

PREFABRİK ENDÜSTRİ YAPILARININ GÜÇLENDİRMESİ İÇİN YENİ BİR YÖNTEM

Hasan KAPLAN*, **Salih YILMAZ***, **Nihat ÇETİNKAYA***,
Halil NOHUTCU**, **Ergin ATIMTAY***** ve **Hasan GÖNEN******

*İnşaat Müh. Böl., Müh.Fak., Pamukkale Üniversitesi, Denizli

**İnşaat Müh. Böl., Müh.Fak., Celal Bayar Üniversitesi, Manisa

***İnşaat Müh. Böl., Müh. Fak., Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

****İnşaat Müh. Böl., Müh. Mim. Fak., Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi, Eskişehir

hkaplan@pau.edu.tr, syilmaz@pau.edu.tr, ncetinkaya@pau.edu.tr, hnohutcu@bayar.edu.tr,
a03712@metu.edu.tr, hgonen@ogu.edu.tr, ncetinkaya@pamukkale.edu.tr

(Geliş/Received: 14.04.2008 ; Kabul/Accepted: 22.10.2009)

ÖZET

Prefabrik betonarme endüstri yapılarının 1998 Ceyhan ve 1999 Marmara depremlerinde gösterdikleri kötü performans ülkemizdeki bu tür yapıların yetersizliklerini ortaya koymuştur. Bu yapılar çoğunlukla sanayi amaçlı kullanıldığı için ekonomik bakımdan önemlidir. Deprem bakımından yetersiz olmaları, rijitlik ve yatay yük kapasitelerinin düşüklüğü yanında çatı seviyesinde diyaframa sahip olmamalarından kaynaklanmaktadır. Bu yapılarda günümüze değin çok sayıda güçlendirme tekniği uygulanmıştır. Ancak, bu yapıların güçlendirmesi sırasında servis dışı kalması önemli ekonomik kayıplara sebep olacağından, kullanımı en az düzeyde aksatacak güçlendirme yöntemleri önemli bir çalışma alanıdır. Bu çalışmada, yanal rijitliği ve yatay yük kapasitesini arttıran, yapının dışından uygulanan prefabrik betonarme perde duvar ve diyafram ile güçlendirmenin etkinliği araştırılmıştır. Deney yapısına, depremi benzeştiren, tersinir tekrarlı artan statik yük uygulanmıştır. Önerilen güçlendirme sistemi ile yapıda rijitlik ve yatay yük taşıma kapasitesinde artış sağlanmış, ayrıca tatmin edici bir diyafram davranışı mafsallı bağlantıların iyileştirilmesine gerek kalmaksızın sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Prefabrik, endüstri yapıları, güçlendirme, deprem, dış perde duvar, diyafram.

A NEW METHOD FOR STRENGTHENING OF PRECAST INDUSTRIAL STRUCTURES

ABSTRACT

1998 Ceyhan and 1999 Marmara Earthquakes causes extensive damages of the precast industrial structures. This type of structures is important economically. They do not have enough lateral rigidity, lateral load capacity and a rigid diaphragm. Several strengthening techniques have been applied to those type of structures. However, minimization of the disturbance during the strengthening of these structures is an important research issue as considerable economic losses are to be happen while building remains out-of-service. In this study, effectiveness of the strengthening with external shear walls and rigid diaphragm is investigated experimentally. A typical precast concrete frame and a strengthened structure with proposed method are tested under reversed cyclic loads. Experiments showed that proposed method improves lateral stiffness, base shear capacity and provides an efficient diaphragm behavior to the structure.

Keywords: Precast structures, strengthening, earthquake, external shear walls, diaphragm.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Türkiye'deki sanayi yapılarının büyük bölümü mafsallı bağlantılı betonarme prefabrik yapılardan oluşmuştur.

