de verilmiştir.

Çalışma kapsamında testleri gerçekleştirilen numunelerden birincisi, dolgu duvarsız betonarme çerçeve (D.N.1)'dir.

İkinci numune (D.N.2)'de, betonarme çerçevenin içerisine çerçevenin ölçeği dikkate alınarak $120 \times 55 \times 50$ mm boyutunda kesilmiş gaz beton bloklardan oluşan dolgu duvar örülmüştür. Bloklarla duvar örme işleminde, gaz beton duvar örgü tutkalı kullanılmıştır. Duvar örme işlemleri tamamlandıktan sonra numunenin duvarlarına yaklaşık 2 mm kalınlığında alçı sıva yapılmıştır. Güçlendirme amaçlı yapılacak olan kuru duvar sistemli betonarme çerçeve numunelerin, betonarme çerçevenin deprem davranışına katkısını net belirleyebilmek için bu numunenin üretimi gerçekleştirilmiştir. Gaz beton dolgu duvarlı (D.N.2)'ye ait detaylar Şekil 2'de verilmiştir.

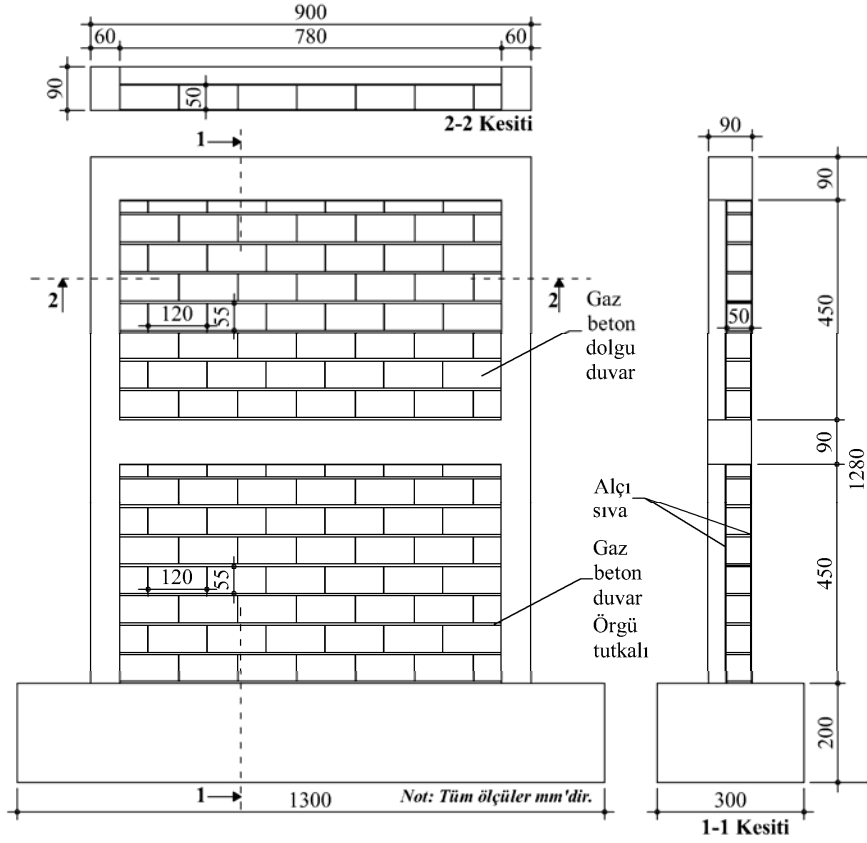
Kuru duvar sistemleri ile güçlendirilen numunelerde kullanılmak üzere betonarme çerçevenin ölçeği ve gerçek kuru duvar sistemlerinde kullanılan çelik profillerin boyutları dikkate alınarak soğuk şekillendirilmiş çelik profiller özel olarak üretilmiştir. Çalışma kapsamında test edilecek üçüncü numunede, betonarme çerçeve içerisine gerçek yapılarda uygulanan tek iskeletli kuru duvar sistemini



Şekil 1. Betonarme çerçevelerin geometrisi ve donatı detayları (Geometry and reinforcement details of the RC frames)

Tablo 1. Deney numunelerine ait özellikler (Properties of test specimens)

Deney Numunesi	Dolgu Duvar		
	Kalınlık w (mm)	Uzunluk l_w (mm)	Yükseklik h_w (mm)
1 Dolgu duvarsız B/A çerçeve	-	-	-
2 Gaz beton dolgu duvarlı B/A çerçeve	50	780	450
3 Tek iskeletli kuru duvar sistemli B/A çerçeve	26	780	450
4 Çift iskeletli kuru duvar sistemli B/A çerçeve	60	780	450



Şekil 2. Deney numunesi 2'ye ait detaylar (Details of test specimen 2)

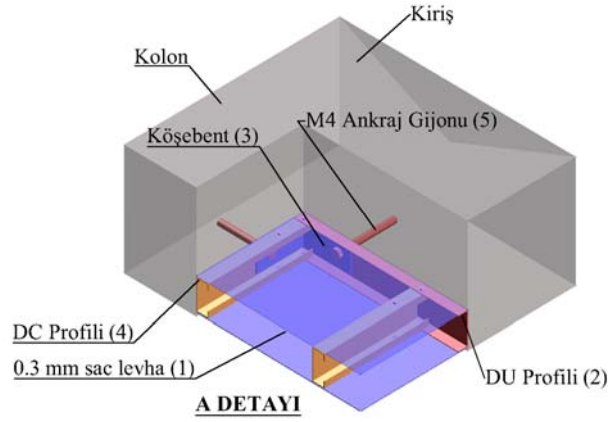
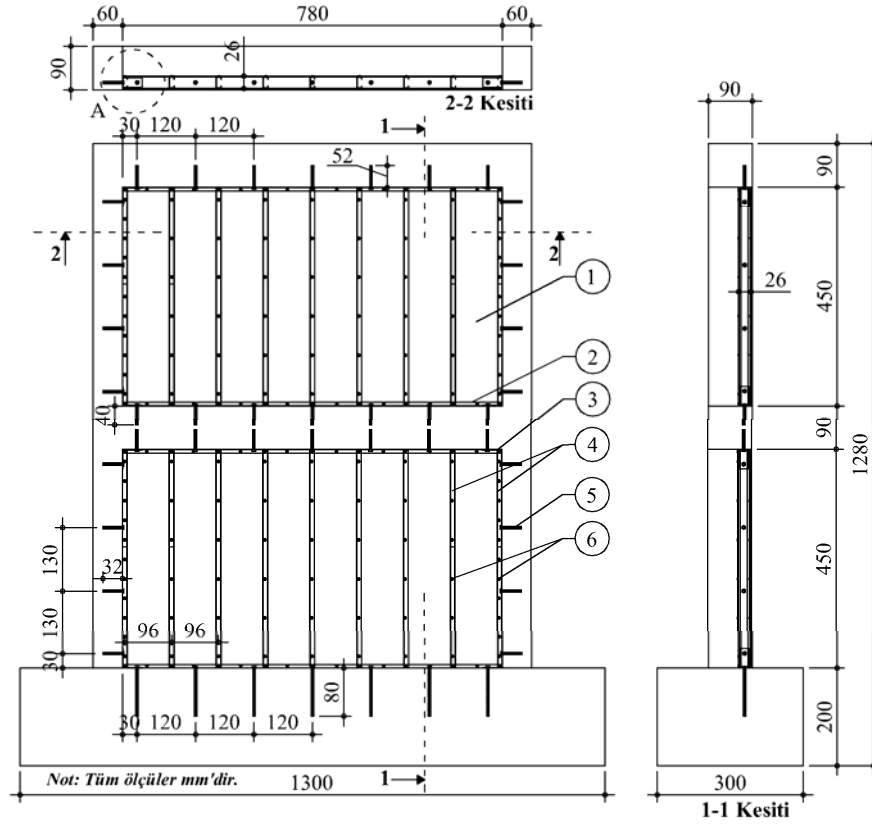
benzeştirecek şekilde dolgu duvar oluşturulmuştur. Duvarların oluşturulmasında ilk olarak kuru duvar sistemi ile betonarme çerçeve arasındaki gerekli bağlantıyı sağlayabilmek için temelde 120 mm aralığında 80 mm derinliğinde, kolonlarda 130 mm aralığında 32 mm derinliğinde, ikinci kat kirişinde 120 mm aralığında 52 mm derinliğinde, birinci kat kirişi alt ve üst yüzeyinde ise 120 mm aralığında 40 mm derinliğinde ve çapı 5 mm olan ankraj delikleri açılmıştır. Daha sonra betonarme çerçeveye tespit edilecek soğuk şekillendirilmiş çelik profillere de ankraj detaylarına bağlı olarak delikler açılmış ve bu profiller (DU ve DC) M4'lük gijonlar ve epoksi kullanılarak çerçeveye bağlanmıştır. Betonarme çerçeveye sabitlenen profillere, duvar dolgu profilleri olarak kullanılan 7 adet (DC) profili eşit aralıklarla ve matkap uçlu vida kullanılarak sabitlenmiştir. Betonarme çerçeve içerisine eklenen bu profillerin her iki yüzü 0,3 mm kalınlığında çelik sac levha ile kaplanmıştır. Çelik sac levhaların profillere sabitlenmesinde yine matkap uçlu vidalar kullanılmıştır. Vidalama aralıkları, betonarme çerçeveye bitişik olan profillerde 50 mm ve diğer profillerde yatayda 96 mm, düşeyde ise 80 mm'dir. Üçüncü numune olan (D.N.3)'de toplam duvar kalınlığı 26 mm'dir. Tek iskeletli kuru duvar sistemli (D.N.3)'e ait detaylar Şekil 3'de verilmiştir.

