SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg., c.6, s.2, ss. 279-295, 2018
Selcuk Univ. J. Eng. Sci. Tech., v.6, n.2, pp. 279-295, 2018
ISSN: 2147-9364 (Electronic)
DOI: 10.15317/Scitech.2018.133

PENCERE BOŞLUKLU PERDE DUVARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ 1/3 ÖLÇEKLİ BETONARME ÇERÇEVELERİN DAVRANIŞI

[1]Fatih Süleyman BALIK, [2]Fatih BAHADIR, [3]Mehmet KAMANLI, [4]Hasan Hüsnü KORKMAZ, [5]Alptuğ ÜNAL, [6]M. Yaşar KALTAKCI

[1,2]Necmettin Erbakan Üniversitesi, Ereğli Kemal Akman Meslek Yüksek Okulu, Ereğli, KONYA
[3,4,5]Selcuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kampüs, KONYA
[6]Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kampüs, GAZİANTEP
[1]fsbalik@konya.edu.tr, [2]fbahadir@konya.edu.tr, [3]mkamanli@selcuk.edu.tr, [4]hhk73@selcuk.edu.tr
[5]alptugunal@selcuk.edu.tr, [6]mykaltakci@hku.edu.tr

(Geliş/Received: 24.07.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 27.09.2017)

ÖZ: Bu deneysel çalışmada, 1/3 ölçekli, tek açıklıklı, iki katlı, 6 adet betonarme çerçeve üretilmiş ve pencere boşluklu veya boşluksuz dolgu duvar ile güçlendirilerek davranışları araştırılmıştır. Bu deney numuneleri depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Deney numuneleri Türkiye'deki betonarme yapılarda çoğunlukla gözlemlenen eksiklikleri yansıtacak şekilde üretilmiştir. İlk deney numunesi güçlendirme uygulaması yapılmamış referans numunedir. Diğer numuneler ise farklı pencere boşluk oranlarına ve konumuna sahip betonarme dolgu duvarlı numunelerdir. Yapılan deneylerin sonuçları betonarme dolgu duvarların, dayanım, rijitlik ve enerji tüketme üzerindeki etkilerini ortaya koyacak şekilde değerlendirilmiştir. Deney sonuçları, betonarme dolgu duvarlı numunelerin, referans numuneden daha fazla yatay yük dayanımına, enerji tüketimine ve rijitliğe sahip olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: *Betonarme çerçeve, Deprem davranışı, Güçlendirme, Tersinir-tekrarlanır yatay yükleme*

The Behavior of Strengthening 1/3 Scaled Reinforced Concrete Frames by Using Reinforced Concrete Shear Walls with Openings

ABSTRACT: In this experimental study, 1/3 scaled, one-bay/two-storey, six reinforced concrete frames were constructed and tested to investigate the behavior of frames strengthened by introducing infills with or without openings. The test specimens were subjected to reversed cyclic loading simulating the seismic action. The specimens were constructed with the most commonly observed deficiencies in residential reinforced concrete buildings in Turkey. The first specimen was the reference specimen and contained no strengthening. The other specimens were infilled with reinforced concrete panels with openings having different ratios and configurations. Experimental results were evaluated to understand the effect of reinforced concrete infill wall on strength, stiffness and energy dissipation. The experimental results indicated that infilled RC frames shown higher lateral strength, energy dissipation and stiffness than the reference specimen considerably.

Key Words: *Reinforced concrete frame, Seismic behavior, Strengthening, Reversed cyclic lateral loading*

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Türkiye jeolojik yapısı itibariyle deprem riski yüksek olan ülkeler arasında yer almaktadır. Bu riskle beraber Türkiye nüfusunun ve büyük sanayi merkezlerinin de önemli bir çoğunluğunun deprem tehdidi

altında olduğunu Türkiye Deprem Bölgeleri haritası açık bir şekilde ortaya koymaktadır (Özcebe ve diğ., 2003; Özmen ve Nurlu, 1999). Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre Türkiye'de yaklaşık 15 milyon yapı stoğu bulunmaktadır. Bu yapı stoğunun çoğu sünek olmayan betonarme çerçeveli yapılardan oluşmakta ve bunların yaklaşık %13'ü de gerekli deprem performansını sağlayamayacak düzeydedir (Özcebe ve diğ., 2003; Erdem ve diğ., 2006; Altın, 2010). Sünek olmayan betonarme çerçeveli yapı sistemleri ise depremlerde önemli can ve mal kayıplarına neden olacak potansiyel tehlike olarak tanımlanabilir (Kara ve Altın, 2006). Yapıların deprem performansının yetersiz olamasında ise yapısal tasarım hataları, yanlış donatı detaylandırması ve düşük dayanıma sahip beton (10-15 MPa) kullanımı etkili olmaktadır (Altın ve diğ., 2008; Jayaguru ve Subramanian, 2009). Türkiye'de geçmiş yıllarda meydana gelen depremlerde yapılardaki bu eksiklik ve zayıflıklara bağlı olarak betonarme yapılarda önemli yapısal hasarların oluştuğu hatta yapıların tamamen yıkıldığı görülmüştür (Kara ve Altin, 2006; Özcan ve diğ., 2008; Özcan ve diğ., 2010).

Yapıların yeterli deprem performansını sağlayabilmesi için gerekli süneklik, rijitlik ve dayanıma sahip olması gerekir (Özcebe ve diğ., 2003). Gelecekte meydana gelebilecek depremlerde can ve mal kayıplarını azaltabilmek için deprem davranışı yetersiz mevcut yapıların güçlendirilmesi oldukça önemlidir (Özcebe ve diğ., 2003). Özellikle deprem riski yüksek olan ülkelerde, yapıların yatay yük taşıma kapasitelerinin yapısal güçlendirme çalışmalarıyla artırılması zorlayıcı bir konudur. Güçlendirme çalışmalarında genel olarak yapı sisteminin veya yapı elemanın dayanım, süneklik ve rijitlik özelliklerinin artırılması amaçlanmaktadır (Anıl ve Altın, 2007). Türkiye'de 1968 yılından itibaren, betonarme çerçeveli yapıların güçlendirilmesi ile ilgili birçok deneysel çalışma yapılmıştır (Ersoy, 2007). Yapılan bu çalışmalar neticesinde, yapıların güçlendirilmesi konusunda çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu güçlendirme yöntemlerinden etkinliği kanıtlanmış olanların birçoğu DBYBHY 2007'de yerini almıştır. Türkiye'de mevcut betonarme çerçevelere, yerinde dökme betonarme perde duvar ekleme ile yapılan güçlendirme yöntemi yaygın olarak tercih edilmektedir (Akyüz ve Özdemir, 2004). Yerinde dökme betonarme perde duvar ekleme ile güçlendirme yöntemi ile ilgili değişik parametrelere bağlı olarak birçok deneysel çalışma yapılmıştır (Anıl ve Altın, 2007; Ersoy ve Uzsoy, 1971; Phan ve Lew, 1996). Daha önce yapılmış olan bu deneysel çalışmaların çoğunda betonarme dolgu duvarlar çerçeve içini tamamen doldurmaktadır. Ancak uygulamada sıkça kullanılan parçasal dolgu duvar yâda boşluklu dolgu duvarla güçlendirilen betonarme çerçevelerle ilgili az sayıda deneysel çalışmaya rastlanmaktadır (Kara, 2006; Anıl, 2002).

Hazırlanan bu çalışmada da; deprem davranışı yetersiz, mevcut yapıların özelliklerini yansıtabilecek özellikte 6 adet numune laboratuvar ortamında üretilmiştir. Deneyler için üretilen bu numunelerden 4 adedi çeşitli boyuttaki pencere boşluklarına sahip betonarme dolgu duvarlarıyla, 1 adedi boşluksuz betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiş ve 1 adedi ise dolgu duvarsız bırakılarak referans numune olarak kullanılmıştır. Çalışma kapsamında üretilen bu deney numuneleri, tersinir-tekrarlanır yükler altında test edilmiş ve betonarme dolgu duvarında bırakılan pencere boşluğu boyutunun ve konum değişiminin, numunelerin davranışını nasıl etkilediği araştırılmıştır.