Bu tür yapılar, büyük açıklıkların ekonomik olarak geçilmesi, yapım süresinin azlığı gibi avantajlarından dolayı, sanayi bölgelerinde tercih edilmektedir. Ancak, prefabrik yapıların, 1998 Ceyhan ve 1999

Marmara depremlerinde ağır hasar görmüş ve önemli bir kısmının göçmüş [1-3] olması bir çoğu deprem riski yüksek bölgelerde bulunan mevcut yapıların da ciddi bir tehlike altında olduğunu göstermektedir. Bu durum, Denizli Organize Sanayi Bölgesinde prefabrik betonarme endüstri yapıları üzerinde yapılan bir hasar tahmin çalışması ile doğrulanmıştır [4]. Bağlantılarının mafsallı olması ve bir diyaframın olmaması bu yapıların depremde ağır hasarlar görmesine neden olmaktadır. Mafsallı bağlantılar yapıya gelen deprem kuvvetlerinin elemanlar ve kesitler arasında aktarımını sağlayamamaktadır [5]. Ayrıca, çatı elemanlarında oluşan büyük yer değiştirmeler bağlantı bölgelerinde ilave yükler oluşturmaktadır. Mafsallı bağlantılı prefabrik betonarme endüstri yapılarında (PBEY) bağlantı yetersizlikleri sebebiyle gerçekleşen bazı hasarlar Şekil 1’de görülmektedir. Çatıda bir diyaframın olmaması ve eleman bağlantılarının mafsallı olması dolayısıyla kısmi bir diyafram etkisi bile oluşturamaması, yapıda ayrık bir davranış ortaya çıkarmaktadır [6]. Bu tür davranış hem yeniden dağılımı engellemekte hem daha büyük hasarların oluşmasına neden olmaktadır. Çatıda diyafram etkisi olmaması sebebiyle ortaya çıkan yapı davranışı Şekil 2’de örneklenmiştir.

Bu yapıların güçlendirilmesi için genellikle kolonlar arasına betonarme dolgu perde veya çelik çaprazlar uygulanmaktadır. Ancak bu yöntemler binanın kullanımını aksatmaktadır. Bina sahipleri ise fabrikanın boşaltılıp işlerin durmasını istememektedir.

Bu çalışmada, prefabrik yapıların dış perde duvar ve diyafram uygulaması ile güçlendirilmesi öneril-



Şekil 1. Prefabrik betonarme endüstri yapılarında gözlenen hasarlar (Observed seismic damages to precast concrete industrial structures)



Şekil 2. Rijit diyafram yokluğunda oluşan deprem hasarı (Earthquake damage due to lack of a rigid diaphragm)

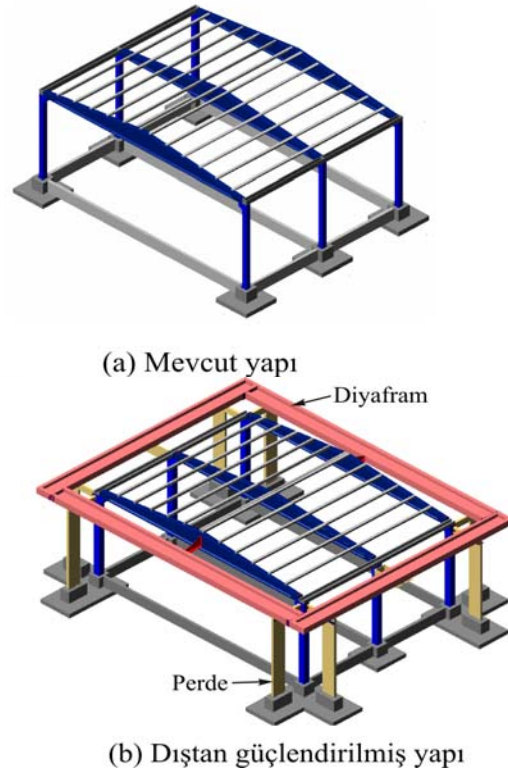
mektedir. Önerilen yöntemde perde duvarların üzerine prefabrik binanın çatı seviyesindeki farklı davranışını önleyerek diyafram etkisi ortaya çıkarabilmek amacıyla yatay rijitliği yüksek elemanlar yerleştirilmiştir [7].

Mevcut prefabrik yapıların tipik detaylarını içeren 3 boyutlu deney modelleri hazırlanarak önerilen yöntemle güçlendirilmiştir. Güçlendirilen yapı, tekrarlı tersinir artan yatay yükler altında denenecek yöntemin etkinliği araştırılmıştır.

2. DENEY MODELİ VE MALZEME (EXPERIMENTAL MODEL AND MATERIAL)

Şekil 3’de mevcut prefabrik betonarme endüstri yapısının 1/3 ölçekli deney modeli görülmektedir. Önce mevcut yapı modellenmiş daha sonra ise dış perde ve diyafram ile güçlendirme yapılmıştır. Deney modelleri, mevcut yapılar ile benzer yapım yöntemleri, malzeme (Tablo 1) ve donatı detayları (Şekil 4) kullanılarak üretilmiştir.

