

Dolgu duvarlı çerçevelerin karbon lifli kompozitlerle güçlendirilmesi

Halit COZA*, Kaya Özgen, Cem YALÇIN

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Bilimleri Programı, Taşkılla, İstanbul

Özet

Çalışma kapsamında, birbirine bitişik, dolgu duvarlı çift taraflı sıva uygulamasının mümkün olmadığı betonarme yapılarda, tek yüz/çift yüz sıvanın etkisi ve çerçeveye olan katkısı, tek/çift taraflı karbon lifler ile güçlendirmenin yapıda nasıl bir performans göstereceği üzerinde çalışılmıştır. 6 adet, 1/3 ölçekli, tek açıklıklı, tek katlı numuneler üzerinde, bu tür sistemlerin yatay yük taşıma kapasiteleri, rijitlik ve enerji sönümleme gibi özelliklerini karşılaştırmak amacıyla deneysel ve analitik çalışmalar yapılmıştır. Numuneler; boş çerçeve, dolgu duvarlı / tek yüzü ve çift yüzü sıvalı çerçeve, dolgu duvarlı tek yüzü sıvalı tek yüzü/çift yüzü karbon lifli kompozitler ile güçlendirilmiş çerçeve olarak üretilmiş, her numune üzerinde yerdeğiştirme kontrollü yük artırımı yöntemi uygulanarak, numuneler deneye tabi tutulmuşlardır. Elde edilen sonuçlar kuantitatif çözümlenmeden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre belirli işlem kriterlerine bağlı kalındığında söz konusu tek ve çift taraflı güçlendirme yönteminin her ikisinin de deney elemanlarının göçme davranışları, yatay yük taşıma gücü, enerji sönümleme miktarı ve rijitlik değerleri bakımından olumlu sonuçlar sağladığı ortaya konmuştur. Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu kavramı kullanılarak dolgu duvarlar modellenmiş, analitik çalışma deneysel çalışmada elde edilen global davranışı yeterli bir yakınsaklıkla tahmin etmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karbon lifli kompozitler, dolgu duvarlı çerçeve, güçlendirme.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Halit COZA. halitcoza@hotmail.com; Tel: (532) 428 44 28.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Bilimleri Programında tamamlanmış olan "Dolgu duvarlı çerçevelerin karbon lifli kompozitlerle güçlendirilmesi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 03.02.2010 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 07.04.2010 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.08.2011 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Bu makaleye "Coza, H., Özgen, K., Yalçın, C., (2011) 'Dolgu duvarlı çerçevelerin karbon lifli kompozitlerle güçlendirilmesi', İTÜ Dergisi/A Mimarlık, 10: 1, 137-150" şeklinde atıf yapabilirsiniz.

Strengthening of infilled rc frames with carbon fiber composites

Extended abstract

The main contribution of this study is to analyze the effect of frames with single/double-sided plasters and its benefits on the frame in adjacent reinforced concrete structures with infilled walls where it is not possible to apply double-sided plasters as well as strengthening the walls with carbon fiber composites materials.

Within the scope of work, 6 single-bay, one-story, 1/3 scaled reinforced concrete frames were designed which reflects the properties of reinforced concrete structures in practice and these specimens were tested to compare the lateral load capacity, rigidity and energy dissipation values of the specimens.

Specimens were designed as bare frame, infilled frames with single/double side plastered and infilled frames of single side plastered, single side/double side strengthened with carbon fiber composites and tested under cyclic horizontal loads.

Various researches have investigated the performance of reinforced concrete frames with infilled walls strengthened/unstrengthened with carbon fiber composites and applied single/double sided plastered and some principles were suggested for a successful application. The test results were compared with the numerical results obtained from the nonlinear static pushover analyses.

For this purpose, the scope and purpose of the study, the concept of retrofiting, the effects of infilled walls to the behavior of rc frames and strengthening methods of infilled walls with carbon fiber composites were described in this study.

It was highlighted that the strengthening method with carbon fiber composites would be used very frequently in the future. Also, the geometric properties of the specimens, the mechanical properties of materials used at producing the

specimens and the procedure of the experimental study were explained.

After the experimental results were described in detail, the analytical study was completed and the conclusions and recommendations based on the test results compared with the analytical studies.

The test results proved that the both single and double sided strengthening method with carbon fiber composites applied on the infilled walls improved the lateral load capacity, rigidity and energy dissipation values of the specimens.

The infilled walls were modeled by using equivalent diagonal strut concept and calibrated with the test results. The models generally predicted the global behavior of the specimens satisfactorily.

The procedure of strengthening diagonally of the reinforced concrete frames with carbon fiber composites from one corner to other was suggested as a useful method and it was observed that the lateral load capacity of strengthened infilled frames is approximately two times bigger than the unstrengthened infilled frame with successful anchorage.

More important, while the unstrengthened infilled frames shows bare frame behaviour after failure under cyclic horizontal loads, the strengthened frame dissipated more energy after failure of the specimen. CFRP anchors applied to the diagonal carbon fiber composites on the infilled walls provided to hold the CFRP on the infilled walls more efficiently. To increase the number of CFRP anchors from double sides on the infilled wall and at beam-column joints is recommended for efficient strengthening.

Strengthened test specimens behaved more ductile and their maximum load carrying capacities were at higher values than unstrengthened specimens after failure of the specimen.

Keywords: Carbon fiber, strengthening, infilled wall, equivalent strut, test.

Giriş

Ülkenin tamamına yakın bölümünün dünyanın önde gelen deprem bölgelerinde yer aldığı bilinmesine rağmen yapılaşmadaki yetersizlikler ve hatalar depremlerde büyük hasarlara yol açmakta ve çok sayıda can ve mal kayıplarına sebep olmaktadır. Türkiye’de çok büyük depremler olmuştur ve olacaktır; bu durumda depreme karşı önlem alınması ve yapı hasarlarının önlenmesi zorunluluğu ortaya çıkmaktadır (Özgen vd.,2001).

