

# SIVANMIŞ TUĞLA DOLGU DUVARLARIN ŞERİT BETON/BETONARME PANELLERLE GÜÇLENDİRİLMESİ

**Mehmet BARAN\***, **Merve AKTAŞ\*\*** ve **Sabahattin AYKAÇ\*\*\***

\*Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Ulus, Ankara.

\*\*Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 71450, Kırıkkale.

\*\*\*Gazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Maltepe, Ankara.

[mehmet.baran@ybu.edu.tr](mailto:mehmet.baran@ybu.edu.tr), [merve brky@hotmail.com](mailto:merve_brky@hotmail.com), [saykac@gazi.edu.tr](mailto:saykac@gazi.edu.tr)

(Geliş/Received: 06.08.2012; Kabul/Accepted: 21.11.2013)

## ÖZET

Türkiye'deki yapı stoğunun çok önemli bir bölümünün depreme karşı dayanıksız olduğu ve güçlendirilmesi gerektiği bilinmektedir. Yerinde dökülen ve yapıların çerçeve sistemlerine epoksili ankraj çubuklarıyla bağlanan betonarme (BA) dolgu duvarların yapının deprem davranışını önemli ölçüde iyileştirdiği bilinmektedir. Fakat bu yöntemin binanın boşaltılmasını ve uzun bir süre şantiyeye dönüştürmesini gerektirmesi, araştırmacıları hane sakinlerini sokağa dökmeden olabildiğince ekonomik ve aynı zamanda yapısal olarak etkili güçlendirme yöntemleri geliştirmeye yöneltmiştir. Bu çalışmada önerilen güçlendirme yönteminin prensibi yapıda var olan sıvanmış tuğla dolgu duvarların bazılarının, üzerine yapıştırılan şerit beton panellerle güçlendirilerek birer BA dolgu duvara dönüştürülmesidir. Bu amaçla, mevcut çalışma kapsamında ½ ölçeğe sahip toplam yedi adet sıvanmış tuğla duvar elemanı tersinir tekrarlanır yatay yükler altında test edilmişlerdir. Altı adet deney elemanı şerit beton/betonarme (BA) paneller yapıştırılarak güçlendirilmiştir. Deney sonuçları, beton panel yapıştırma uygulamasının deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasitelerini artırdığını ve davranışlarını iyileştirdiğini göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** BA dolgu duvar, güçlendirme, sıvanmış tuğla dolgu duvar, şerit beton/BA panel, tersinir tekrarlanır yatay yük

## STRENGTHENING OF PLASTERED HOLLOW BRICK INFILL WALLS USING STRIP CONCRETE/REINFORCED CONCRETE PANELS

### ABSTRACT

In Turkey, majority of the building stock is known to be inadequate against earthquake and is required to be strengthened. Cast-in-place reinforced concrete (RC) infill walls, connected to the frame systems by use of epoxy glued anchorages, improve the behavior of the building significantly. However, requirements of this technique such as evacuation of the building and converts it to a construction area for a long time have directed the researchers developing occupant friendly, economic and structurally effective strengthening techniques. The principle of the technique presented in this paper is based on bonding strip concrete panels on some of the plastered hollow brick infill walls available in the building such that they will behave as RC infill walls. For this purpose, seven plastered hollow brick infill wall specimens with a scale of ½ were tested under reversed cyclic lateral loading. Six wall specimens were strengthened with strip concrete/reinforced concrete (RC) panels. Test results showed that application of concrete panels increased lateral strength of the test specimens and improved their behavior.

**Keywords:** RC infill wall, strengthening, plastered hollow brick infill wall, strip concrete/RC panel, reversed cyclic lateral loading

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Türkiye deprem riski yüksek bir ülkedir. Öyle ki, Türkiye deprem bölgeleri haritası esas alındığında ülke topraklarının yaklaşık % 63'ü 1. ve 2. derece deprem bölgeleri içerisindedir [1]. Halihazırdaki yaklaşık 19,5 milyon yapı stoğunun %55'i birinci derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Söz konusu yapı stoğunun çok önemli bir bölümünün depreme karşı dayanımının yetersiz olduğu ve güçlendirilmesi gerektiği bilinmektedir.

Yapıların depreme karşı güçlendirilmesinin önemi, 1992 Erzincan depremi ve sonraki depremlerde çok sayıdaki betonarme (BA) yapının hasar görebilmesini onarım ve güçlendirme gerektirmesiyle daha da iyi anlaşılmıştır. Güçlendirme ile ilgili çalışmalarda yetersiz yanal rijitliğin, BA yapılarındaki hasarın temel sebeplerinden birisi olduğu anlaşılmıştır. Yapıya yanal rijitlik kazandıracak güçlendirme yöntemlerinden en basit ve etkili yapıya yerinde dökme BA dolgu duvar eklenmesidir [2-6]. Türkiye'deki birçok bina özellikle büyük depremlerden sonra bu uygulamayla onarılmış ve güçlendirilmiştir. Ancak bu yöntemin önemli bir dezavantajı bulunmaktadır. Bu yöntemin uygulanabilmesi için yapının boşaltılarak içine çok miktarda malzeme taşınması gerekmekte ve yapı uzun süre şantiyeye dönüşmektedir. Bu yüzden araştırmacılar ekonomik, yapısal olarak etkili ve uygulaması kolay güçlendirme yöntemleri geliştirmeye yönelmişlerdir.

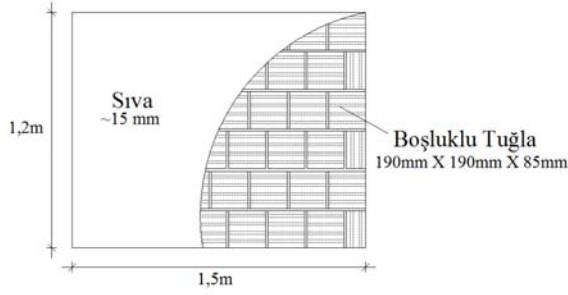
Türkiye'de BA taşıyıcı sisteme sahip binalarda bölme duvarı olarak tuğla dolgunun kullanılması çok yaygındır. Tuğla dolgu duvarın sadece binanın zati ağırlığında hesaba katılması, dayanım ve rijitlik gibi yapısal özelliklerine katkısının göz ardı edilmesi fazlaca tercih edilen bir yaklaşımdır. Birçok ülkenin deprem standartları (İsrail, Kosta Rika, Fransa, Cezayir, Avrupa Birliği, Kolombiya, Filipin vs.) dolgu duvarların bina yapısal sistemine etkisinin hesaba katılmasını önermektedir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar tuğla dolgu duvar ve üzerine uygulanan sıvanın dayanım ve rijitliğini boş çerçeveye oranla kayda değer oranda arttırdığını göstermiştir [7-8]. Birçok araştırmacı yapı davranışı üzerinde olumlu katkıları bulunan sıvanmış tuğla dolgu duvarları değişik yöntem ve çeşitli malzemeler kullanarak güçlendirmişlerdir. Bu yöntemler arasında karbon lifli polimer kumaş [9-10], hasır donatılı püskürtme beton [11], çelik lifli sıva [12], çelik şeritlerle [13] ve önüretimli yüksek dayanımlı betonarme panellerle [14, 15] güçlendirme sayılabilir. Bu yöntemlere ek olarak güçlendirme malzemesi olarak çeşitli tekstiller kullanarak [16], ferrocement kullanarak [17], epoksi ve harç enjeksiyonu kullanarak yapılan diğer güçlendirme yöntemleri [18] sayılabilir.