Prefabrik kolonlar soketlerine harçlı, çatı kirişleri, oluklar ve aşıklar tek pim ile bağlanmıştır. Üretim, kür ve montaj şekilleri, sahadaki uygulamayı yansıtacak şekildedir. Elemanların üretiminden sonra kolonlar soketlerine yerleştirilmiş ve soket boşlukları küçük dane boyutlu harç ile doldurulmuştur. Harç yeterli dayanıma ulaştıktan sonra, sırasıyla, oluklar, çatı kirişleri ve aşıklar yerleştirilmiştir. Kolon-çatı



Şekil 3. Mevcut ve dış perde ve diyafram ile güçlendirilmiş yapı modelleri (Models of the existing and strengthened test structures)

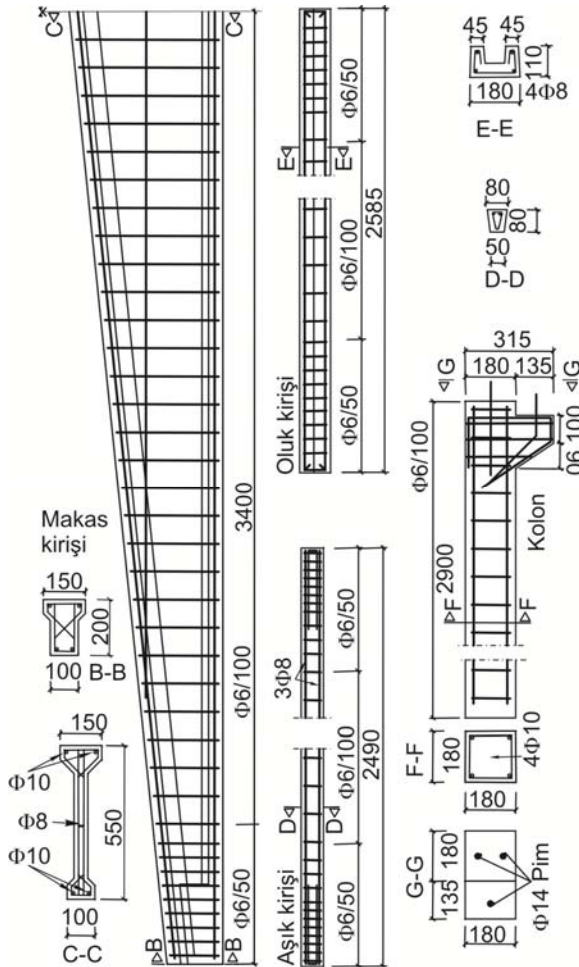
kirişi birleşiminde pimin etrafındaki boşluk çimento şerbeti ile doldurulmuştur.

Prefabrik yapıyı güçlendirmek için kullanılan perde ve diyafram elemanlar da prefabrik olarak üretilmiştir. Perdeleri her kolona yerleştirmek pratik ve ekonomik olmayacağından, ara kolonlara sadece dış guse ilave edilerek diyaframa düşey mesnet olarak destek yapılmıştır. Diyafram, yükleri ve yer değiştirmeleri diğer çerçeve ve elemanlara aktaracak şekilde tasarlanmıştır. Güçlendirme elemanlarının detayları Şekil 5’de gösterilmiştir.

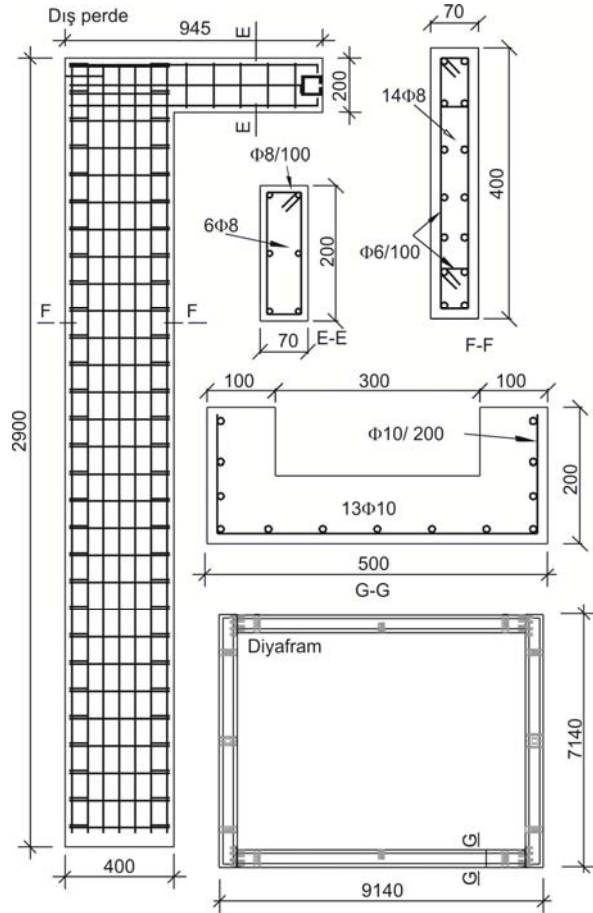
Tablo 1. Malzeme özellikleri (Material Properties)