Son depremler sonrası yapılan araştırmalarda Türkiye’deki betonarme yapıların önemli bir kısmının onarım ve güçlendirilmesinin gerektiği görülmektedir. Bu konu ile ilgili en büyük sorun, depreme karşı güçlendirilmesi gereken çok sayıda bina bulunması ve bunların boşaltılarak güçlendirilmesinin pratik bir çözüm olmamasıdır. Bu sorunun çözümü için güçlendirme aşamasında binanın kullanımını engellemeyecek, başka bir deyişle binanın boşaltılmasını gerektirmeyecek yöntemler geliştirmek gerekmektedir (Ersoy, 2003).

Çalışmanın amacı

Çalışma kapsamında, konunun genel olarak araştırılmasından ve deneysel çalışmalardan elde edilen sayısal ve gözleme dayalı verilerin yorumlanmasına bağlı olarak, karbon elyaf ile tek yüzü ve iki yüzü birden CFRP (Karbon lifli kompozitler) ile güçlendirilen sıvalı ve sıvasız dolgu duvarlı çerçeve modellerinin performansları ve yatay yük altındaki davranışları, enerji yutma kapasiteleri ve rijitlik değişimleri, oluşan hasar dağılımları, genel göçme mekanizmasının yorumlanması, başarılı bir uygulama için bazı prensiplerin deneysel olarak ortaya konulması, yöntemin sonuçlara bağlı olarak yorumlanması hedeflenmiştir. Bu amaçla, uygulamada çok karşılaşılan betonarme yapıların özelliklerini yansıtan 6 adet, 1/3 ölçekli, tek açıklıklı, tek katlı numuneler üzerinde, bu tür sistemlerin yatay yük taşıma kapasiteleri ve diğer davranış özelliklerini karşılaştırmak amacıyla deneysel bir dizi çalışmalar tasarlanmıştır. Numuneler;

- Boş çerçeve,
- Dolgu duvarlı / tek yüzü sıvalı çerçeve,

- Dolgu duvarlı / çift yüzü sıvalı çerçeve,
- Dolgu duvarlı / tek yüzü sıvalı / tek yüzü CFRP ile güçlendirilmiş çerçeve,
- Dolgu duvarlı / çift yüz sıvalı / tek yüzü CFRP ile güçlendirilmiş çerçeve,
- Dolgu duvarlı / çift yüz sıvalı / çift yüzü CFRP ile güçlendirilmiş çerçeve olarak üretilmiş, her numune üzerinde yerdeğiştirme kontrollü yük artırımı yöntemi uygulanarak elde edilen sonuçlar yorumlanmış, kuramsal çözümlenmeden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Ülkenin yapı profiline bakılacak olursa, bitişik nizam binaların çokluğu göze çarpmaktadır. Bu çalışmayı da diğer çalışmalardan farklı kılan; bitişik nizam, dolgu duvarlı çift taraflı sıva uygulamasının mümkün olmadığı betonarme yapılarda, tek yüz/çift yüz sıvanın etkisi ve dolgu duvarlı çerçeveye olan katkısı, çift taraflı güçlendirmenin mümkün olmadığı betonarme yapılarda, tek taraflı güçlendirmenin yapıda nasıl bir performans gösterebileceği analizinin yorumlanmış olmasıdır.

CFRP kompozitler ile enine doğrultuda sargılama ile yapılan güçlendirme, sargılama etkisini artırmakta dolayısıyla elemanın basınç dayanımı ve şekildeğiştirme kapasitesini geliştirmektedir. Bu yöntem, gevrek kesme göçmesinin ve boyuna donatı burkulmasının önlenmesinde ve bindirme boyu eksikliğinin giderilmesinde de etkili olabilmektedir. Bu şekilde, donatı burkulması, aderans kaybı ve kesme göçmesi gibi erken dayanım kayıpları engellenebilmekte, sargılama sayesinde süneklik özelliği geliştirilerek elemanların eğilme etkisinde dayanımlarına ulaşmaları sağlanabilmektedir. Bu yöntemin, kolay ve kısa sürede uygulanabilirlik ve korozyona karşı dayanıklılık gibi avantajlarının yanına malzeme özellikleri açısından da hafif ve yüksek dayanımlı olması büyük önem taşır. Geleneksel yöntemlerden farklı olarak uygulanan elemanın boyutlarında büyük değişimin olmaması nedeni ile dar alanlarda ya da alan kaybına imkan vermeyen yerlerde tercih edilebilir (Özgen vd., 2005).

CFRP plakalarını kullanarak onarım ve güçlendirme çalışmaları ilk olarak 1970’li yıllarda Amerika ve Japonya’da geliştirilmiş, 1990’larda

ise yapılan ç alışma sayısı tüm dünyada, giderek artmıştır. Karbon elyaf üzerinde, malzemenin ilk test edilmeye başlandığı dönemlerde malzeme ölçeğinde, beton elemanlar üzerinde çok fazla ç alışma mevcuttur. Daha sonraki yıllarda betonarme taşıyıcı elaman ve dolgu duvarlı ç erçevesel er üzerinde ç alışmalara başlanmıştır.



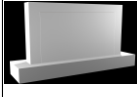

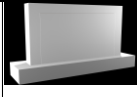
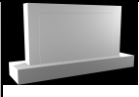



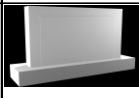


Deneysel ç alışma

Üretimi tamamlanan numuneler deney düzenekleri yardımıyla artan yerdeğ iştirme çevrimleri etkisinde deneye tabi tutulmuşlardır. Numune boyut ve özellikleri belirlenirken, yapılarda son zamanlarda yaygın olarak kullanılan malzemeler, yönetmeliklerde izin verilen şartlar, laboratuvarında bulunan deney yükleme sisteminin kapasitesi, deney düzeneğ inin özellikleri, kullanışlılığı, daha önce yapılan mevcut ç alışmalarda kullanılan malzeme ve boyutlar, numunelerin üretimi-taşınması olanakları gibi durumlar etkili olmuştur. Türkiye’de mevcut projelerde gözlenen genel aks aralıkları ve kat yükseklikleri belirlenmiş ve deney elemanlarının yükseklik, aks aralığı gibi boyutlarına karar verilmiştir.