Tüm bu kullanıcı dostu yöntemler arasında en sık araştırılanı karbon lifli polimer kumaşların kullanıldığı yöntemdir. Bu yöntemin dezavantajları güçlendirme malzemesinin ithal bir malzeme olarak çok pahalı olması, aynı zamanda gevrek davranış sergilemesi ve de uygulanması esnasında kalifiye işçilik gerektirmesi sayılabilir. Betonarme panellerin kullanıldığı yöntemde BA dolgu duvar seviyesinde performans artışı elde edilmiştir. Bu çalışmada, daha önce gerçekleştirilmiş çalışmalarda [14, 15] kullanılan önüretimli yüksek dayanımlı BA paneller yerine yerinde dökme normal dayanımlı beton paneller kullanılarak ve bunları ithal ve pahalı olan epoksi bazlı yapıştırıcı (Sikadur 31 [19]) ile değil de ucuz ve piyasada bolca bulunan yerli üretim fayans yapıştırıcısı (KALEKİM [20]) ile sıvaya yapıştırarak elde edilecek dayanım artışı ve de davranıştaki iyileşme araştırılmaktadır. Amaç söz konusu çalışmalarda elde edilmiş güçlendirme performansından verilecek az bir ödün ile güçlendirme maliyetini önemli ölçüde azaltabilmektedir. Böylece yapısal olarak etkili, uygulaması kolay, hızlı bir güçlendirme yöntemini aynı zamanda oldukça ekonomik bir hale getirmektedir. Söz konusu performans azalması, yapının güçlendirilmesi esnasında fazladan birkaç duvara beton paneller yapıştırılması suretiyle telafi edilebilecektir. Bu amaçla ½ ölçekli, biri referans olmak üzere, toplam yedi adet sıvanmış tuğla dolgu duvar elemanı tersinir tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiştir. Panel kalınlığı, panelleri duvara sabitlemekte kullanılan  $\phi 6$ 'lık bulonların sayısı, yerleri ve panellere hasır donatısı eklenmesi deney değişkenleri olarak seçilmişler ve bunların etkileri gerçekleştirilen deneylerde incelenmiştir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

### 2.1. Deney Elemanları (Test Specimens)

Çalışmanın deneysel kısmında test edilen duvar elemanları 1200mm \* 1500mm boyutlara (1/2 ölçekli) sahip olacak şekilde hazırlanmışlardır. Piyasada rahatça bulunan 85mm \* 190mm \* 190mm boyutlarındaki delikli tuğlalar delikleri yatay olacak şekilde sıradan bir işçilikle örülmüşler ve de her iki yüzden çimento-kireç karışımı harçla sıvanmışlardır. Sıvanın kalınlığı yaklaşık 15 mm'dir. Her sıvanın ilk ya da son sırasını oluşturan yarım tuğlalar, delikleri düşey olacak şekilde konulmuştur. Deney elemanlarının boyutları Şekil 1'de gösterilmektedir. Beton paneller tahta kalıplarla normal dayanımlı beton kullanılarak laboratuvarında üretilmişlerdir. Referans deney elemanı üzerinde herhangi bir güçlendirme işlemi yapılmamış, her iki yüzüne yalın sıva uygulanmıştır. Tüm deney elemanları ve tüm paneller aynı gün hazırlanmadıklarından harç-sıva dayanımları ve panel beton dayanımları değişiklik göstermektedir.



**Şekil 1.** Deney Elemanlarının Boyutları (Dimension of the Test Specimens)

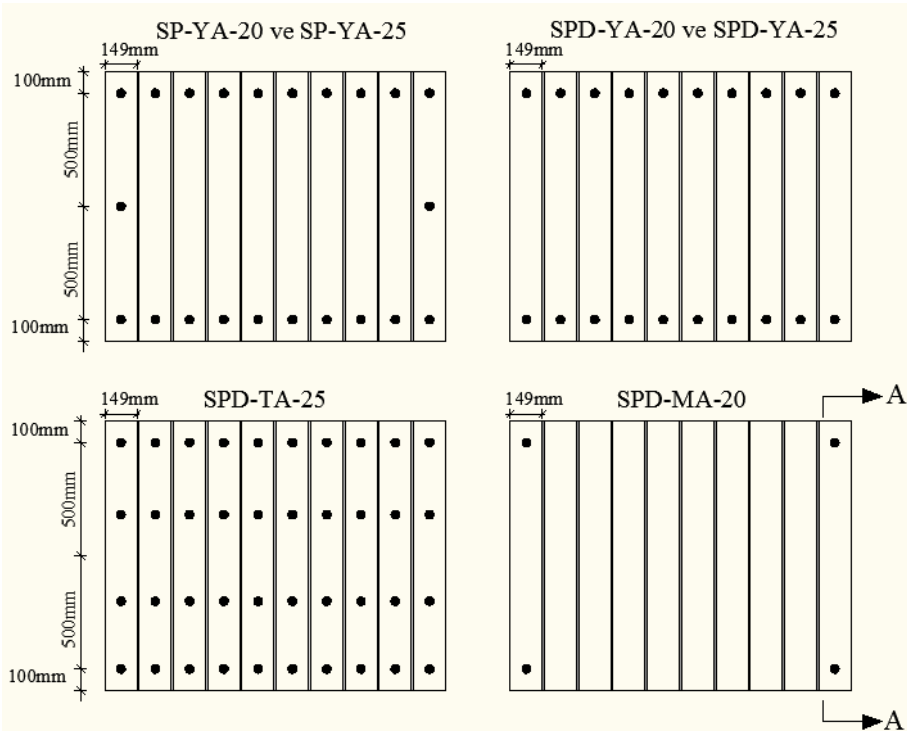
Tüm deney elemanları, 20mm ve 25mm kalınlığındaki beton/BA paneller sıvanın üzerine yaklaşık 2-3 mm kalınlığında fayans yapıştırıcısı ile yapıştırılarak güçlendirilmişler ve  $\phi 6$ 'lık bulon kullanılarak sabitlenmişlerdir. Güçlendirilmiş deney elemanlarının detayları Şekil 2'de, güçlendirme işleminin kesit detayları Şekil 3'de ve tüm deney elemanlarının özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Deney elemanlarının isimlerindeki "SP" harfleri şerit panel anlamına gelmektedir. Eğer varsa, SP'den hemen sonra gelen "D" panelin donatılandırıldığı

anlamına gelmektedir. İlk tireden sonra gelen YA, TA veya MA sırasıyla yarım, tam veya minimum ankraj anlamına gelmektedir, ki bu durum bölüm 2.2'de ayrıntılarıyla anlatılmaktadır. İkinci tireden sonra gelen rakam da panelin mm cinsinden kalınlığını göstermektedir.