Çift iskeletli kuru duvar sistemli dördüncü test numunesinde, betonarme çerçeve içerisine gerçek yapılarda uygulanan çift iskeletli kuru duvar sistemini benzeştirecek şekilde dolgu

duvar eklenmiştir. Duvarın oluşturulmasında ilk olarak D.N.3'te belirtilen detaylara göre betonarme çerçeveye çift iskeletli kuru duvarın ilk iskeletini oluşturacak profiller eklenmiştir. Daha sonra bu iskeleti oluşturan profillere, iki iskelet arasındaki bağlantıyı sağlayacak olan omega profilleri, yatayda 10°'lik açığa sahip olacak şekilde matkap uçlu vidalar yardımı ile bağlanmıştır. Duvarın ikinci iskeleti oluşturulurken DCC profilleri kullanılmış ve betonarme çerçeveye bağlantıları M4'lük gijonlar ve epoksi kullanılarak sağlanmıştır. DCC profillerinin omega profillerine bağlantıları yine matkap uçlu vidalarla gerçekleştirilmiştir. En son işlem olarak profillerin her iki yüzü D.N.3'te olduğu gibi 0,3 mm kalınlığında çelik sac levha ile kaplanmış ve böylelikle D.N.4'de toplam duvar kalınlığı 60 mm olmuştur. Çift iskeletli kuru duvar sistemli (D.N.4)'e ait detaylar Şekil 4'de verilmiştir.

2.2. Malzeme Özellikleri (Material Properties)

Betonarme çerçevelerin betonunun üretiminde, maksimum çapı 6 mm olan agregalar kullanılmış ve Su/Çimento oranı 0,65 olarak ayarlanmıştır. Üretilen bu betondan alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen basınç deneyleri sonucunda betonun ortalama basınç dayanımı 13 MPa çıkmıştır. Betonarme çerçevelerde kullanılan donatıların dayanımları Tablo 2'de verilmiştir. Kuru duvar sistemleri ile güçlendirilen numuneler (D.N.3 ve D.N.4)'de kullanılan soğuk şekillendirilmiş çelik profillerin ve çelik sac



Şekil 3. Deneysel numune 3'e ait detaylar (Details of test specimen 3)

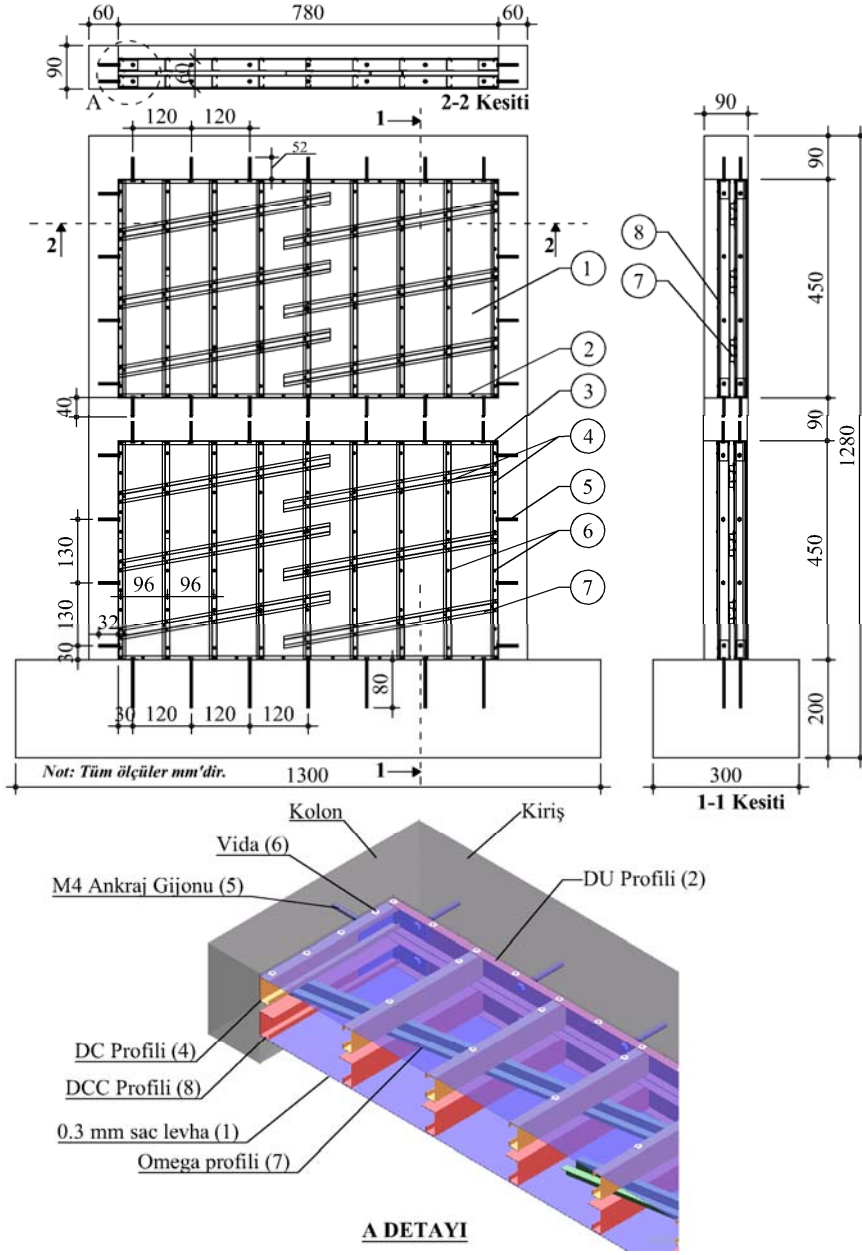
levhaların, akma dayanımları (f_{yp}) 220 MPa, kopma dayanımları ise (f_{up}) 350 MPa'dır. D.N.3 ve D.N.4'de kullanılan profillere ve sac levhaya ait geometrik özellikler ise Tablo 3'de verilmiştir.