Ç erçeve boyutları aynı olmak suretiyle aynı beton kalitesi ve donatı planına sahip 6 adet tek

katlı tek açıklıklı numune üretilmiştir. Mevcut yönetmeliklere göre yapılan yapıların durumunu temsil etmek için tüm numunelerde nervürlü donatı ve C25 betonarme betonu kullanılmıştır. Numuneler, ç erçeve boyutları 160x100cm olarak üretilmişler, kolon-kiriş boyutları 120x150mm’dir. Kolonlarda ve kirişlerde 4 Φ 10 boyuna donatı, enine donatı olarak da kolonlarda Φ 6/15, kirişlerde Φ 6/10 nervürlü donatı kullanılmıştır.

Numune 1 kuramsal ç alışmaya referans olması ve dolgu duvarlarının ç erçeve sistemlere etkilerinin anlaşılması amacıyla boş ç erçeve yani dolgu duvarsız olarak üretilmiştir. Numune 2, numune 1 ile aynı geometriye ve özelliklere sahip olup ek olarak tuğla duvar örölmüş ve numunenin tek yüzü sıvanmıştır. Tuğla tipi olarak 1/3 ölçekli delikli tuğla kullanılmış, tuğla boyutları 65x95x95 mm, tuğla delikleri yatay konumda olacak şekilde yerleştirilmiştir. Boşluklu tuğlaların birbirine ve ç erçeve sisteme bağlanması harç ile sağlanmıştır. Numune 3, fiziksel olarak diğ er numunelerle aynı özelliklere sahip olmakla birlikte, ç erçeve içine dolgu duvar örölüp, duvarın her iki yüzü de sıvanmıştır. şekil 1’de numunelerin genel özellikleri gösterilmektedir.

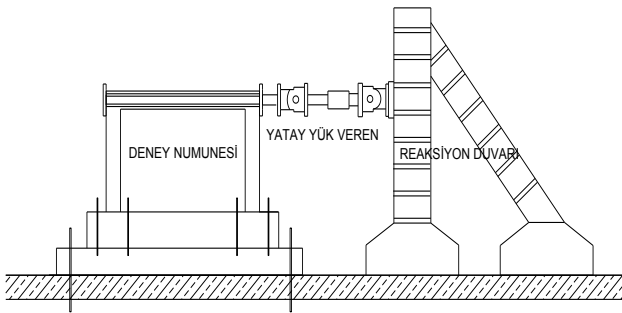
	Numune adı	Duvar	Sıva	Güçlendirme	Ön yüz	Arka yüz
1	Boş ç erçeve	Duvar yok	Yok	Yok		
2	Dolgu duvarlı / tek yüzü sıvalı ç erçeve	Dolgu duvarlı	Tek yüz	Yok		
3	Dolgu duvarlı / çift yüzü sıvalı ç erçeve	Dolgu duvarlı	Çift yüz	Yok		
4	Dolgu duvarlı / tek yüzü sıvalı tek yüzü CFRP ile güçlendirilmiş ç erçeve	Dolgu duvarlı	Tek yüz	Tek yüz tek kat		
5	Dolgu duvarlı / çift yüz sıvalı tek yüzü CFRP ile güçlendirilmiş ç erçeve	Dolgu duvarlı	Çift yüz	Tek yüz çift kat		
6	Dolgu duvarlı / çift yüz sıvalı çift yüzü CFRP ile güçlendirilmiş ç erçeve	Dolgu duvarlı	Çift yüz	Çift yüz çift kat		

şekil 1. Numunelerin genel özellikleri

Numune 4, diğer numunelerle aynı boyutlarda üretilmiş, çerçeve içine dolgu duvar örülmüş, dolgu duvarın tek yüzü sıvanmış ve sıvalı yüze diyagonal olarak tek yüz, tek kat karbon elyaf uygulaması yapılmıştır. Numune 5, diğer numunelerden farklı olarak betonarme çerçeve içine örülen dolgu duvarın çift yüzü sıvanıp, diyagonal olarak tek yüze CFRP uygulaması yapılmıştır. Numune 6'da ise betonarme çerçeve içine uygulanan dolgu duvarın her iki yüzü de sıvanmış, çift yüz CFRP ile diyagonal olarak güçlendirme işlemi yapılmıştır.

Tuğla tipi olarak, ölçüğü küçültülmüş delikli tuğla kullanılmış olup, tuğla boyutları 65x95x95 mm, tuğla delikleri yatay konumda olacak şekilde yerleştirilmiştir.

Deney düzeneği, yatay yükü sağlayan yerdeğiştirme kontrollü yük aktivatörü, yük aktivatörünün bağlandığı reaksiyon duvarı, yükleme çerçevesi, 60 cm kalınlığındaki rijit döşeme ve çeşitli kapasitelerdeki yerdeğiştirme ölçer cihazlarından oluşmaktadır (Şekil 2). Numunenin tepe yerdeğiştirmesini ölçen yerdeğiştirme ölçerlerden gelen veriler sayesinde istenilen yerdeğiştirme seviyeleri kontrol edilmiştir. Tüm deneylerde, numunelerin maksimum taşıma gücüne ulaşması ve plastik deformasyonların oluşması sağlanmış, her numunede göçme oluşuncaya kadar deneyler devam etmiştir.



Şekil 2. Deney düzeneği

Numunelerde kullanılan sıva ve harç malzemenin karışım oranları aynıdır. Uygulanan sıva kalınlığı tüm numunelerde yaklaşık 12.5mm, tuğlalar arası harç kalınlığı ise yaklaşık 5mm'dir. Deneysel çalışmada güçlendirme malzemesi olarak kullanılan karbon lif takviyeli polimer

tabakaların mekanik ve geometrik özellikleri verilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Karbon elyaf malzeme özellikleri

CFRP Malzeme özellikleri	
Gerilme Dayanımı	3800 Mpa
Elastiklik Modülü	242 Gpa
Kopma Uzaması	1.5 %
Yoğunluk	1.81 g/cc
Fiber çapı	7.2 mikron
Karbon içeriği	95%
Akma uzaması	270 m/kg

İlk üç numunede karbon elyaf ile güçlendirme işlemi yapılmamıştır. Diğer üç numunenin CFRP ile güçlendirme yöntemi ilk üç deneyin sonuçlarına göre belirlenmiştir.

