SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg., c.7, s.2, ss. 346-361, 2019
Selcuk Univ. J. Eng. Sci. Tech., v.7, n.2, pp. 346-361, 2019
ISSN: 2147-9364 (Electronic)
DOI: 10.15317/Scitech.2019.204

GÜÇLENDİRME TEKNİĞİ OLARAK YENİ NESİL ÖN ÜRETİMLİ BETON PANEL UYGULAMASININ ARAŞTIRILMASI

[1]Ceyhun AKSOYLU, [2]Nail KARA

[1, 2] Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Selçuklu, Konya, Türkiye.
[1]caksoylu@ktun.edu.tr, [2]nkara@ktun.edu.tr

(Geliş/Received: 15.11.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 25.12.2018)

ÖZ: Bu çalışmada, bina sakinlerinin binayı terk etmelerine gerek kalmadan uygulanabilecek bir güçlendirme yöntemi araştırılmıştır. Bu amaçla, özellikle (ülkemizdeki) mevcut betonarme binalarda sıklıkla görülen hatalara sahip olarak üretilen 1/3 ölçekli, deprem dayanımı zayıf, iki katlı ve tek açıklıklı güçlendirilmemiş tuğla dolgu duvarlı bir adet betonarme çerçeve referans numune olarak üretilmiştir. Ayrıca referans numune ile aynı özelliklere sahip 1 adet betonarme çerçeve dolgu duvarları, önüretimli yüksek dayanımlı yeni çapraz beton paneller ile güçlendirilerek deprem etkisini benzeştiren tersinir – tekrarlanır yatay yükleme altındaki davranışları test edilmiştir. Deney sonuçları, SAP2000 v17.3'de yapılan analitik çalışma ile karşılaştırılmış olup uygulanan tekniğin deney elemanlarının enerji yutma kapasitelerini artırdığını ve deprem davranışlarını iyileştirdiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: *Betonarme dolgu duvar, Güçlendirme, Önüretimli yeni çapraz beton panel.*

Investigation of New Generation Precast Concrete Panel Applications as Reinforcement Technique

ABSTRACT: In this study, a strengthening method that can be applied without building occupants having to leave the building was investigated. For this purpose, a reinforced concrete frame, which is 1/3 scaled, low-strengthened against earthquake, has two-story and single span unreinforced brick infilling wall, has been produced with failures frequently seen especially in concrete buildings of our country as reference sample. Moreover, strengthening three reinforced concrete infilled frame wall having same features with reference sample by new diagonal concrete panels which are precast, high strengths in different shapes, their behaviors under reversible-repeatable horizontal loading simulating earthquake effect have been tested. Results of the experiment have been compared with the analytic study used in SAP2000 v17.3 and it has been observed that applied technique has increased the energy dissipation capacity of test elements and improved the earthquake behaviors.

Key Words: *Infill Wall, Precast New Diagonal Concrete Panels, RC frame*

GİRİŞ (INTRODUCTION)

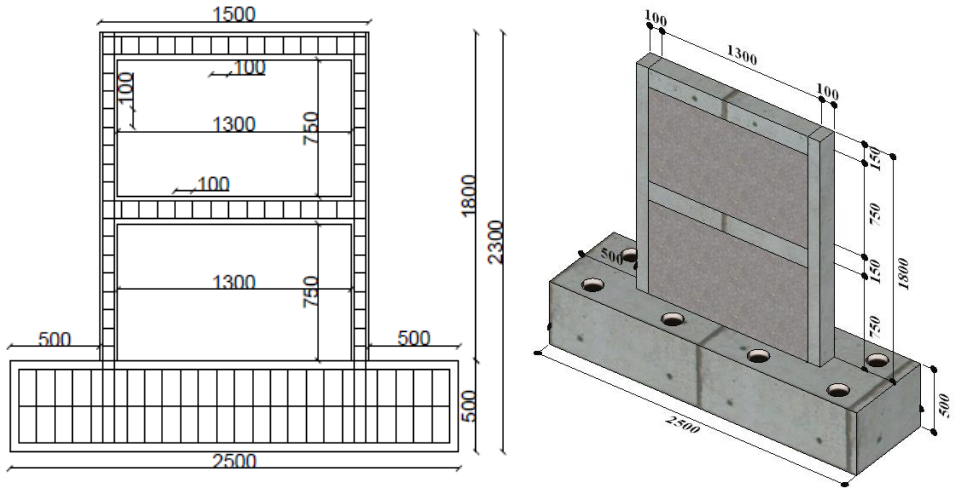
Ülkemizdeki mevcut betonarme binaların çoğunluğunun deprem bölgeleri haritasına göre 1. ve 2. derece deprem bölgesinde olduğu bilinmektedir. Bununla beraber mevcut yapıların çoğunda bölme duvarı olarak tuğlanın kullanılması da bir hayli yaygındır. Yapılan statik hesaplarda tuğla dolgunun yalnızca zati(ölü) yük olarak dikkate alınması depreme karşı yapısal özelliklerine katkısının düşünülmemesi de önemli bir sorundur. Dahası, literatürde yapılan deneysel ve analitik çalışmalar incelendiğinde, dolgu duvarların depreme karşı yapı tasarımında dikkate alınması gerektiği açıkça görülmektedir (Baran, 2012; Marjani, 1997). Diğer taraftan göçen veya ağır hasar alan yapıların büyük çoğunluğunun perde gibi yanal rijitliği artıracak elemanlardan yoksun, yalnızca kolon ve kirişlerden oluşan çerçeve sistemlerden oluşu yapıların depreme karşı yeterli yanal dayanıma sahip olmadığını da göstermektedir. Yapıların depreme karşı güçlendirilmesinin önemi özellikle Türkiye'de 1992 yılında

meydana gelen Erzincan depremi sonrası iyice anlaşılmış olup, günümüze kadar yapılan farklı güçlendirme tekniklerinin geliştirilmesi ile de daha iyi bir duruma getirilmiştir. Bu amaçla yapıya yanal rijitlik kazandıracak yerinde dökme betonarme perde duvarlar en etkili ve güvenilir sistem iyileştirme tekniği olarak günümüzde hâlen kullanılmaktadır (Ersoy ve Uzsoy, 1971; Zhang ve Wang, 2000). Ancak yapılan bu uygulamanın en önemli eksiği inşaat işinin ağır, uzun ve maliyetli olmasından dolayı bir hayli zahmetli ve yorucu olmasıdır. Bu sebeple araştırmacılar yapısal olarak etkili, hızlı çözüm üreten ve ekonomik güçlendirme teknikleri geliştirmeye yönelmişlerdir. Bu teknikler arasında, Karbon lifler (CFRP) (Binici ve diğ., 2007; Kara ve diğ., 2015; Kara ve diğ., 2016; Akın ve diğ., 2016; Kara ve diğ., 2017), çelik lif katkılı sıva (Sevil ve diğ., 2011), çelik şeritler (Perera, 2004; Akın ve diğ., 2016), hasır donatılı püskürtme beton (Acun ve Sucuoğlu, 2005), epoksi ve harç enjeksiyonu (ElGawady ve diğer., 2004), çimento esaslı kompozit malzemeler (Kesner ve Billington, 2005) önüretimli yüksek dayanımlı beton paneller (Frosch ve diğ., 1996; Baran ve Tankut 2011; Akın, 2011; Akın ve Sezer, 2016) ile güçlendirme bunlardan bazıları olarak sayılabilir.