Malzeme	Dayanım (MPa)
Beton basınç dayanımı	40
Düz donatı akma dayanımı	293
Nervürlü donatı akma dayanımı	489

Şekil 6’da mevcut yapı ile güçlendirme elemanlarının bağlantı detayları görülmektedir. Dış perde duvar ve diyafram mevcut yapıdan, yeni bir temele oturtulacak kadar uzakta tasarlanmıştır. Böylece, güçlendirme elemanlarından mevcut yapıya ek kuvvet gelmesi de engellenmiştir. Dış perde, mevcut yapıya bağlantı



Şekil 4. Prefabrik elemanların detayları (Details of the precast elements)



Şekil 5. Güçlendirme elemanlarının detayları (Details of the strengthening elements)



Şekil 6. Güçlendirme sisteminin binaya bağlantısı (Connection of the strengthening system to the existing structure)

kirişi ile mafsallı ve düşey yönde sınırlı hareket edecek şekilde tasarlanmıştır. Diyafram perdelere kaynaklı bağlantı ile bağlanmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

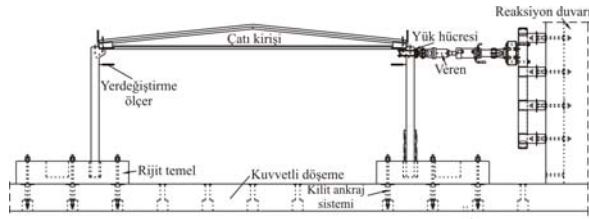
Deneylerde tekrarlı tersinir artan yükleme uygulanmıştır. Prefabrik yapı kolonlarında aksenal yük düzeyi çok düşük olduğu için bu deneyde kolonlara aksenal yük uygulanmamıştır. Yatay yük DARTEC hidrolik güç ünitesi ve hidrolik vereni ile uygulanmıştır. Veri toplanmasında TDG-CODA sistemi kullanılmıştır.

Şekil 7’de çerçeve deney sistemi görülmektedir. Güçlendirilmemiş sistem zayıf bağlantılara sahip olduğu için bir bağlantı noktasına, elemanlar arasındaki görece deplasmanları ölçmek için, yer değiştirme ölçerler yerleştirilmiştir. Kolonun moment-eğrilik grafiğini elde etmek için kolon alt ucuna her iki yönde yer değiştirme ölçerler yerleştirilmiştir.

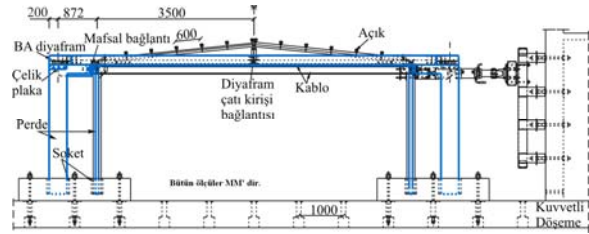
Güçlendirilmiş yapının yandan ve üstten görünüşü, sırasıyla Şekil 8 ve Şekil 9’da verilmiştir. Yük orta çerçeveye tekil yük olarak uygulanmıştır. Bu şekilde diyaframın çalışıp çalışmadığı test edilmiştir.

Şekil 9 ve Şekil 10’da görüldüğü gibi yükün uygulandığı çerçevede dış perde uygulaması yapılmamıştır. Diyafram, kendisinde kırılma olmadan, deplasmanı, perdeler ile güçlendirilmiş olan diğer çerçevelere aktaracak ve mafsallaşma perde alt uçlarında olacak şekilde tasarlanmıştır.