Deneysel çalışma sonuçları

Referans numunesi olarak kabul edilen "1. deney numunesi" "boş çerçevenin" göçme performansı değerlendirilmiş, her iki kolonda gözlenen eğilme çatlaklarını, kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki kesme çatlakları izlemiştir. Çerçevenin maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmasının ardından hızla oluşan kolon alt bölgesindeki kesme çatlakları donatının akma konumuna ulaşmasına neden olmuş ve numune göçme konumuna gelmiştir. Numunede çatlak sayısı oldukça fazladır. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde fazla hasar oluşmamıştır.

Boş çerçeve deneyi sonucunda numuneye uygulanan en büyük yatay kuvvet itmede 15. çevrimde, tepe yerdeğiştirme $\delta=21.7$ mm'ye gidilirken 29.4 kN, çekmede ise 14. çevrimde tepe yerdeğiştirme $\delta=15.1$ mm'ye gidilirken 30.0 kN olarak okunmuştur. Bu numunede dolgu duvar olmadığı için hasarlar genellikle kolon mesnet bölgeleri ve kolon-kiriş birleşim bölgelerinde meydana gelmiştir.

"Dolgu duvarlı ve tek yüzü sıvalı" 2 numaralı deney çerçevesinin göçme şekli kolon mesnet bölgelerindeki donatıların burkulup kesme kırılması ve basınç etkisiyle göçme konumuna gelmeleri sonucu gerçekleşmiştir. Bir önceki

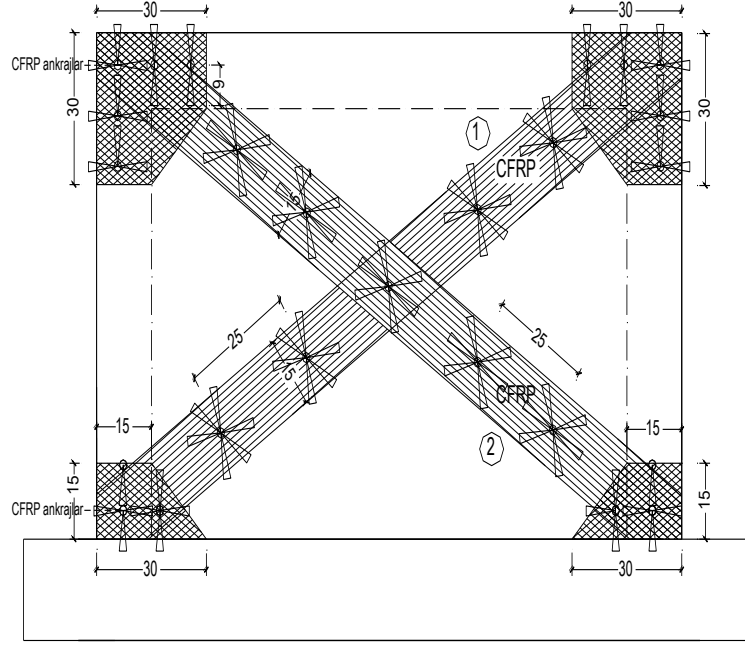
4. deney numunesinde, kolonlarda başlayan çatlakların ardından, dolgu duvarlarda diyagonal kesme çatlakları gözlenmiş, çapraz CFRP bantlardan 1 numaralı CFRP bantın ankraj noktasından, 2 numaralı bantın ise sağ alt köşeden kopması ile birlikte maksimum yüklerde hızlı bir düşüş gerçekleşmiştir. Sonraki çevrimlerde oluşan kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki kesme çatlakları ve maksimum yüklere ulaşılan yerdeğıştirmeler sonrasında, kolon alt bölgelerindeki kesme çatlakları numunenin göçmesinde etkili olmuştur. Bu numunede oluşan çatlak sayısı ve duvarda sıva ve tuğla düşmeleri önceki deneylere göre çok daha azdır. Ayrıca kolon mesnet bölgeleri ve kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki bantlar o bölgelerdeki eğilme çatlağı ve kesme çatlağı sayısının azalmasında etkili olmuştur. Duvar üzerinde tek kat olarak uygulanan CFRP bantların çekme dayanımları yetersiz gelmiş, istenilen yük dayanımına ulaşılamadan CFRP bantlar kopmuş ve etkilerini kaybetmişlerdir. Kolonlara yapıştırılan yatay ve düşey bantların duvara aderansı ve ankraj sayısı yeterli olmadığından, deney sırasındaki tekrarlı itme ve çekmeler sonucu bantlar ile duvar arasında ayrışmalar gözlenmiştir. Tüm bunların sonucunda ise beklenen güçlendirme performansına ulaşılamamış, duvara tek kat CFRP uygulamasının yetersiz olduğu, ankraj sayısının daha artırılması gerektiğı ve bu numuneye uygulanan CFRP uygulamasının doğru olmadığı sonucuna varılmıştır. Dördüncü deney sonrası elde edilen bu veriler sonucunda, diğer iki numunenin CFRP ile güçlendirilmesi için farklı yöntem geliştirilmesi gerekmiştir.

Çalışmanın beşinci deneyi olan, “dolgu duvarlı, çift yüzü sıvalı, tek yüzü CFRP” ile güçlendirilmiş çerçeve deneyinde, güçlendirme, her iki yüz sıvalı çerçevede duvarın tek yüzünde, binanın sadece dışından güçlendirme yapılacağı göz önüne alınarak, çift taraflı ankraj olmadan, CFRP malzemenin betonarme elemana tek yüzden ankrajlanması şeklinde uygulama yapılmıştır. CFRP ile güçlendirme işleminin uygulandığı 4. deney numunesinde CFRP bant, duvara ankrajlandığı kolon-kiriş birleşim bölgesi noktasından kopmuş ve 1 numaralı CFRP malzeme etkisini tamamen kaybetmiştir. Bununla birlikte devam eden çevrimde duvar üzerinde tek kat ola-