Bu çalışmada hedeflenen ise; pratik, kolay uygulanabilir, ekonomik ve yapı içinde yaşayanlara rahatsızlık vermeyen bir teknikle betonarme yapıları depreme karşı güçlendirebilecek alternatif yeni nesil bir yöntem geliştirmektir. Literatürde yapılan önüretimli paneller ile güçlendirme çalışmaları arasında, tarafımızca geliştirilen paneller yerleşim şekli bakımından özgündür. Yapılan çalışmanın diğer güçlendirme yöntemlerinden en önemli farkı ise dolgu duvarlar ile kaplı tüm yüzeyin önüretimli paneller ile kaplanması şeklinde olmayıp deprem esnasında dolgu duvarların çalışma doğrultusuna gelecek şekilde önüretimli yeni nesil çapraz beton panellerin yerleştirilmesi ile güçlendirmenin yapılmasıdır. Bu doğrultuda TDY-2007 yönetmeliği kapsamında yapılan bu çalışmada, 1/3 ölçekli dolgu duvarlı betonarme çerçeveye çapraz panel yerleşim şekli ve ankraj detayları uygulanarak güçlendirme yönteminin etkinliği araştırılmıştır. Deneysel çalışma sonuçları da SAP2000 v.17.3'den elde edilen analitik çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

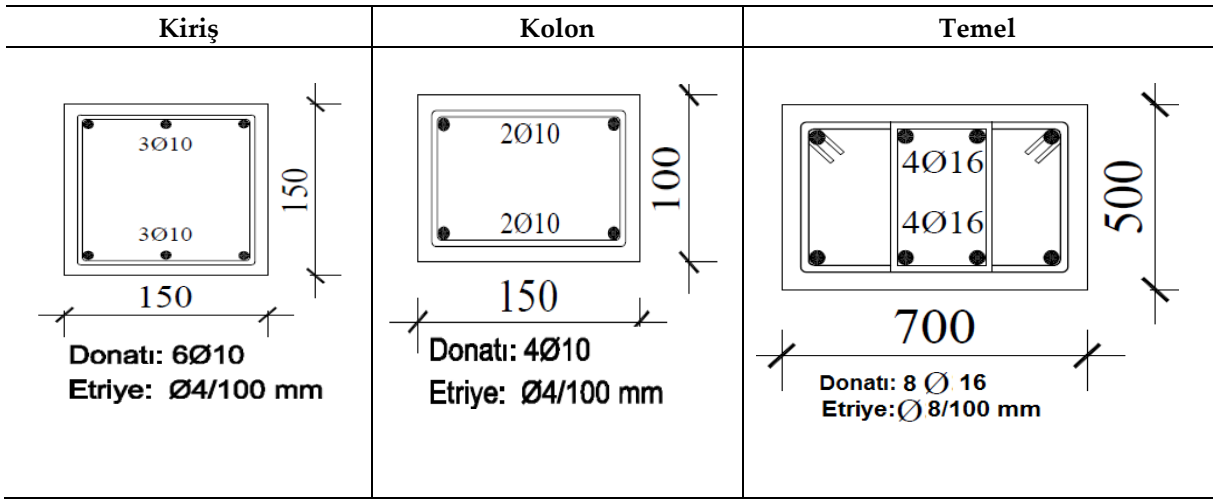
MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Bu çalışmada 1 adet referans ve 1 adet güçlendirilmiş olmak üzere toplam 2 adet deney numunesi üretilmiş olup depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükler etkisi altında test edilmiştir. Deney numunelerinde kullanılan tuğla piyasada kolayca temin edilebilen 85x190x190 mm ebatlarında olan ve 8.5'luk olarak bilinen yatay delikli tuğlalardır. İmalat sırasında örülen duvarlar boyutları 750 mm yüksekliğinde ve 1300 mm (1/3 ölçekli) genişliğinde olacak şekildedir. Duvarların her bir yüzü çimento kireç karışımı harçla yaklaşık sıva kalınlığı 8-10 mm ve basınç dayanımı 1.5-2 MPa olacak şekilde sıvanmıştır. Her duvarın ilk ya da son sırasını oluşturan yarım tuğlalar, delikleri düşey olacak şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 1'de numunelerin boyutları ve donatı şeması verilmiştir. Panel donatısı olarak kullanılan hasır donatı çubuklarının çapı 2 mm ve her bir göz aralığı her iki yönde 20 mm olarak seçilmiştir. Panellerin üretilmesinde, yüksek mukavemetli olması, panel kalınlıklarının az olmasından dolayı betona göre daha homojen bir karışım elde edebilmek ve kalıptan çıkarırken parçalanma olmaması düşünülerek piyasadan kolayca elde edilebilecek Grout harcı kullanılmıştır. Panellerin duvara ve ankraj demirlerinin çerçeve elemanlarına ankrajında ise, yüksek dayanımlı iki karışımlı epoksi esaslı yapıştırıcılar kullanılmıştır. Referans deney numunesi her iki yüzüne sıva uygulanarak hazırlanmış ve hiçbir şekilde güçlendirilmemiştir. Deney elemanlarının ve yüksek dayanımlı panellerin hazırlanışı aynı zamanda olduğundan harç-sıva dayanımları ve panel beton dayanımları kendi içinde farklılık göstermemektedir.



Şekil 1. Deney elemanlarının boyutları ve donatı şeması,boyutlar mm'dir.
Figure 1. *Dimension of Test Specimens, Dimensions are in mm*

Çerçeve numunelerinin kirişlerinde basınç ve çekme bölgesindeki donatı oranları sabit tutulmuş olup pas payı 10 mm alınmıştır. Olabildiğince piyasadaki mevcut yapıyı temsil etmesi için kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırması yapılmamıştır. Kirişlerde alt ve üst donatılar, kolon dış yüzüne kadar uzatılmış ve bu noktadan itibaren 14Ø (140 mm) uzunluğunda aşağı ve yukarı doğru bükülmüştür. Şekil 2'de kiriş, kolon ve temel elemanlarına ait kesitler, Çizelge 1'de ise deney çerçevelerinde kullanılan donatının mekanik özellikleri verilmiştir.



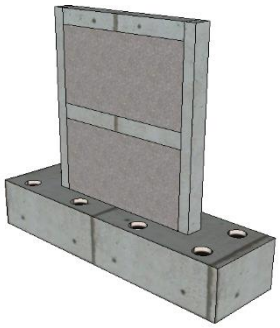
Şekil 2. Çerçeve numune elemanlarının en kesit ve donatı detayları
Figure 2. *Cross-section and Reinforcement Details of Test Frame Members*

Çizelge 1. Donatı çubuklarının özellikleri
Table 1. *Characteristics of reinforcing bars*

Donatı Çapı (mm)	Akma Dayanımı f_{yk} (MPa)	Maksimum Çekme Dayanımı f_{su} (MPa)	Donatı Türü ve Kullanıldığı Yerler
$\phi 4$	294	387	S220, Düz, Kolon Kiriş Enine Donatıları
$\phi 8$	407	496	S420, Nervürlü, Temel Enine Donatıları
$\phi 10$	418	512	S420, Nervürlü, Kolon, Kiriş Boyuna donatıları
$\phi 16$	427	508	S420, Nervürlü Temel Donatıları

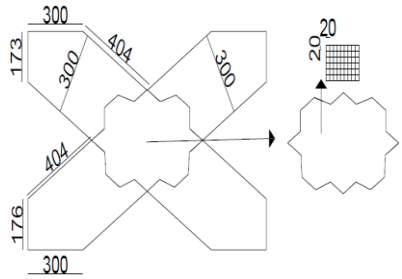
Yapılan bu çalışma kapsamında çerçeveyi güçlendirme amaçlı 1 adet önüretimli yeni nesil çapraz beton panel üretilmiştir. Panel kalınlıklarının ve panellerin çerçeve elemanlarına ankrajında TDY-2007'de [TDY-2007] verilen minimum koşullar 1/3 ölçekteki deney numunelerine uygun olarak seçilmiştir. Çizelge 2'de deney programında yer alan numunelere ait şekiller ile beton dayanım değerleri verilmiştir.