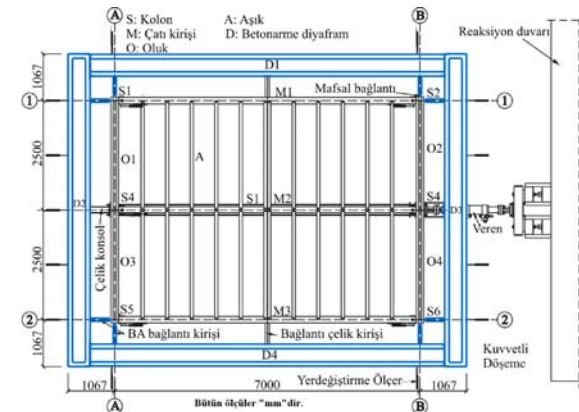
Güçlendirme perdeleri yapının yatay yük taşıma kapasitesini arttırmak üzere tasarlanmıştır. Gerçek bir deprem altında bile oluşmayacak olan böyle olumsuz



Şekil 7. Çerçeve deneyi uygulaması (Frame experiment set-up)



Şekil 8. Güçlendirilmiş yapı deney düzeneğinin yan görünüşü (Side view of experimental setup of strengthened structure)



Şekil 9. Deney modelinin üstten görünüşü (Top view of the experimental model)

bir yüklemeye rağmen, diyaframın çerçeveler arasında yük aktararak çalışması dıştan güçlendirme yönteminin güvenilirliğini gösterecektir.

Dıştan güçlendirilmiş sistem ölçüm düzeneği Şekil 10’da görülmektedir. Yer değiştirme ölçerler sistemin ve perdelerin yer değiştirme profilini elde etmek için yerleştirilmiştir. Güçlendirilmiş yapının deney öncesi görünümü Şekil 11’de verilmiştir.

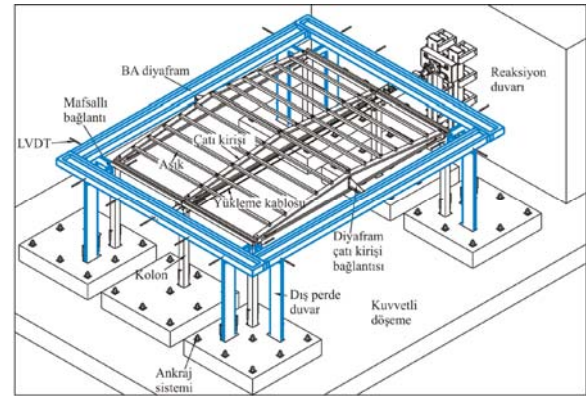
4. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

4.1. Test Çerçevesi (Test Frame)

Çerçeve deneyinde sistem %3.3 görece yer değiştirme-yüklenmiş. Deneyde bir kolonun çekme ve itme anındaki şekli Şekil 12’de görülmektedir. İlk 4 çevrimde yatay yük düzenli olarak artmış, daha sonra yük artımı durmuştur.

Yapının çevrim ve zarf eğrisi Şekil 13’te görülmektedir. Kesitin çatlaması ile rijitliğin azaldığı da zarf eğrisi üzerinde görülmektedir.

Teorik ve deneysel sonuçlar Şekil 14’te karşılaştırılmıştır.



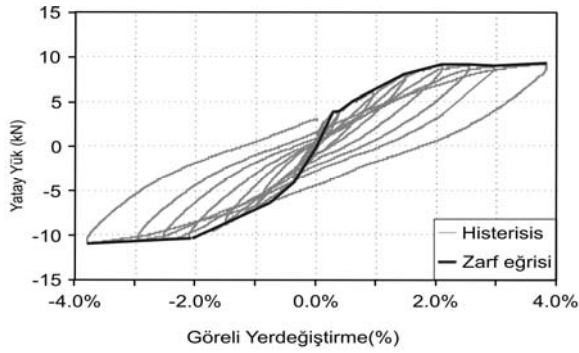
Şekil 10. Ölçüm düzeneği (Data acquisition setup)