## 2.2. Malzeme Özellikleri (Material Properties)

Piyasada 8,5'luk yatay delikli blok tuğla (85 mm \* 190mm \* 190mm) olarak bilinen tuğlalar kullanılmıştır. Basınç dayanımı, tuğla deliklerine paralel yönde 12,0 MPa, boşluklara dik-kısa yönde 2,8 MPa ve boşluklara dik-uzun yönde 3,2 MPa olarak ölçülmüştür. Tuğla dolgular sırasıyla ağırlıkça 1:2:10 oranında çimento-kireç-kum karışımı ile olabildiğince sıradan bir işçilikle sıvanmışlardır. Panellerin sıvaya yapıştırılmasında fayans yapıştırıcısı kullanılmıştır. Katalogda bu ürünün (KALEKİM) başlangıç ve nihai yapışma dayanımı 0,5 MPa ve 1,0 MPa olarak verilmektedir. Panel donatısı olarak kullanılan hasır donatının çubuklarının çapı 2mm, göz aralıkları her iki yönde 25mm'dir. Panellerin sabitlenmesi için  $\phi 6$ 'lık bulonlar kullanılmıştır.



**Şekil 2.** Güçlendirilmiş Deney Elemanlarının Detayları (Details of the Strengthened Test Specimens)



**Şekil 3.** Güçlendirme Yönteminin Kesit Detayı (Sectional Details of the Strengthening Technique)

**Tablo 1.** Deney Elemanlarının Özellikleri (Properties of Test Specimens)

Deney Elemanı	Panel Kalınlığı (mm)	Panel Donatısı	Φ6 Bulon Sayısı	Tuğla Örne Harcı Dayanımı (MPa)	Sıva Dayanımı (MPa)	Panel Dayanımı (MPa)
Referans	-	-	-	1,7	1,7	-
SP-YA-20	20	-	22	2,5	2,5	12,9
SPD-MA-20	20	Φ2/25	4	2,2	2,2	14,6
SPD-YA-20	20	Φ2/25	20	1,8	1,8	25,8
SP-YA-25	25	-	22	1,8	1,8	17,2
SPD-YA-25	25	Φ2/25	20	2,5	2,5	23,4
SPD-TA-25	25	Φ2/25	40	2,6	2,6	23,6

### 2.3. Yükleme ve Ölçüm Düzeneği (Loading-Supporting System and Instrumentation)

Deney elemanları güçlü bir yükleme duvarı önünde, dört köşesinde de mafsallı birleşimler bulunan çelik bir çerçeveye yerleştirilerek, depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yüklerle maruz bırakılmıştır. Gerçek hayatta tuğla dolgu duvarın etrafında çelik çerçeve elemanlarının yerine BA kolon ve kirişler olacaktır. Mevcut deneysel çalışmada amaç önerilen yöntemin etkinliğini araştırmak olduğundan Referans ve güçlendirilmiş deney elemanlarını aynı çelik çerçevede test edilmişler ve test sonuçları karşılaştırma yapabilecek şekilde analiz edilmiştir.

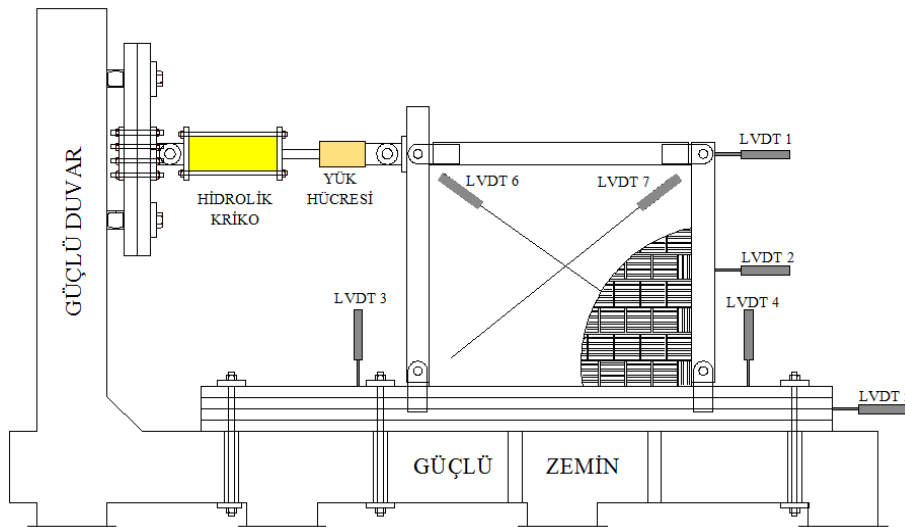
İki safhalı yükleme şablonunun ilk safhasında 5 kN artan yük değerleriyle 40 kN yatay yük değerine ulaşıp devamında yük artırımı 10 kN'a çıkarılmış, kapasiteye ulaşıktan sonraki ikinci safhada ise artan deformasyon kontrollü yükleme yapılmıştır. Yükleme düzeneği Şekil 4'de verilmektedir.

Ölçüm düzeneği Şekil 4'de gösterilmiştir. Kat düzeyindeki yanal ötelenme, dolgu duvarın kayma deformasyonları ve deney elemanın rijit cisim olarak yaptığı dönme ve ötelenmeler elektronik deplasman

ölçerler (LVDT) ile ölçülmüştür. Yapılan tüm ölçümler bir bilgisayarda depolanmıştır.

### 3. DENEY SONUÇLARI (TEST RESULTS)

Bir adet sıvanmış boşluklu tuğla dolgu ve altı adet şerit beton veya BA panellerle güçlendirilmiş olmak üzere toplam yedi adet duvar elemanı tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiştir. Referans deney elemanı test edilirken, özellikle ilk turlarda sıvanmış tuğla dolgu duvarın dayanıma etkin katkısı olmuştur. Dokuzuncu ileri çevrime kadar duvarın sadece yükleme doğrultusundaki köşelerinde lokal ezilmeler gözlemlenmiş ve onuncu ileri çevrimde, 53,4 kN yatay yük ve 52,3 mm tepe ötelenmesi seviyesinde köşe tuğlalarda ezilme ile birlikte duvarda ani bir diyagonal çatlak oluşmuştur. Bundan sonraki birkaç çevrimde duvar, ezilmeye başlaması üzerine hızlı dayanım ve rijitlik kaybı ile karakterize edilen, tipik dolgu davranışı sergilemiştir, bu davranış yüksek kat ötelenmeleri ve göçme ile sonuçlanmıştır. Referans deney elemanının yatay yük-ötelenme grafiği ve hasar fotoğrafı Şekil 5'de verilmektedir.

**Şekil 4.** Yükleme ve Ölçüm Düzeneği (Loading-Supporting System and Instrumentation)

SP-YA-20 ve SP-YA-25 deney elemanları testler esnasında sırasıyla 46,3 mm ve 76,2 mm ötelenmelerde 90,0 kN ve 99,6 kN yatay yük taşıma kapasitelerine ulaşmışlardır. Her iki deney elemanında, ilerleyen çevrimlerde kenar panellerin çelik çerçeveye denk gelen köşelerinde ezilmeler ve her iki köşegen doğrultusunda çatlaklar oluşmuştur. Donatılandırılmadıkları için paneller özellikle son çevrimlerde etkin dayanım gösterememişler ve kırılmışlardır. Bu deney elemanlarının yatay yük-ötenme grafikleri ve hasar fotoğrafları Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmektedir.