Çizelge 2. Deney numunelerinin özellikleri
Table 2. *Test Specimens Characteristics*

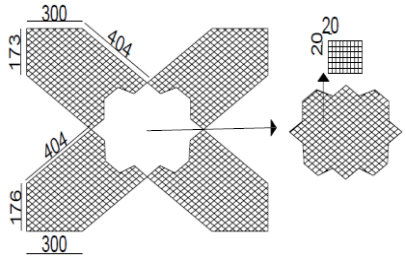
Deney Numunesi No:	Çerçeve Türü	f_c (MPa)		Deney Numunelerinin Özellikleri
		Çerçeve	Önüretimli panel	
Deney No:1 Referans Numune (RN)		17.13	-	Boşluklu Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçeve
Deney No: 2 X Tipi Panelli Numune (X-TPÇ)		17.55	44.20	Boşluklu Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçeve + Diyagonal X Çapraz Panelle Güçlendirilmiş Çerçeve

Çizelge 2'de yerleşim şekilleri gösterilen önüretimli yeni nesil diyagonal beton paneller, 300 mm genişliğinde ve 20 mm kalınlığında olacak şekilde sıva üzerine yaklaşık 3 mm kalınlığında epoksi yapıştırıcısı ile yapıştırılarak güçlendirilmiştir. Ayrıca önüretimli paneller her bir katta diyagonal olarak 4 adet ve tam merkezde olan 1 adet panelden oluşmaktadır. Panellerin bağlantı bölgelerinde 1 adet ve

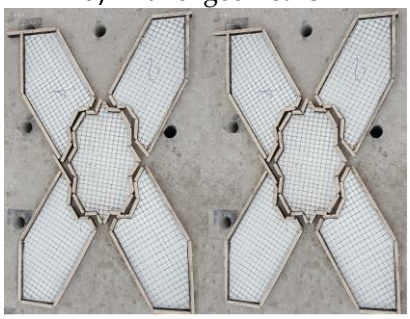
her bir panelin duvara bağlantısında 1 adet Φ8 çaplı ankrajlar TDY-2007'deki ankraj boyları dikkate alınarak duvara sabitlenmiştir. Merkezde yer alan panelde diş yapılarak kayma etkileri azaltılmış olup panellerin düzlem dışı hareket yapmaması amaçlanmıştır. Güçlendirilmiş deney elemanlarının detayları Şekil 3'de verilmiştir.



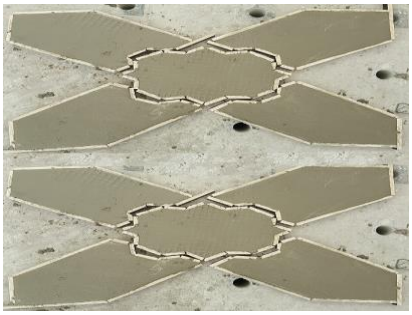
a) Panel geometrisi



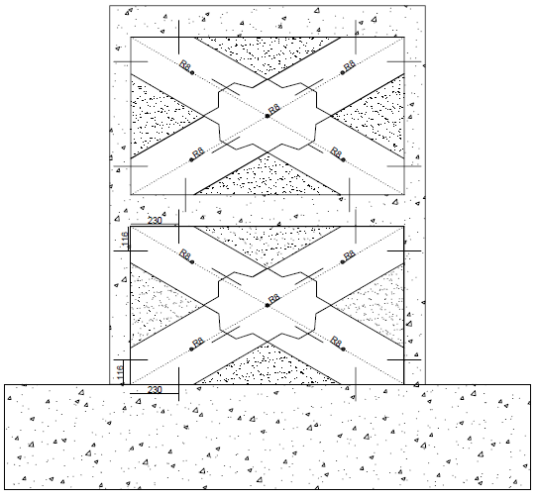
b) Hasır donatılı panel geometrisi



c) Kalıp ve donatısı hazır paneller



d) Yüksek dayanımlı beton panellerin hazırlanışı



e) Panellerin çerçeveye yerleşimi, 2D

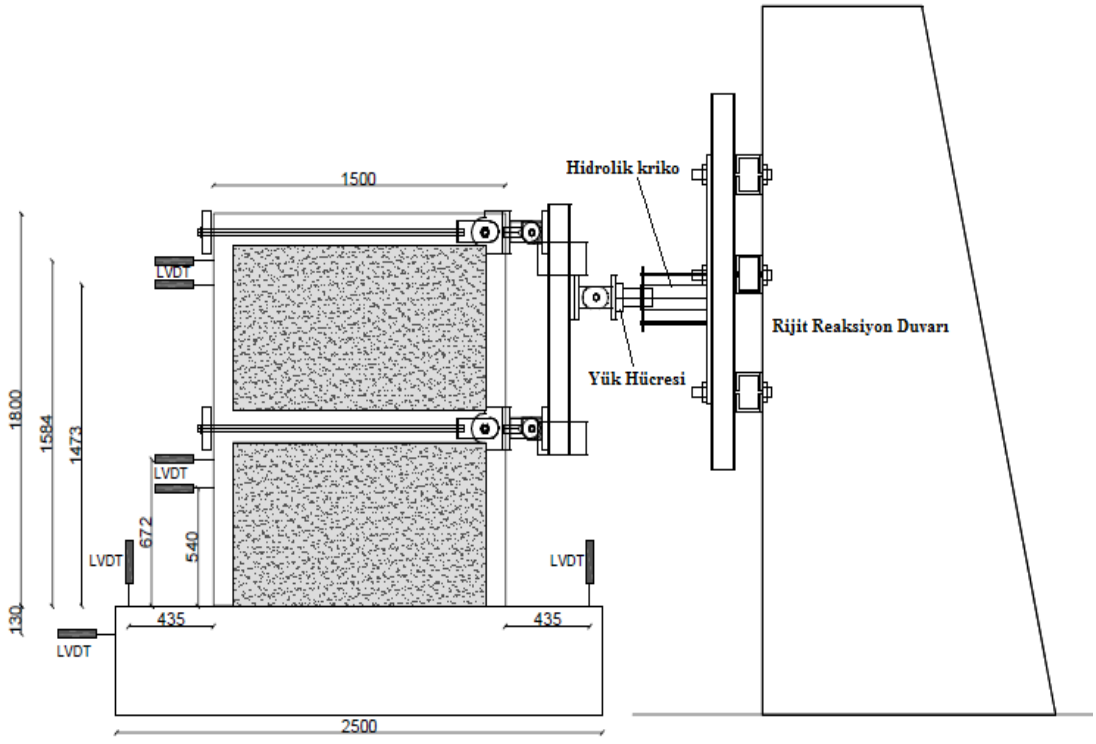


f) Panellerin çerçeveye yerleşimi,3D

Şekil 3. Panellerin boyutları ve detayları
Figure 3. *Dimensions and Details of the Panels*

Detayları Şekil 3'de verilen elemanlardan ilki (RN) referans numunedir. RN güçlendirilmemiş yalnızca sıvalı duvardan oluşmaktadır. X-TPÇ numunesi ise, duvarın köşegen uzunluğu boyunca yerleştirilmiş ve dayanımı 44.20 MPa olan yüksek dayanımlı beton paneller ile güçlendirilmesinden oluşmaktadır. Her bir panel epoksi ile duvara yapıştırılmış ve her panelin çerçeveye sabitlenmesi 2 adet Φ8'lik ankraj yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca panel birleşim bölgelerinde Φ8 ankraj donatısı her iki panelin içerisine 80 mm girecek şekilde sabitlenmiştir. Ankraj ekim aşamasında ankrajların daha etkin olabilmesi için açılan ankraj delikler hava ile temizlenmiştir.