2.3. Deneysel Düzenek (Test Setup)

Deneysel numunelerinin testleri, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Ereğli Kemal Akman Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü Laboratuvarında bulunan, tersinir tekrarlanabilir yüklemeye yapılabilen deneysel düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Deneysel olarak ilk olarak numunelerin üst kat kirişine yerleştirilen çelik bir dağıtma kirişi vasıtasıyla kolon üst noktalarından her bir kolona eşit yük gelecek şekilde, sabit

eksenel yük uygulanmıştır. Numunelerin kolonlarına uygulanan yük kolonlarının taşıma kapasitelerinin yaklaşık %20'si (14 kN) kadardır. Eksenel yüklemeye, bir adet hidrolik krikodaki yükleri okumak için bir adet 50 kN kapasiteli yük hücresi kullanılmıştır. Numunelerin testleri sırasında eksenel yük sisteminin numune üst kirişi ile birlikte yatay yönde hareket edebilmesi için yüklemeye düzeneği çerçevesinin üst kirişi ile eksenel yüklemeye sistemi arasındaki bağlantı detayında tekerlekli sistem kullanılmıştır.

Numunelerin yatay yüklenmesinde 200 kN itme-çekme kapasiteli bir hidrolik krika kullanılmıştır. Yüklemeler el ile kumandalı hidrolik pompa ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. Denei numunesi 4'e ait detaylar (Details of test specimen 4)

Deneylerde hidrolik krikodan yapılan yüklemenin ölçülüp, yük verilerinin bilgisayar ortamına aktarılmasında itme ve çekmede kapasitesi 200 kN olan yük hücresi (loadcell) kullanılmıştır. Hidrolik krikonun ucuna bağlanan bu yük hücresine vidalarla bir çelik levha bağlanmış ve yüklemeler esnasında numunelerin alt ve üst katların da oluşabilecek farklı deplasmanlarda sistemin rahat hareket edebilmesi için bu levhanın ucuna mafsallı bir sistem yapılmıştır. Bu mafsallı, 80x80 mm kesitinde 700 mm boyunda çelik yük dağıtma aparatına kaynaklanmıştır. Yük dağıtma aparatı ile mafsallı birleşimi, hidrolik krikodan gelen toplam yatay yükün, 2/3'ünü üst kat kirişi hizasından 1/3'ünde alt kat kirişi hizasından deney numunelerine aktarabilecek şekilde tasarlanmıştır [9, 26]. Yük dağıtma aparatından, numunelere yük aktarımı alt ve üst kirişler hizasından iki tane mafsallı



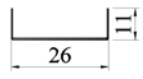


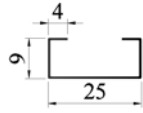
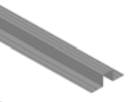
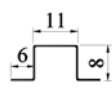
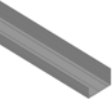
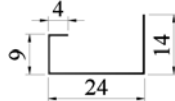
çelik levhayla sağlanmıştır. Bu mafsallı levhalara, çekme çevrimlerinde numuneye yük aktarımını sağlayacak iki çelik levha, betonarme çerçevenin diğer yüzeyinde ve kirişlerin hizasında olacak şekilde bağlanmıştır. Bu bağlantı, kiriş eksenine paralel şekilde yerleştirilen ve bir ucu mafsallı olarak teşkil edilmiş olan gergi milleri ile sağlanmıştır. Deneylerde yatay yükleme etkisine karşı, temel hareketinin engellenebilmesi için yükleme düzeneği çerçevesinin alt kirişi ile numune temelinin bağlantısında 20 mm kalınlığında çelik levhalar kullanılmıştır.

Test edilen numuneler farklı dayanımlara sahip olduğundan, deneylerde özdeş bir yükleme programı uygulanamamıştır. Numuneler maksimum yük düzeyine ulaşıncaya kadar uygulanacak olan çevrimlerde, D.N.1'e yaklaşık 1 kN, diğer

Tablo 2. Donatı özellikleri (Properties of reinforcement)

Donatı çapı (mm)	f_y (MPa)	f_u (MPa)	Donatı Tipi
2	435	595	Düz
3	424	562	Düz
5	639	809	Nervürlü

Tablo 3. Çelik profillerin ve çelik sacın geometrik özellikleri (Geometric properties of steel profiles and steel sheet)

İsim ve detay numarası	Geometrisi	Kalınlık (mm)	Ölçüler (mm)
Çelik Sac Levha (1)		0,3	780x450
DU Profili (2)		0,5	
Köşebent (3)		1	40x40x20
DC Profili (4)		0,5	
Omega Profili (7)		0,5	
DCC Profili (8)		0,5	

numunelere ise yaklaşık 2,5 kN yatay yük artışı olacak şekilde yükleme yapılması hedeflenmiştir. Maksimum yük düzeyi sonrasındaki çevrimlerde ise ikinci kat deplasman değerinin, D.N.1’de yaklaşık 10 mm, diğer numunelerde yaklaşık 5 mm artırılması ile deneylere devam edilmesi hedeflenmiştir. Deneylerde, yük hücresinden okunan yatay yük değerleri ve potansiyometrik cetvellerden okunan deplasman değerleri veri toplama sistemi vasıtasıyla bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Yük hücresi ve potansiyometrik cetvellerden 0,125 saniye aralığında veri aktarımı gerçekleştirilmiştir. Aktarılan bu veriler ile deneyler esnasında her kat için yük-deplasman eğrileri grafiksel olarak bilgisayar ekranında çizdirilmiş ve tasarlanan yükleme programına dikkat edilmiştir. Ancak, deneylerin son çevrimlerinde numunelerde oluşan ani hasarlara bağlı olarak uygulanması düşünülen kat deplasmanı değerlerinde küçükte olsa sapmaların olduğu gözlemlenmiştir. Bütün deneyler, numunelerin yük taşıma kapasitelerinde büyük kayıp meydana gelene kadar devam ettirilmiştir. Testlerinin gerçekleştirildiği deney düzeneği Şekil 5’de verilmiştir.

3. DENEYSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

3.1. Deney Numunelerinin Davranışları (Behaviour of Test Specimens)

Deney numunelerinin testleri, sabit eksenel yük ve tersinir tekrarları yatay yükler altında gerçekleştirilmiş ve deneyler esnasında her bir numunede gözlemlenen davranışlar sırayla

anlatılmıştır. Deney numunelerinin göçme konumuna ulaşmasında, birinci katta oluşan hasarlar etkili olmuştur. Bu nedenle numunelerin davranışlarının anlatımında, numunelerin maksimum yük düzeyleri ile bu düzeylerde hesaplanan birinci kat yatay ötelenme oranlarına yer verilmiştir.