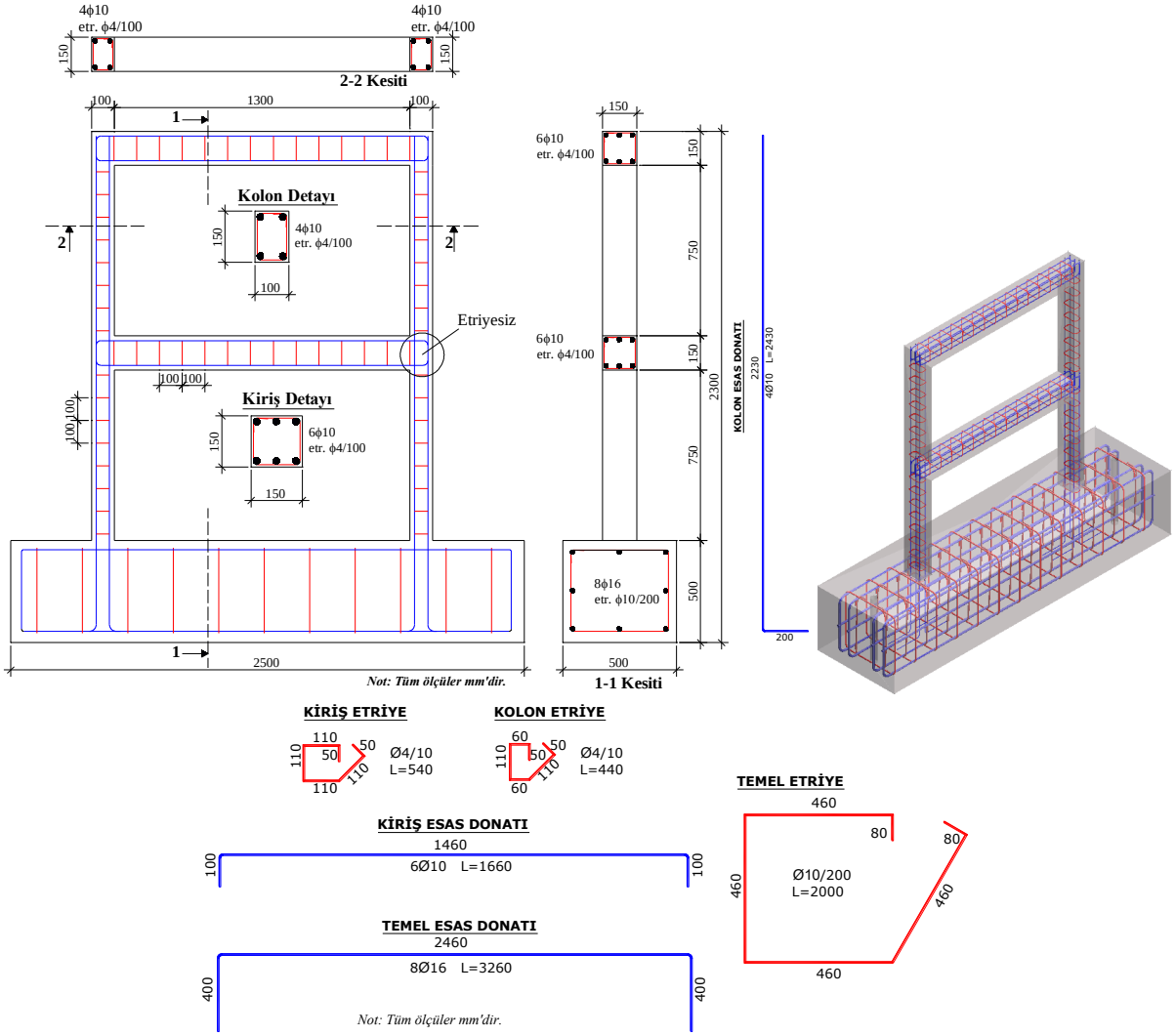
MATERYAL ve YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Deney Numunelerinin Detayları (Details of Test Specimens)

Bu deneysel araştırmada; 1/3 ölçekli, tek açıklıklı ve iki katlı 6 adet numune Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Araştırma Laboratuvarında yatay olarak üretilmiştir. Üretilen bu numunelerin hepsinde betonarme çerçeve geometrisi ve donatı özellikleri aynıdır (Şekil 1). Betonarme çerçevelerin kolon, kiriş etriyelirinde düz yüzeyli donatı (S220), diğer elemanlarının donatılarında ise nervürlü donatı (S420) kullanılmıştır. Betonarme çerçevelerin beton kalitesinin aynı olabilmesi için hazır beton kullanımış ve bütün çerçevelerin betonu aynı anda dökülmüştür. Deney numunelerinin betonarme çerçeveleri, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007) ve Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TS 500)'de

belirtilen bazı kurallara aykırı olarak üretilmiştir. Numunelerin bu şekilde üretilmesinde Türkiye'de betonarme yapılarda sıkça rastlanan kusur ve zayıflıkların numunelere yansıtılabilmesi amaçlanmıştır (Yılmaz ve diğ., 2010). Deney numunelerinin betonarme çerçevelerinde oluşturulan kusur ve zayıfklıklar şunlardır;

1. Beton dayanımının düşük olması,
2. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırmasının olmaması,
3. Kolon-kiriş birleşim bölgesi içinde etriye bulunmaması,
4. Etriye kancalarının 90° olması.

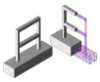
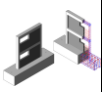
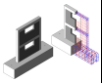
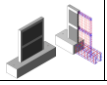


Şekil 1. Betonarme çerçevelerin boyut ve donatı detayları
Figure 1. *Dimensional and reinforcement details of the RC frames*

Çalışma kapsamında yer alan deney numuneleri, test edilme sırasına göre Çizelge 1'de verilmiştir. Deneyler için üretilen dolgu duvarsız betonarme çerçeve referans numunedir. Diğer deney numunelerinden 4 adedi çeşitli boyuttaki pencere boşluklarına sahip betonarme dolgu duvarlarıyla, 1 adedi ise boşluksuz betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiştir. Dolgu duvarlarda pencere boşluklarının boyutları ve yerleşim şekilleri belirlenirken, genel olarak yapılarda uygulanan pencere özelliklerini yansıtabilmek amaçlanmıştır. Deney numunelerindeki pencere özelliklerine benzer ve mevcut yapılarda uygulamaları olan pencerelere ait bazı fotoğraflar Şekil 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Deney numunelerinin özellikleri

Table 1. *Properties of test specimens*

	Deney Numunesi		B/A Perde Duvar				Beton ortalama basınç dayanımı f_{cm} (MPa)	
			Kalınlık bw (mm)	Uzunluk lw (mm)	Yükseklik Hw (mm)	Pencere boyutu (mm)	Çerçeve üretiminde	Güçlendirme işlemlerinde
1	**Referans numune (RS)**		-	-	-	-	17.3	-
2	**B/A dolgu duvarlı kenarda büyük pencereli (ISWSBW)**		**70**	**1300**	**750**	**600x350**	**17.3**	**25.7**
3	**B/A dolgu duvarlı ortada küçük pencereli (ISWMSW)**		70	1300	750	400x350	17.3	25.7
4	**B/A dolgu duvarlı kenarda küçük pencereli (ISWSSW)**		70	1300	750	400x350	17.3	25.7
5	**B/A dolgu duvarlı ortada büyük pencereli (ISWMBW)**		70	1300	750	600x350	17.3	25.7
6	**Tam B/A dolgu duvarlı (ISWF)**		70	1300	750	-	17.3	25.7

Şekil 2. Türkiye'de mevcut yapılarda uygulanan bazı pencere çeşitleri

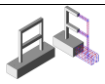
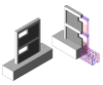
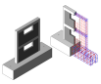
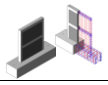
Figure 2. *Some types of windows applied at the Turkish existing structures*

Betonarme dolgu duvarlarıyla güçlendirme yapılan numunelerde, dolgu duvar kalınlığı 70 mm seçilmiş ve dolgu duvarın her iki yüzünde olmak üzere gövde donatısı olarak Q188/188 tipi hasır çelik kullanılmıştır. Betonarme dolgu duvarlarında kullanılan gövde donatısı oranları tek kat için Çizelge 2'de verilmiştir. Betonarme çerçeve içerisine eklenen dolgu duvarın, çerçeve ile birlikte çalışabilmesi için ankraj çubuğu olarak ϕ10 mm çapında nervürlü donatı kullanılmıştır. Betonarme dolgu duvarla

güçlendirilmiş 5 adet numunede kullanılan, ankraj donatısı oranları Çizelge 3'de verilmiştir. Güçlendirilmiş numunelere ait ankraj donatısı, gövde donatısı ve boyut detayları ise Şekil 3'de verilmiştir.

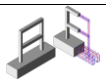
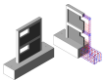
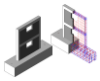
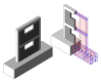
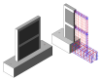
Çizelge 2. Gövde donatısı oranları