SPD-MA-20 ve SPD-YA-20 elemanları testler esnasında, 61,2 mm ve 70,6 mm ötelenmelerde 71,4 kN ve 100,4 kN yük taşıma kapasitelerine ulaşmışlardır. Her iki elemanda çatlaklar kılcal seviyelerde kalmış, kenar panellerin çelik çerçeveye denk köşelerinde ezilmeler gözlemlenmiştir. SPD-MA-20'nin testinde, erken çevrimlerde paneller sıvadan ayrılmazken tuğlaların çoğu kırılmış ve kendilerini tutan fazla bulon olmadığından dökülmüşlerdir. Bu olay SPD-YA-20'de daha geç ve az oranda meydana gelmiştir. Bu elemanlarının yatay yük-ötenme grafikleri ve hasar fotoğrafları Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmektedir.

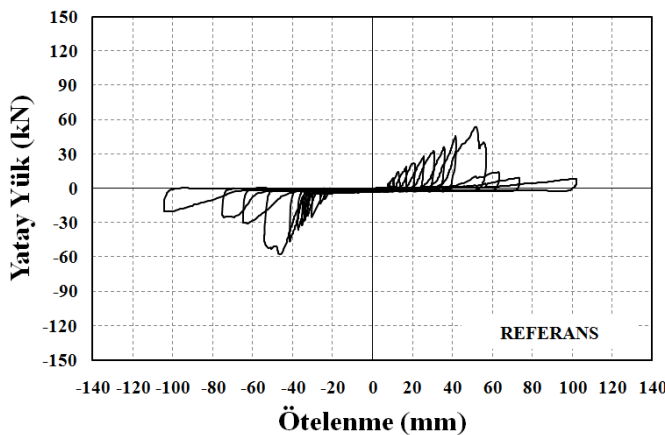
SPD-YA-25 ve SPD-TA-25 elemanları testler esnasında 62,2 mm ve 63,5 mm ötelenmelerde 130,5 kN ve 133,2 kN yatay yük taşıma kapasitelerine ulaşmışlardır. Deney elemanlarında çatlaklar dolgu yüzeyine dağılmış olup genişlikleri fazla açılmamıştır. Maksimum kapasiteye ulaşıldıktan sonraki çevrimlerde panellerin çelik çerçeveye denk gelen köşelerinde ezilmeler gözlemlenmiş olup yük taşıma kapasitesinde ve rijitlikte azalma ile birlikte testler sona erdirilmiştir. Her iki deneyde de paneller sıvadan ayrılmadığı gibi tuğlalar da kırılıp dökülmeler sınırlı düzeyde kalmıştır. SPD-YA-25 ve SPD-TA-25 deney elemanlarının yatay yük-ötenme grafikleri ve hasar

fotoğrafları sırasıyla Şekil 10 ve Şekil 11'de verilmektedir.

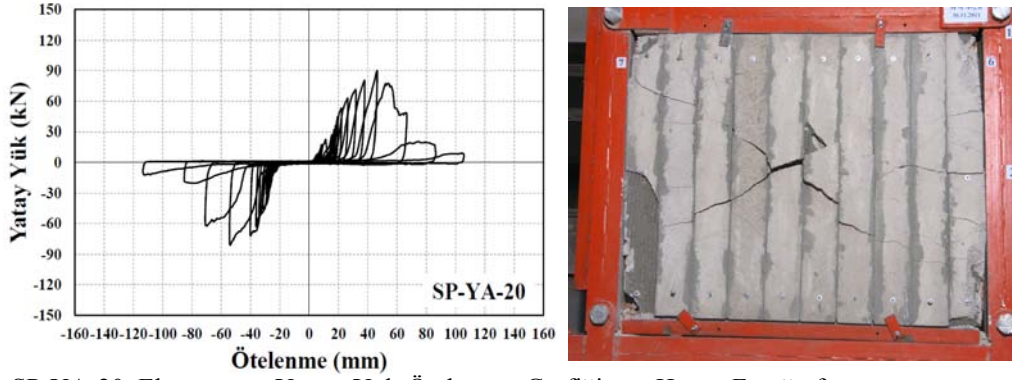
#### 4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ (DISCUSSION OF THE TEST RESULTS)

Test sonuçları yatay yük-ötenme, enerji tüketimi, ilk rijitlik değeri ve süneklik başlıkları altında Tablo 2'de değerlendirilmiştir. Değerlendirmeden önce burada hatırlatılması gereken önemli bir nokta tüm yatay yük-ötenme grafiklerinde sıfır rijitlik kısımlarının bulunduğuudur. Bu durumun öncelikli sebebi deney elemanlarının köşelerinin daha yüksek rijitliğe sahip çelik çerçeve elemanları tarafından özellikle ilk çevrimlerde hasara uğratılması, ikincil sebebi de çelik çerçeve elemanlarının arasındaki mafsallar oluşan esnemeler olarak açıklanabilir. Değerler incelendiğinde panellerle güçlendirilmiş deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasitesindeki artış 1,34 ile 2,49 kat arasında olmuştur. Yük taşıma kapasitesindeki artış beton panellerle güçlendirilmiş olan SP-YA-20 ve SP-YA-25 elemanlarında sırasıyla 1,69 ve 1,87 kat olmuştur. Beklenildiği üzere, SP-YA-25 deney elemanında daha kalın ve dayanımı yüksek paneller kullanılması daha fazla yük taşıma kapasitesine ulaşılmasını sağlamıştır.

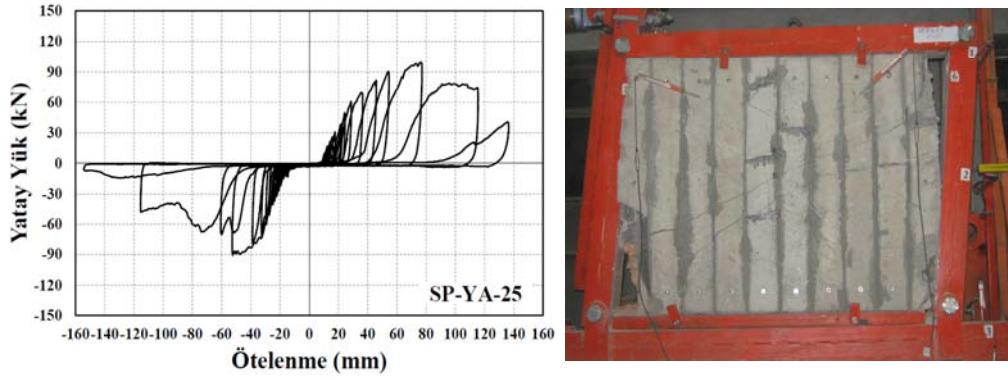
SPD-MA-20 ve SPD-YA-20 deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasitesindeki artış sırasıyla 1,34 ve 1,88 kat olmuştur. Panelleri donatılı olduğu halde SPD-MA-20 deney elemanının düşük taşıma kapasitesinin sebebi oldukça az sayıda kullanılan olan  $\phi 6$ 'lık bulonlara bağlanabilir. Beklenildiği üzere, daha fazla bulonun kullanıldığı SPD-YA-20 deney elemanının yatay yük kapasitesi, hem SPD-MA-20 deney elemanının, hem de panelleri hasır çeliksiz sade beton olarak dökülmüş SP-YA-20 deney elemanının değerlerine göre daha yüksek çıkmıştır.