Deneyler, Konya Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem laboratuvarında bulunan güçlü betonarme duvar ve güçlü betonarme döşemeden oluşan rijit deney platformu üzerinde gerçekleştirilmiştir. Temel kirişi rijit ve deney elemanı için ankastre mesnet şartlarını olabildiğince sağlayabilecek şekilde laboratuvar döşemesine ön gerilme ile bağlanmıştır. Deney numunelerine hidrolik kriko yardımıyla çekme veya basınç olarak uygulanan yatay yük, yük hücreleri yardımıyla okunmuştur. Deprem etkisini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük alt kata 1 ve üst kata 2 birim gelecek şekilde 1/2 oranında uygulanmıştır. Deneylere yük kontrollü olarak başlanıp, sistemin nominal akma yükü değerinden sonra deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir. Sistemdeki yer değiştirme ölçümleri lineer deplasman ölçerler (LVDT) ile sağlanmıştır. Yapılan tüm ölçümler bir bilgisayar da depolanmış ve yük-deplasman grafikleri izlenerek takip edilmiştir. Şekil 4'de deprem laboratuvarında yapılan ölçüm düzeni gösterilmiştir. Deney numuneleri üzerinde düşey yük etkisi ihmal edilmiştir. Bu durum deney numunelerinin sünekliğini bir miktar artıracak olup, yatay yük seviyesini azaltacak olsa da bütün deneyler için aynı şartların geçerli olması ve panellerin davranışının incelenmesi amaçlandığından karşılaştırmalar bu şekilde yapılmıştır.



Şekil 4. Yükleme ve Ölçüm Düzeneği

Figure 4. *Loading and Measurement System*

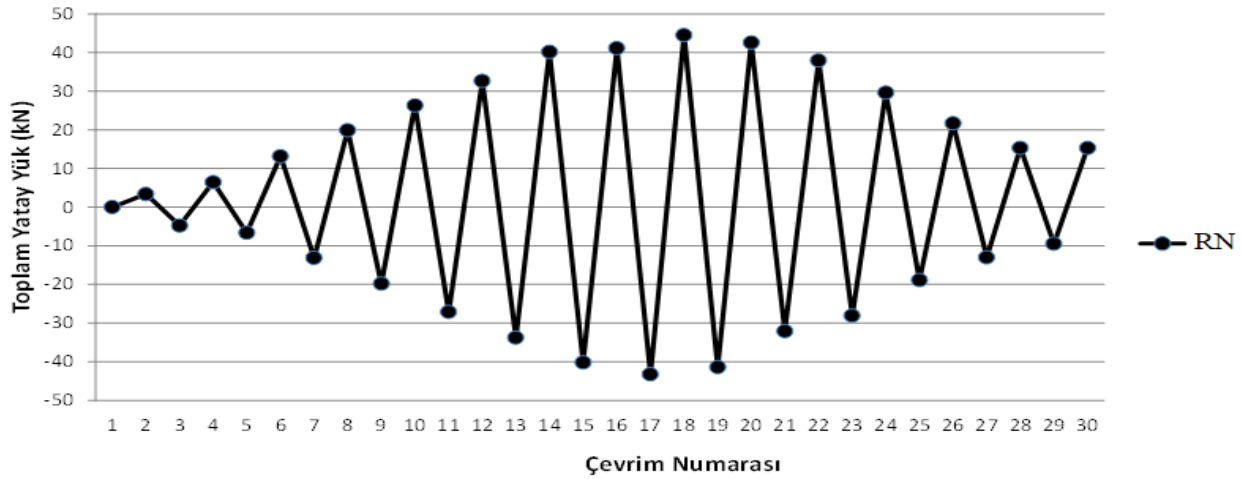
DENEY SONUÇLARI (TEST RESULTS)

Bir adet referans ve bir adet önüretimli X şeklinde diyagonal beton panelle güçlendirilmiş toplam iki adet numune depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiştir. Deney süreci aşağıdaki gibi gerçekleşmiştir:

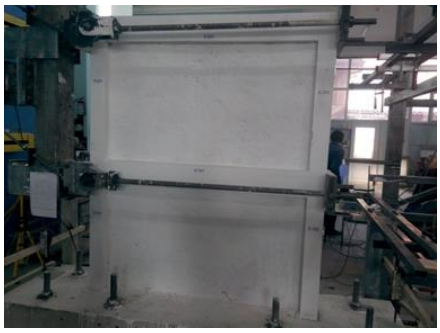
- RN yük kontrollü olarak 10 kN'luk artışlar ile ileri çevrimlerde akma noktası olan 44.50kN'a ve

geri çevrimlerde akma noktası olan 43.19 kN'a kadar devam edilmiş, daha sonra 10 mm artışlar ile 78 mm' ye kadar deplasman kontrollü bir şekilde deney bitirilmiştir. RN'nin yük geçmişi, histeresis eğrisi, zarf eğrisi ve deney öncesi-sonrası Şekil 5'de gösterilmiştir.

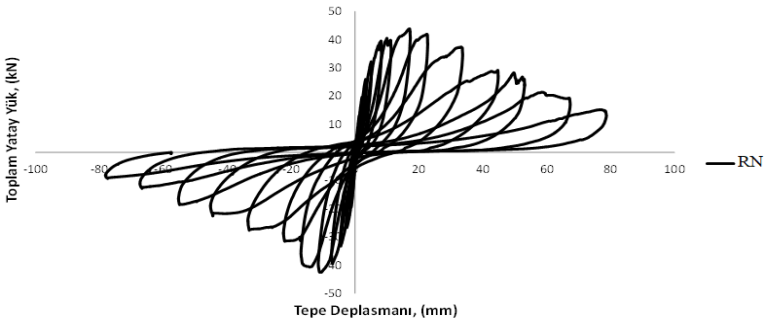
- Güçlendirilmiş X-TPÇ deney numunesinde ise, yük kontrollü olarak ileri ve geri çevrimlerde 5 ve 10 kN'luk artışlar ile akma noktası olan 161 kN'a gidilmiş, sistemin akmasından sonra 100 mm deplasmana kadar 10 mm artışlarla göçme konumuna ulaşmıştır. X-TPÇ elemanının yük geçmişi, histeresis eğrisi, zarf eğrisi, deney öncesi-sonrası Şekil 6'da gösterilmiştir. Ayrıca RN ve X-TPÇ numunelerin karşılaştırmalı zarf eğrisi grafikleri Şekil 7 de gösterilmiştir.