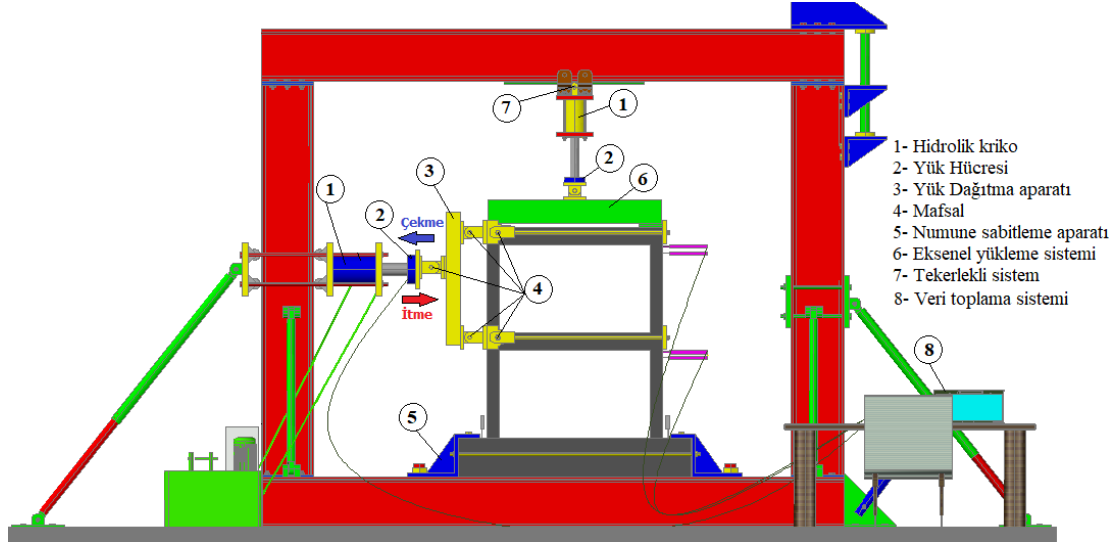
Dolgu duvarsız betonarme çerçevesi numune (D.N.1)’e, itme ve çekmede toplam 11 yük çevrimi uygulanmıştır. 9. itme çevriminde numuneye uygulanan toplam yük maksimum düzeye ulaşmış (9,4 kN) ve bu çevrimden sonra numunenin yatay yük taşıma kapasitesinde azalma meydana gelmeye başlamıştır. Bu çevrimde maksimum yükte hesaplanan birinci kat yatay ötelenme oranı %3,96’dır. 10. çekme çevriminde ise numunenin maksimum 10,3 kN toplam yatay yüke dayandığı ve birinci katta yatay ötelenme oranının %3,45 olduğu görülmüştür. Numunenin, kolon-kiriş ve kolon-temel birleşim bölgelerinde yoğun olarak kesme çatlaklarının oluştuğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, betonarme çerçevede düşük dayanıma sahip betonun kullanılmasına ve uygulanan pas payı miktarına bağlı olarak birinci kat kolon yüzeylerinde kabuk betonda dökülmelerin olduğu görülmüştür. Betonarme çerçevede etriye aralıkları 60 mm’dir, numune ölçeği dikkate alındığında en büyük enine donatı aralığı 300 mm’ye karşılık gelmektedir. Ayrıca, kuvvetli kiriş-zayıf kolon davranışı oluşturmak amacıyla kirişlerin düzlem içi rijitlikleri, kolonların düzlem içi rijitliklerinden daha büyük tutulmuştur. Beklenildiği gibi deneyin son çevrimlerinde, çatlak oluşumunun yoğun olduğu

birinci kat kolonlarının alt ve üst uç bölgelerinde önemli derecede beton ezilmeleri meydana gelmiş ve numune göçme konumuna ulaşmıştır. 1/5 ölçekli D.N.1'e ait deney sonuçları, literatürde yer alan 1/3 ölçekli benzer detaylara sahip çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılmıştır [27]. Maksimum yük düzeyine kadar uygulanan çevrimlerde, 1/5 ve 1/3 ölçekli numunelerde meydana gelen çatlak formasyonunu genel olarak benzerlik göstermektedir. Ancak, maksimum yük düzeyi sonrası uygulanan çevrimlerde, numunelerin üretiminde kullanılan beton dayanımlarının farklı olmasından dolayı 1/5 ölçekli numunenin birinci kat kolonlarının uç bölgelerinde hasar boyutunun 1/3 ölçekli numuneye göre daha fazla olduğu görülmüştür. 1/5 ve 1/3 ölçekli numunelerin, yük taşıma kapasitelerinde farklılıklar olmasına rağmen histeresis eğrileri benzer özelliktedir. Ayrıca, 1/5 ve 1/3 ölçekli numuneler için maksimum yük düzeyinde hesaplanan birinci kat yatay ötelenme oranlarının da birbirlerine yakın olduğu görülmüştür. D.N.1'e ait taban kesme kuvveti-deplasman eğrisi ve göçme modu Şekil 6'da verilmiştir.

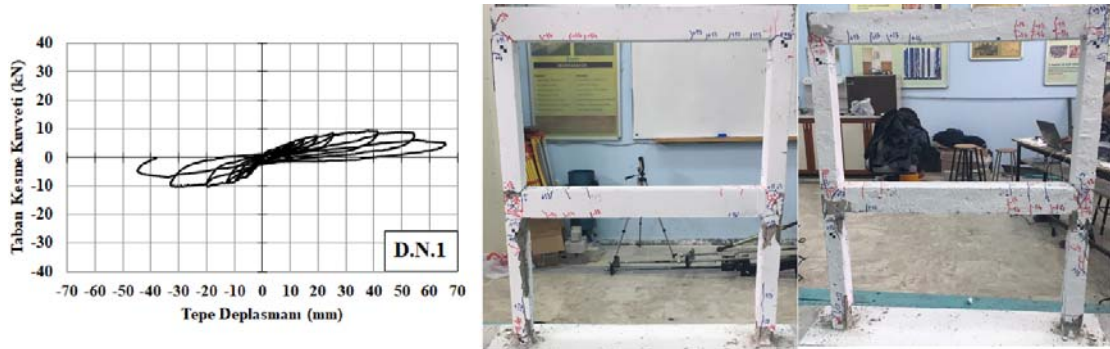
Gaz beton dolgu duvarlı betonarme çerçevesi numune (D.N.2)'ye, itme ve çekme yönünde toplam 11 yük çevrimi uygulanmıştır. D.N.2, 8. itme çevriminde 18 kN, 8. çekme

çevriminde ise 24,2 kN maksimum yatay yüke dayanmıştır. Bu çevrimlerde maksimum yükte hesaplanan birinci kat yatay ötelenme oranları, itme çevriminde %2,73, çekme çevriminde %3,17 olmuştur. Numunede çatlak oluşumu ilk olarak birinci kat kolonlarında eğilme çatlakları şeklinde, dolgu duvarlarda ise kesme çatlakları şeklinde gerçekleşmiştir. Birinci kat dolgu duvarının ilk sıra duvar üst hizasında kayma çatlakları oluşmuş ve çerçeve ile dolgu duvar arasında ayrışmalar gerçekleşmiştir. Deneyin ilerleyen çevrimlerinde mevcut kılcal çatlaklar genişlemiş ve birinci kat dolgu duvarının köşelerinde ezilmeler olmuştur. Ayrıca birinci kat kolonlarının kabuk betonunda önemli derecede dökülmelerin olduğu görülmüştür. Numunenin ikinci katında hasar oluşumu kılcal düzeyde çatlaklarla sınırlı kalırken, numunenin göçmesinde birinci katta oluşan hasarlar etkili olmuştur. D.N.2'ye ait taban kesme kuvveti-deplasman eğrisi ve göçme modu Şekil 7'de verilmiştir.