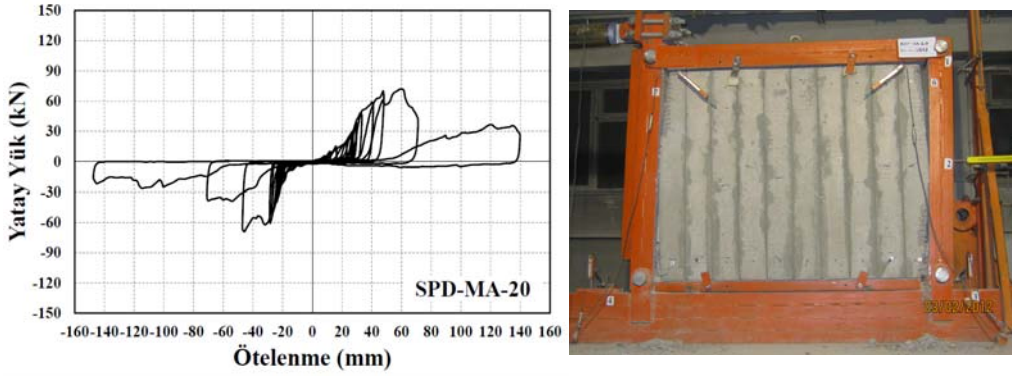
Şekil 5. Referans Elemanının Yatay Yük-Ötenme Grafiği ve Hasar Fotoğrafı (Load-Displacement Graph of Reference Specimen and Photograph of Damage)



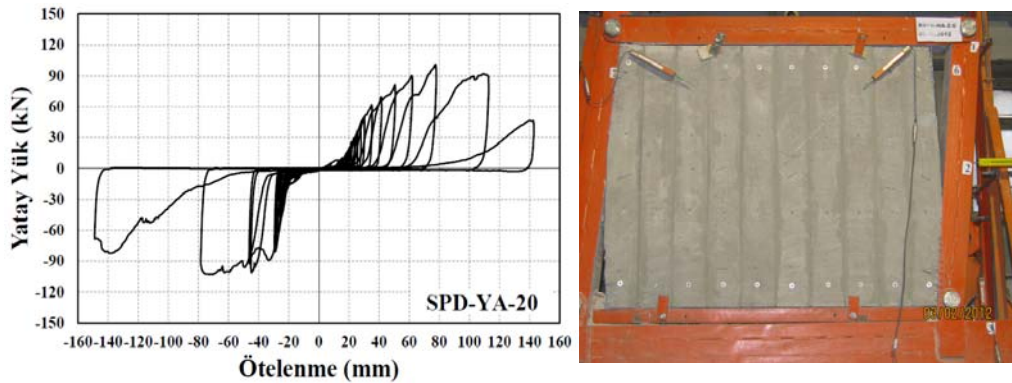
Şekil 6. SP-YA-20 Elemanının Yatay Yük-Ötelenme Grafiği ve Hasar Fotoğrafı (Load-Displacement Graph of Specimen SP-YA-20 and Photograph of Damage)



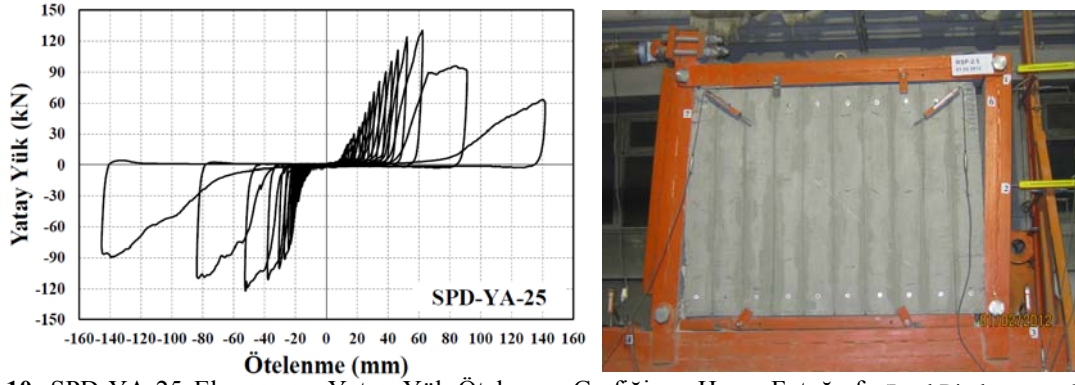
Şekil 7. SP-YA-25 Elemanının Yatay Yük-Ötelenme Grafiği ve Hasar Fotoğrafı (Load-Displacement Graph of Specimen SP-YA-25 and Photograph of Damage)



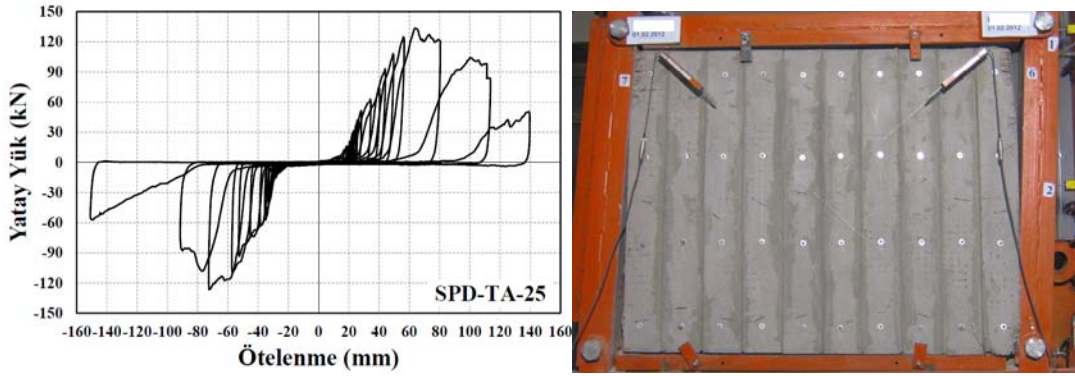
Şekil 8. SPD-MA-20 Elemanının Yatay Yük-Ötelenme Grafiği ve Hasar Fotoğrafı (Load-Displacement Graph of Specimen SPD-MA-20 and Photograph of Damage)



Şekil 9. SPD-YA-20 Elemanının Yatay Yük-Ötelenme Grafiği ve Hasar Fotoğrafı (Load-Displacement Graph of Specimen SPD-YA-20 and Photograph of Damage)



Şekil 10. SPD-YA-25 Elemanının Yatay Yük-Ötelenme Grafiği ve Hasar Fotoğrafı (Load-Displacement Graph of SPD-YA-25 Specimen and Photograph of Damage)