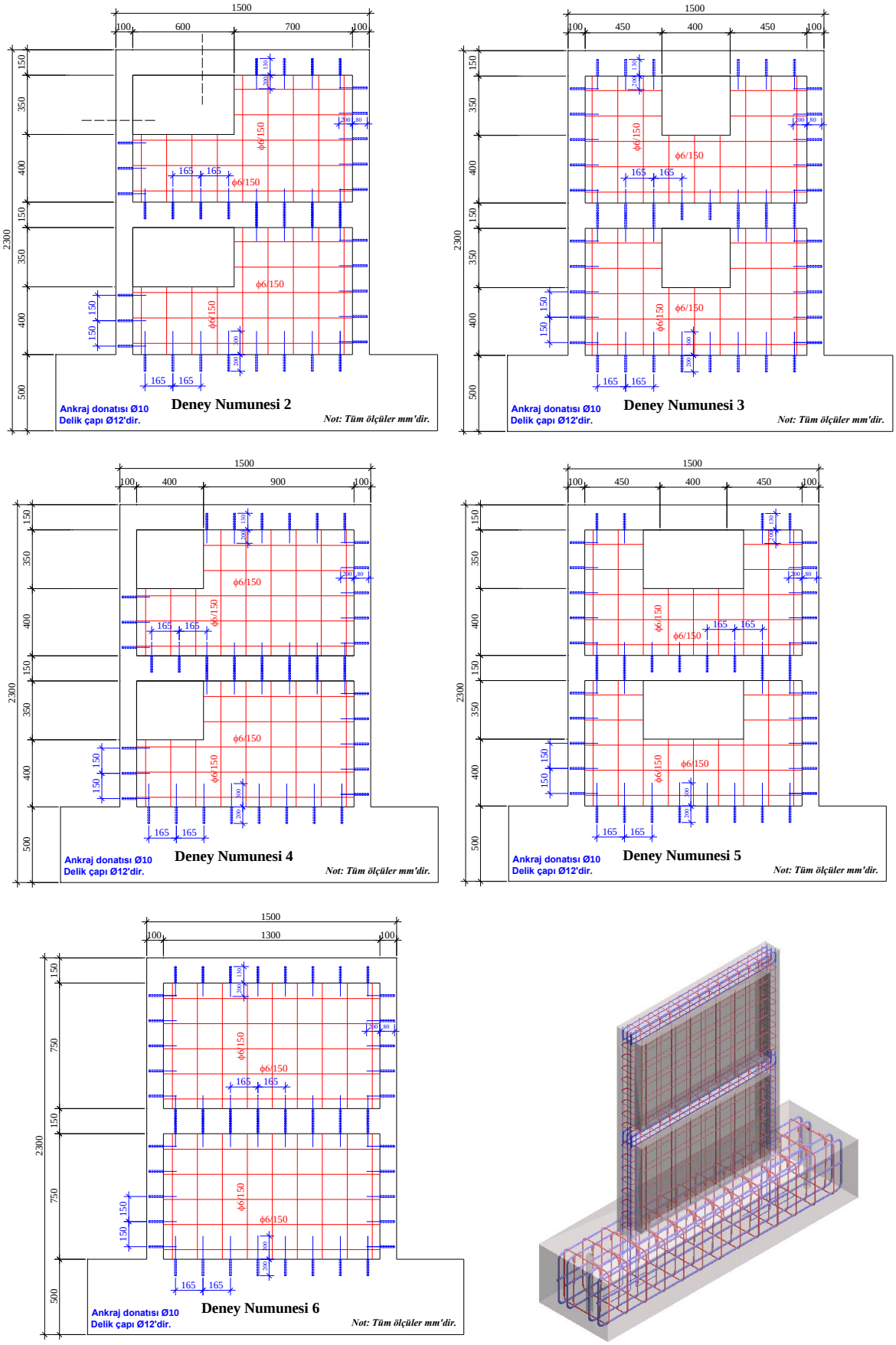
Table 2. *Infill reinforcement ratios*

Deney Numunesi		Düşey Donatı			Yatay Donatı		
		Pencere alt kısmında	Tam perde kısmında	ρd	Pencere kısmında	Tam perde kısmında	ρy
1	**Referans numune (RS)** 	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-
2	**B/A dolgu duvarlı kenarda büyük pencereli (ISWSBW)** 	8ϕ6	10ϕ6	0.0056	4ϕ6	6ϕ6	0.0054
3	**B/A dolgu duvarlı ortada küçük pencereli (ISWMSW)**	6ϕ6	12ϕ6	0.0056	4ϕ6	6ϕ6	0.0054
4	**B/A dolgu duvarlı kenarda küçük pencereli (ISWSSW)**	6ϕ6	12ϕ6	0.0056	4ϕ6	6ϕ6	0.0054
5	**B/A dolgu duvarlı ortada büyük pencereli (ISWMBW)** 	10ϕ6	8ϕ6	0.0056	4ϕ6	6ϕ6	0.0054
6	**Tam B/A dolgu duvarlı (ISWF)** 	18ϕ6		0.0056	10ϕ6		0.0054

Çizelge 3. Deney numunelerinde kullanılan ankraj donatısı oranları

Table 3. *The dowel ratios used at the test specimens*

Deney Numunesi		Kolonlarda		ρ kolon		Kirişlerde	ρ kiriş
		Sağ	Sol	Sağ	Sol		
1	**Referans numune (RS)** 	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-
2	**B/A dolgu duvarlı kenarda büyük pencereli (ISWSBW)** 	3ϕ10	5ϕ10	0.0084	0.0075	4ϕ10	0.0064
		3ϕ10	5ϕ10	0.0084	0.0075	8ϕ10	0.0069
						4ϕ10	0.0064
3	**B/A dolgu duvarlı ortada küçük pencereli (ISWMSW)** 	5ϕ10	5ϕ10	0.0075	0.0075	6ϕ10	0.0075
		5ϕ10	5ϕ10	0.0075	0.0075	8ϕ10	0.0069
						6ϕ10	0.0075
4	**B/A dolgu duvarlı kenarda küçük pencereli (ISWSSW)**	3ϕ10	5ϕ10	0.0084	0.0075	6ϕ10	0.0075
		3ϕ10	5ϕ10	0.0084	0.0075	8ϕ10	0.0069
						6ϕ10	0.0075
5	**B/A dolgu duvarlı ortada büyük pencereli (ISWMBW)** 	5ϕ10	5ϕ10	0.0075	0.0075	4ϕ10	0.0064
		5ϕ10	5ϕ10	0.0075	0.0075	8ϕ10	0.0069
						4ϕ10	0.0064
6	**Tam B/A dolgu duvarlı (ISWF)** 	5ϕ10	5ϕ10	0.0075	0.0075	8ϕ10	0.0069
		5ϕ10	5ϕ10	0.0075	0.0075	8ϕ10	0.0069
						8ϕ10	0.0069



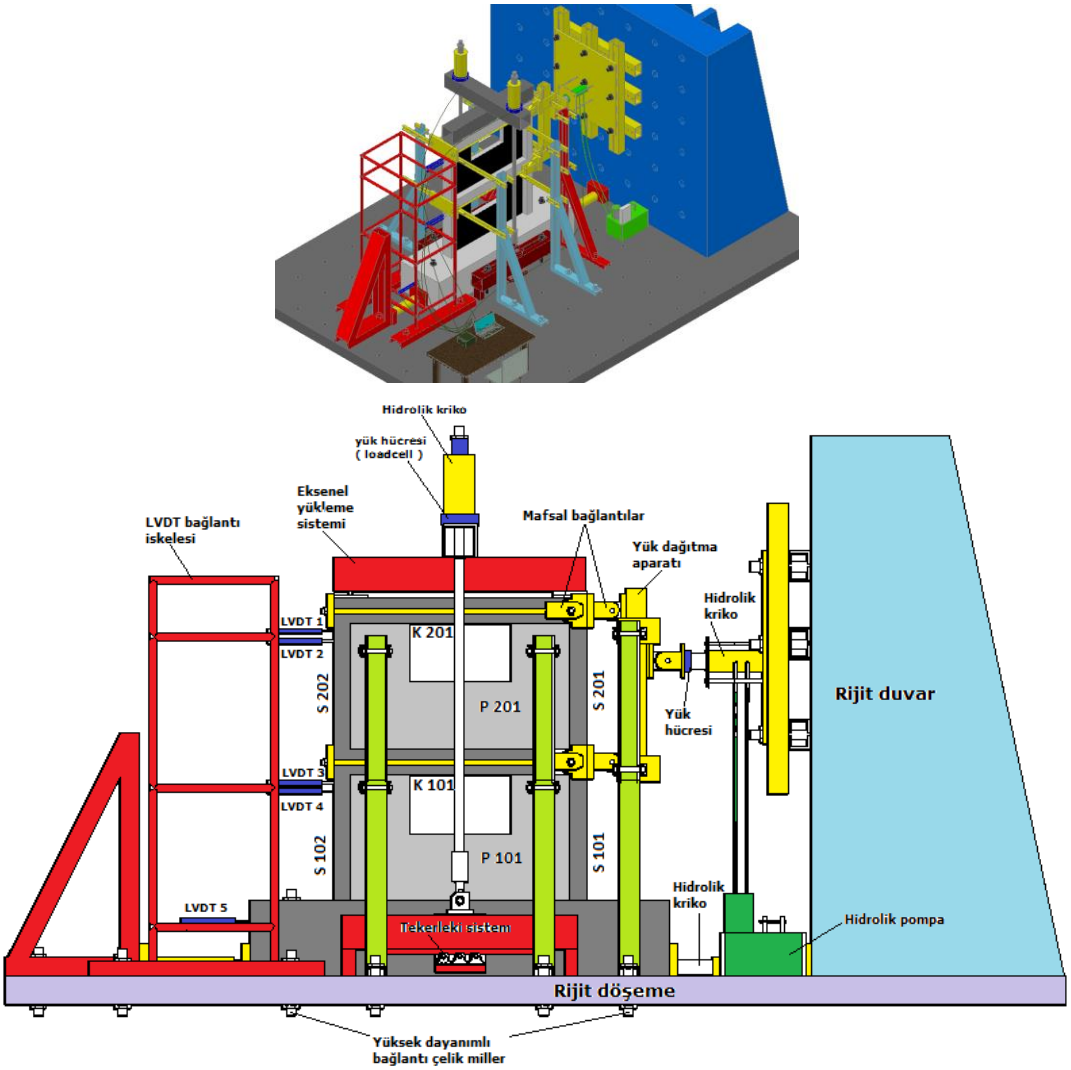
Şekil 3. Güçlendirilmiş numunelerin boyut ve donatı detayları

Figure 3. *Details of dimensional and reinforcement of strengthened specimens*

Deney Düzeneği (Test Setup)

Deney numuneleri, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Araştırma Laboratuvarında hazırlanan deney düzeneğinde test edilmiştir. Numunelerin teslerinin gerçekleştirildiği bu deney düzeneği Şekil 4'de verilmiştir. Deneylerde ilk olarak numunelerin kolonlarına 43 kN'luk düşey yükle yapılmış ve daha sonra yatay yükleme hidrolik kriko yardımıyla itme veya çekme şeklinde numunelere uygulanmıştır. Tüm deneylerde yüklemeye önce yük kontrollü olarak başlanmış ve yük deplasman eğrisi yatay konuma geldiğinde (nominal akma sınırına ulaşıldığı zaman) deneye deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir. Deney numunelerinde büyük hasarlar meydana gelene kadar deneyler devam ettirilmiştir. Deneylerde, her çevrimden sonra numunelerde oluşan çatlaklar işaretlenerek numaralandırılmış ve fotoğraflanmıştır. Ayrıca deney sonrasında, numunelerde oluşan bu hasarlar ve çatlaklar şematik olarak bilgisayar ortamında da çizilmiştir.