Tek iskeletli kuru duvar sistemli betonarme çerçevesi numune (D.N.3)'e, itme ve çekmede toplam 13 yük çevrimi uygulanmıştır. Deney numunesi 3, 9. itme çevriminde 20,6 kN, 11. çekme çevriminde ise 26 kN maksimum yatay yüke dayanmıştır. Bu çevrimlerde maksimum yük düzeyinde hesaplanan birinci kat yatay ötelenme oranları, itme



Şekil 5. Deney düzeneği (Test Setup)

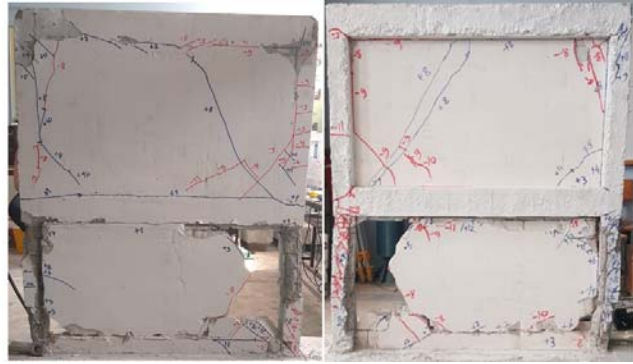
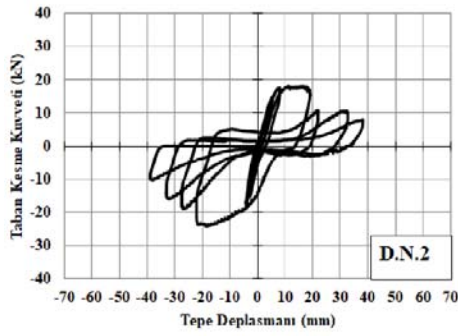


Şekil 6. D.N.1'e ait taban kesme kuvveti-tepe deplasman eğrisi ve göçme modu (Load-displacement curve of T.S.1 and failure mode) [28, 29]

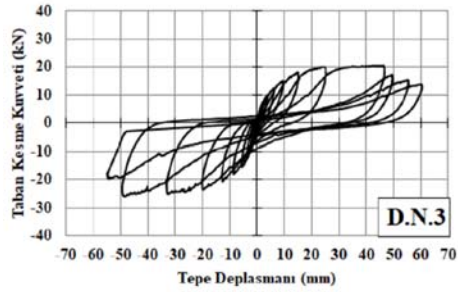
çevriminde %6,27, çekme çevriminde %7,03 olmuştur. Numunede çatlak oluşumu ilk olarak birinci kat kolonlarında eğilme çatlakları şeklinde gerçekleşmiştir. Deneyin ilerleyen çevrimlerinde mevcut kılcal çatlaklar genişlemiş ve kolonlarda kesme çatlakları da oluşmuştur. Birinci katın kolonlarında bu çatlaklar yoğun bir şekilde oluşmuş, ikinci kat kolonlarında ise çatlak oluşumu sınırlı kalmıştır. Numunenin birinci kat kolonlarının alt ve üst uçlarında plastik mafsalların oluştuğu görülmüştür. Daha sonraki çevrimlerde, numunede yatay yer değiştirme değeri artmış ve birinci kat dolgu duvarının köşelerinde kullanılan ankraj gijonları betonarme çerçeveden sıyrılmaya başlamıştır. Ayrıca numunenin dolgu duvarlarında kullanılan çelik sac levhalarda da buruşmalar oluşmuştur. Çelik sac levhalarda

gerçekleşen bu buruşmalar, birinci katta yoğun olarak gerçekleşirken ikinci kat levhalarında sınırlı kalmıştır. D.N.3'e ait taban kesme kuvveti-deplasman eğrisi ve göçme modu Şekil 8'de verilmiştir. D.N.3'ün dolgu duvarlarında kullanılan soğuk şekillendirilmiş çelik profillerde oluşun hasarları görmek için deney sonunda numunenin bir cephesindeki çelik sac levhalar sökülüştür (Şekil 9).

Çift iskeletli kuru duvar sistemli betonarme çerçeveli numune (D.N.4)'ün deneyinde, itme ve çekmede toplam 15 yük çevrimi uygulanmıştır. Deney numunesi 4, 12. itme çevriminde 27,1 kN, çekme çevriminde ise 30,5 kN maksimum yatay yüke dayanmıştır. Bu çevrimlerde maksimum yük düzeyinde hesaplanan birinci kat yatay



Şekil 7. D.N.2'ye ait taban kesme kuvveti-tepe deplasman eğrisi ve göçme modu
(Load-displacement curve of T.S.2 and failure mode)



Şekil 8. D.N.3'e ait taban kesme kuvveti-tepe deplasman eğrisi ve göçme modu
(Load-displacement curve of T.S.3 and failure mode)



Şekil 9. Çelik sac levhalar çıkarıldıktan sonra D.N.3'ün görünümü (View of T.S.3 after removed steel sheets)

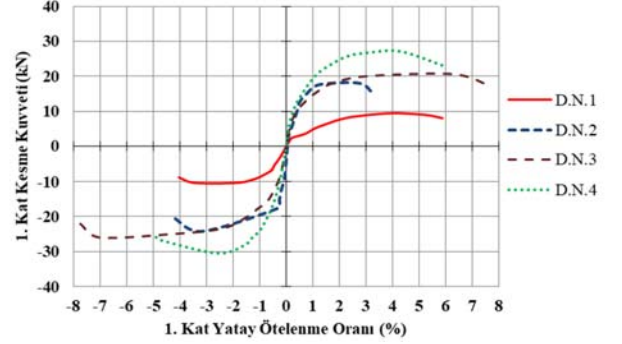
ötelenme oranları, itme çevriminde %4,27, çekme çevriminde %2,63 olmuştur. Deneyin ilk çevrimlerinde, numunenin birinci kat kolonlarında eğilme çatlaklarının oluştuğu görülmüştür. Deneyin ilerleyen çevrimlerinde, mevcut kılcal çatlaklar genişlemiş ve kolon-kiriş birleşim bölgesinde kesme çatlaklarının oluştuğu gözlemlenmiştir. D.N.3'te olduğu gibi bu numunenin birinci katın kolonlarında da çatlak oluşumunun yoğunlaştığı, ikinci kat kolonlarında ise çatlak oluşumunun sınırlı kaldığı görülmüştür. Numunenin birinci kat kolonlarının alt uçlarında plastik mafsalların oluştuğu net bir şekilde görülmüştür. Daha sonraki çevrimlerde, numunede gerçekleşen yatay yer değiştirmenin artmasıyla birinci kat dolgu duvarı profillerinin kolonlarla bağlantısını sağlayan ankraj gijonlarının betonarme çerçeveden sıyrılarak ayrıldığı görülmüştür. Numunenin dolgu duvarlarında kullanılan çelik sac levhalarında, D.N.3'tekine benzer şekilde buruşmalar oluşmuştur. D.N.4'e ait taban kesme kuvveti-deplasman eğrisi ve göçme modu Şekil 10'da verilmiştir. D.N.4'ün dolgu duvarlarının bir cephesindeki çelik sac levhalar sökülüş ve numunenin bu görünümü Şekil 11'de verilmiştir.

