

## BETONARME DIŞ PERDE DUVARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ ÇERÇEVELERİN DAYANIM PARAMETRELERİNİN DENEYSEL VE ANALİTİK YÖNTEMLERLE İRDELENMESİ

Ülkü S. YILMAZ<sup>1\*</sup>, M. Hakan ARSLAN<sup>1</sup>, M. Yaşar KALTAKCI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Kampüs, KONYA

### Özet

Bu çalışmada, mevcut binanın kullanımını aksatmayacak ve ilave işleri en aza indirecek şekilde, binanın dışından yapılacak dış perde duvar uygulaması ile etkili, pratik ve ekonomik bir sistem iyileştirme yöntemi üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Bu amaçla; iki katlı, iki açıklıklı olarak, 1 / 3 geometrik ölçekle modellenen ve ülkemizdeki betonarme binalarda sıkça rastlanan tasarım ve yapım kusurlarını içeren boyut olarak özdeş toplam 8 adet betonarme çerçeve üretilmiş ve 4 adedi güçlendirilmeden, 4 adedi ise betonarme dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilerek, deprem yüklerini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında test edilmiştir. Deney elemanlarının kolonlarına uygulanan normal kuvvet seviyeleri, kolonlarda çekme ve basınç kırılması oluşturacak şekilde iki ayrı biçimde düzenlenmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar, literatürde perde duvarlı çerçeve sistemler için sıklıkla kullanılan analitik yaklaşımlarla karşılaştırılarak irdelenmiştir. Yapılan deneyler ve analitik çalışmalardan elde edilen sonuçlar, dış perde duvarın çerçeve sistemine iç perde duvar kadar pozitif etki yaptığını ve bu yöntemin alternatif bir güçlendirme metodu olarak uygulanabileceğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme çerçeve, güçlendirme, dış perde duvar, çekme ve basınç kırılmaları, deprem etkisi, analitik ve deneysel yöntem

## EVALUATION OF ANALITICAL AND EXPERIMENTAL METHODS OF STENGTH PARAMETRS OF RC FRAMES STRENGTHENED WITH EXTERIOR RC SHEAR WALL

### Abstract

In this study, the system improving method which will be applied from the outside of the building with external shear wall application has been investigated as the most effective, practical and economical solution by not impeding the present utilization of the buildings and not requiring new additional design conversion. For this aim, 8 identical reinforced concrete frames modeled in 1 / 3 geometrical scale with two stories and two spans and involving the design and construction faults which have been frequently met in Turkey have been produced. Four reinforced frames and the other four frames having the similar characteristics but strengthened with exterior shear walls were tested under reversed-cycling lateral loadings resembling earthquake loads. The tested specimens have been divided within two groups as column axial load level in tension and compression. The results obtained from the tests were examined as comparison with analytical approaches that have been frequently used in the literature. The experiments and analytical studies showed that the external shear wall improved the seismic character of existing system as much as infill wall's; therefore this method can be used as an alternative strengthened method.

**Keywords:** Reinforced concrete frames, strengthening, external shear wall, tension and compresion failure, earthquake effect, analytical and experimental method

---

\* E-posta: [ulkusyilmaz@selcuk.edu.tr](mailto:ulkusyilmaz@selcuk.edu.tr)

## 1. Giriş

Aktif bir deprem kuşağında bulunan ülkemizde yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan çok sayıda yapının, depremlere karşı etkili ve ekonomik bir biçimde güçlendirilmesi, çözülmeye çalışılan önemli bir sorundur. Daha önce yaşanan depremlerde görülen son derece acı ve olumsuz sonuçların [6, 11] yeni depremlerde en aza indirilmesi için son yıllarda güçlendirme yöntemlerine yönelik araştırmalar hız kazanmıştır [7, 8, 17, 22]. Bu çalışmalar arasında bazı çerçevelerin betonarme duvarlarla doldurulması, bazı çerçevelerin çelik çapraz elemanlarla rijitleştirilmesi, binada mevcut taşıyıcı olmayan dolgu duvarların kaplanması gibi çeşitli güçlendirme yöntemleri vardır.

Betonarme bir binanın herhangi bir yöntemle güçlendirilmesi teorik ya da deneysel yöntemler olumlu sonuçlar verse de [2, 4, 5, 10, 20, 21] yöntemin gerçekte kolay ve rahat uygulanabilir olması, mevcut yapı stoğunun önemli kısmının deprem yüklerine karşı yeterli olmadığı ülkemizde yapısal güçlendirmenin yaygın bir şekilde uygulanabilmesi için çok önemlidir.

Özellikle 1992 Erzincan depreminden sonra benimsenmiş olan iç perde duvar ile güçlendirme [9] ve benzeri yöntemler, deneysel ve analitik sonuç açısından uygun olsa da güçlendirme uygulaması sırasında genellikle bina kullanıcısı belli bir süre yapıyı terk etmesini gerektirmekte ve güçlendirme işlemleri sonunda bina içinde önemli ilave işler ve maliyet ortaya çıkarmaktadır. Özellikle okul ve hastane gibi binalarda eğitim ve tedavi programının aksama endişesinden dolayı güçlendirme işlemleri de bazen yapılamamaktadır.

Bu çalışmada, güçlendirilecek binaların çokluğu, halen kullanılıyor olması ve güçlendirme işleminin bireyler ve ülke ekonomisine etkisi göz önüne alınarak, mevcut binanın kullanımını aksatmayacak şekilde, özellikle ayırık düzende binalar için etkili, pratik ve ekonomik bir sistem iyileştirme yöntemi olduğu düşünülen [12] dış perde duvar uygulamasının performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu değerlendirmede çerçeve dayanım parametrelerinin deneysel ve analitik sonuçlara göre yorumlanması esas alınmıştır.