Yük geçmişi



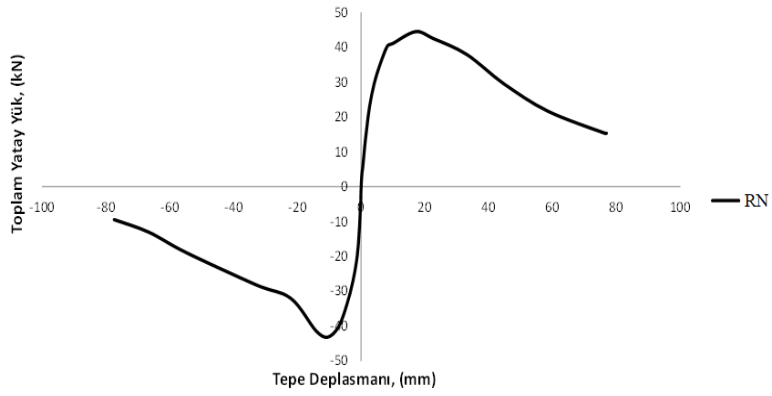
Deney Öncesi



Histeresis Eğrisi



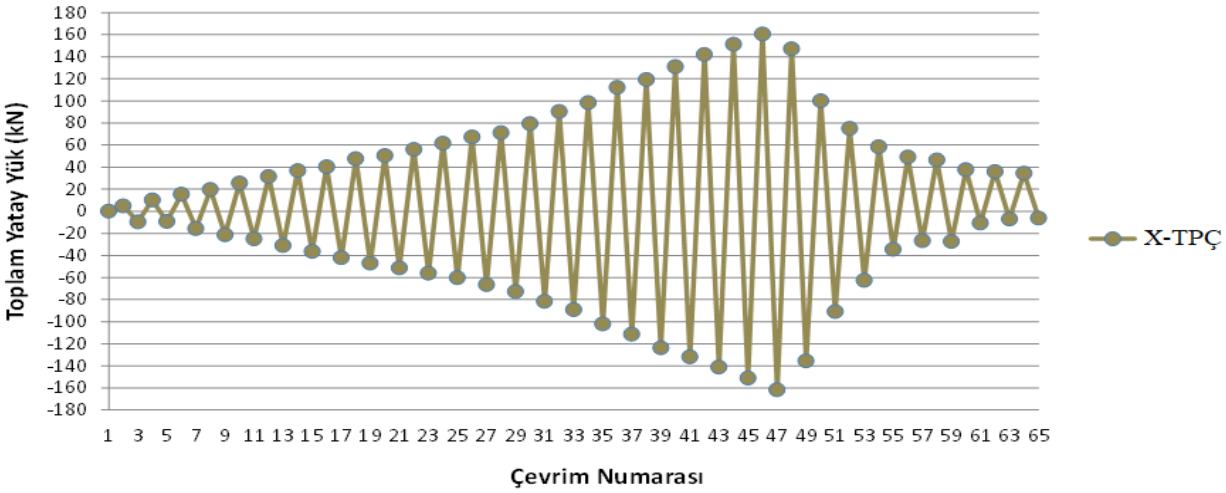
Deney Sonrası



Zarf Eğrisi

Şekil 5. Referans Numunenin (RN) Yük geçmişi, Histeresis eğrisi, Zarf eğrisi ve Deney öncesi-sonrası

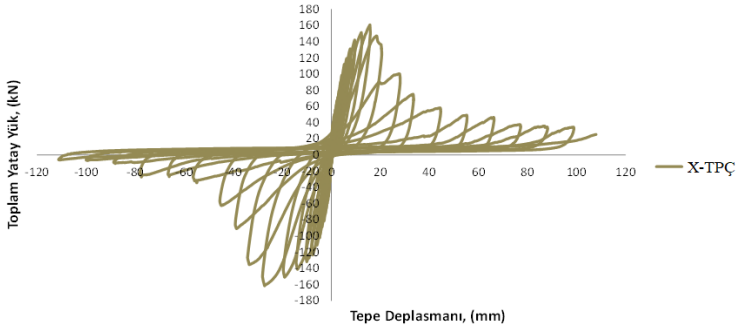
Figure 5. *Illustration of Load Histories of RN, Histeresis Curve, Envolope Curve and before and after test*