Şekil 11. SPD-TA-25 Elemanının Yatay Yük-Ötelenme Grafiği ve Hasar Fotoğrafı (Load-Displacement Graph of SPD-TA-25 Specimen and Photograph of Damage)

Tablo 2. Deney Elemanlarının Test Özetleri (Summary of the Test Results)

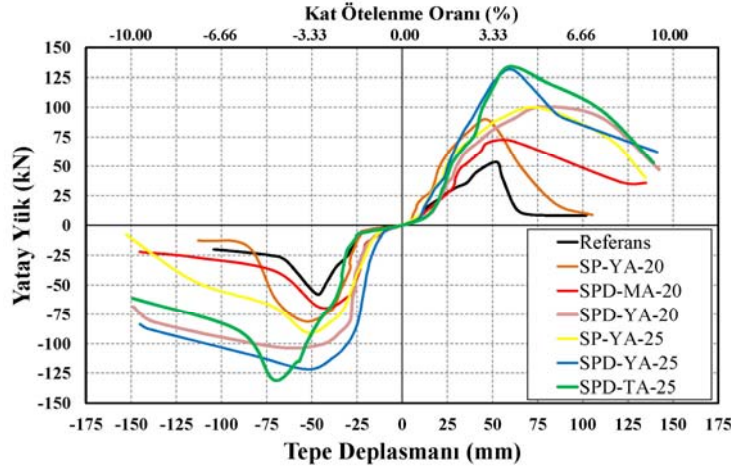
Deney Elemanı	Maksimum Yanal Yük (kN)	Oran <sup>(1)</sup>	Maks. Yanal Yükte Kat Ötelenmesi (mm)	İlk Rijitlik Değeri (kN/mm)	Enerji Tüketimi (kJ)	Sınırlık
Referans	53,4	1,00	52,3	2,3	6,8	2,4
SP-YA-20	90,0	1,69	46,3	2,5	11,5	3,2
SPD-MA-20	71,4	1,34	61,2	4,0	12,9	2,8
SPD-YA-20	100,4	1,88	70,6	3,2	23,7	3,4
SP-YA-25	99,6	1,87	76,2	3,7	19,5	3,0
SPD-YA-25	130,5	2,44	62,2	3,4	25,1	3,0
SPD-TA-25	133,2	2,49	63,5	3,5	26,0	2,8

<sup>(1)</sup>Maksimum yanıl yük değerinin Referans deney elemanının değerinine oranı

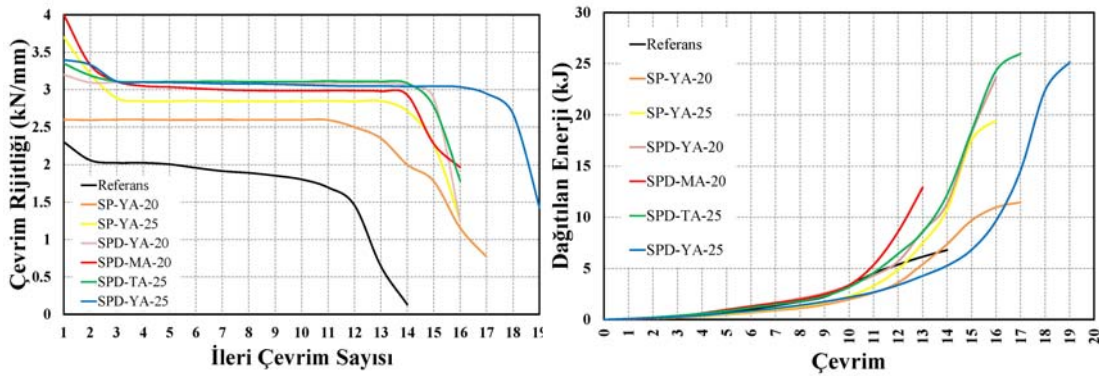
SPD-YA-25 ve SPD-TA-25 deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasiteleri 130,5 ve 133,2 kN çıkmış ve yük taşıma kapasitesindeki artış Referans deney elemanına göre sırasıyla 2,44 kat ve 2,49 kat olmuştur. Panellerin iki kat fazla sayıda  $\phi 6$ 'lık bulonlarla sabitlendiği SPD-TA-25 deney elemanının yük taşıma kapasitesindeki artış, daha kalın paneller ve daha yüksek malzeme dayanımları sayesinde en fazla olmuştur.

Elemanların dayanım ve rijitlikleri ile genel davranışları bir bütün olarak Şekil 12'de verilen zarf eğrilerinin yardımıyla değerlendirilmiştir. Bir deney elemanının herhangi bir çevrimdeki rijitlik değeri,

söz konusu çevrimdeki yük-tepe ötelenmesi grafiğindeki en dik lineer bölümün eğimi olarak alınmıştır. Bu bağlamda, deney elemanlarının ilk rijitlikleri hesaplanmışlar ve Tablo 2' de verilmişlerdir. Ayrıca elemanların deney süresince rijitliklerinin seyri Şekil 13'de verilmiştir. Değerler ve grafikler incelendiğinde sıvanmış boşluklu tuğla dolgu duvarlar üzerine şerit beton/BA paneller yapılandırılması deney elemanlarının ilk rijitliklerini arttırmış, ileri çevrim rijitlik değerlerindeki düşüşü azaltmıştır. Donatılı ve daha kalın panel yapılandırılması ise duvar elemanlarının daha yüksek çevrim rijitlik değerlerine sahip olmalarına sebep olmuşlardır.



Şekil 12. Eleman Zarf Eğrileri (Response Envelopes of all Specimens)



Şekil 13. Elemanların Rijitlik Değerlerindeki Azalma ve Enerji Dağıtma Kapasitelerinin Grafikleri (Stiffness Degradation and Energy Dissipation Capacity Curves of all Specimens)

Enerji dağıtma kapasitesi bir yapının kuvvetli yer hareketlerine karşı direnç gösterebilmesinin ve davranıştaki olası iyileşmenin bir göstergesidir. Tüm elemanlar için bu değer, yatay yük-ötelenme grafiklerindeki tüm çevrimlerin alanlarının toplanması ile elde edilmiştir. Deney elemanlarının enerji dağıtma kapasiteleri Tablo 2’de, grafikleri Şekil 13’de verilmiştir. Tablodan ve şekilden gözlemlenebileceği üzere, beton panel yapıştirılması sıvanmış tuğla duvarların enerji dağıtma kapasitelerini arttırmış, panellerin donatılardırılması ve/veya daha kalın panel kullanılması ise elemanların enerji dağıtma kapasitelerindeki artışı pekiştirmiştir.

Türk Deprem Yönetmeliği (TDY 2007) [24] yapıların görece kat ötelenme oranı güvenlik sınırında % 3.0 olarak tanımlanmıştır. Şekil 12’de verilen eleman zarf eğri grafiklerinde de görülebildiği üzere tüm elemanların maksimum yanal yük seviyelerindeki görece kat ötelenme değerleri sınır değerinin altında kalmıştır.