Deneylerde numunelere uygulanan yüklemeler, yük ölçerler ile çerçeve sisteminde meydana gelen yer değiştirmeler ise LVDT'ler kullanılarak ölçülmüştür. Bu ölçüm aletlerinden okunan değerler, veri toplama sistemi vasıtasıyla bilgisayara aktarılmış ve kayıt altına alınmıştır. Kayıt altına alınan bu veriler ile numunelere ait histeresis eğrileri, dayanım zarf eğrileri, rijitlik eğrileri ve enerji tüketimi eğrileri oluşturulmuştur.

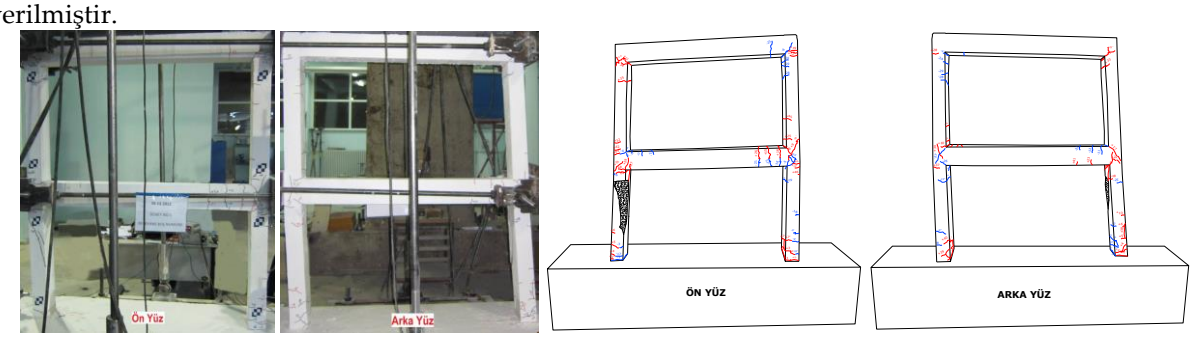


Şekil 4. Yükleme düzeneği

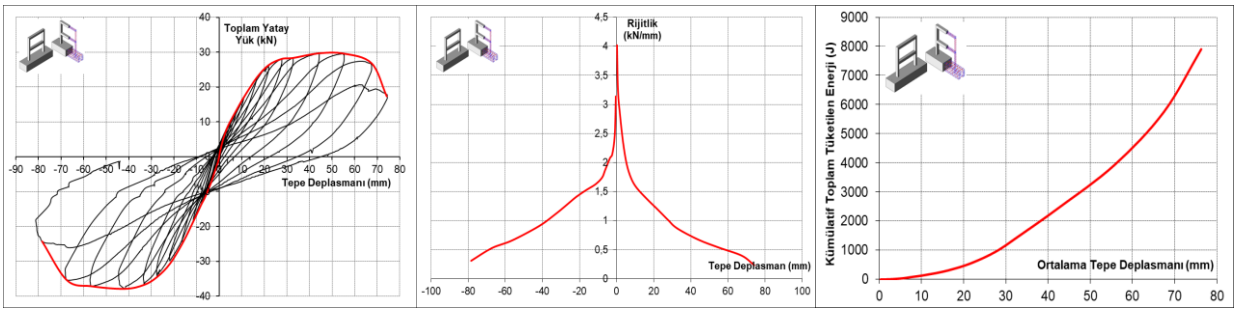
Figure 4. *Test setup*

TEST SONUÇLARI (TEST RESULTS)

Çalışmada ilk olarak referans numune (RS-Deney Numunesi 1) test edilmiştir. Deney Numunesi 1'e, 15 tam yük çevrimi uygulanmıştır. Deney Numunesi 1'in, +12 çevriminde maksimum 29.67 kN toplam yatay yüke dayandığı ve bu çevrimde 44.22 mm tepe deplasmanı yaptığı ölçülmüştür. -12 çevriminde ise 37.88 kN toplam yatay yüke dayandığı ve tepe deplasmanının da 41.74 mm olduğu görülmüştür. Deney sonunda Deney Numunesi 1'in kolon-kiriş birleşim bölgeleri ile temel ve kolonların birleşim bölgelerinde yoğun çatlaklar meydana gelmiştir (Şekil 5). Numunede meydana gelen bu hasarlara göre Deney Numunesi 1'de genel olarak güçlü kiriş-zayıf kolon davranışının olduğu gözlemlenmiştir. Deneyden elde edilen verilere göre oluşturulan, Deney Numunesi 1'e ait toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi, dayanım zarfı eğrisi, rijitlik ve enerji tüketimi eğrisi Şekil 6'da verilmiştir.

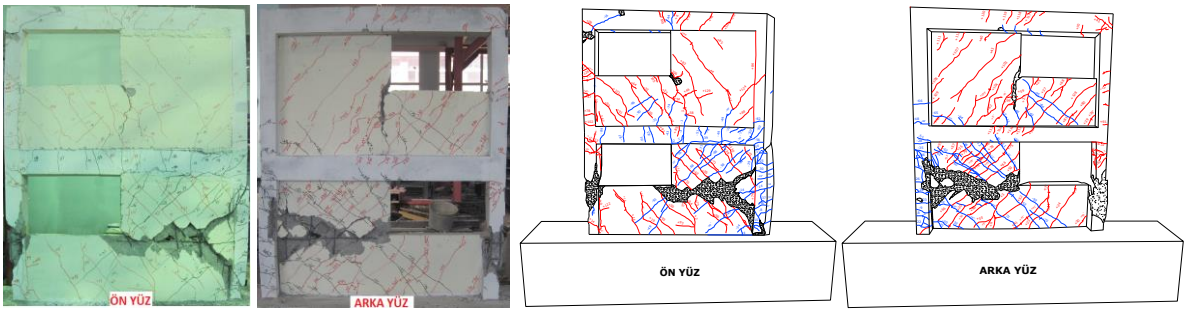


Şekil 5. Deney sonrası, Deney Numunesi 1 (RS)'nin görünümü
Figure 5. *View of Specimen 1 (RS) at the end of the test*



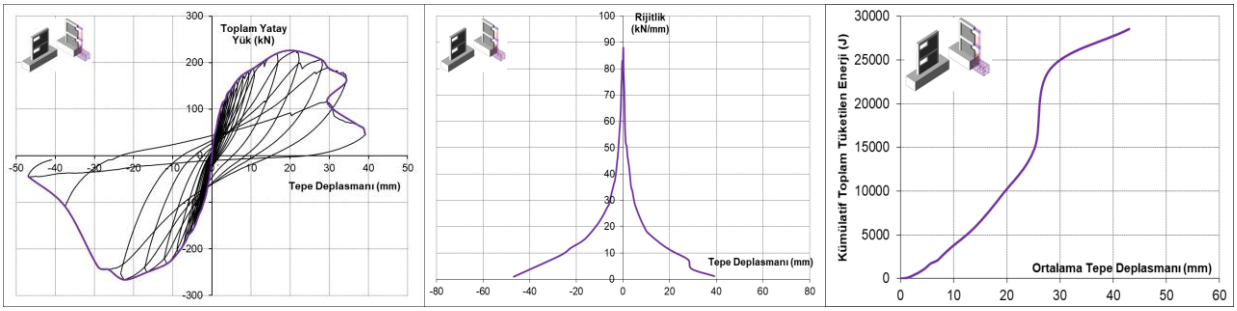
Şekil 6. Çevrimsel histeresis, dayanım zarfı, rijitlik ve enerji tüketimi eğrileri (Deney Numunesi 1)
Figure 6. *Cyclic hysteresis, envelopes, stiffnes and energy dissipation curves (Specimen 1)*

B/A dolgu duvarlı kenarda büyük pencereli Deney Numunesi 2'ye, 24 tam yük çevrimi uygulanmıştır. Deney numunesi, itmede (+20. çevrimde) maksimum 225.17 kN yatay yüke, çekmede (-22. çevrimde) maksimum 266.31 kN yatay yüke dayanmıştır. Deney Numunesi 2, +20 çevriminde 21.54 mm, -22 çevriminde 22.36 mm tepe deplasmanı yapmıştır. Deneyde; itme çevrimlerinde en fazla 39.18 mm, çekme çevrimlerinde ise en fazla 46.82 mm tepe deplasman seviyelerine kadar yükleme yapılmıştır. -24. çevrimde numunede büyük hasarlar meydana geldiği için deney sonlandırılmıştır. Numunede önemli hasarlar; S101 ve S201 kolonlarında kısa kolon davranışı şeklinde, P101 dolgu duvarında pencere boşluğu alt hizasında başlayan S102 kolonu üst uç noktası ve temel birleşimine kadar devam eden kayma çatlakları (beton ezilmeleri) şeklinde ve P201'de genel olarak oluşan kesme çatlakları şeklinde gerçekleşmiştir (Şekil 7). Deney Numunesi 2'ye ait toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi, dayanım zarfı eğrisi, rijitlik eğrisi ve enerji tüketimi eğrisi Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 7. Deney sonrası, Deney Numunesi 2 (ISWSBW)'nin görünümü