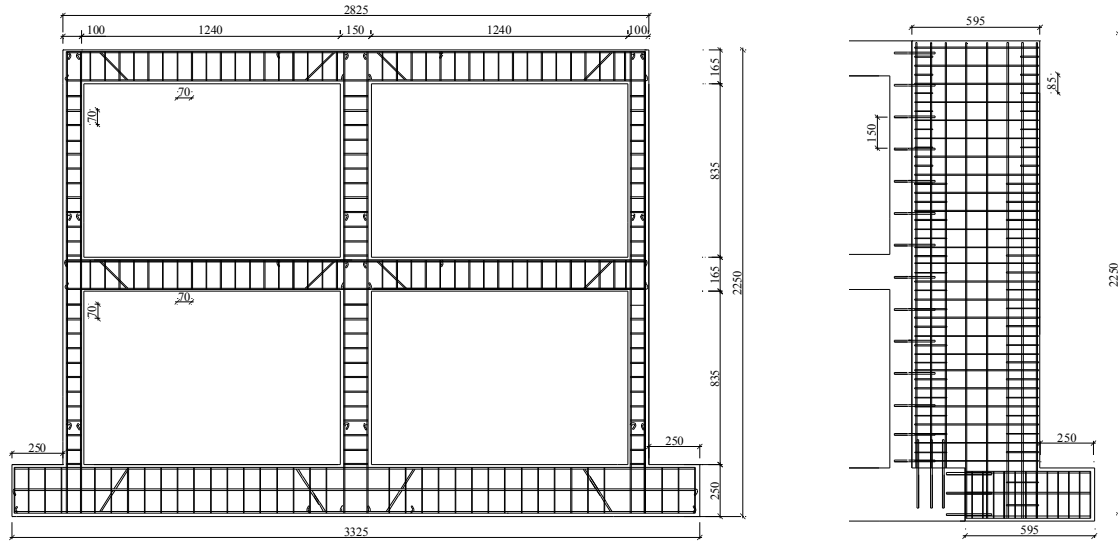
Çalışmada bu amaçla; iki katlı, iki açıklıklı olarak, 1 / 3 geometrik ölçekle modellenen ve ülkemizdeki binalarda oldukça sık rastlanan tasarım ve yapım kusurlarını içeren deprem davranışı zayıf toplam 8 adet betonarme çerçeve üretilmiş ve 4 adedi güçlendirilmeden, 4 adedi ise betonarme dış perde duvar ile güçlendirilerek, deprem yüklerini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında test edilmiştir. Deney elemanlarındaki temel değişkenler, kolonlarına uygulanan normal kuvvet seviyeleri ve kolonlarındaki boyuna donatı oranlarıdır. Deneylerden elde edilen sonuçlar literatürde perde duvarlı çerçeve sistemler için sıklıkla kullanılan analitik yaklaşımlarla karşılaştırılarak irdelenmiştir.

## 2. Deneysel Çalışma

### 2.1. Deney elemanlarının genel özellikleri

Deney programı için iki katlı iki açıklıklı, deprem davranışı zayıf ve donatı detayları yetersiz olan 1 / 3 geometrik ölçekli sekiz adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Bu çerçevelerden dört adedi güçlendirilmeden, diğer dört adedi ise, betonarme dış perde duvar ile güçlendirilerek denenmiştir (Şekil 1).

Bu çerçevelerin tasarımında ve yapımında, ülkemizdeki binalarda sıkça rastlanan [6, 16] düşük beton dayanımı (12~13 MPa), kiriş ve kolon uçlarında yeterli sargı donatısının (sık etriye) bulunmaması, kolon- kiriş birleşim bölgelerinde kolon etriyesinin devam etmemesi, etriyelerin dik kancalı yapılması, kiriş donatısı kenetlenme boylarının yetersiz olması, kolon boyuna donatısının kat ve temel düzeylerinde bindirmeli ek bulunması, güçlü kiriş - zayıf kolon gibi kusurların olmasına özen gösterilmiştir [18, 19]. Deney numuneleri birbirlerinden kolonlarda bulunan boyuna donatı oranı ve kolonlara uygulanan normal kuvvet seviyeleri yönlerinden ayrılmıştır. Deney programında yer alan deney elemanları, ilgili parametreler ve malzeme özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.



(a) Betonarme çerçeve (Tüm ölçüler mm'dir).

(b) Perde duvar.

Şekil 1. Betonarme çerçeve ve güçlendirme perdesinin boyutları ve donatı şemaları.

Çizelge 1. Deneysel programında yer alan numuneler ve özellikleri.

Deneysel No	Çerçeve tipi	Kolonların aksel yük seviyesi ( $N_o/N_r$ )	Kolonların boyuna donatı oranları ( $\rho$ )	Çerçeve ve perdelerde, ort. beton basınç dayanımları (MPa)		Çerçeve ve perdelerde kullanılan donatı çubuklarının akma ve çekme dayanımları (MPa) (akma/çekme)				
				Çerçeve	Perde	Çerçeve			Perde	
						$\phi 4$	$\phi 6$	$\phi 8$	$\phi 6$	$\phi 8$
Deneysel-1		0.1~0.2	0.013	12.80	---	$\frac{335}{469}$	$\frac{450}{555}$	$\frac{375}{490}$	---	---
Deneysel-2		0.5~0.6	0.013	13.10	---	$\frac{335}{469}$	$\frac{450}{555}$	$\frac{375}{490}$	---	---
Deneysel-3		0.5~0.6	0.013	14.05	28.05	$\frac{335}{469}$	$\frac{450}{555}$	$\frac{375}{490}$	$\frac{570}{710}$	$\frac{610}{750}$
Deneysel-4		0.1~0.2	0.013	13.30	29.75	$\frac{335}{469}$	$\frac{450}{555}$	$\frac{375}{490}$	$\frac{570}{710}$	$\frac{610}{750}$
Deneysel-5		0.1~0.2	0.023	12.90	---	$\frac{335}{469}$	$\frac{450}{555}$	$\frac{375}{490}$	---	---
Deneysel-6		0.5~0.6	0.023	12.90	---	$\frac{335}{469}$	$\frac{450}{555}$	$\frac{375}{490}$	---	---
Deneysel-6		0.1~0.2	0.023	13.05	28.50	$\frac{335}{469}$	$\frac{450}{555}$	$\frac{375}{490}$	$\frac{570}{710}$	$\frac{610}{750}$
Deneysel-8		0.5~0.6	0.023	14.50	29.10	$\frac{335}{469}$	$\frac{450}{555}$	$\frac{375}{490}$	$\frac{570}{710}$	$\frac{610}{750}$