Deplasman sünekliği en yüksek deplasmanın akma deplasmanına oranı olarak tanımlanmıştır. En yüksek deplasman, eleman maksimum yanal yük taşıma kapasitesinin %85 değerine düştüğü tepe ötesi

noktadaki ötelenme değeri olarak kabul edilmiştir. Akma deplasman değeri orijin noktasından başlayan ve eleman maksimum yanal yük taşıma kapasitesinin tepe öncesinde %70 değerine ulaştığı noktalar arasında çizilen sekant ile tanımlanabilir ve bu sekant doğrusu ile maksimum yanal yük seviyesinden yatay olarak uzatılan doğrunun kesiştiği noktadaki tepe deplasmanı değeri akma deplasmanı olarak kabul edilmiştir [7].

Deney elemanlarının süneklik değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Değerler incelendiğinde, tüm güçlendirilmiş elemanlarının sünekliklerinin Referans deney elemanına göre %45 oranında arttığı görülmektedir. Genel olarak beton ve ince panellerle güçlendirme işleminin süneklik lehine sonuçlar verdiği söylenebilir.

## 5. KURAMSAL ÇALIŞMALAR (ANALYTICAL STUDIES)

Analitik çalışmada sıvanmış boşluklu tuğla duvarlar ve beton/BA şerit paneller iki ayrı basınç çubuğu gibi modellenecektir. Basınç çubuklarının çerçeveye mafsallarla bağlandığı varsayılacaktır. Sıvanmış boşluklu tuğla duvarları modelleyen birinci basınç



çubuğunun eksenel dayanımı Denklem 1'den hesaplanabilir;

$$F_1 = f_{\text{dolgu-0}} \cdot a_1 \cdot b_1 \quad (1)$$

Denklem (1)'de yeralan  $a_1$  birinci basınç çubuğunun geometrik genişliğidir ve FEMA [20] tarafından önerilen denklemler kullanılarak bulunabilir,  $b_1$  çubuğun kalınlığıdır ve sıvanmış tuğla dolgunun gerçek kalınlığı olarak alınacaktır. Denklem (1)'de yeralan  $f_{\text{dolgu-0}}$  sıvanmış boşluklu tuğla dolgunun diyagonal yöndeki basınç dayanımıdır ve yazar tarafından önerilen [7] formüller kullanılarak hesaplanacaktır;

$$f_{\text{dolgu-0}} = 0.5 \cdot (f_{\text{dolgu-90}} + f_{\text{dolgu-0}}) \quad (2)$$

Denklem (2)'de yeralan  $f_{\text{dolgu-90}}$  ve  $f_{\text{dolgu-0}}$  dayanımların her ikisi de Denklem (3) kullanılarak hesaplanabilirler;

$$f_{\text{dolgu}} = \frac{(f_{\text{tuğla}} \cdot t_{\text{tuğla}} + f_{\text{siva}} \cdot t_{\text{siva}})}{(t_{\text{tuğla}} + t_{\text{siva}})} \quad (3)$$

Şerit paneller sıvaya yapıştırıldığı zaman monolitik ve homojen malzeme olarak varsayılacaktır ve eksenel dayanımı Denklem (4) kullanılarak [21] hesaplanabilir;

$$F_2 = \Phi \cdot \left( \frac{n_b}{40} \cdot f_{\text{panel}} \right)^{0.25} \cdot a_2 \cdot b_2 \quad (4)$$

Denklem (4)'de yeralan  $a_2$  ikinci basınç çubuğunun genişliğidir ve Smith [22] tarafından önerilen denklemler kullanılarak bulunabilir,  $b_2$  çubuğun kalınlığıdır ve şerit panelin gerçek kalınlığı olarak alınacaktır. Denklemdeki  $\Phi$  değeri bir katsayıdır, deney elemanlarının doğrusal olmayan itme analizlerinden (ötelenme kontrollü) elde edilmiştir, beton ve BA paneller için sırasıyla 12,0 ve 15,0 olarak alınacaktır. Burada tüm davranışı modellemek amaçlanmamış, ancak dayanımın doğru bir yaklaşıklıkla hesaplanması amaçlanmıştır.

Kuramsal ve deneysel verilerin karşılaştırılması Tablo 3'de verilmiş olup değerler incelendiğinde, deney elemanlarının kuramsal olarak elde edilen yatay yük

taşıma kapasiteleri yaklaşık  $\pm$  %10 hata payıyla hesaplanabilmektedir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

Gerçekleştirilen 7 adet tuğla duvar testlerinden aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Sıvanmış tuğla duvar üzerine normal fayans yapıştırıcısı kullanarak beton/BA şerit panellerin yapıştırılması ve  $\phi 6$ 'lık bulonlarla sabitlenmesi duvarın yatay yük taşıma kapasitesini ve rijitliğini arttırdığı gibi davranışını da iyileştirmiştir. Yatay yük taşıma kapasitesindeki artış yaklaşık en fazla 2,5 kat olmuştur.
- Donatılı panel kullanılarak güçlendirilmiş deney elemanlarının davranışlarındaki iyileşme, beton panellerle güçlendirilmiş elemanların davranışına oranla daha iyi olmaktadır. Ayrıca köşe BA panellerin ezilmesi daha geç ve az oranda olmaktadır.
- Panelleri sıvaya sabitlemekte kullanılan  $\phi 6$ 'lık bulon sayısının optimum değeri kullanılan panel sayısının iki katı (bir alt bir de üst olmak üzere iki noktadan sabitlenmesi) olarak gözükmektedir. Zira az sayıda bulon kullanmak işçiliği azaltsa da tuğlaların daha erken dökülmesine sebep olabilmektedir. Fazla sayıda bulon kullanmak da işçiliği arttırdığı gibi yatay yük taşıma kapasitesini daha fazla arttırmayarak davranışı da daha fazla geliştirmemiştir.
- Kat ötelenme değerleri TDY [23] tarafından tanımlanan güvenlik bölgesi değerlerini aşmadığından bu teknikte güçlendirilmiş duvarların can güvenliği seviyesine ulaşılmadan etkinliklerini sürdürecekleri kesindir.
- Kullanılan malzemeler ve işçilik yerli üretimdir ve her yerde bulunabilmektedir. Önerilen güçlendirme yöntemi ekonomik olduğu gibi kullanıcı dostu da olup yapının boşaltılmasını gerektirmeyecektir.
- Panellerle güçlendirilmiş sıvanmış boşluklu tuğla dolgu duvarların eşdeğer basınç çubukları ile modellendiği ve eksenel dayanımlarının tahmin edildiği analizlerin sonuçları düşük hata paylı olacaktır.