rak uygulanan CFRP bantların çekme dayanımları yetersiz kalmış, istenilen yük dayanımına ulaşılmadan CFRP bantlar kopmuş ve etkilerini kaybetmişlerdir. Ayrıca kolon mafsal bölgelerinde uygulanan ilave yatay ve düşey bantların duvara aderansı ve ankraj sayısı yeterli olmadığından, deney sırasındaki tekrarlı itme ve çekmeler sonucu bantlar ile duvar arasında ayrışmalar gözlenmiştir. Tüm bunların sonucunda ise beklenen güçlendirme performansına ulaşılamamıştır. Dördüncü deney sonrası elde edilen bu veriler sonucunda, numunenin CFRP ile güçlendirmesi için farklı yöntem geliştirilmesi gerekmiştir. Bir önceki deneye göre CFRP çapraz bant yapıştırma işlemi iki kat olacak şekilde uygulanmasına karar verilmiş, ankraj deliklerinin sayısı artırılmış, kolon-kiriş birleşim bölgeleri ve kolon alt bölgelerdeki ilave CFRP uygulamasında farklı model geliştirilmiştir. İlave iki kat olarak çerçeve köşelerinde uygulanan CFRP malzemelerin lif yönleri çerçeveye 45°'lik açı yapacak şekilde ve her katmanın lif yönleri birbirine dik olacak şekilde uygulanmıştır. Bir önceki deney elemanının güçlendirilmesinden farklı olarak tüm ankrajlar, köşe bölgelerdeki ek CFRP bantlar ve CFRP çapraz bantların yapıştırılmasından sonra bu elemanların üzerine gelecek şekilde duvara yapıştırılmıştır (Şekil 4). CFRP bantlar tuğla duvara 9, betonarme elemanlara da 16 noktadan ankrajlanmıştır (Şekil 5).



Şekil 4. Numune 5 - Diyagonal CFRP bantların yapıştırılması



Şekil 5. Numune 5 - Karbon elyaf uygulama detay çizimleri

5. deney çerçevesinde hasar oluşumu, kolonlarda eğilme çatlakları ve duvardaki kesme çatlakları ile başlamış, 14. çevrimde CFRP diyagonal bantların kopmasıyla birlikte kolonlarda kesme çatlakları gözlenmiş, maksimum yükte sert düşüşler gerçekleşmiş, donatıların burkulması, kesme kırılması ve basınç etkisiyle numune göçme konumuna gelmiştir. Tüm çevrimler sonrasında numuneye uygulanan en büyük yatay kuvvet itmede 14. çevrimde, 1.611 öteleme oranında, tepe yerdeğiştirme $\delta=15.1$ mm'ye ulaşıldığında 108.0 kN, çekmede ise aynı çevrimde 96.0 kN olarak okunmuştur.

Bu numunede kolonlarda gözlenen eğilme ve kesme çatlakları diğ er numunelere göre oldukça azdır. Ayrıca kolonlardaki çatlaklar kolon alt bölgesinde orta bölgeye doğru yoğunlaşmıştır. Deneyler sonrası duvar ön yüzünde kolon alt bölge ve kolon-kiriş birleşim bölgesinde CFRP bantlar etkinliğini yitirmemiştir. Duvardaki CFRP diyagonal bantlarda ise ankrajların uygulandığı bölge, sıvayla birlikte çerçeve üzerinde kalabilmişlerdir. Bu da tuğla duvarın çerçeveden ayrılmasını engellemiş ve numunenin davranışını olumlu etkilemiştir.

Çalışmanın 6. ve son deneyi “dolgu duvarlı, çift yüzü sıvalı, çift yüzü CFRP” ile güçlendirilmiş betonarme çerçeve deneyinde, CFRP diyagonal

bantlar yapıştırılarak güçlendirme, her iki yüz sıvalı çerçevede duvarın iki yüzünde de, CFRP malzemenin çift taraflı ankraj uygulanması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Güçlendirme yöntemi ve uygulama şekli çift taraflı ankrajlama dışında 5. deney numunesi ile aynıdır.

Dolgu duvarlı çift yüzü sıvalı ve çift yüzü CFRP ile güçlendirilmiş 6. deney çerçevesinde hasar oluşumu, bir önceki numunede olduğu gibi kolonlarda eğilme çatlakları ve duvardaki kesme çatlakları ile başlamış, 13. çevrimde CFRP diyagonal bantların kopmasıyla birlikte kolon alt ve orta bölgede kesme çatlakları gözlemlenmiş, maksimum yükte sert düşüşler gerçekleşmiş, kesme kırılması ve basınç etkisiyle numune göçme konumuna gelmiştir.

Tüm deney boyunca numuneye uygulanan en büyük yatay kuvvet itmede 13. çevrimde, 1.078 öteleme oranında, tepe yerdeğiştirme $\delta=10.4$ mm'ye gidilirken 139.6 kN, çekmede ise aynı çevrimde 130.4 kN olarak kaydedilmiştir.

Deney sonrası duvar iki yüzünde de kolon alt bölge ve kolon-kiriş birleşim bölgesinde CFRP bantlar etkinliğini yitirmemiştir. Duvardaki CFRP diyagonal bantlarda ise ankrajların uygulandığı bölge, sıvayla birlikte çerçeve üzerinde kalabilmişlerdir. Ayrıca daha önceki deneylerde

gözlenen kolon alt bölgelerindeki kesme çatlakları çok daha az sayıda gözlenmiş, kesme çatlakları daha çok kolon orta bölgelerde oluşmuştur.