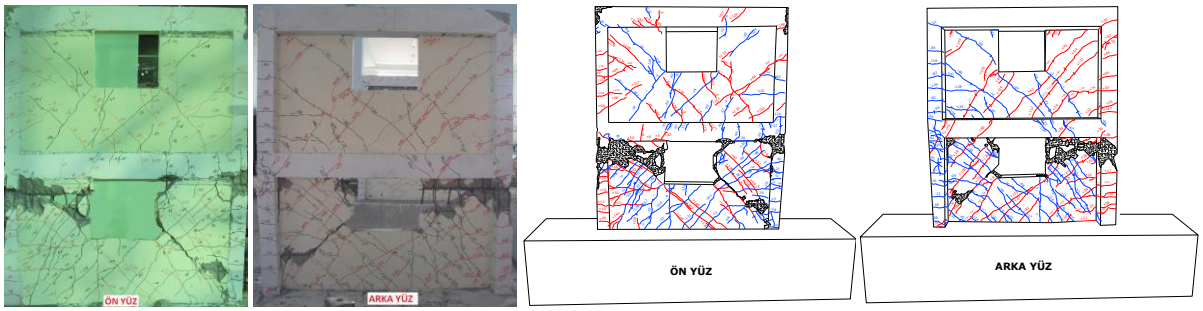
Figure 7. *View of Specimen 2 (ISWSBW) at the end of the test*



Şekil 8. Çevrimsel histeresis, dayanım zarfı, rijitlik ve enerji tüketimi eğrileri (Deney Numunesi 2)

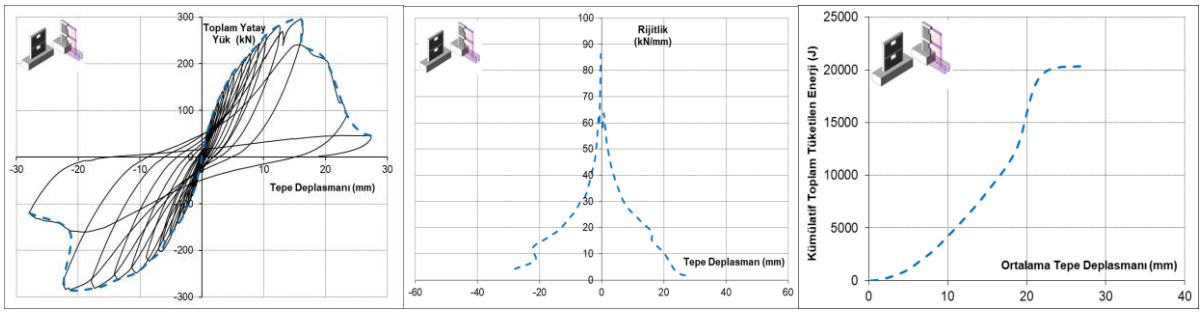
Figure 8. *Cyclic hysteresis, envelopes, stiffnes and energy dissipation curves (Specimen 2)*

B/A dolgu duvarlı ortada küçük pencereli Deney Numunesi 3'e itmede 18, çekmede 17 adet yatay yükleme yapılmıştır. Deney Numunesi 3, itmede (+15. çevrimde) maksimum 295.15 kN yatay yüke, çekmede (-14. çevrimde) maksimum 280.95 kN yatay yüke dayanmıştır. Deney Numunesi 3, +15 çevriminde 16.06 mm, -14 çevriminde ise 17.35 mm tepe deplasmanı yapmıştır. Numunede önemli hasarlar; K101 kirişi alt bölgesinden yaklaşık 10 cm aşağıda P101 dolgu duvarının pencere boşluğu üst hizasından S101 kolonuna kadar devam eden kayma çatlağı şeklinde, P101 dolgu duvarında pencere boşluğu alt hizasında başlayan S102 kolonu üst uç noktası ve temel birleşimine kadar devam eden kesme çatlakları (beton ezilmeleri) şeklinde ve P201'de yoğun bir şekilde oluşan kesme çatlakları şeklinde gerçekleşmiştir (Şekil 9). Deney Numunesi 3'e ait toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi, dayanım zarfı eğrisi, rijitlik eğrisi ve enerji tüketimi eğrisi Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 9. Deney sonrası, Deney Numunesi 3 (ISWMSW)'nin görünümü

Figure 9. *View of Specimen 3 (ISWMSW) at the end of the test*



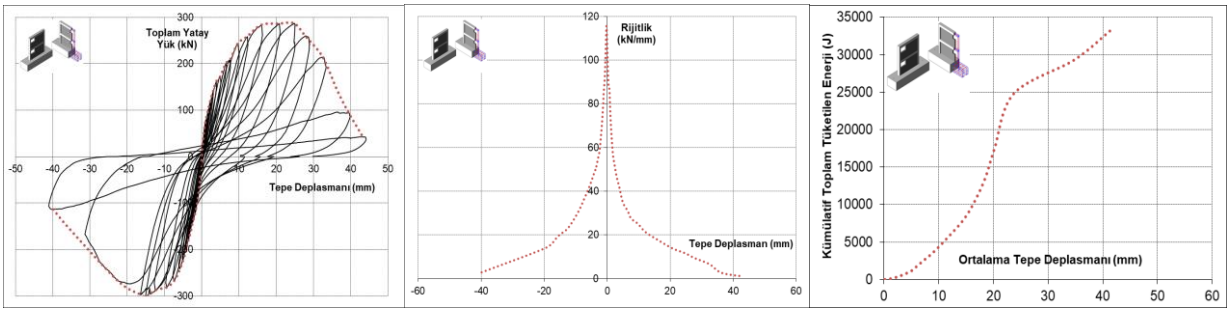
Şekil 10. Çevrimsel histeresis, dayanım zarfı, rijitlik ve enerji tüketimi eğrileri (Deney Numunesi 3)

Figure 10. *Cyclic hysteresis, envelopes, stiffnes and energy dissipation curves (Specimen 3)*

B/A dolgu duvarlı kenarda küçük pencereli Deney Numunesi 4'ün deneyinde numuneye, 20 tam yük çevrimi uygulanmıştır. Deney numunesi 4'ün, +16. itme çevriminde maksimum 286.87 kN toplam yatay yüke dayandığı ve bu çevrimde numunede tepe deplasman değerinin 24.80 mm olduğu görülmüştür. -18. Çekme çevriminde ise numunenin 302.73 kN toplam yatay yüke dayandığı ve tepe deplasmanının da 15.01 mm olduğu görülmüştür. -20 çekme çevrimden sonra numunede büyük hasarlar meydana geldiği için deney sonlandırılmıştır. Numunede önemli hasarlar; P101 ve P202 dolgu duvarlarının kiriş ile birleşim bölgelerinde önemli derecede beton ezilmeleri şeklinde, S102 temel birleşimi uç bölgesinde kolon betonunun ezilmesi şeklinde, S201-K201 kiriş birleşim bölgesinde plastik mafsal oluşumu şeklinde, S101 ve S201 kolonlarında kısa kolon davranışı şeklinde gerçekleşmiştir (Şekil 11). Deney Numunesi 4'e ait toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi, dayanım zarfı eğrisi, rijitlik eğrisi ve enerji tüketimi eğrisi Şekil 12'de verilmiştir.

Şekil 11. Deney sonrası, Deney Numunesi 4 (ISWSSW)'nin görünümü

Figure 11. *View of Specimen 4 (ISWSSW) at the end of the test*

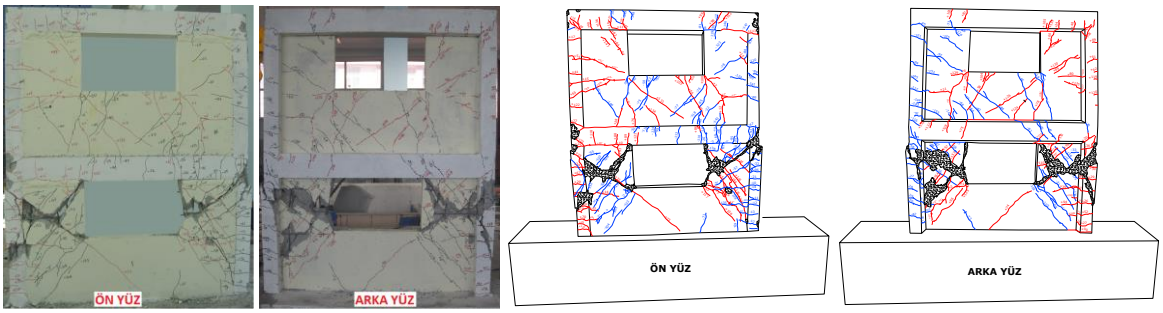


Şekil 12. Çevrimsel histeresis, dayanım zarfı, rijitlik ve enerji tüketimi eğrileri (Deney Numunesi 4)

Figure 12. *Cyclic hysteresis, envelopes, stiffnes and energy dissipation curves (Specimen 4)*

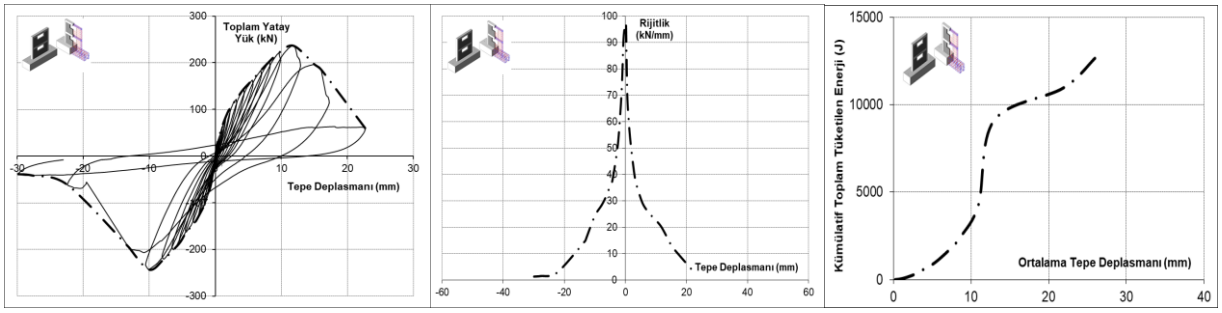
B/A dolgu duvarlı ortada büyük pencereli Deney Numunesi 5'in deneyinde numuneye, 14 tam yük çevrimi uygulanmıştır. Deney numunesi 5, 12. çevrimlerde, itmede maksimum 236.27 kN yatay yüke, çekmede maksimum 243.10 kN yatay yüke dayanmıştır. Deney numunesi 5, +12 itme çevriminde 11.87 mm, -12 çekme çevriminde ise 10.08 mm tepe deplasmanı yapmıştır. Numunede meydana gelen önemli hasarlar; P101'de pencere boşluğunun her iki tarafında önemli kesme çatlakları, S101-K201 kiriş birleşim

bölgesinde plastik mafsal oluşumu şeklinde, P201'de yoğun bir şekilde oluşan kesme çatlakları, S101 ve S102 kolonlarında kısa kolon davranışı şeklindedir (Şekil 13). Deney Numunesi 5'e ait toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi, dayanım zarfı eğrisi, rijitlik eğrisi ve enerji tüketimi eğrisi Şekil 14'de verilmiştir.