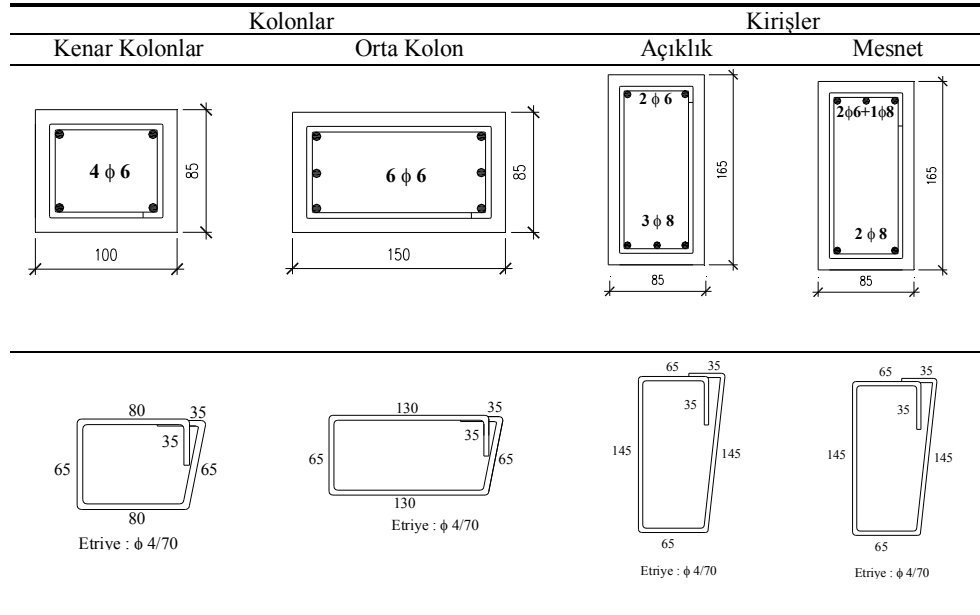
## 2.2. Betonarme çerçeve, güçlendirme perdesi tasarımı ve malzeme özellikleri

Çerçevelerin üretiminde kullanılan beton dayanımı 12-13 MPa olarak hedeflenmiş ve bütün çerçevelerin betonları aynı anda ve yatay konumda dökülmüştür. Güçlendirme perdesinde kullanılacak beton kalitesi 30 MPa olarak hedeflenmiş ve perde betonu, boş çerçeve deney numunesi yükleme platformuna yerleştirildikten sonra, düşey konumda ve temel, 1. kat ve 2. kat seviyelerine göre sırayla dökülmüştür. Betonarme çerçevelerin ve perde duvarın üretiminde kullanılan betonun karışımı Çizelge 2’de verilmiştir. Çerçeve betonlarının dökümü sırasında her bir çerçeve numunesinden alınan üçer adet silindir numunelerin 28 günlük ortalama beton basınç dayanımları da Çizelge 1’de yer almaktadır. Betonarme çerçevenin kolon ve kiriş boyutları ve donatı düzeni Çizelge 3’de, perde duvarın boyutları ve donatı düzeni ise, Çizelge 4’de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Çerçeve ve perde betonlarının malzeme karışım oranları (1 m<sup>3</sup> beton için).

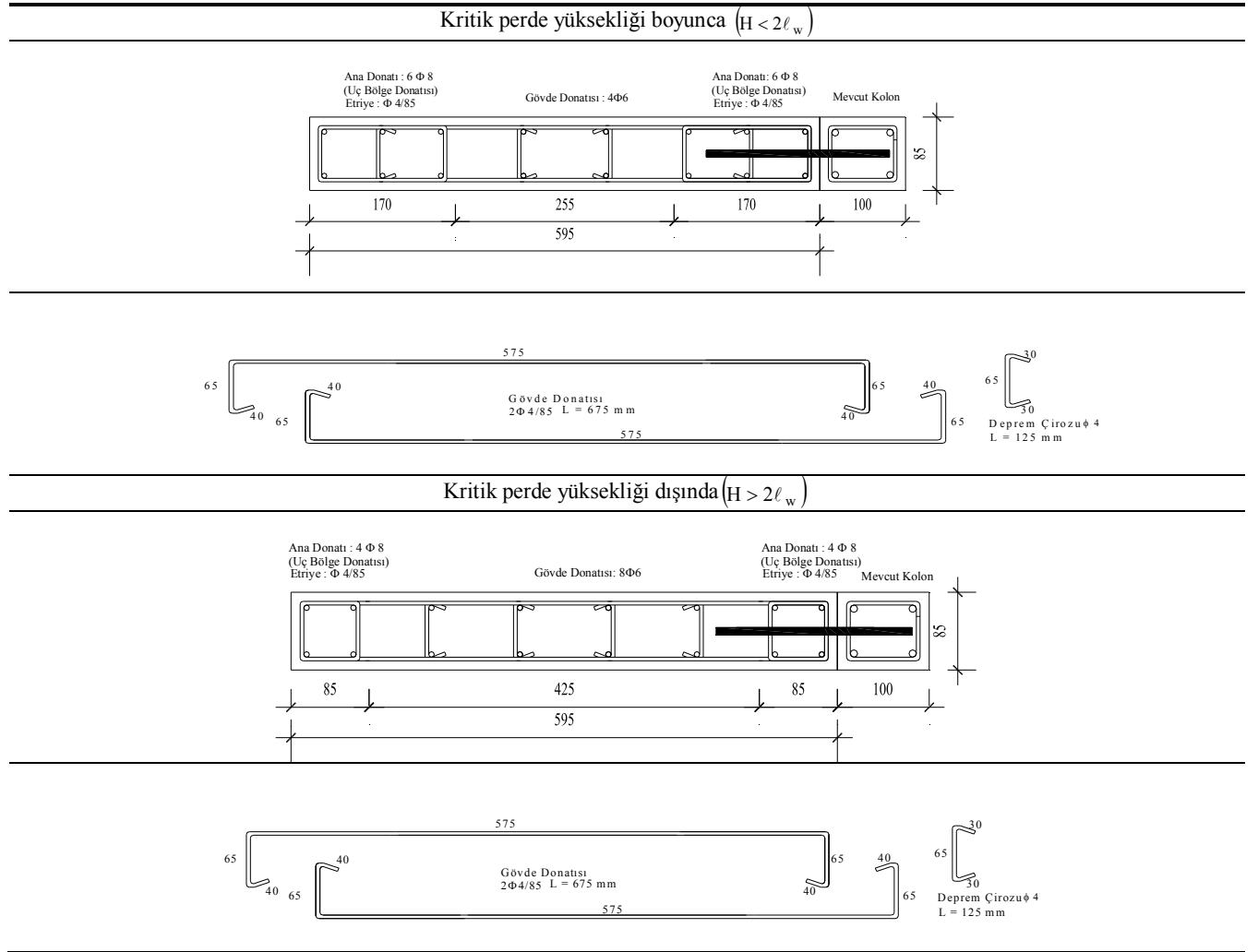
Malzeme	Betonarme Çerçeve		Perde Duvar	
	Ağırlık (kg)	Oran (%)	Ağırlık (kg)	Oran (%)
Çimento	240	10.3	430	17.4
Agrega-1 (0-4mm)	1070	46.1	1040	42.1
Agrega-2 (4-7mm)	780	33.6	795	32.2
Su	230	9.9	193.5	7.8
Katkı (Sika HE-200)	-----	-----	8.6	0.3
Toplam	2320	100	2467.1	100