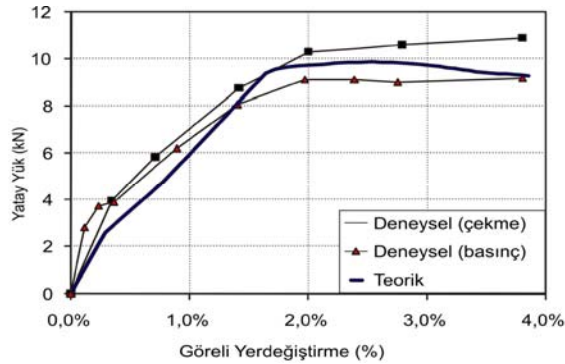
Şekil 11. Deney öncesi görünüşler (views just before experiment)



Şekil 12. İtme ve çekmede kolon eğriliği (Column curvature at pull and push)



Şekil 13. Deneysel yük-yer değiştirme ilişkisi (Experimental load-displacement relationship)



Şekil 14. Test çerçevesinin deneysel ve teorik yük-deplasman ilişkileri (Experimental and theoretical load-displacement relationships for test frame)

4.2. 3 Boyutlu Yapı Deneyi (Test of the 3 Dimensional Structure)

Dış perde ve diyafram ile güçlendirilmiş deneyde, yapı %4 görelî ötelenmeye kadar itilmiştir. Daha sonra deney yapısından yer değiştirme ölçerler çıkartılmış ve deneye tek yönlü itme şeklinde %7 görelî ötelenme seviyesine kadar devam edilmiştir.

%2 görelî öteleme seviyesinde yapıda küçük hasarlar, %4 görelî ötelemede ise betonda ezilmeler görül-

müştür. Kolon ve perde elemanlar için yer değiştirme profili ve hasarlar Şekil 15'te görülmektedir.

Yapıda oluşan bazı önemli hasarlar Şekil 16'da gösterilmiştir. Özellikle vurgulamak gerekir ki, bu hasarlar %2 görelî ötelenmeden sonra oluşmuştur. İlk resim bağlantı kirişindeki hasarı göstermektedir. %2 görelî ötelenme seviyesinde yapı ve güçlendirme sistemleri aralarında yük aktarımını sürdürmüşlerdir.

Şekil 16b'de verilen resim, %2,5 ötelenmeden sonra oluşan, diyaframın ucundaki burulma çatlağını göstermektedir. Perde-diyafram bağlantısı moment aktaran bir birleşim olmasından dolayı diyaframda



Şekil 15. %2 görelî yer değiştirmede deplasman ve çatlaklar (Displacement and cracks at 2% relative displacement)



Şekil 16. Gözlenen hasarlar (Observed damages)

burulma kuvvetleri oluşmuştur. %6 görelî ötelenmeden sonra, perdenin alt ucunda betonda ezilme ve donatılarda burkulma görülmüştür.

Deneyin çevrim ve zarf eğrileri Şekil 17’de görülmektedir. Sistemin yatay yük kapasitesi 200 kN seviyelerine ulaşmıştır. Güçlendirilmemiş çerçeve 10 kN yatay yük kapasitesine sahiptir.

Diyafram, görevini yapmış, perdeli çerçeveler ile perde ilave edilmeyen yükleme çerçevesi ile birlikte hareket etmiş ve diyaframda hasar oluşmamıştır. Güçlendirilmemiş durumda her çerçeve bağımsız olarak çalıştığı için tek çerçeveye ait yük-yer değiştirme zarf eğrisi verilmiştir. Üç çerçevenin toplam kapasitesi ile karşılaştırıldığında, sistemin yatay yük kapasitesi güçlendirmeyle birlikte 6,6 kat artmıştır.

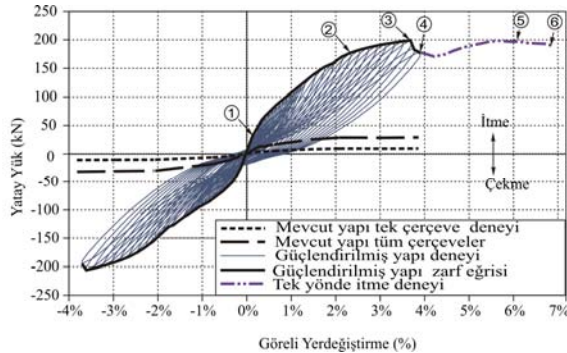
Hidrolik verenin deplasman kapasitesi iki yönde 10 cm tersinir yükleme olduğu için 10 cm’den sonra, sisteme ek bağlantı aparatları ilave edilerek, yapıya sadece itme uygulanmıştır.