Şekil 13. Deney sonrası, Deney Numunesi 5 (ISWMBW)'nin görünümü

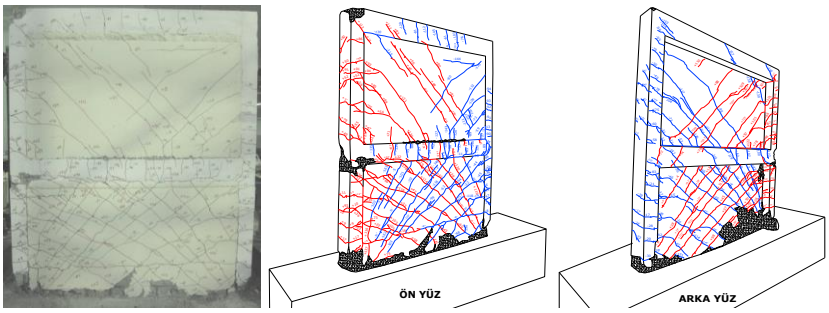
Figure 13. *View of Specimen 5 (ISWMBW) at the end of the test*



Şekil 14. Çevrimsel histeresis, dayanım zarfı, rijitlik ve enerji tüketimi eğrileri (Deney Numunesi 5)

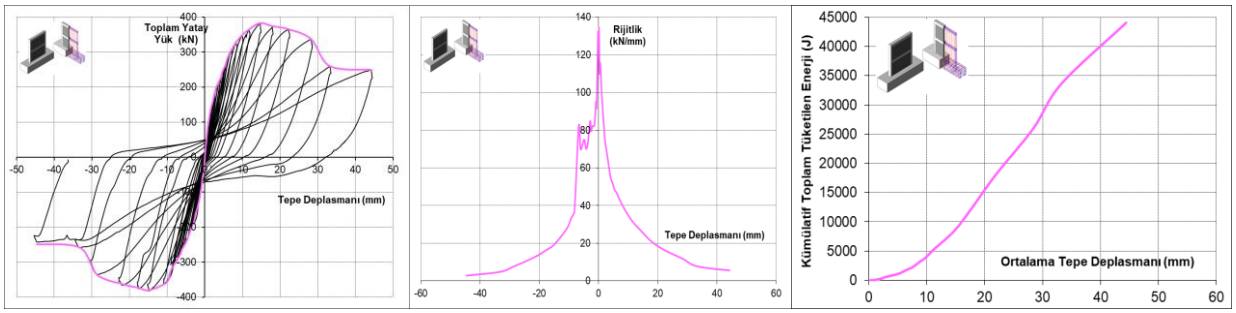
Figure 14. *Cyclic hysteresis, envelopes, stiffnes and energy dissipation curves (Specimen 5)*

Çalışma kapsamında en son Tam B/A dolgu duvarlı (ISWF-Deney Numunesi 6)'nın testi gerçekleştirilmiştir. Deney numunesi 6'ya, 24 tam yük çevrimi uygulanmıştır. Deney numunesi 6, 19. çevrimlerde, itmede maksimum 382.62 kN yatay yüke, çekmede maksimum 379.98 kN yatay yüke dayanmıştır. Deney numunesi 6'nın, +19. çevrimde ölçülen tepe deplasmanı 14.66 mm, -19. çevrimde ise 14.88 mm'dir. Deney umune 6'da meydana gelen önemli hasarlar; S101 ve S102 kolonlarının alt uç bölgesinde betonun ezilmesinden dolayı buna bağlı olarakta kolon boyuna donatılarında önemli burkulmaların oluşması şeklinde ve P101 dolgu duvarının temel birleşimi bölgesinde önemli derecede beton ezilmesi şeklindedir (Şekil 15). Deney Numunesi 6'ya ait toplam yatay yük-tepe deplasmanı çevrimsel histeresis eğrisi, dayanım zarfı eğrisi, rijitlik eğrisi ve enerji tüketimi eğrisi Şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 15. Deney sonrası, Deney Numunesi 6 (ISWF)'nin görünümü

Figure 15. *View of Specimen 6 (ISWF) at the end of the test*



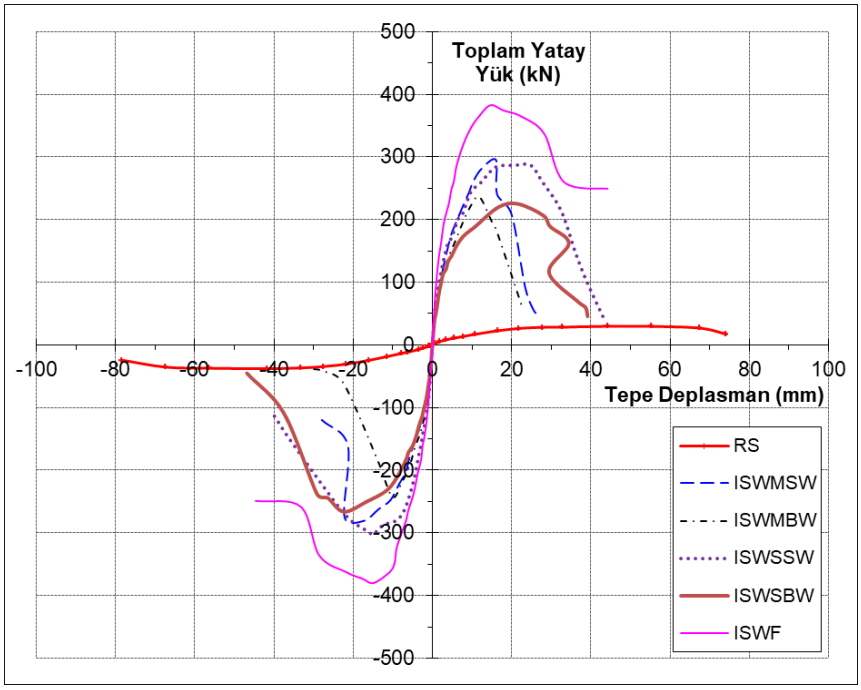
Şekil 16. Çevrimsel histeresis, dayanım zarfı, rijitlik ve enerji tüketimi eğrileri (Deney Numunesi 6)

Figure 16. *Cyclic hysteresis, envelopes, stiffnes and energy dissipation curves (Specimen 6)*

TEST SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI (COMPARISON of TEST RESULTS)

Dayanımların Karşılaştırılması (Comparison of Strengths)

Çalışmada deneyleri yapılan 6 adet numuneye ait toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrileri Şekil 17'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre betonarme dolgu duvarıyla güçlendirilen numunelerin, Referans Numuneye göre itme ve çekme yönlerinde yatay yük taşıma kapasitelerindeki artış oranları ise Çizelge 4'de verilmiştir. Çizelge 4'den de görüldüğü üzere deney numuneleri arasında en fazla yatay yükü tam B/A dolgu duvarlı numune (ISWF) taşımıştır (382.62kN). Tam B/A dolgu duvarlı numuneye göre; betonarme dolgu duvarında %14.36'lık pencere boşluğu olan ISWSSW ve ISWMSW numuneleri ortalama %24, betonarme dolgu duvarında %21.54'lük pencere boşluğu olan ISWSBW ve ISWMBW numuneleri ise ortalama %40 daha az yatay yüke dayanım göstermişlerdir (itme yönü için).