Yük Geçmişi



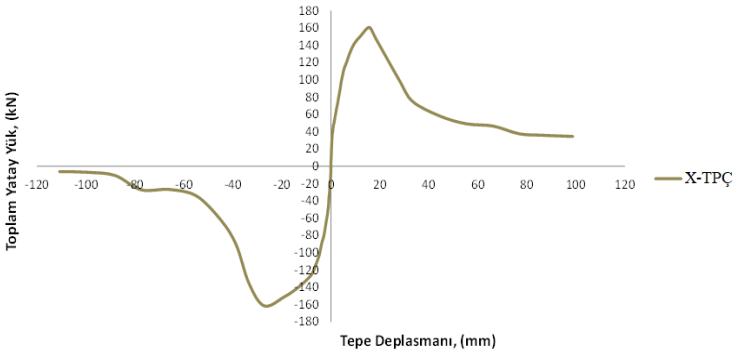
Deney Öncesi



Histerisis Eğrisi



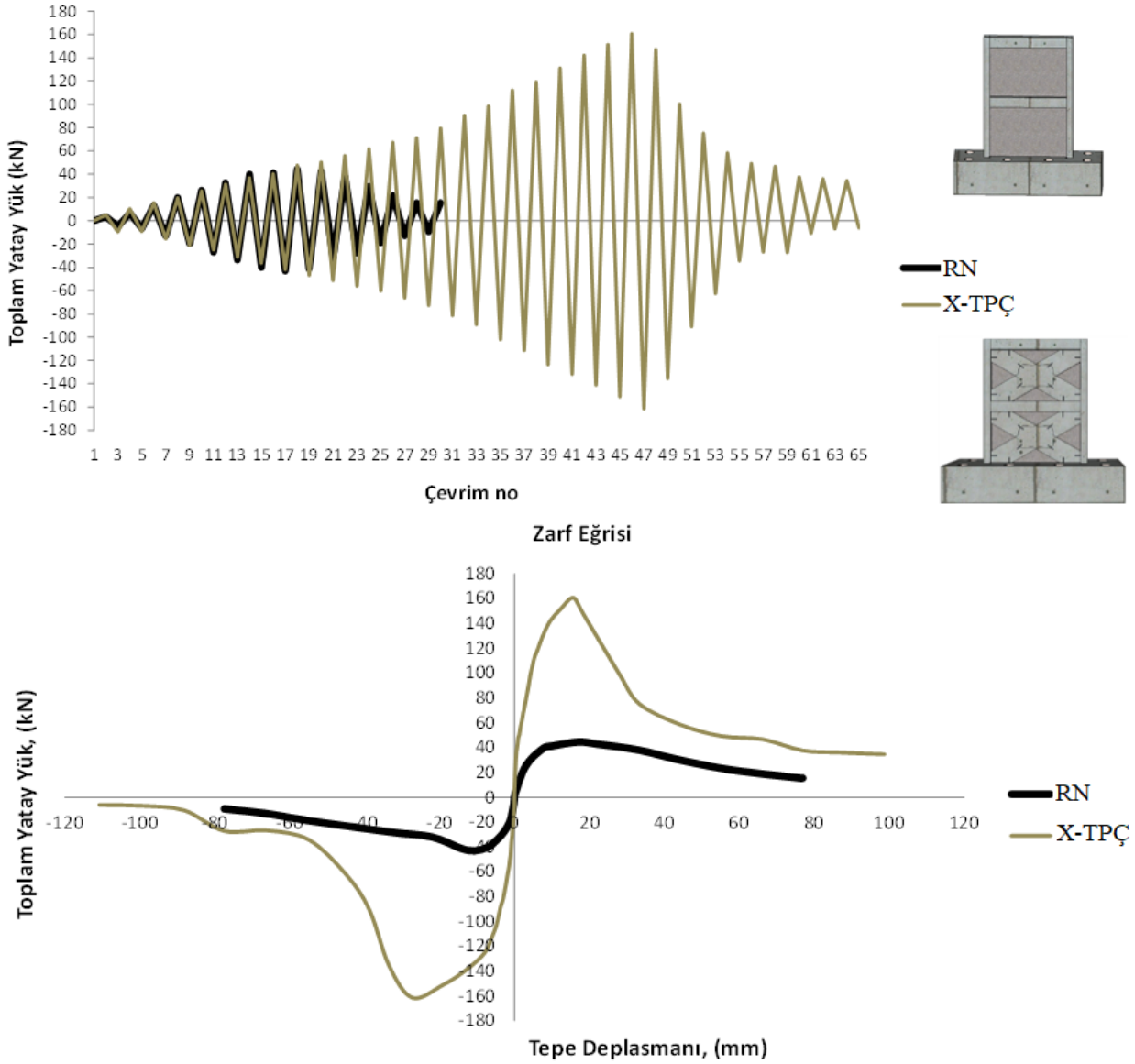
Deney sonrası



Zarf Eğrisi

Şekil 6. X-TPÇ Elemanın yük geçmişi, Histeresis Eğrisi, Zarf Eğrisi ve Deney öncesi-sonrası

Figure 6. *Illustration of Load Histories of X-TPÇ, Histeresis Curve, Envolope Curve and before and after test*



Şekil 7. Numunelerin Yük Geçmişi ve Zarf Eğrisi Karşılaştırması

Figure 7. *Comparison of Load Histories of All Test Specimens and Envolope Curve*

DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ (EVALUATION OF TEST RESULTS)

X şeklinde önüretimli yeni nesil diyagonal panellerin yerleşimi ile güçlendirmenin incelendiği çalışmada maksimum taşıma kapasitesi açısından karşılaştırma yapıldığında RN elemanına göre ileri ve geri çevrimlerde sırasıyla, X-TPÇ 3.61-3.74 kat daha fazla yük taşımıştır. Sisteme eklenen paneller bu artışla aynı zamanda rijitliğin arttığını da göstermektedir. Numunelerin maksimum yatay yükteki rijitlikleri bakımından karşılaştırılması yapıldığında X-TPÇ elemanının RN'ye göre yaklaşık 12.3 kat daha fazla rijitliğe sahip olduğu görülmüştür. Herhangi bir deney numunesinin rijitlik değeri, her bir ileri ve geri çevrimdeki yük-tepe deplasman grafiğindeki en dik lineer bölümün eğimi olarak alınmıştır. Deney elemanlarının maksimum yükte deplasman ve göreli ötelenme oranı Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Deney Elemanlarının Test Özetleri
Table 3. *Test Summary of Test Specimens*

Deney Elemanı	Maksimum Yanal Yük (kN)		Oran[(1)]		Maksimum Yanal Yükte Tepe Deplasmanı (mm)		Maksimum Yanal Yükte 2. Kat Göreli Ötelenme Oranı (δ_{mak}/h) =[(d_i-d_{i-1})/h)]	
Çevrim	**İleri**	**Geri**	**İleri**	**Geri**	**İleri**	**Geri**	**İleri**	**Geri**
RN	44.50	43.20	1	1	17.06	10.57	0.0044	0.0054
X-TPÇ	160.65	161.57	3.61	3.74	15.75	27.21	0.0067	0.0234

(1) Maksimum yanal yük değerinin referans deney eleman değerine oranı

TDY-2007'de göreli kat öteleme oranı δ_{mak}/h oranı ile sınırlandırılmıştır. Bu yönetmeliğe göre güvenlik sınırı 0.03, göçme sınırı 0.04 olarak verilmiştir. Diğer bir deyişle gerçek bir yapıda tuğla duvarın dışında bulunan betonarme çerçevenin yeterince sünek olması durumunda ileri hasar düzeyinde olacağını, 0.04 oranını aşması halinde ise göçme bölgesine gireceğini söylemektedir. Bu açıdan bakıldığında güçlendirilmiş X-TPÇ deney numunesinin de bu sınır değerin altında kaldığı görülmektedir. Toplam enerji tüketme kapasitesi ise bir yapının deprem anında depreme karşı koyma direncinin ve davranıştaki olası iyileşmenin göstergesidir. Tüm deney numuneleri için hesaplanan bu değer, yatay yük-tepe deplasman (histerisis eğrisi) grafiği altında kalan alanların her bir çevrim için toplanması ile elde edilmiştir. Güvenlik sınırı olan %3 için karşılaştırma yapılırsa RN 10.40 kj enerji tüketmişken, X-TPÇ 35.77 kj enerji tüketmiştir. Dolayısıyla X-TPÇ, RN'ye göre %244 daha fazla enerji tüketmiştir. 0.04 oranındaki göçme sınırı için karşılaştırma yapıldığında RN numunesinin 11.24 kj enerji tükettiği buna karşılık, X-TPÇ deney numunesinin 40.79 kj olduğu hesaplanmıştır. Buna göre %4 göçme sınırı için X-TPÇ, RN'ye göre %262.8 daha fazla enerji tükettiği sonucuna varılmıştır. RN ve X-TPÇ numunelerinin deney sonundaki toplam kümülatif enerji tüketme kapasiteleri ve maksimum yükte ilgili çevrimdeki tüketilen toplam enerji değerleri Çizelge 4'de kj *(kilojoule)* cinsinden verilmiştir.

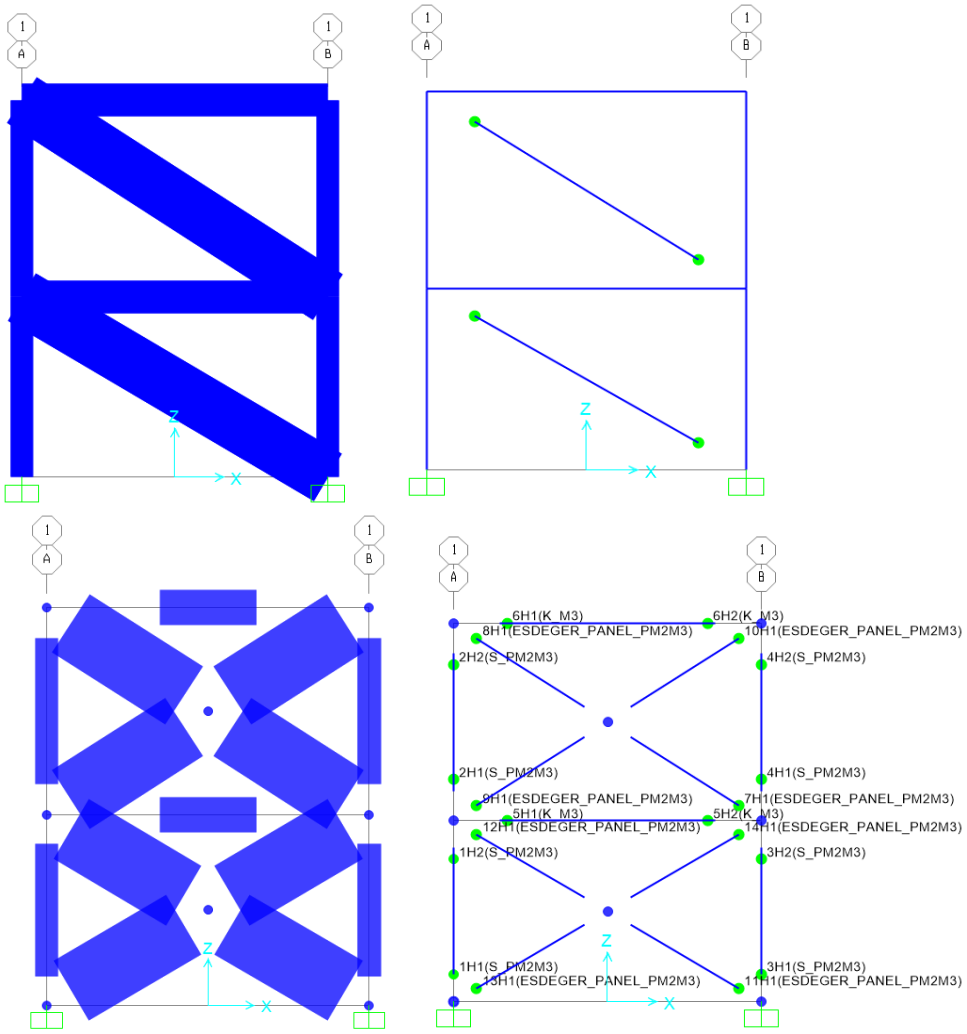
Çizelge 4. Deney numunelerinin enerji tüketme kapasitelerinin karşılaştırması
Table 4. *Comparison of energy dissipation capacity of test specimens*