**Çizelge 3.** Çerçeve elemanlarının kesit boyutları, donatı şemaları ve etriye özellikleri.



Betonarme çerçeve ile bu çerçevenin güçlendirilmesinde kullanılan perde duvarın birlikte çalışmasını sağlamak amacıyla, ankraj için  $\phi$ 8 mm çapında nervürlü donatı kullanılmıştır. Bu ankraj çubuklarının ara mesafesi temelden 100 mm yukarıda başlamak üzere 150 mm’dir. Kenar kolon bu aralıklarda 10 mm’lik matkap ucu ile 80 mm çapında delinmiştir. Delikler temizlendikten sonra Sika Anchor fix-2 malzemesi ile filizler ekilmiştir. Güçlendirme perdesi içinde kalan filiz boyu 20 $\phi$ ’dir.

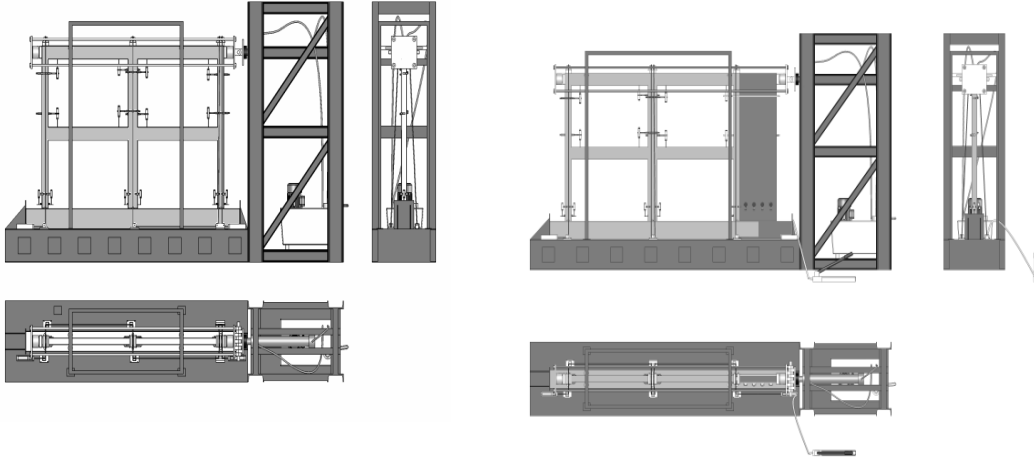
Çizelge 4. Perde duvar elemanlarının kesit boyutları ve donatı şeması.



### 2.3. Deney düzeneği ve ölçüm aletleri

Tüm deneyler, Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Deprem Araştırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir [13, 1, 14, 23]. Bütün deney numuneleri, 500 kN kapasiteli rijit çelik yükleme çerçevesi kullanılarak üst kat kirişinin kesit ağırlık merkezinden tersinir - tekrarlanır yatay yük etkisi altında denenmiştir. Deneyler sırasında bilgisayar destekli 36 kanallı veri okuma sistemi kullanılarak, gerekli yük ve yer değiştirme okumaları yapılmış ve kayıt altına alınmıştır. Deneylerde yatay ve düşey yük ölçümleri yük ölçer ile (Loadcell), yer değiştirmeler ise LVDT (Linear Variable Displacement Transducer) ve dijital komparametreler (Dial-gage) kullanılarak yapılmıştır. Deney elemanlarının testleri sistemin nominal akma yüküne kadar yük kontrollü, aktıktan sonra deplasman kontrollü yapılmıştır. Yatay yük için kullanılan loadcell 500 kN kapasitelidir. Deneylerde kullanılan rijit yükleme çerçevesi, farklı çelik profillerden imal edilmiş ve üst kat seviyesinde yatay yük uygulanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Yükleme çerçevesi, pompa ve yük hücrelerinden oluşan yükleme düzeneğinin yatay ve düşey hareketlerini ve dönmesini sıfıra yakın değerlerde tutacak ve deneydeki ölçümlere etki etmeyecek büyüklükte olması için rijit tasarlanmıştır. Çerçevelerin kolonlarına verilen aksel yük ise, çelik kablolarla oluşturulmuş makaralı bir sistem vasıtasıyla verilmektedir. Kolonlara normal kuvvet vermek için oluşturulan bu sistemde kullanılan loadcell 200 kN kapasitelidir. Yükleme platformu ve duvarı, denen numunelerin ankastre mesnetlenmesine imkan veren rijit bir taban plakasından oluşmaktadır. Üst yapıya göre oldukça rijit imal edilen temel sistemi, yükleme platformuna belirli aralıklarda bulonlar vasıtasıyla sabitlenmiştir. Dolayısıyla temelin yatay ve düşey öteleme ile dönme hareketi önlenmiştir. Deney numunesinin düzlem dışı hareketini önlemek amacıyla, yükleme çerçevesine ilave tali bir çerçeve yapılmış ve bu çerçeve kayıcı tekerleklerle deney numunesine