Şekil 17. Deney numunelerinin zarf eğrileri

Figure 17. *Envelope curves of test specimens*

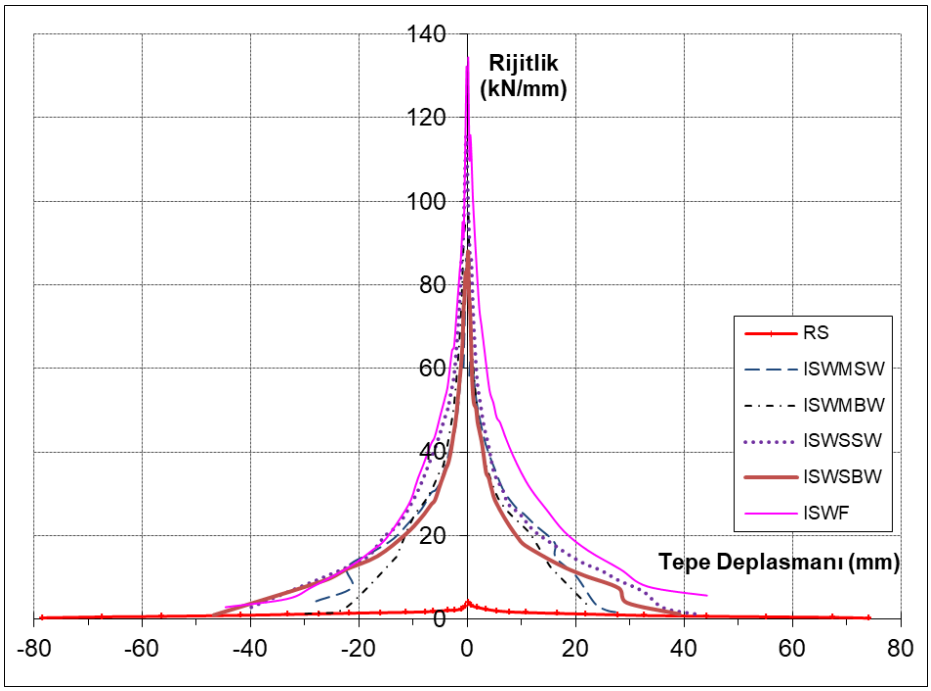
Çizelge 4. Güçlendirilmiş numunelerinin yatay yük taşıma kapasitelerinin RS'ye oranları

Table 4. *Ratios of maximum lateral load capacities of strengthened frames to RS*

Deney numunesi		Max. yatay yük için tepe deplasmanı (mm)		Toplam yatay yüke göre: Max. yatay yük (kN)		Toplam yatay yüke göre: Yatay yük taşıma artış oranları (%)		Toplam yatay yüke göre: Yatay yük taşıma artış oranları		Max. yatay yükte yatay ötelenme oranları (itme yönü)	
		İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme	1. Kat	2. Kat
1	RS	44.22	-41.74	29.67	-37.88	0	0	1	1	0.033	0.020
2	**ISWSBW**	**21.54**	**-22.36**	**225.17**	**-266.31**	**659**	**603**	**7.59**	**7.03**	**0.010**	**0.009**
3	ISWMSW	16.06	-17.35	295.15	-280.95	895	642	9.95	7.42	0.012	0.007
4	**ISWSSW**	**24.80**	**-15.01**	**286.87**	**-302.73**	**867**	**699**	**9.67**	**7.99**	**0.013**	**0.017**
5	ISWMBW	11.87	-10.08	236.27	-243.1	696	542	7.96	6.42	0.007	0.006
6	**ISWF**	**14.66**	**-14.88**	**382.62**	**-379.98**	**1190**	**903**	**12.90**	**10.03**	**0.010**	**0.007**

Rijitliklerin Karşılaştırılması (Comparison of Stiffnesses)

Deney numunelerine ait rijitlik azalımı grafikleri Şekil 18'de verilmiştir. Referans numuneye göre hesaplanan rijitlik azalımı oranları ise Çizelge 5'de verilmiştir.



Şekil 18. Deney numunelerinin rijitlik eğrileri

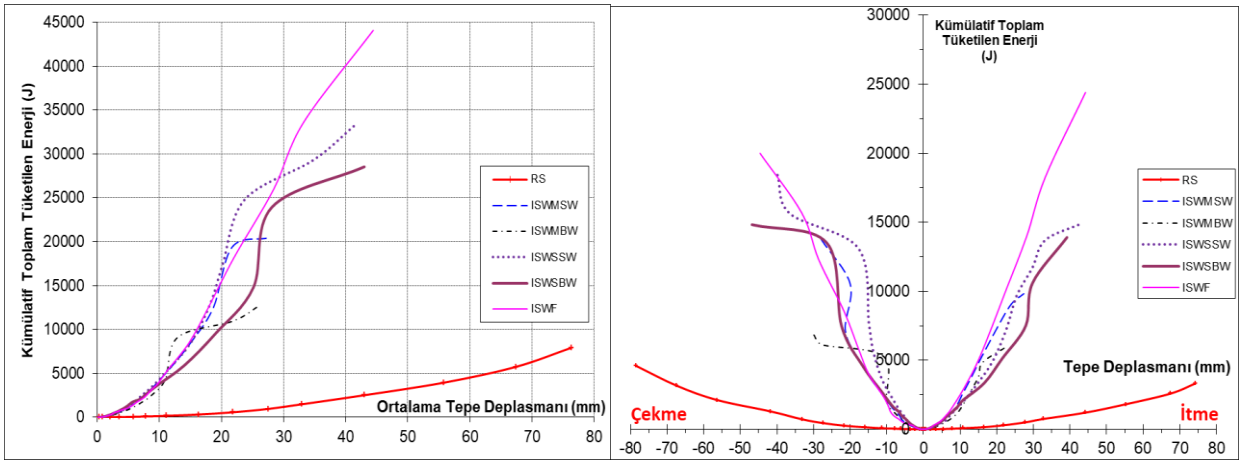
Figure 18. *Stiffness curves of test specimens*

Çizelge 5. Deney numunelerine ait rijitlik değerleri ve rijitlik oranları
Table 5. *Stiffness values of test specimens and stiffness ratios*

Deney numunesi			Rijitlik Değerleri (kN/mm)				Rijitlik Oranları				Rijitlik Azalımı Oranları 1. çevrimdeki/max. yükteki	
			1. çevrimdeki		Max. yükteki		1. çevrimdeki		Max. yükteki			
			İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme
1	RS		4.02	3.14	0.67	0.91	1	1	1	1	6,00	3,45
2	**ISWSBW**		**88.04**	**79.51**	**10.46**	**11.91**	**21.90**	**25.32**	**15.61**	**13.09**	**8,42**	**6,68**
3	ISWMSW		58.25	86.28	18.38	16.20	14.49	27.48	27.43	17.80	3,17	5,33
4	**ISWSSW**		**96.54**	**115.25**	**11.57**	**20.16**	**24.01**	**36.70**	**17.27**	**22.15**	**8,34**	**5,72**
5	ISWMBW		96.38	95.54	19.91	24.13	23.98	30.43	29.72	26.52	4,84	3,96
6	**ISWF**		**134.45**	**132.27**	**26.10**	**19.49**	**33.45**	**42.12**	**38.96**	**21.42**	**5,15**	**6,79**

Enerji Tüketim Kapasitelerinin Karşılaştırılması (Comparison of The Energy Dissipation Capacities)

B/A dolgu duvarlarının, enerji tüketme kapasitesini etkileyen faktörler arasında kapı ve pencere boşluklarının boyutları, yerleşimi önemli rol oynamaktadır (Marius ve Valeriu, 2012). Çalışma kapsamında deneyleri yapılan numunelere ait enerji tüketimi eğrileri Şekil 19'da verilmiştir. B/A dolgu duvarlar ile güçlendirilen numunelerin, Referans Numuneye göre enerji tüketim kapasitelerindeki artış oranları ise Çizelge 6'da verilmiştir.



Şekil 19. Deney numunelerine ait enerji tüketimi eğrileri
Figure 19. *Energy dissipation curves of test specimens*

Çizelge 6. Deney numunelerine enerji tüketimi değerleri ve oranları

Table 6. *Energy dissipation values and ratios for test specimens*

Deney numunesi			İtme Çevrimleri		Çekme Çevrimleri	
			Kümülatif Toplam Tüketilen Enerji Değerleri (J) *Göçme yüküne kadar (0.8*Vmax)*	**Tüketilen Enerji Oranları RS'ye göre**	**Kümülatif Toplam Tüketilen Enerji Değerleri (J)** *Göçme yüküne kadar (0.8*Vmax)*	**Tüketilen Enerji Oranları RS'ye göre**
1	**RS**		2825	1.00	3812	1.00
2	**ISWSBW**		**11122**	**3.94**	**13790**	**3.62**
3	**ISWMSW**		5338	1.89	6430	1.69
4	**ISWSSW**		**12464**	**4.42**	**14133**	**3.71**
5	**ISWMBW**		4378	1.55	5395	1.42
6	**ISWF**		**15712**	**5.56**	**13566**	**3.56**

SONUÇ (CONCLUSION)

Çalışma kapsamında; deprem davranışı yetersiz mevcut yapıların özelliklerini yansıtabilecek özellikte, 1/3 ölçekli, tek açıklıklı ve iki katlı 6 adet betonarme çerçeve Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Araştırma Laboratuvarında üretilmiştir. Boşluklu betonarme dolgu duvarlı güçlendirme konusuna katkı sağlamak amacıyla; üretilen bu numunelerden 4'ü çeşitli boyuttaki pencere boşluklarına sahip betonarme dolgu duvarlarıyla, 1'i boşluksuz betonarme dolgu duvarla güçlendirilerek ve diğer numune ise dolgu duvarsız referans numune olarak tersinir-tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre yapılan güçlendirme çalışmalarının, numunelerin yatay yük taşıma kapasitelerine, rijitlik özelliklerine ve enerji tüketim özelliklerine olan katkıları şu şekilde sıralanabilir;