3.2. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması (Comparison of Test Results)

3.2.1. Dayanımların karşılaştırılması (Comparison of strengths)

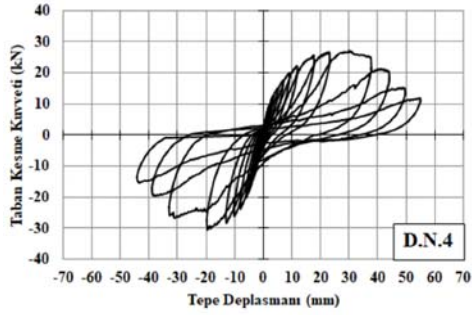
Deney numunelerine ait en yüksek ötelenme oranlarını bulmak için yük-ötelenme oranı zarf eğrileri oluşturulmuştur. Bu zarf eğrileri, yük-yatay deplasman zarf

eğrilerine benzer şekilde oluşturulmuş ancak yatay eksende yatay deplasman değerleri yerine ötelenme oranları yüzde olarak verilmiştir [3, 6, 18, 30]. Numunelerinin maksimum yük taşıma kapasitelerinde %15 kaybın gerçekleştiği noktaya karşılık gelen ötelenme oranları en yüksek ötelenme oranları olarak alınmıştır [18]. Numunelerin 1. katı için oluşturulan zarf eğrileri Şekil 12'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Deney numunelerine ait yatay yük taşıma kapasiteleri ve D.N.1'e göre yük taşıma kapasitelerindeki artış oranları Tablo 4'de verilmiştir.



Şekil 12. Deney numunelerine ait zarf eğrileri
(Envelope curves of test specimens)

Şekil 12 ve Tablo 4'den de görüldüğü üzere deney numuneleri arasında en fazla yatay yükü, çift iskeletli kuru duvar sistemli betonarme çerçeveli numune (D.N.4) taşımıştır. D.N.4; D.N.1 göre yaklaşık %188 ve D.N.2'ye göre yaklaşık %50 daha fazla yatay yük taşımıştır.



Şekil 10. D.N.4'e ait taban kesme kuvveti-tepe deplasman eğrisi ve göçme modu
(Load-displacement curve of T.S.4 and failure mode)



Şekil 11. Çelik sac levhalar çıkarıldıktan sonra D.N.4'ün görünümü (View of T.S.4 after removed steel sheets)

Deneyleerde D.N.3'ün yatay yük taşıma kapasitesi, D.N.2'nin yük taşıma kapasitesine oldukça yakın çıkmıştır. Ancak gaz beton dolgu duvarlı numune (D.N.2)'de, maksimum yüke ulaşıldıktan sonra numunenin yük taşıma kapasitesinde hızlı düşüş gerçekleşmiş ve numune göçme konumuna ulaşmıştır. Ayrıca D.N.3, dolgu duvarsız numune (D.N.1)'e göre itme çevriminde yaklaşık %119 daha fazla yatay yük taşımış ve D.N.2'ye göre daha fazla deplasman yaparak göçme konumuna ulaşmıştır.

3.2.2. Rijitliklerin karşılaştırılması (Comparison of stiffnesses)

Deneyleeri gerçekleştirilen her bir numune için rijitlik değerleri, numunelerine ait taban kesme kuvveti-ikinci kat yatay deplasman zarf eğrileri kullanılarak hesaplanmıştır. Rijitlik değeri, en yüksek yük düzeyindeki noktanın zarf eğrisinin orijinine birleştirilmesi ile elde edilen doğrunun eğimidir [18, 31, 32]. Deneyle numuneleri için hesaplanan rijitlik değerleri ve D.N.1'e göre rijitlik değerlerindeki artış oranları Tablo 5'de verilmiştir. Tablo 5'e göre çerçeveye eklenen çift iskeletli kuru duvar sistemin, betonarme çerçevenin rijitlik özelliğine en büyük katkıyı sağladığı görülmektedir. Tek iskeletli kuru duvar sistemli numune (D.N.3)'nin başlangıç rijitliği, dolgu duvarsız numune

(D.N.1)'e göre 2,59 kat artmıştır. D.N.3'ün ve D.N.2'nin başlangıç rijitlik değerleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Beklenildiği üzere dolgu duvarlar, betonarme çerçevenin rijitlik özelliğine önemli derecede katkı sağlamıştır [33].

3.2.3. Enerji tüketim kapasitelerinin karşılaştırılması (Comparison of the energy dissipation capacities)

Deneyle numunelerine ait enerji tüketim değerleri, itme ve çekme çevrimleri için oluşturulan yük-deplasman grafiklerinde oluşan kapalı alanların hesaplanmasıyla belirlenmiştir [30]. Enerji tüketim değerleri her çevrimde tüketilen enerjinin birikimli olarak toplanmasıyla elde edilmiştir. Numunelerin göçme konumu için hesaplanan enerji tüketim değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Tablo 6'da belirtilen göçme yükü (0,8*Vmax), deneyle numunelerinin maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşıldıktan sonra dayanımın %20 azaldığı düzeydeki yükü ifade etmektedir.

Tablo 6'dan görüldüğü üzere deneylelerde en fazla enerji tüketimi, kuru duvar sistemli numuneler D.N.3 ve D.N.4'te gerçekleşmiştir. Tek iskeletli kuru duvar sistemli numune itme çevriminde, D.N.2'ye göre yaklaşık %232, D.N.1'e göre yaklaşık %144 daha fazla enerji tüketmiştir. Çift iskeletli kuru duvar sistemli numune de ise D.N.2'ye göre

Tablo 4. Deneyle numunelerinin yanal yük taşıma kapasitelerinin özeti
(Summary of the lateral load carrying capacities of test specimens)

Deneyle Numuneleri	Maksimum Yatay Yük (V) Oran*			
	İtme Çevrimi	Çekme Çevrimi	İtme Çevrimi	Çekme Çevrimi
1 Dolgu duvarsız B/A çerçeve	9,42	10,34	1	1
2 Gaz beton dolgu duvarlı B/A çerçeve	18,04	24,20	1,92	2,34
3 Tek iskeletli kuru duvar sistemli B/A çerçeve	20,61	25,95	2,19	2,51
4 Çift iskeletli kuru duvar sistemli B/A çerçeve	27,13	30,46	2,88	2,95

*Deneyle numunelerinin dayanımlarının, D.N.1'in dayanımına oranı

Tablo 5. Deneyle numunelerine ait rijitlik değerleri (Stiffness values of test specimens)