Deneyin bazı aşamalarında yapıda oluşan hasarlar, grafik üzerinde numaralandırılmış ve aşağıdaki gibi not edilmiştir:

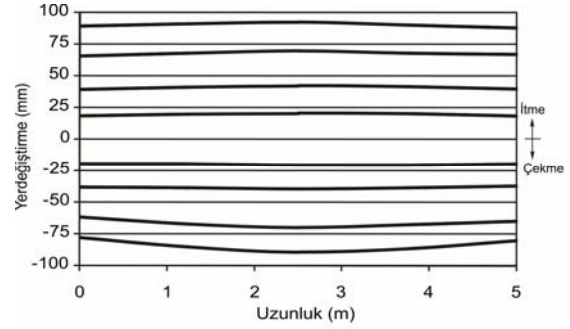
1. Aşama: Perde altında ilk çatlaklar.
2. Aşama: Perde üzerindeki diyaframda burulma çatlakları.
3. Aşama: Bağlantı kirişlerinde hasarlar.
4. Aşama: Deneyin sadece itme verilerek devam edilen bölümü.
5. Aşama: Perde alt bölgelerinde mafsallaşma.
6. Aşama: Deney sonu. Yük boşaltıldıktan sonra 20 mm kalıcı deformasyon görülmüştür.

Şekil 18’de, farklı yer değiştirme seviyelerinden alınan diyafram yatay deplasmanına ilişkin ölçümler özellikle ilk %2’lik yatay deplasman diliminde diyaframın oldukça etkili çalıştığını göstermektedir.

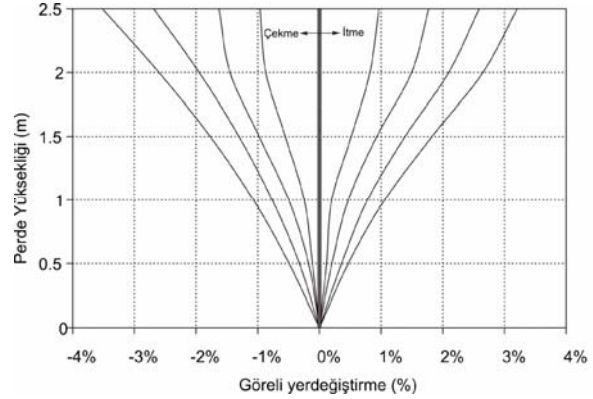
Perdeler diyaframa üst uçlarından moment aktaracak şekilde bağlandığı için diyaframda burulma kuvvetleri oluşmaktadır. Perdenin yer değiştirme profilleri Şekil 19’da görülmektedir.



Şekil 17. Güçlendirilmiş yapının yük-yer değiştirme davranışı (Load-Displacement behaviour of the strengthened structure)



Şekil 18. Diyaframın yatay deplasmanı (Lateral displacement of the diaphragm)



Şekil 19. Perdenin yer değiştirme profili (Lateral displacement profile of the shear wall)

İtme yönünde %4 ötelenmeye kadar çift eğrilik görülmektedir. Bu durum diyafram ve perde arasında moment aktarımı olduğunu göstermektedir. Çekmede %2 ötelenmeye kadar çift eğrilik görülmektedir. %2 ötelenmeden sonra perdeler tek eğrilikli davranmaktadır. Diyaframda oluşan burulma çatlağından sonra perde ve diyafram arasındaki moment aktarımı kesilmiştir. Bu durum Şekil 18’deki diyafram yer değiştirme profilinden de görülebilmektedir. Çekme yönünde diyaframın deplasman şekli, uçlardaki burulma çatlaklarından sonra, konsol kiriş davranışına benzemiştir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Türkiye’de oluşan son depremlerde mafsallı bağlantılı prefabrik betonarme yapılar zayıf bir performans göstermişlerdir. Önceki çalışmalar, bu yapıların yatay rijitliklerinin ve yük kapasitelerinin artırılması gerektiğini, bağlantıların güvenliği ve sistemin birlikte hareketini sağlamak için çatı seviyesinde bir diyafram özelliğinin sağlanması gerektiğini göstermiştir[9,11]. Bu çalışma kapsamında, prefabrik betonarme endüstri yapılarının güçlendirilmesi için yeni bir metot önerilmiş ve tersinir tekrarlı artan deplasman yüklemesi altında deneyleri yapılmıştır.