- Pencere boşluksuz tam B/A dolgu duvarla güçlendirilmiş numune (ISWF), en fazla yatay yük taşıma kapasitesine sahip numunedir (382.62kN). Tam B/A dolgu duvarlı numuneye göre; dolgu duvarında %14.36'lık pencere boşluğu olan küçük pencereli numunelerde (ISWSSW ve ISWMSW) ortalama %24 ve dolgu duvarında %21.54'lük pencere boşluğu olan büyük pencereli numunelerde (ISWSBW ve ISWMBW) ortalama %40 dayanım düşüşü olmuştur. Bu sonuçta gösteriyorki dolgu duvarlarda %21.54'lük boşluk oranından daha büyük oranlarda pencere boşluğu bırakılarak yapılacak olan güçlendirmenin, sistemin yatay yük taşıma kapasitesine istenilen düzeyde katkı sağlayamayacağıdır. Ayrıca aynı boşluk oranlarına sahip pencerelerin, dolgu duvarlarda kolona bitişik bir şekilde veya dolgu duvarın ortasında konumlandırılmasının numunelerin yatay yük taşıma kapasitelerini fazla etkilemediğide görülmüştür.
- Deneyleri yapılan numuneler arasında, en fazla ilk yanal rijitlik değerine sahip olan numune, pencere boşluksuz tam B/A dolgu duvarla güçlendirilmiş numunedir (134.45kN/mm). Referans numune yani RS'ye göre ilk yanal rijitlik oranları, tam B/A dolgu duvarlı numunede 33.45 kat, ortada küçük pencereli numunede 14.49 kat, kenarda küçük pencereli numunede 24.01 kat, ortada büyük pencereli numunede 23.98 kat ve kenarda büyük pencereli numunede 21.90 kat şeklinde olmuştur. Rijitlik değerlerindeki bu artış oranları yapılan güçlendirmelerin, sistemin rijitlik özelliğine önemli derece katkı sağladığını göstermektedir.
- Güçlendirme yapılan numuneler, referans numune (RS)'ye göre 1,55-5,56 kat daha fazla enerji tüketmişlerdir. Deneylerde göçme konumuna kadar en fazla enerji tüketim değerine sahip numuneler, itme çevriminde tam B/A dolgu duvarla güçlendirilmiş numune (15712 J), çekme çevriminde ise B/A dolgu duvarlı kenarda küçük pencereli numune (14133 J) olmuştur.

Deprem davranışı yetersiz betonarme çerçevelerin, pencere boşluklu betonarme dolgu duvarlarıyla güçlendirilmesi konusunda yapılan bu çalışma sonucunda geliştirilen öneriler ise şunlardır;

- Yapılan güçlendirme çalışmalarının, betonarme çerçeve sistemine önemli yatay yük taşıma kapasitesi artışı, yanal rijitlik artışı ve enerji tüketme kapasitesi artışı sağladığı görülmüştür. Ancak özellikle pencere boşluğu kolona bitişik olarak konumlandırılan numunlerde kısa kolon davranışının etkili olduğu görülmüştür. Dolaysıyla numunelerin dolgu duvarlarında, DBYBHY 2007'de belirtilen şartlara uygun uç elemanları oluşturularak yeni bir çalışma yapılabilir. Böylelikle dolgu duvarlarda oluşturulacak olan uç elemanları ile kısa kolon davranışının önlenebileceği düşünülmektedir.
- Tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçeveler üzerinde bu güne kadar birçok çalışma yapılmış ve bu çalışmalar, tuğla dolgu duvarlarının, betonarme çerçevelerin yatay yük taşıma kapasitelerini ve yanal rijitliklerini artırdığını ortaya koymuştur. Yapılacak olan yeni bir çalışma kapsamında, pencere boşluklu tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçeveli numuneler tersinir-tekrarlanır yükler altında test edilebilir. Daha sonra deneylerden elde edilen sonuçlar, pencere boşluklu B/A dolgu duvarlı güçlendirme çalışmalarına ait deneysel sonuçlar ile karşılaştırılabilir. Böylece pencere boşluklu B/A dolgu duvarlı güçlendirme çalışmasının mevcut betonarme çerçeveye olan katkısı net olarak ortaya konulabilir.
- Mevcut betonarme yapıların kolonlarının da uygulanan bindirmeli ek durumu göz önünde tutularak üretilecek olan numuneler üzerinde, yeni bir deneysel çalışma yapılabilir. Böylelikle, mevcut yapıların kolonlarında uygulanan bindirmeli ekin, pencere boşluklu B/A dolgu duvarlı güçlendirme çalışmalarına etkisi net bir şekilde görülebilir.

Mevcut yapıların, pencere boşluklu betonarme dolgu duvarlarıyla güçlendirilmesine karar verilmesi durumunda ise;

- Yapılacak güçlendirmenin etkin olabilmesi için mecvut yapı üzerinde güçlendirme uygulamasının yapılacağı taşıyıcı çerçevelerin tercihi önemlidir. Mevcut yapıda en uygun taşıyıcı çerçevelerin belirlenmesinde ise yapıda kullanımı az olan mahallere ait çerçevelerin, dolgu duvarında pencere boşluğu az olan çerçevelerin ve yapıda simetrisi olan çerçevelerin seçilmesine dikkat edilmelidir. Ayrıca, güçlendirme projesi hazırlanırken, güçlendirme yapılacak yapının yanında bulunan diğer yapıların mevcut durumları da mutlaka göz önünde tutulmalıdır.
- DBYBHY 2007'de belirtilen şartlara uygun olarak hazırlanan güçlendirme projesinin uygulanması sırasında; yapı kullanımını ve çevreyi olumsuz şekilde etkilemeyecek bir çalışma planının hazırlanması önemlidir. Ayrıca güçlendirme çalışmasının, hazırlanan güçlendirme projesine uygun bir şekilde yapılabilmesi için gerekli denetim mekanizmasının oluşturulması da önemlidir.
- Güçlendirme çalışmaları tamamlandıktan sonra yapı sistemine yeni eklenen B/A dolgu duvarların, uygun bir şekilde gerekli yalıtım işlemlerinin yapılması da gereklidir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmayı, maddi olarak destekleyen Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederiz.

Bu makale Fatih Süleyman BALIK'ın doktora tezinden üretilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

Akyuz, U., Ozdemir, G., "Mechanical Properties of CFRP Anchorages", *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 3349, 1-6 August 2004.

Altın, S., 2010, "Türkiye'nin Deprem Gerçeği Paneli", *Gazi Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi Yayını*, S. 11-13, Ankara.

Altin, S., Anil, O., Kara, M. E., 2008, "Strengthening of RC Nonductile Frames with RC Infills: An Experimental Study", *Cement & Concrete Composites*, Vol. 30, pp. 612- 621.

Anıl, Ö., 2002, *Betonarme Çerçevelerin Boşluklu Betonarme Dolgu Duvarlar ile Güçlendirilmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Anil, O., Altin, S., 2007, "An Experimental Study on Reinforced Concrete Partially Infilled Frames", *Engineering Structures*, Vol. 29, pp. 449-460.

DBYBHY, 2007, *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

Erdem, I., Akyuz, U., Ersoy, U., Ozcebe, G., 2006, "An Experimental Study on Two Different Strengthening Techniques for RC Frames", *Engineering Structures*, Vol. 28, pp. 1843- 1851.

Ersoy, U., 2007, "Betonarme Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi Uygulama ve Araştırmalar", *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı,* İstanbul, Türkiye, pp. 207-216, 16-20 Ekim 2007.

Ersoy, U., Uzsoy S., 1971, "The Behavior and Strength of Infilled frame", *TUBITAK MAG-205 Report*, Ankara, Turkey.

Jayaguru, C., Subramanian, K., "Sustainable Frames for Seismic Resistance to Captive Column Defects" *IABSE Symposium*, pp. 1-9, Bangkok 2009.

Kara, M.E., 2006, *Sünek Olmayan Betonarme Çerçevelerin Betonarme Parçasal Dolgu Duvarlarıyla Güçlendirilmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Kara, M.E., Altin, S., 2006, "Behavior of Reinforced Concrete Frames with Reinforced Concrete Partial Infills", *ACI Structural Journal*, Vol. 103, No. 5, pp. 701- 709.

Marius, M., Valeriu, S., 2012, "Seismic Energy Dissipation in Structural Reinforced Concrete Walls with Staggered Openings, *Journal of Applied Engineering Sciencies*, Vol. 2(15), Issue: 1, pp. 71-78.

Ozcan, O., Binici, B., Ozcebe, G., 2008, "Improving Seismic Performance of Deficient Reinforced Concrete Columns using Carbon Fiber-Reinforced Polymers", *Engineering Structures*, Vol. 30, pp. 1632-1646.

Ozcan, O., Binici, B., Ozcebe, G., 2010, "Seismic Strengthening of Rectangular Reinforced Concrete Columns Using Fiber Reinforced Polymers", *Engineering Structures*, Vol. 32, pp. 964-973.

Özcebe, G., Ersoy, U., Tankut, T., Erduran, E., Keskin, R.S.O., Mertol, H.C., "Strengthening of Brick-Infilled RC Frames with CFRP", *Department of Civil Engineering, Middle East Technical University*, Ankara-Turkey, 2003.

Özmen, B., Nurlu, M., 1999, "Deprem Bölgeleri Haritası ile İlgili Bazı Bilgiler", *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Haber Bülteni*, Vol. 99/2-3, pp. 32-35, Ankara.

Phan L. T., Lew H. S., "Strengthening Methodology for Lightly Reinforced Concrete Frames", *Proceedings of the 11th WCEE*, Acapulco, Mexico, Paper no. 1896, pp. 1-8, 23-28 June 1996.

TS500, 2000, *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları,* Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

Yılmaz, Ü., Arslan, M.H., Kaltakcı, M.Y., 2010, "Betonarme Dış Perde Duvarla Güçlendirilmiş Çerçevelerin Dayanım Parametrelerinin Deneysel ve Analitik Yöntemlerle İrdelenmesi", *TÜBAV Bilim Dergisi*, Cilt 3, Sayı 1, ss. 11-12.