**Tablo 3.** Deneysel Verilerin Kuramsal Verilerle Karşılaştırılması (Comparison of Experimental Data with Analytical Data)

Deney Elemanı	Yatay Yük Kapasitesi (kN)			Deney Elemanı	Yatay Yük Kapasitesi (kN)		
	Deneysel	Kuramsal	Oran		Deneysel	Kuramsal	Oran
Referans	53,4	52,9	0,99	Referans	53,4	52,9	0,99
SP-YA-20	90,0	86,5	0,96	SP-YA-25	99,6	94,0	0,94
SPD-MA-20	71,4	78,6	1,10	SPD-YA-25	130,5	117,2	0,90
SPD-YA-20	100,4	110,5	1,10	SPD-TA-25	133,2	120,0	0,90

**SEMBOLLER (SYMBOLS)**

$F_1$	: Sıvanmış boşluklu tuğla dolguyu modelleyen eşdeğer basınç çubuğunun aksel dayanımı
$f_{dolgu-\theta}$	: Sıvanmış boşluklu tuğla dolgunun diyagonal yöndeki basınç dayanımı
$a_1$	: Sıvanmış boşluklu tuğla dolguyu modelleyen eşdeğer basınç çubuğunun genişliği
$b_1$	: Sıvanmış boşluklu tuğla dolguyu modelleyen eşdeğer basınç çubuğunun kalınlığı
$f_{dolgu-90}$	: Sıvanmış boşluklu tuğla dolgunun dikey yöndeki basınç dayanımı
$f_{dolgu-0}$	: Sıvanmış boşluklu tuğla dolgunun yatay yöndeki basınç dayanımı
$f_{tuğla}$	: Boşluklu tuğlanın yatay ya da dikey yöndeki basınç dayanımı
$t_{tuğla}$	: Boşluklu tuğlanın kalınlığı
$f_{sıva}$	: Boşluklu tuğla dolgu duvar sıvasının basınç dayanımı
$t_{sıva}$	: Boşluklu tuğla dolgu duvar sıvasının basınç kalınlığı
$F_2$	: Beton/BA şerit panellerin oluşturduğu tüm paneli modelleyen eşdeğer basınç çubuğunun aksel
$\Phi$	: Bir katsayı (Beton paneller için 12,0 ve BA paneller için 15,0 alınacaktır)
$n_b$	: Bir duvar elemanında kullanılan $\phi 6$ 'lık bulon sayısı
$f_{panel}$	: Şerit panelin basınç dayanımı
$A_2$	: Beton/BA şerit panellerin oluşturduğu tüm panelmodelleyen eşdeğer basınç çubuğunun genişliği
$b_1$	: Beton/BA şerit panellerin oluşturduğu tüm paneli modelleyen eşdeğer basınç çubuğunun kalınlığı

**TEŞEKKÜR (Acknowledgements)**

Yazarlar 2011/76 proje numarası ile bu çalışmaya maddi destek sağlayan Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkürlerini sunarlar.

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

1. **Türkiye'nin Deprem Gerçeği Paneli**, Editörler: Prof. Dr. Hüsnü Can, Jeoloji Yüksek Mühendisi Bülent Özmen, Ocak 2010 Gazi Üniversitesi DEPAR, Ankara.
2. Ersoy, U., Uzsoy, S., **The Behavior and Strength of Infilled Frames**, Tübitak Proje No. MAG-205 (in Turkish), Ankara, Türkiye, 1971.
3. Altın, S., Ersoy, U., Tankut, T., "Hysteretic Response of Reinforced Concrete Infilled Frames", **Journal of Structural Engineering, ASCE**, Cilt 118, No 8, 2133-2150, 1992.
4. Turk, M., Ersoy, U., and Ozcebe, G., "Seismic Rehabilitation of RC Frames with RC Infill Walls", **Fifth National Conference on Earthquake Engineering**, Istanbul, Turkey, May 2003.
5. Canbay, E., Ersoy, U., and Ozcebe, G., "Contribution of RC Infills to the Seismic Behavior of Structural System. **ACI Structural Journal**, Cilt 100, No 5, 637-643, 2003.
6. Sonuvar, M. O., Ozcebe, G., and Ersoy, U., "Rehabilitation of Reinforced Concrete Frames with Reinforced Concrete Infills", **ACI Structural Journal**, Cilt 101, No 4, 494-500, 2004.
7. Baran, M., "Investigation of the Effects of Infill Walls on the Behavior of Reinforced Concrete Framed Structures", **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Cilt 27, No 2, 275-284, 2012.
8. Marjani, F., **Behavior of Brick Infilled Reinforced Concrete Frames under Reversed Cyclic Loading**, Doktora Tezi, ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1997.
9. Altın, S., Anıl, Ö., Kara, M. E., Kaya, M., "An Experimental Study on Strengthening of Masonry Infilled RC Frames using Diagonal CFRP Strips", **Composites:Part B**, Cilt 39, No 4, 680-693, 2008.
10. Erdem, İ., Akyüz, U., Ersoy, U., Özcebe, G., "An Experimental Study on two Different Strengthening Techniques for RC Frames", **Engineering Structures**, Cilt 28, No 13, 1843-1851, 2006.
11. Acun B., Sucuoğlu, H., "Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Hasır Donatı ile Güçlendirilmesi", **Deprem Sempozyumu**, Kocaeli, 965-971, 23-25 Mart 2005.
12. Sevil, T., Baran, M., Bilir, T., Canbay, E. "Use of Steel Fiber Reinforced Mortar for Seismic Strengthening", **Construction and Building Materials**, Cilt 25, Sayı 2, 892-899, 2011.
13. Farooq, S. H., Ilyasb, M., Ghaffarb, A., "Technique for Strengthening of Masonry Wall Panels Using Steel Strips", **Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)**, Cilt 7, No 6, 621-638, 2006.
14. Baran, M., Tankut, T., "Experimental Study on Seismic Strengthening of Reinforced Concrete Frames by Precast Concrete Panels, **ACI Structural Journal**, Cilt 108, No 2, 227-237, 2011.
15. Baran, M., Tankut, T., "Retrofit of Non-Ductile RC Frames with Precast Concrete (PC) Wall Panels", **Advances in Structural Engineering**, Cilt 14, No 6, 1149-1166, 2011.
16. Papanicolaou, C., Triantafyllou, T., Lekka, M., "Externally Bonded Grids as Strengthening and Seismic Retrofitting Materials of Masonry Panels", **Construction and Building Materials**, Cilt 25, No 2, 504-514, 2011.
17. Topçu, İ., B., Işıkdag, B., Tatar, Ö., Abi, E., "Depremde Hasar Görmüş Binaların Ferrocement Panellerle Güçlendirilmesi", **Deprem Sempozyumu**, Kocaeli, 917-926, 23-25 Mart 2005.
18. National Information Centre for Earthquake Engineering, **Guidelines for Earthquake Resistant Non-Engineered Construction**,

- Chapter 9: Repair Restoration and Strengthening of Buildings, 1986.
19. Sikadur-31 SBA, Segmental Bridge Adhesive, **Product Data Sheet**, 2001.
  20. Kalekim, Yapı Kimyasalları Kataloğu, 2013.
  21. Federal Emergency Management Agency, Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings, FEMA 306, 1998.
  22. Baran, M., Canbay, E., Tankut, T., “Seismic Strengthening with Precast Panels – Theoretical Approach”, **Technical Journal**, Digest 2010, Cilt 21, 1403-1423, 2010.
  23. Smith, B. S., “Model Test Results of Vertical and Horizontal Loading of Infilled Specimens”, **ACI Journal**, Title No.65-44, 618-624, Ağustos 1968.
  24. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar**, Ankara, Türkiye, 2007.