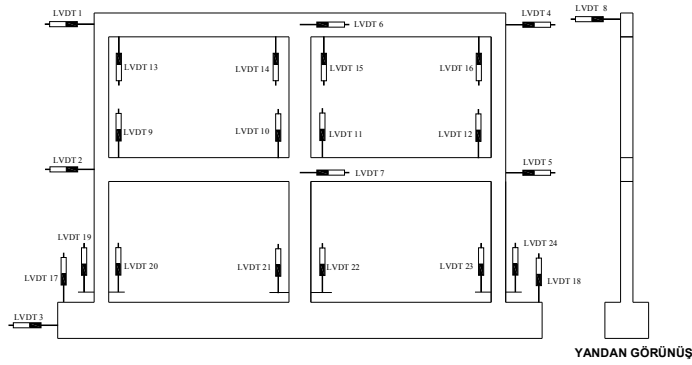
tutturulmuştur. Deneysel düzeneği Şekil 2'de, ölçüm düzeneği ise, Şekil 3'de verilmiştir. Deneysel yükleme sisteminin hareketi de deney boyunca gözlemlenmiştir.



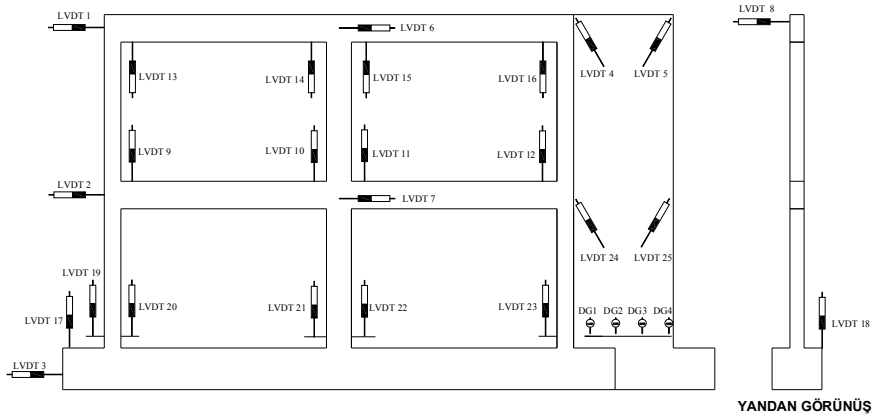
(a) Güçlendirilmemiş çerçeve.

(b) Güçlendirilmiş çerçeve.

Şekil 2. Deneysel yükleme düzeneği.



a) Güçlendirilmemiş çerçeve.



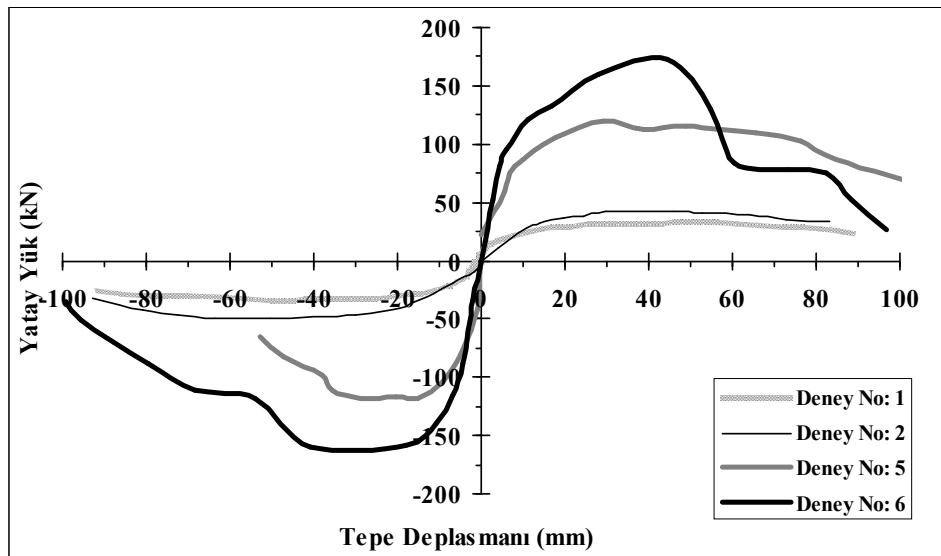
b) Güçlendirilmiş çerçeve.

Şekil 3. Deneysel elemanlarında kullanılan ölçüm düzeneği.