Çatı seviyesinde rijit bir diyaframın olmaması ve bağlantıların mafsallı olmasından dolayı çerçeveler bir birinden bağımsız hareket etmektedir. Bu yüzden mevcut yapının testi için, mevcut yapının tipik davranışını yansıtan çerçeve deneyi yapılmıştır.

Önerilen güçlendirme sisteminin 3 boyutlu deneyi yapılmış ve deney sonucunda yeterli seviyede diyafram etkisi sağladığı görülmüştür.

Model yapının güçlendirilmesi ile yapının yatay yük kapasitesi 6,6 katına çıkmıştır. Çoğu şartname-nin[8,10] doğrusal olmayan ötelenme sınırı kabul ettiği %2 görelî ötelenmeye kadar yapıda hiçbir önemli hasar gözlenmemiştir. Hem güçlendirilmemiş hem de güçlendirilmiş deney yapılarında %4 ötelenme seviyesinde göçme oluşmamıştır. Güçlendirilmiş yapıya, %4 görelî ötelenmeye ulaşıldıktan sonra, bütün ölçüm aletleri çıkarılarak daha büyük yer değiştirmeler uygulandığında, perde ve kolon arasındaki bağlantıyı sağlayan bağlantı kirişinde hasarlar artmıştır. Ancak, yapının stabilitesi yine de sağlanabilmiştir.

Mevcut yapının kolon altlarında oluşan küçük eğilme çatlakları dışında diğer elemanlarda ve özellikle bağlantı bölgelerinde hasar oluşmamıştır. Bu sonuç göstermektedir ki; önerilen yöntemin uygulandığı bir prefabrik yapıda, yıkıcı bir depremde en önemli hasarlar prefabrik dış perde ve diyafram elemanlarıdır. Böyle bir durumda bile bu elemanların yenilenmesi ile yapı hızlıca eski dayanımına ulaştırılarak kullanımına devam edilebilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Devlet Planlama Teşkilatı'nın DPT-YUUP BAP-08-11-DPT.2004K120760 numaralı proje kapsamında yürütülmüştür. Yazarlar DPT'na teşekkür ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Sezen, H., Whittaker, A.S., "Seismic Performance of Industrial Facilities Affected by the 1999 Turkey Earthquake", **ASCE Journal of Performance of Constructed Facilities**, 20(1), 28-36, 2006.
2. Ersoy, U., Özcebe, G. ve Tankut, T., "1999 Marmara ve Düzce Depremlerinde Gözlenen

- Önuretimli Yapı Hasarları", **10. Prefabrikasyon Sempozyumu**, İstanbul, 2000
3. Posada, M., Wood, S., "Seismic Performance of Precast Industrial Buildings in Turkey", **7th U.S. National Conference on Earthquake Engineering**; Boston, MA., 2002.
4. Kaplan, H., Yılmaz, S., Atımtay, E., Nohutcu, H., Cetinkaya, N., "Seismic Risk Assessment of Industrial Regions: Denizli Organized Industrial Region", **4th International Advanced Technologies Symposium**; Konya, Turkey, 2005.
5. Yılmaz, S., Kuyucular, A., Senel, S.M., Inel, M., "Evaluation of Turkish Seismic Code for Pinned Precast Concrete Structures", **7th International Congress on Advances in Civil Engineering**; İstanbul, Turkey, 2006.
6. Çetinkaya, N., **Prefabrik Betonarme Sanayi Yapılarının Deprem Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi**, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
7. Nohutcu, H., **Prefabrik Betonarme Endüstri Yapılarının Dış Perde Duvar Uygulaması İle Güçlendirilmesi**, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bil. Enstitüsü, 2007.
8. Tezcan, S.S., Çolakoğlu, H.K., "Betonarme Prefabrike Yapılar: Yönetmeliğimizin Zayıflıkları", **5. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı**, İTÜ, İstanbul, 2003.
9. Yılmaz, S., Şenel, Ş.M., Kayhan, A.H., Kuyucular, A., Inel, M., "Betonarme Prefabrik Yapıların Deprem Dayanımı: Makas Kirişinin Devrilmesi", **Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu**, Denizli, 2006. Anonim, **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik**, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 1998.
10. Kaplan, H., Çetinkaya, N., Yılmaz, S., Sarışın, A., Nohutcu, H., Gönen, H., Atımtay, E., "Mevcut Prefabrik Betonarme Endüstri Yapılarının Deprem Davranışının Deneysel İncelenmesi", **Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu**, Denizli, 2006.