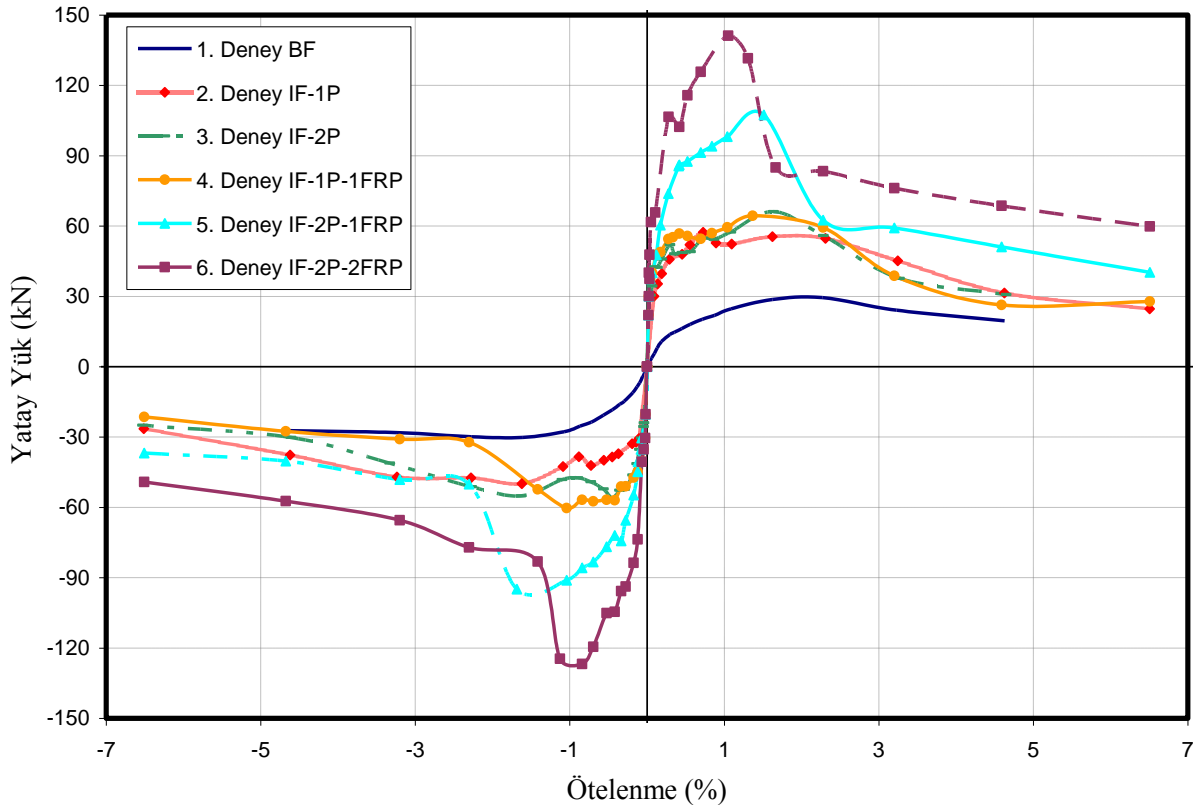
5. ve 6. deney numunelerinde duvara uygulanan CFRP bantlar yine ankraj noktalarından kopmuşlardır. Bu davranış, o bölgedeki CFRP ankraj kesitinin azalması ve zayıf noktadan kopmuş olması şeklinde değerlendirilmiştir.

Deneyler sonrasında her numunenin maksimum yatay yük-ötelenme grafik eğrileri elde edilmiştir. (Şekil 6). Bu değerler sonrası her numunenin hedef tepe yerdediştirmedeki maksimum yatay yükleri karşılaştırılabilmiştir.

Referans numunesi olan boş çerçeve numunesi yaklaşık ~30.0 kN'luk bir maksimum yükte göçme konumuna ulaşırken, dolgu duvarlı çerçevelerde gözlenen ilk çatlaklar yaklaşık ~35.0 kN'luk değerde gözlenmiştir. Güçlendirilmemiş dolgu duvarlı tek yüzü sıvalı (Numune 2) ve çift yüzü sıvalı (Numune 3) deney numunelerinin yatay yük taşıma kapasiteleri boş çerçeveye göre sırasıyla yaklaşık 1.9 ve 2.2 kat artmıştır. Bu

numuneler kendi aralarında karşılaştırılacak olursa, çift taraflı sıvalı 3. deney numunesinin yatay yük taşıma kapasitesi tek yüzü sıvalı çerçeveye göre yaklaşık ~1.15 kat fazladır ki, bu da yaklaşık ~1.15 kat fazladır ki, sıvanın numunenin yatay yük taşıma kapasitesinde çok fazla etkisi olmamakla birlikte olumlu katkı yaptığı şeklinde değerlendirilebilir.

Bununla birlikte sıvanın etkisini kaybetmesi sonucu çift yüzü sıvalı numunede sıva malzemesi dökülürken beraberinde tuğla parçalarını da çerçeveden ayırmış ve maksimum yatay yüklerle ulaşılan çevrimler sonrasında yatay yük taşıma kapasitesi tek yüzü sıvalı numunenin değerlerinin de altına inmiştir. 4. deney numunesinde CFRP uygulamasının doğru şekilde yapılmamasından dolayı numunenin yatay yük taşıma kapasitesinde istenilen/beklenen değerlere ulaşamamıştır. Tek yüzü sıvalı tek yüzü güçlendirilmiş 4. numuneyi, güçlendirilmemiş 2 numaralı tek yüzü sıvalı çerçeve ile karşılaştırmak gerekirse yatay yük taşıma kapasitesi hemen hemen aynı devam etmiş, CFRP malzemenin kopmasıyla birlikte numunede gevrek davranış görülmüş ve maksimum yükler 2. ve 3. numunelere göre çok daha düşük değerler göstermiştir.



Şekil 6. Tüm numunelerin yatay yük-ötelenme zarf eğrisi

Karbon liflerin kopması sonucu yatay yük taşıma kapasitesinde meydana gelen ani düşüşler, CFRP'nin çerçeveye olan önemli etkisini gözler önüne sermektedir. Güçlendirilen 3 numunede de CFRP malzemenin kopmasıyla sert düşüşler meydana gelmiştir. 5 numaralı (IF-2P-1FRP) ve 6 numaralı (IF-2P-2FRP) deney numunelerinde CFRP uygulamasının doğru şekilde yapılması sonucu çapraz karbon liflerin kopmasından sonra deney numunelerinin yatay yük taşıma kapasiteleri diğ er numunelere göre oldukça fazladır. Tek yüzü güçlendirilmiş çift yüzü sıvalı 5. deney numunesinin yatay yük taşıma kapasitesi 3. numuneye oranla 1.6 kat artış göstermiştir.

6. Deney numunesi, çift yüzü sıvalı, çift yüzü güçlendirilmiş numunenin yatay yük taşıma kapasitesi boş çerçeveye oranla 4.7 kat artmış, numune 139.6 kN'luk bir maksimum yatay yük kapasitesine ulaşmıştır.