### 3. Deney Sonuçları

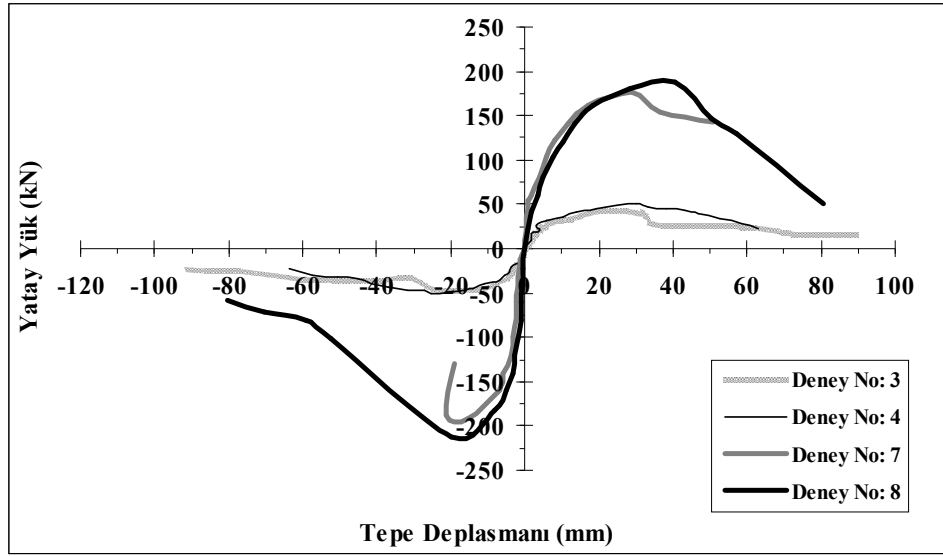
Sekiz adet numuneye ait yatay yük – tepe deplasman grafikleri iki grup halinde Şekil 4 ve Şekil 5’de verilmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ışığında dış perde duvar ilavesi ile yapılan güçlendirmenin, güçlendirilmemiş çerçeveye çok önemli katkıda bulunduğu görülmüştür. Güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş çerçevelere ait deney öncesi ve deney sonu örneklerinden bazıları Şekil 6’da verilmiştir. Güçlendirilmiş çerçevenin güçlendirilmemiş çerçeveye göre;

- Deney 1-5 arasında %304, Deney 2-6 arasında %366, 3-7 arasında %378, Deney 4-8 arasında ise %404 oranında değişen yatay yük taşıma kapasitesi artışı vardır.
- Güçlendirilmiş çerçeveler, zayıf çerçevelerin yatay yük taşıma kapasitelerinin yaklaşık iki katı yük seviyesinde dahi elastik sınırın içerisinde kalmışlar ve sistemde herhangi bir hasar oluşmamıştır.
- Güçlendirilmeyen farklı normal kuvvet seviyelerindeki iki deney elemanında göçme, eğilme modunda oluşmuştur.
- Önemli kesme hasarları ise, kenar kolon-ara kat kirişi birleşim bölgelerinde oluşmuştur.
- Özellikle normal kuvvet seviyesi fazla olan numunelerde kenar kolon boyuna donatıları burkulmuş ve kabuk betonunda daha hızlı dökülme gözlemlenmiştir.
- Perde ile güçlendirilen diğer iki deney elemanında da göçme eğilme modunda oluşmuştur.
- Güçlendirme perdesinin ve temelının betonarme çerçeve ile birleştiği bölgede herhangi bir çatlama ve ayrılma gözlemlenmemiştir.
- Perdelerde oluşan çatlaklar temelden gelen boyuna donatılarının bittiği bindirme bölgesinin sonunda oluşmaya başlamıştır. Özellikle perdeli sistemin maksimum yatay yük seviyesinde (bu durumda yatay ötelenme oranı ~ %1.5 - %2’dir) mevcut çerçeve sisteminde önemli hasar ve derin çatlaklar oluşmamıştır. Bu durum, çerçevenin diğer elemanlarında ilave bir güçlendirmeye gerek duyulmayabileceğini göstermektedir.



Şekil 4. 1. Grup deneylerin yük-deplasman eğrileri.





Şekil 5. 2. Grup deneylerin yük – deplasman eğrileri.



a) Deneý öncesi güçlendirilmemiş çerçeve.



b) Deneý sonu güçlendirilmemiş çerçeve.



c) Deneý öncesi güçlendirilmiş çerçeve.



d) Deneý sonrası güçlendirilmiş çerçeve.

Şekil 6. 1. ve 2. grup deneylerden deneý öncesi ve deneý sonrası bazı örnekler.



#### 4. Dayanım Parametreleri için Analitik Yaklaşımlar

Çalışmanın bu kısmında çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen bazı bağıntıların deneysel bulgular ile ne düzeyde uyumlu olduğu incelenmiştir. Araştırmacılar, betonarme perde duvarlı çerçevelerin dayanım ve tasarımı için bazı analitik yaklaşımlar geliştirmişlerdir. Dayanım hesaplarında mekaniğin temel ilkeleri ve yönetmeliklerde verilen eşitlikler kullanılmıştır. Çizelge 5’de literatürde kullanılan bağıntılar verilmiştir. Literatürde dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilen çerçevelerin yatay yük taşıma kapasitelerine ilişkin önerilen ampirik denklemler yer almamaktadır. Dolayısıyla değerlendirmeler, araştırmacıların dolgu duvarlı çerçevelere yönelik önerdikleri yaklaşımlar ve önerilen denklemler baz alınarak yapılmış ve dış perde duvarlı sistemlerde kullanımları da irdelenmiştir.

Çizelge 5. Perde ve çerçeve için literatürde kullanılan bazı bağıntılar.