	Tüketilen Enerji Değerleri (kj)		Tüketilen Enerji Oranları	
	Maksimum Yükte	Deney Sonunda	Maksimum Yükte	Deney Sonunda
RN	**0.57**	**11.24**	**1.00**	**1.00**
X-TPÇ	6.20	48.20	10.83	4.29

DENEY SONUÇLARI İLE ANALİTİK SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI (COMPARISON OF EXPERIMENTAL RESULTS AND ANALYTICAL RESULTS)

Statik itme analizi herhangi bir yapının yanal yükler altında performansını ölçen doğrusal olmayan statik analiz yöntemidir. Deney numunelerinin modellenmesi esnasında taşıyıcı sistem elemanları çubuk eleman olarak modellenmiştir. Statik itme analizinde betonarme kesitlerde TDY-2007'de verilen çatlamış rijitlikler ve deneyde kullanılan her bir malzemenin karakteristik özellikleri kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada kolonlara etkimesi gereken düşey yük ihmal edildiğinden analitik hesaplarda da bu

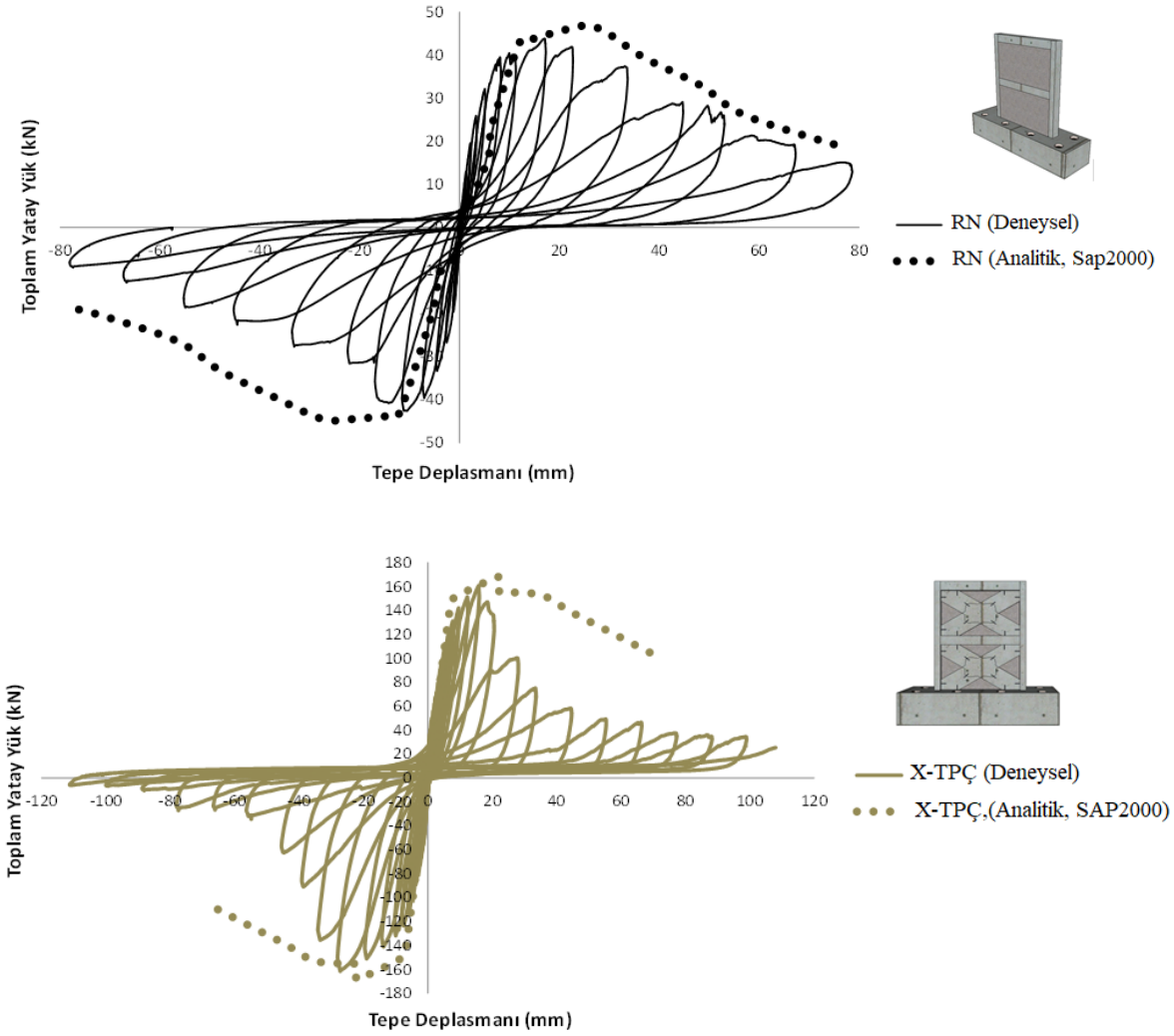
durum dikkate alınmıştır. Yalnızca sıvanmış dolgu duvardan oluşan referans deney numunesi (RN) iki ucu mafsallı eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenirken, önüretimli paneller kullanılarak güçlendirilen numuneler TDY-2007'deki hesap kriterleri göz önüne alınarak benzer şekilde eş değer basınç çubuğu olarak modellenmiştir. RN ve X-TPÇ deney numunelerine ait SAP2000 programında oluşturulan model Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. RN ve X-TPÇ deney numunelerinin SAP2000'de oluşturulan modeli

Figure 8. *Model of RN and X-TPÇ test specimens generated in SAP2000*

Şekil 9'da SAP2000 yapı analiz programı ile gerçekleştirilen analitik çalışma sonuçları ve deneysel çalışma ile karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 9. Deneysel ve Analitik çalışmaların karşılaştırılması

Figure 9. *Comparison of Experimental and Analytical study*

Şekil 10'da deney numunelerinin deney sonundaki şematik hasar şekilleri verilmiştir. 1 numaralı deney numunesi olan RN elemanında hasarlar düşük yük seviyesinde oluşmuşken, güçlendirilmiş X-TPÇ deney numunesinde geri çevrimlerde plastik mafsallaşmalar daha ileri yük seviyelerinde yoğunlaşmıştır.