Bununla birlikte çift yüz ankraj ve çift yüz güçlendirilen 6. Numune, 5. Deney numunesine göre de yatay yük taşıma kapasitesinde olumlu so-

nuç göstermiştir ki, bu da çift yüz ankrajlanmanın numunenin davranışında önemli olduğunu gözler önüne sermiştir. 6. Deney numunesinin yatay yük taşıma kapasitesi 5 numaralı çerçeveye oranla 1.3 kat fazladır. Her numunenin yatay yük-ötelenme değerleri daha rahat karşılaştırma yapılabilmesi için gösterilmektedir (Tablo 2).

Güçlendirilmemiş tek yüz ve çift sıvalı dolgu duvarlı çerçevelerin enerji yutma kapasiteleri referans boş çerçeveye göre oldukça fazladır. Bu numunelerin (2. ve 3. deney numuneleri) enerji yutma kapasiteleri kıyaslanacak olursa birbirine yakın değerler göstermekle beraber çift yüzü sıvalı çerçeve ilk çevrimlerde daha iyi bir performans göstermiş, ilerleyen çevrimlerde sıvanın etkisini kaybetmesiyle yaklaşık aynı değerlerde enerji sönümlenmişlerdir. Bununla birlikte dolgu duvarlı ve güçlendirme işleminin uygulanmadığı tek yüzü sıvalı ve çift yüzü sıvalı çerçevelerin enerji sönümlenme kapasiteleri boş çerçeveye göre sırasıyla ~1.4 ve ~1.6 kat daha fazladır.

Tablo 2. Tüm deney numunelerinin maksimum yatay yük-ötelenme değerleri

Çevrim	Kat öte- lenmesi	Numune 1 BF	Numune 2 IF-1P	Numune 3 IF-2P	Numune 4 IF-1P- 1FRP	Numune 5 IF-2P-1FRP	Numune 6 IF- 2P-2FRP
Maksimum yükler (itme/çekme) (Kn)							
5	0.132	7.8 / -8.4	35.0 / -32.0	42.8 / -41.3	47.2 / -44.1	49.6 / -46.2	73.0 / -71.0
6	0.184	10.7 / -10.9	39.2 / -32.8	45.9 / -46.2	48.8 / -45.2	59.3 / -55.1	84.7 / -80.2
7	0.292	13.7 / -14.7	45.0 / -37.2	51.8 / -52.0	54.4 / -51.0	74.5 / -68.5	105.3 / -90.5
8	0.348	14.6 / -16.1	44.3 / -36.8	48.1 / -52.7	53.0 / -51.0	74.9 / -72.6	101.8 / -94.6
9	0.443	16.2 / -18.4	47.8 / -38.5	48.2 / -55.0	56.8 / -57.0	80.1 / -71.1	101.6 / -104.3
10	0.554	18.0 / -20.5	52.0 / -40.0	49.1 / -52.1	55.6 / -56.6	82.8 / -75.4	112.2 / -102.8
11	0.719	20.3 / 23.4	57.2 / -42.0	54.8 / -49.1	54.5 / 57.5-	91.0 / -82.3	122.4 / -117.4
12	0.868	21.8 / -25.4	52.0 / -38.4	54.3 / -46.9	56.5 / -57.1	92.8 / -84.4	129.5 / -126.2
13	1.078	24.6 / -27.7	51.9 / -42.3	56.8 / -47.8	59.5 / -60.0	97.3 / -90.6	139.6 / -130.4
14	1.611	28.6 / -30.0	55.4 / -49.8	66.0 / -55.8	64.4 / -52.3	108.0 / -96.0	83.8 / -78.6
15	2.263	29.4 / -29.8	53.1 / -47.3	55.9 / -51.2	60.0 / -32.1	80.0 / -49.3	83.7 / -76.8
16	3.229	24.0 / -27.7	45.3 / -46.8	36.9 / -41.7	38.8 / -31.0	58.1 / -47.6	75.2 / -64.8
17	4.6	19.6 / -27.3	31.4 / -37.7	31.0 / -30.0	34.5 / -27.5	50.3 / -40.0	67.0 / -57.2
18	6.5	-	24.7 / -26.5	25.3 / -24.6	27.7 / -21.0	39.5 / -36.5	59.0 / -47.5

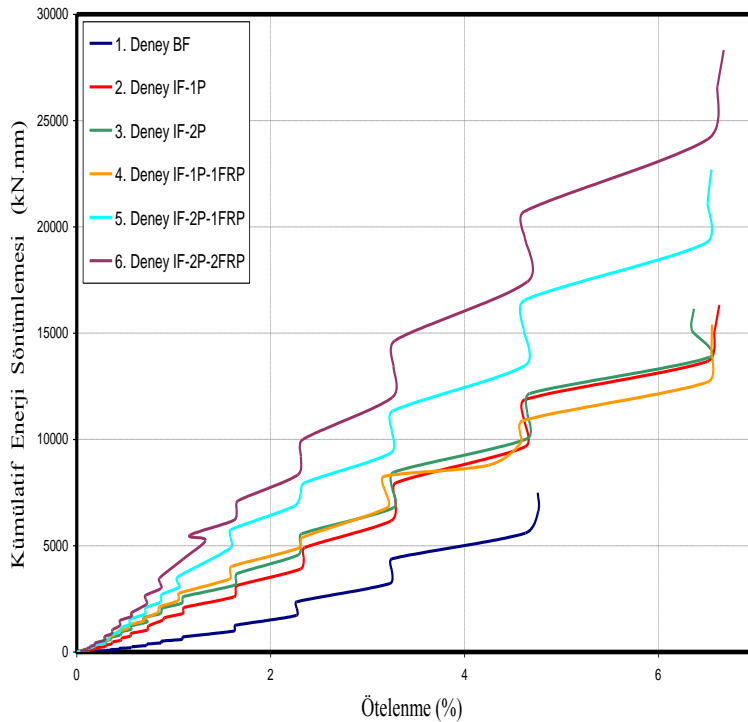
4. deney numunesindeki (IF-1P-1CFRP) uygun olmayan güçlendirme yöntemi çerçevenin enerji sönümlene kapasitesine çok fazla bir katkı sağlamamıştır. 4. deney numunesi, güçlendirilmeyen 2 numaralı deney numunesi (1F-1P-1CFRP) ile karşılaştırılırsa ilk çevrimlerdeki enerji sönümlene kapasitesi daha fazla iken, ilerleyen çevrimlerde CFRP malzemenin kopmasının ardından güçlendirilmeyen dolgu duvarlı tek yüzü sıvalı 2. deney numunesinin altında enerji sönümlene değerlerine ulaşmıştır. Bunun nedeni olarak CFRP malzemenin kopması ile birlikte duvardan sıva malzemesini büyük parçalar halinde koparmış olması ve tuğla duvarın da sıvayla birlikte çerçeveden ayrılmış olması şeklinde yorumlanabilir.