No	Bağıntı	Tanımlama
1	$M_{cr} = \left( f_{ctf} - \frac{N}{A} \right) \times \frac{I}{y}$ $V_{cfr} = \frac{M_{cr}}{H}$	İlk eğilme çatlağı yükü (kN)
2	$V_{sh} = 0.70 \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d$ $f_{c(ort)} = f_{c(perde)} \times \frac{\ell_w}{(\ell_w + h)} + f_{c(çerçeve)} \times \frac{h}{(\ell_w + h)}$	Perde duvardaki ilk eğik asal çekme çatlağı yükü (kN)
3	$V_u = \tau_u \times b_w \times d$ $\tau_u = \tau_s + \tau_c$ $\tau_c = \rho_h \times f_{sy}$	Vallenas, Bertero ve Popov’un Yaklaşımı (1979)
4	$V_{u(perde)} = \left( 0.705 \times \sqrt{f_c} + 0.067 \times \rho_v \times f_{sy} \right) \times b_w \times d$ $V_u = V_{u(kolon)} + V_{u(perde)}$ $V_u = \left( \begin{array}{l} 0.705 \times \left( \sqrt{f_{c(perde)} \times \left( \frac{\ell_w}{\sum \ell_w} \right) + f_{c(çerçeve)} \times \left( \frac{h}{\sum \ell_w} \right)} \right) + \\ 0.067 \times \left( \frac{A_{s(toplam)}}{b_w \times \sum \ell_w} \right) \times f_{sy(ort)} \end{array} \right) \times b_w \times d$	Yatay Yük Taşıma Kapasitesi (kN) Barda’nın Yaklaşımı (1960)
5	$V_u = \frac{0.1}{\frac{P}{C} + 0.1} \times C + 2.2 \times P$	Benjamin ve Williams’in Yaklaşımı (1958)

Çizelge 5’de verilen bağıntılara göre elde edilen değerler ve deney sonuçları Çizelge 6’da verilmiştir.

Çizelge 6. Deneysel ve analitik bulguların karşılaştırılması (Tüm değerler kN olarak tesbit edilmiştir).

Denklemler	1		2		3		4		5	
No	Analitik	Deneysel	Analitik	Deneysel	Analitik	Deneysel	Analitik	Deneysel	Analitik	Deneysel
1	11.92	15.00	----	----	38.15	32.67	----	----	----	----
2	11.92	15.00	----	----	54.94	51.55	----	----	----	----
3	*	15.00	----	----	51.46	44.15	----	----	----	----
4	*	15.00	----	----	68.25	50.57	----	----	----	----
5	62.41	60.00	68.79	80.00	182.22	124.80	193.64	124.80	95.93	124.80
6	62.41	60.00	68.71	80.00	199.07	173.41	191.33	173.41	171.30	173.41
7	72.14	80.00	163.02	160.00	184.76	175.88	181.73	175.88	95.93	175.88
8	68.18	60.00	154.07	140.00	195.71	188.21	172.71	188.21	171.31	188.21

### 5. Analitik ve Deneysel Verilerin Karşılaştırılması

8 adet numuneden elde edilen deneysel ve analitik sonuçlara göre;

- 1. Yaklaşımına göre elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlara 1 ve 2 numaralı deneylerde %79 yaklaşmıştır. Fakat aynı yaklaşım 3. ve 4. deneylerde negatif sonuç vermiştir. Burada formülün kullanılabilmesi için  $N \leq f_{ctf} \times A$  olması gerekmektedir.
- 1. Yaklaşım ile perdeli çerçeve sonuçları değerlendirildiği zaman, normal kuvvet seviyesi düşük olan numunelerde değerlendirme % 96 yaklaşık, normal kuvvet seviyesi yüksek olan perdeli çerçevelerde ise %91-%88 arasında değişmektedir.
- Perdeli çerçevelerin yatay yük taşıma kapasitelerinin tespit edildiği 3, 4 ve 5 numaralı yaklaşımlardan, deneysel sonuçlara en yakın yaklaşım; çerçeve kolonlarında donatı oranının %1.03 olduğu durumda 3. yaklaşım, %2.03 olduğu durumda ise 4. yaklaşım olmuştur.
- 2. yaklaşıma göre elde edilen perde duvardaki ilk eğilme asal çekme çatlağı yükü, normal kuvvet seviyesinin yüksek olduğu 7 ve 8 numaralı deneylerde normal kuvvet seviyesinin düşük olduğu 3 ve 4 numaralı deneylere göre daha yakındır.
- 2 ve 4 numaralı bağıntılarda bulunan perde duvar genişliği için; normal kuvvet seviyesi düşük olan numunelerde, perde duvar genişliğine kolon genişliğinin ilave edildiği durum deneysel sonuçlarla daha uyumlu sonuçlar verir iken, normal kuvvet seviyesi yüksek numunelerde ise perde duvar genişliğine kolon genişliğinin eklenmediği durum deneysel sonuçlarla daha uyumlu olmuştur.

### 6. Sonuçlar

Bu çalışmada, Türkiye'deki mevcut betonarme binalarda sıkça görülen tasarım ve uygulama kusurlarının çoğunluğunu içeren, deprem davranışı zayıf betonarme çerçevelerin, dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilmesi sonucunda oluşan davranış değişimi incelenmiş ve deney sonuçları ile bazı analitik yöntemlerin sonuçları ortak irdelenmiştir.

- Betonarme çerçeve türü yapıların dış perde duvar ile dıştan ve tek taraftan güçlendirilmesi ile oluşan karma sistem, mevcut zayıf sistemin yatay yük dayanımını ve rijitliğini önemli miktarlarda artırmaktadır. Bu artış 3.04 ile 4.04 kat arasında değişmektedir.
- Tüm deneylerde yapılan gözlemlere göre; dış perde duvar ile güçlendirilmiş olan çerçevelerin diğer elemanlarında, sistemin akma yükü seviyesinde, bazı kılcal çatlaklar oluşmuş; bu elemanlarda özellikle maksimum yük seviyelerinde ise, kayda değer önemli çatlaklar ve hasarlar oluşmamıştır.
- Akma yükü, yönetmeliğin izin verdiği deplasman sınırı ve maksimum yük seviyeleri de düşünüldüğü zaman, düşey yük için bir sorun olmadığı takdirde mevcut çerçeve elemanlarında

deprem etkisi için ilave herhangi bir güçlendirme yapılmasına gerek duyulmayabileceği görülmektedir.