RN numunesinin deney sonu görüntüsü



Dolgu duvarda meydana gelen hasar ve kolonlarda oluşan kesme çatlakları



Kolonlarda kabuk betonun dökülmesi ve dolgu duvar hasarı



X-TPÇ numunesinin deney sonu görüntüsü



Paneli çerçeveye bağlayan ankrajda kopma ve kolonda oluşan kalıcı hasarlar.



Kolonlarda kabuk betonun dökülmesi sonucu donatılarda akma ve köşe bölgelerin ezilmesi

Şekil 10. Numunelerde oluşan hasar görüntüleri

Figure 10. *Damage to images of Test Specimens*

SONUÇLAR (RESULTS)

Bu çalışmada, boşluklu tuğla dolgu duvarları yüksek dayanımlı, önüretimli yeni nesil çapraz beton panellerle güçlendirilmiş betonarme (BA) çerçevelerin tersinir-tekrarlanır yatay yükler altındaki davranışı incelenmiştir. Yapılan deneyler, çerçeve duvarlarının önüretimli diyagonal paneller ile güçlendirilmesi yönteminin, yatay yükler altında dolgulu BA çerçevelere olan katkısı, uygulanabilirliği konusunda bir bakış açısı kazandırmıştır.

Deneylerde, uygulamada sıklıkla karşılaşılan tasarım ve yapım kusurlarına sahip 2 katlı, tek açıklıklı, 1/3 ölçekli 2 adet boşluklu tuğla dolgulu BA çerçeve üretilmiştir. Bunlardan biri referans numune olarak, diğeri duvarları, diyagonal panel olarak tasarlanıp üretilen panellerin yapıştırılması sonucu güçlendirilerek deneye tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda güçlendirilmiş numunelerin, maksimum yatay yük taşıma kapasitesi, başlangıç rijitliği ve enerji tüketme kapasitesi bakımından daha iyi sonuçlar verdikleri gözlemlenmiştir. Deneyler sırasında referans numunedeki tuğla dolgu duvarlarında hasarlar düşük yük seviyesinde oluşmuşken, güçlendirilmiş numunenin duvarlarında, kolonlarda ve kirişlerde ileri yük çevrimlerinde daha fazla hasar gözlemlenmiştir. Hasarlar daha çok 1. kat kolonlarında, kolon- kiriş birleşim bölgelerinde yoğunlaşmıştır.

Genel olarak bu çalışma neticesinde, önüretimli yüksek dayanımlı yeni nesil panelle güçlendirme yönteminin, uygulama kolaylığı, binanın boşaltılmasını gerektirmemesi ve yatay yüklere karşı yapının dayanımını yeterli düzeyde artırması göz önüne alındığında diğer güçlendirme yöntemlerine göre tercih edilebilir bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Yazarlar 215M375 proje numarası ile bu çalışmaya kısmi olarak maddi destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna (TUBİTAK) ve Selçuk Üniversitesi ÖYP (2014-ÖYP-104) kurumuna teşekkürlerini sunarlar.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

Acun B., Sucuoğlu, H., 2005, "Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Hasır Donatı ile Güçlendirilmesi", *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 965-971, 23-25 Mart 2005.

Akın, E., Korkmaz, S. Z., Korkmaz, H. H., & Diri, E. (2016). Rehabilitation of Infilled Reinforced Concrete Frames with Thin Steel Plate Shear Walls. *Journal of Performance of Constructed Facilities, American Society of Civil Engineers(ASCE), 30*(4). doi: https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000840

Akın, A., 2011, *"Önüretimli Beton Panellerle Güçlendirilmiş Dolgulu Betonarme Çerçevelerin Deprem Davranışının Deneysel ve Analitik Olarak İncelenmesi"*, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Akın, A., Sezer, R., 2016, " A Study on Strengthening of Reinforced Concrete Frames using Precast Concrete Panels" *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2016 Korean Society of Civil Engineers. Sayfa 1-8, DOI 10.1007/s12205-016-0188-z.

Akın, E., Korkmaz, S. Z., Korkmaz, H. H., Diri, E., 2016, Rehabilitation of Infilled Reinforced Concrete Frames with Thin Steel Plate Shear Walls. *Journal of Performance of Constructed Facilities, American Society of Civil Engineers(ASCE), 30*(4). doi:https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000840.

Balık, F.S., 2012, "Betonarme Dolgu Duvarla Güçlendirilmiş Deprem Davranışı Yetersiz Betonarme Çerçevelerin Davranışına Pencere Boşluklarının Etkisi", Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Baran, M., 2012, 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, 27*(2), 275-284.

Baran, M., Tankut, T., 2011, "Experimental Study on Seismic Strengthening of Reinforced Concrete Frames by Precast Concrete Panels, *ACI Structural Journal*, Cilt 108, No 2, 227-237.

Binici, B., Özcebe, G. ve Özçelik, R., 2007, ''Analysisand design of FRP composites for seismic retrofit of infill walls in reinforced concrete frames'',Composites: Part B, Cilt 38, 575-583.

DBYBHY-2007 (TDY-07), Depren Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Mart 2007, Ankara.

ElGawady, M., Lestuzzi, P., Badoux, M., 2004, ''A review of conventional seismic retrofitting techniques for URM'', *13th International Brick and Block Masonry Conference*, Amsterdam, 1-9, Haziran, 2004.

Ersoy, U., Uzsoy, S., 1971, The Behavior and Strength of Infilled Frames, Tübitak Proje No. MAG-205 (in Turkish), Ankara, Türkiye.

Frosch, R.J, Wanzhi L., Jirsa, J.O., and Kreger, M.E., "Retrofit of Non-Ductile Moment-Resisting Frames Using Precast Infill Wall Panels", Earthquake Spectra, Vol. 12, No. 4, 741-760, November, 1996.

Kara, İ.F, Ashour, A.F, Köroğlu, M.A., 2015, "Flexural behavior of hybrid FRP/steel reinforced concrete beams",Composite Structures Vol.129, pp 111-121.

Kara, İ.F, Ashour, A.F, Köroğlu, M.A., 2016, "Flexural performance of reinforced concrete beams strengthened with prestressed near-surface-mounted FRP reinforcements" Composites Part B:Engineering Vol. 91, pp.371-383.

Kara, İ.F, Köroğlu, M.A., Ashour, A.F., 2017, "Tests of Continuous Concrete Slabs and Reinforced with Basalt Fiber-Reinforced Plastic Bars. "ACI Structrual Journal 114, no.5.

Kesner, K., Billington, S. L., 2005, "Investigation of Infill Panels Made from Engineered Cementitios Composites for Seismic Strengthening and Retrofit, *ASCE Journal of Structural Engineering*, Cilt No 131(11), 1712-1720.

Marjani, F., 1997, *"Behavior of Brick Infilled Reinforced Concrete Frames under Reversed Cyclic Loading".* (Phd. Thesis), METU.

Perera, R., Gómez, S. and Alarcón, E., 2004, "Experimental and Analytical Study of Masonry Infill Reinforced Concrete Frames Retrofitted with Steel Braces", *ASCE Journal of Structural Engineering*, Cilt No 130(12), 203 2-203 9.

Sevil, T., Baran M., Bilir, T., Canbay, E., 2011, ''Use of steel fiber reinforced mortar for seismic strengthening'', *Construction and Building Materials*, Cilt 25, 892-899.

Zhang,Y., Wang, Z., 2000, "Seismic Behavior of Reinforced Concrete Shear Walls Subjected to High Axial Loading" *ACI Structural Journal*, Cilt 97, No: S275, 739-750.