Deneyle Numuneleri	Başlangıç (kN/mm)	Maksimum Yükte (kN/mm)				
		İtme Çevrimi	Çekme Çevrimi	Ortalama	Başlangıç*	Maksimum yükteki ortalamaya göre*
1 Dolgu duvarsız B/A çerçeve	1,53	0,25	0,33	0,29	1	1
2 Gaz beton dolgu duvarlı B/A çerçeve	3,59	1,11	1,31	1,21	2,35	4,17
3 Tek iskeletli kuru duvar sistemli B/A çerçeve	3,97	0,44	0,53	0,49	2,59	1,69
4 Çift iskeletli kuru duvar sistemli B/A çerçeve	7,26	0,88	1,56	1,22	4,75	4,21

*Deneyle numunelerinin rijitlik değerlerinin, D.N.1'in rijitlik değerlerine oranı

Tablo 6. Deney numunelerine ait enerji tüketim değerleri (Energy dissipation values of test specimens)

Deney Numuneleri	İtme Çevrimi		Çekme Çevrimi	
	Kümülatif Tüketilen Değerleri (J) <i>Göçme yüküne kadar (0,8*Vmax)</i>	Toplam Enerji Tüketilen Enerji Oranları D.N.1'e göre	Kümülatif Tüketilen Değerleri (J) <i>Göçme yüküne kadar (0,8*Vmax)</i>	Toplam Enerji Tüketilen Enerji Oranları D.N.1'e göre
1 Dolgu duvarsız B/A çerçeve	567	1	422	1
2 Gaz beton dolgu duvarlı B/A çerçeve	416,44	0,73	756,44	1,79
3 Tek iskeletli kuru duvar sistemli B/A çerçeve	1384,20	2,44	2441,37	5,79
4 Çift iskeletli kuru duvar sistemli B/A çerçeve	1495,06	2,64	1589,17	3,77

Tablo 7. Deney numunelerine ait enerji tüketim değerleri (Energy dissipation values of test specimens)

Deney Numuneleri	İtme Çevrimi		Çekme Çevrimi	
	Kümülatif Tüketilen Enerji Değerleri (J) <i>Birinci kat ötelenme oranı (%2)</i>	Toplam Enerji Tüketilen Enerji Oranları D.N.1'e göre	Kümülatif Tüketilen Enerji Değerleri (J) <i>Birinci kat ötelenme oranı (%2)</i>	Toplam Enerji Tüketilen Enerji Oranları D.N.1'e göre
1 Dolgu duvarsız B/A çerçeve	106,75	1	229,97	1
2 Gaz beton dolgu duvarlı B/A çerçeve	202,41	1,90	343,42	1,49
3 Tek iskeletli kuru duvar sistemli B/A çerçeve	257,12	2,41	492,75	2,14
4 Çift iskeletli kuru duvar sistemli B/A çerçeve	332,37	3,11	598,61	2,60

yaklaşık %259, D.N.1'e göre yaklaşık %164 daha fazla enerji tüketimi gerçekleşmiştir. Gaz beton dolgu duvarlı numune (D.N.2) göçme konumuna, D.N.1'e göre daha az deplasman yaparak ulaştığı için bu numunenin enerji tüketimi değeri (itme çevriminde) D.N.1'dekinden daha küçük olmuştur.

Deney numunelerinin, kat ötelenme oranına bağlı olarak tükettikleri enerji değerlerini kıyaslamak amacıyla her bir numunede birinci kat ötelenme oranı %2 için enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır. Numunelerin itme ve çekme çevrimleri için hesaplanan enerji tüketim değerleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7'ye göre birinci kat ötelenme oranları %2 için en fazla enerji tüketimi, kuru duvar sistemli numuneler D.N.3 ve D.N.4'te gerçekleşmiştir. Tek iskeletli kuru duvar sistemli numune itme çevriminde, D.N.2'ye göre yaklaşık %27, D.N.1'e göre yaklaşık %141 daha fazla enerji tüketmiştir. Çift iskeletli kuru duvar sistemli numune ise D.N.2'ye göre yaklaşık %64, D.N.1'e göre yaklaşık %211 daha fazla enerji tüketmiştir. Gaz beton dolgu duvarlı numunenin birinci kat ötelenme oranı %2'de enerji tüketimi, D.N.1'e göre itme çevriminde %90, çekme çevriminde ise %49 fazla olmuştur.

4. SİMGELER (SYMBOLS)

f_{yp} : Çelik sac levha ve soğuk şekillendirilmiş çelik profillerin akma dayanımı
 f_{up} : Çelik sac levha ve soğuk şekillendirilmiş çelik profillerin kopma dayanımı

f_y : Donatıların akma dayanımı
 f_u : Donatıların kopma dayanımı

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada; deprem davranışı yetersiz mevcut yapıların özelliklerini yansıtabilecek özellikte, 1/5 ölçekli, tek açıklıklı, iki katlı 4 adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Bu betonarme çerçevelerden, birincisi dolgu duvarsız betonarme çerçeve, ikincisi gaz beton dolgu duvarlı betonarme çerçeve, diğer iki adedi ise tek iskeletli ve çift iskeletli kuru duvar sistemi ile güçlendirilmiş çerçeveler olarak, sabit eksenel yük ve tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında test edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir.

Betonarme çerçeve içerisine eklenen tek ve çift iskeletli kuru duvar sistemleri, betonarme çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesine, enerji tüketme kapasitesine ve başlangıç rijitliğine önemli katkı sağlamıştır. Ayrıca deney sonuçları, tek ve çift iskeletli kuru duvar sistemli numunelerin dayanım, rijitlik ve göçme konumunda enerji tüketim değerlerinin, gaz beton dolgu duvarlı numuneden de iyi olduğunu göstermiştir. D.N.2'nin testinde, gaz beton bloklarla oluşturulan dolgu duvarın önemli bir kısmının düzlem dışı davranış göstererek devrildiği görülmüştür. D.N.2'nin dolgu duvarında gözlemlenen bu davranış ise betonarme çerçeve sisteminde yumuşak kat oluşumu riskini arttırmıştır. Tek ve çift iskeletli kuru duvar sistemli numunelerde, duvarlar ile betonarme çerçeve arasında çelik gijonlarla bağlantı sağlandığından ve bu tür duvarlar bir