- Çerçeve ile perdeyi birleştiren ankraj çubuklarında da herhangi bir ayrılma veya sıyrılma gözlemlenmemiştir.
- Büyük çoğunluğu iç perde duvar (betonarme dolgu duvar) için çıkarılmış olan analitik yaklaşımların denetsel sonuçlarla kabul edilebilir yaklaşıklıkta uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Fakat deney sayısının sınırlı olması deney sonuçlarının analitik sonuçlarla kıyaslanıp bir genelleme yapılması için bazı durumlarda yetersiz kalabilecektir.

Kesin bir yargı için daha çok sayıda ve daha büyük ölçekte deneylere ihtiyaç duyulmakla birlikte, dış perde duvar uygulamasının güçlendirme gereken bazı betonarme binalarda önemli bir seçenek olabileceği kanaatine varılmıştır.

### Kaynaklar

- [1] M.H. Arslan, “Kolonları Çekme Kırılması Gösteren Sünek Olmayan Betonarme Çerçevelerin Dış Perde Duvar Uygulaması ile Güçlendirilmesi” *Selçuk Üniversitesi FBE, Doktora Tezi*, Konya. (2007)
- [2] DD.Ayala, AW. Charleson, “Review of Seismic Strengthening Guidelines for Reinforced Concrete Buildings in Developing Countries”, *12th European Earthquake Engineering Conference*, London, page 820-831. (2004)
- [3] Felix Barda, JM. Hanson and Corley, “W. G. Shear. Strength of Low-Rise Walls with Boundary Elements 1960” 177 pp. 20. [www.concrete.org/PUBS/JOURNALS/GetArticle.asp?PubID=2951](http://www.concrete.org/PUBS/JOURNALS/GetArticle.asp?PubID=2951)
- [4] J. R.. Benjamin, H. A.Williams, “The Behaviour of One-Story Brick Shear Walls”, *ASCE, Journal of Structural Division*, 84 (ST4): 1723.(1958)
- [5] M. Bruneau, “Building damage from the Marmara, Turkey Earthquake of August”, 1999; *Journal of Seismology*, 6, 357-77. (2002)
- [6] I. Çağatay, “Experimental evaluation of buildings damaged in recent earthquakes in Turkey; Engineering Failure Analysis”, 12, 440-52.(2005)
- [7] E.Canbay, U. Ersoy, G.Özcebe, “Contribution of RC infills to seismic behavior of structural system” *ACI Structural Journal*, 100, 637-43. (2003)
- [8] Z., Celep, E. Özer, “Post-earthquake rehabilitation of moderately damaged reinforced concrete structures”. *In: Proc. Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering*, Vol. 1 p. 61-72. (1998)
- [9] U.Ersoy, “Seismic rehabilitation-application, research and current need”, Paper No. 2099, *Proceedings of the 11th World Conference on Earthquake Engineering*, Acapulco, Mexico. (1996)
- [10] Y.Higashi, S.Kokusho, “The strengthening method of existing reinforced concrete buildings”, *US-Japan Cooperative Research Program in Earthquake Engineering*, Honolulu HI. (1975)
- [11] M. İnel, H.B.Özmen, H.Bilgin, “Re-evaluation of building damage during recent earthquakes in Turkey”, *Engineering Structures*, article in press. (2007)
- [12] M.Y.Kaltakçı, M.H. Arslan, U.S. Yılmaz, H.D Arslan., “A new approach on the strengthening of primary school buildings in Turkey”, An application of external shear wall; *Building and Environment*, (Ref. Number: BAE1954) Article in Press.( 2007)
- [13] M.Y.Kaltakçı, M.H. Arslan, “Kolonları Çekme Kırılması Gösteren Sünek Olmayan Betonarme Çerçevelerin Dış Perde Duvar Uygulaması ile Güçlendirilmesi” *Selçuk Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü*, 2004-143 nolu proje, Konya.(2004)
- [14] M.Y.Kaltakçı, ve Ü. S. “Yılmaz Kolonları Basınç Kırılması Gösteren Sünek Olmayan Betonarme Çerçevelerin Dış Perde Duvar Uygulaması ile Güçlendirilmesi”, *Selçuk Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü*, 2004-76 nolu proje, Konya.( 2004)
- [15] L.T, Phan, G.S.Cheok, D.R.Todd, “Strengthening Methodology for Lightly Reinforced Concrete Frames: Recommended Design Guidelines for Strengthening with Infill Walls”, *Building and Fire Research Laboratory National Institute of Standards and Technology*, Gaithersburg, MD 20899, NISTIR 5682, July.( 1995)
- [16] H.Sezen, A.S. Whittaker, K.J.Elwood, K.W. Mosalam, “Performance of reinforced concrete buildings during the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey Earthquake, and the seismic design and construction practice in Turkey”, *Engineering Structures*, 25, 103-14.( 2003)
- [17] M. Sonuvar, G. Özcebe, U. Ersoy, “Rehabilitation of RC frames with RC infills”, *ACI Structural Journal*, 101,494-501.( 2004)
- [18] *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi*, 2007, “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”, Ankara.
- [19] *Türk Standartları Enstitüsü*, 2000, TS500-2000 “Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları”, Ankara.

- [20] J.W. Vallenias, V.V.Bertero, and E.P.Popov, “Hysteretic Behaviour of Reinforced Concrete Structural Walls”, *Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley*, Report No: UCB/EERC-79/20, 314-327.( 1979)
- [21] L.A.Wyllie, “Strengthening strategies for improved seismic performance”, Paper No. 1424, *Proceedings of the 11th World Conference on Earthquake Engineering*, Acapulco, Mexico.(1996)
- [22] G. Yavuz, “Kısmi Betonarme Perde Duvar ile Güçlendirilmiş Deprem Davranışı Zayıf Sünek Olmayan Betonarme Çerçevesinin Deprem Davranışı”, *Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya. (2005)*
- [23] Ü.S.Yılmaz, “Kolonları Basınç Kırılması Gösteren Sünek Olmayan Betonarme Çerçevesinin Dış Perde Duvar Uygulaması ile Güçlendirilmesi”, *Selçuk Üniversitesi FBE, Doktora Tezi, Konya.( 2007)*