bütün olarak davranış sergileyebildiğinden bu numunelerin duvarlarında düzlem dışı devrilme gerçekleşmemiştir. Böylelikle, sistem göçme konumuna ulaşsa dahi dolgu duvarlar, çerçevenin düşey yük taşıma kapasitesine katkı sağlayamaya devam edebilmiştir. Tek ve çift iskeletli kuru duvar sistemleri hafif oldukları için mevcut yapının ölü yükünün azaltılabilmesi de mümkün olmuştur. Yapı ölü yükünün azaltılması ise depremlerde yapıya etki edecek olan deprem yükünün azaltılabilmesine olanak sağlayacaktır. Ayrıca tek ve çift iskeletli kuru duvar sistemlerinde, soğuk şekillendirilmiş profiller arasına gerekli yalıtım malzemelerinin yerleştirilmesiyle yapının ısı ve ses yalıtım özelliği de artırılabilir. Böylelikle bu tür güçlendirme çalışmasıyla, çevre dostu enerji verimliliği yüksek yapıların oluşturulması da sağlanabilir. Tek ve çift iskeletli kuru duvar sistemlerinde kullanılan malzemeler önceden hazırlandığından ve yapıda sadece yerine monte edileceğinden, güçlendirme çalışması daha kolay ve daha hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilir. Ayrıca mimari açıdan uygun olan yapılarda mevcut dolgu duvarların yıkılmasına gerek kalmadan tek veya çift iskeletli kuru duvar sistemlerinin çerçeve içerisine eklenmesiyle de daha etkin ve estetik bir güçlendirme yapılabileceği düşünülmektedir. Sınırlı sayıda numune üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışma sonuçları, kuru duvar sistemleriyle yapılan güçlendirme yöntemi ile mevcut yapıların deprem davranışının iyileştirilebileceği gerçeğini ortaya koymuştur. Konuyla ilgili gelecekte yapılacak çalışmalarda, duvar elemanlarının kalınlıklarının artırılmasıyla, elemanların birbirleri ile olan bağlantıların sıklaştırılmasıyla ve ankraj aralıklarının azaltılmasıyla daha etkili bir güçlendirme yapılabileceği de öngörülmektedir. Ayrıca, bu çalışmada kolon boyuna donatıları, kolonlar boyunca sürekli formda yerleştirildiği için bindirmeli ek etkisinin numunelerin davranışlarına olan etkileri belirlenememiştir. Bu nedenle yapılacak yeni araştırmalarda, mevcut yapılarda olduğu gibi bindirmeli ek donatı detaylarına sahip numuneler ile çalışmaların yapılması önemli görülmektedir. Böylece yapılan güçlendirme çalışmalarının, betonarme çerçeveye katkıları tam olarak belirlenebilecektir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu araştırma, Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nün 171225001 nolu proje desteği ile gerçekleştirilmiştir. Bilime destek sunan BAP Koordinatörlüğüne teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kara M.E., Altın S., Behavior of reinforced concrete frames with reinforced concrete partial infills, *ACI Struct. J.*, 103 (2), 701-709, 2006.
2. Ozcan O., Binici B., Ozcebe G., Improving seismic performance of deficient reinforced concrete columns using carbon fiber-reinforced polymers, *Eng. Struct.*, 30 (6), 1632-1646, 2008.
3. Özbek E., Can H., Strengthening of infill brick walls using steel profiles, *Journal of the Faculty of*

4. Altın S., Anil O., Kara M.E., Strengthening of RC nonductile frames with RC infills: An experimental study, *Cem. Concr. Compos.*, 30 (7), 612-621, 2008.
5. Bıkçe M., Türkiye'deki depremlerde alınan ve alınabilecek önlemler, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 9 (2), 24-31, 2017.
6. Anil Ö., Altın S., An experimental study on reinforced concrete partially infilled frames, *Eng. Struct.*, 29 (3), 449-460, 2007.
7. Sonuvar M. O., Ozcebe G., Ersoy U., Rehabilitation of reinforced concrete frames with reinforced concrete infills, *Struct. J.*, 101 (4), 494-500, 2004.
8. Canbay E., Ersoy U., Ozcebe G., Contribution of reinforced concrete infills to seismic behavior of structural systems, *ACI Struct. J.*, 100 (5), 637-643, 2003.
9. Kamanlı M., Korkmaz H.H., Unal A., Balık F.S., Bahadır F., Cogurcu M.T., Seismic improvement of infilled nonductile RC frames with external mesh reinforcement and plaster composite, *Earthquakes and Struct.*, 8 (3), 761-778, 2015.
10. 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*, 39 (4), 680-693, 2008.
11. Binici B., Ozcebe G., Ozcelik R., Analysis and design of FRP composites for seismic retrofit of infill walls in reinforced concrete frames, *Composites Part B*, 8 (5-6), 575-583, 2007.
12. Triantafyllou T.C., Strengthening of masonry structures using epoxy-bonded FRP laminates, *J. of Compos. Constr.*, 2 (2), 96-104, 1998.
13. Erdem I., Akyuz U., Ersoy U., Ozcebe G., An experimental study on two different strengthening techniques for RC frames, *Eng. Struct.*, 28 (13), 1843-1851, 2006.
14. Baran M., Tankut T., Experimental study on seismic strengthening of reinforced concrete frames by precast concrete panels, *ACI Struct. J.*, 108 (2), 227-237, 2011.
15. Frosch R.J., Li W., Jirsa J.O., Kreger M.E., Retrofit of non-ductile moment-resisting frames using precast infill wall panels, *Earthquake Spectra*, 12 (4), 741-760, 1996.
16. Farooq S.H., Ilyas M., Ghaffar A., Technique for strengthening of masonry wall panels using steel strips, *Asian J. Civil Eng.*, 7 (6), 621-638, 2006.
17. Aykaç B., Özbek E., Babayani R., Baran M., Aykaç S., Seismic strengthening of infill walls with perforated steel plates, *Eng. Struct.*, 152, 168-179, 2017.
18. Özbek E., Delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş tuğla duvarların çerçeve davranışı üzerindeki etkisi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2015.
19. Özbek E., Aykaç B., Can H., Kalkan İ., Aykaç S., Recommendations for calculation of strengthened brick walls with perforated plates, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (1), 1-15, 2019.

20. Veladi H., Armaghani A., Davaran A., Experimental investigation on cyclic behavior of steel shear walls, *Asian J. Civil Eng.*, 8 (1), 63-75, 2007.
21. Shin H.M., Lee H.D., Shin, K.J., Shaking table test and analysis of reinforced concrete frame with steel shear wall with circular opening and slit damper, *Int. J. Steel Struct.*, 18 (4), 1420-1430, 2018.
22. Zeynalian M., Ronagh H.R., Seismic performance of cold formed steel walls sheathed by fibre-cement board panels, *J. Constr. Steel Res.*, 107, 1-11, 2015.
23. Niari S.E., Rafezy B., Abedi K., Seismic behavior of steel sheathed cold-formed steel shear wall: experimental investigation and numerical modeling, *Thin Walled Struct.*, 96, 337-347, 2015.
24. Türkiye bina deprem yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018.
25. TS500, Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
26. Kaltakci M.Y, Ozturk, M., An experimental study on the strengthening of non-ductile reinforced concrete frames via external shear Wall, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 16 (1), 59-76, 2012.
27. Bahadır, F., Düzlem dışı perde duvarla güçlendirilmiş deprem davranışı yetersiz betonarme çerçevelerin davranışına pencere boşluklarının etkisi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2012.
28. Balık, F.S, Bahadır, F., Experimental studies on 1/5 scaled reinforced concrete frames by using different strengthened methods, *Konya Journal of Engineering Sciences*, 7 (3), 663-680, 2019.
29. Balık, F.S, Bahadır, F., Investigation of short column behaviors at 1/5 scaled reinforced concrete frames using different strengthening methods, *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9 (1), 433-445, 2019.
30. Li X., Xu Z., Bao Y., Cong Z., Post-fire seismic behavior of two-bay two-story frames with high-performance fiber-reinforced cementitious composite joints, *Eng. Struct.*, 183, 150-159, 2019.
31. Sevil T., Baran M., Bilir T., Canbay E., Use of steel fiber reinforced mortar for seismic strengthening, *Constr. Build. Mater.*, 25 (2), 892-899, 2011.
32. Kara M.E., Sünek olmayan betonarme çerçevelerin betonarme parçasal dolgu duvarlarıyla güçlendirilmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.
33. Lee H.S., Woo S.W., Effect of masonry infills on seismic performance of a 3-storey R/C frame with non-seismic detailing, *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, 31 (2), 353-378, 2002.