Dolgu duvarlı çift taraflı ankraj ve güçlendirme yapıldığı çerçevenin (Numune 6) enerji sönümlene kapasitesi boş çerçeveye (Numune 1) göre yaklaşık ~3 kat artmıştır. 5. Deney numunesi, çift yüzü sıvalı tek yüzü CFRP malzemeli deney elemanının enerji sönümlene de boş çerçeveye oranla yaklaşık olarak 2.2 kat artış göstermiştir. Karbon elyafla güçlendirilmiş numuneler de dolgu duvarlı sıvalı numunelere oranla daha fazla enerji sönümlenmişlerdir.

6 numaralı çift yüzü sıvalı çift yüzü güçlendirilmiş çerçevenin 3 numaralı çift yüzü sıvalı numuneye göre enerji yutma kapasitesi 1.7 kat fazladır (Şekil 7).

Deneysel sonucunda çift taraflı güçlendirmenin olduğu 6. deney numunesinin rijitliği, referans numunesi olan boş çerçevenin rijitliğinden yaklaşık ~14.7 kat fazla olarak hesaplanmıştır. Dolgu duvarlı, güçlendirilmemiş 2 ve 3. deney çerçevelerinin rijitliği de boş çerçeveye oranla sırasıyla 8.1 ve 10.7 kat daha büyüktür. Ayrıca karbon lifli dolgu duvarın çerçeve rijitliği dolgu duvarlı çerçeveye göre önemli oranda artmıştır. Çift taraflı ankraj ve güçlendirmenin de duvarın rijitliğinde katkısı görülmektedir.

CFRP malzemeli ve dolgu duvarlı numunelerin başlangıç rijitlikleri boş çerçeveye oranla oldukça yüksek değerlerde iken, ilerleyen çevrimlerde rijitlikler düşmektedir. Dolgu duvarlı ve CFRP güçlendirmeli sistemlerdeki rijitlik azalması daha hızlı seyrederken, boş çerçeve sistemdeki rijitlik azalması daha yavaştır. Son çevrimlere doğru tüm çerçeve sistemlerindeki rijitlik değerleri birbirine yaklaşmaktadır.



Şekil 7. Tüm numuneler enerji sönümlene-ötenme eğrisi

Analitik çalışma

Dene yleri tamamlanan numunelerin bilgisayar yardımı ile çö zümlemesi yapılmıştır. SAP 2000 bilgisayar programı ile betonarme çerçevelere doğ rusal olmayan yük artımı yöntemi uygulanmıştır. Doğ rusal olmayan yük artımı için DBYBHY 2007 (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik) esasları dik-kate alınmıştır. Kolon ve kirişlerin moment-eğ rilik diyagramlarını elde edebilmek için Xtract programından yararlanılmıştır. Kesit moment-eğ rilik ilişkisinin hesabında; S420 donatı çeliğ i modeli ve beton malzeme modelleri (Mander sargılı ve sargısız beton modeli) için DBYBHY 2007’de tanımlanan modeller kullanılmıştır.

Çalışmada literatürde de kabul gören dolgu duvarların iki ucu mafsallı eşdeğ er diyagonal basınç çubukları olarak modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Eşdeğ er basınç çubuğ u modelinin kolay, basit ve hızlı bir yöntem olmasından dolayı modellemede bu yöntemden faydalanılmıştır. Eşdeğ er basınç çubuğ u, yükün etki ettiğ i köşeler arasında tek çubuk olarak modellenmiştir. Dolgu duvar modeli için P plastik mafsallı duvarın orta noktasına yerleştirilmiştir. Eşdeğ er basınç çubuğ u genişliklerini hesaplamak için DBYBHY 2007’de belirtilen bağıntılar kullanılmıştır. Karbon lifli kompozit malzeme ise çekme çubuğ u olarak modellenmiş, DBYBHY 2007’de çekme çubuğ u olarak modelleme ile ilgili gerekli bağıntılar verilmiştir.

Her numunenin analitik çalışmada elde edilen maksimum yatay yük değ erleri, kat yatay yer değ iştirmeleri, sistemde oluş an plastik kesitlerin dağılımları ve her plastik kesitin oluş tuğ u yük değ erleri, başlangıç rijitlik ve maksimum yükte ölçülen rijitlik değ erleri, enerji sönümlenme miktarları hesaplanmış, deneylerde hesaplanan değ erler ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında yapılan deneylerin sonuçlarına göre belirli işlem kriterlerine bağı lı kalındığında söz konusu tek ve çift taraflı güçlendirme yönteminin her ikisinin de deney elemanlarının göçme davranışları, yatay yük taşıma

gücü, enerji sönümlenme miktarı ve rijitlik değ erleri bakımından olumlu sonuçlar sağladığı ortaya konmuştur.

Dene ylerden elde edilen yatay yük-yer değ iştirme eğ rileri değ erlendirildiğ inde dolgu duvarlı çerçeveler ve güçlendirilen çerçevelerin yanal rijitlikleri, yatay yük taşıma kapasiteleri ve enerji sönümlenme değ erleri boş çerçeveye göre önemli derecede artmaktadır. CFRP malzeme ile güçlendirme sonucu deney numunelerinin davranışı geliştirilmiştir. CFRP malzemenin tabaka kalınlığı sistemin davranışını önemli ölçüde değ iştirmiştir. Bu numunelerde çift kat CFRP malzemenin etkisi ile erken dayanım kaybı ve kopmanın önüne geçilmiştir.

Deprem gibi iki yönlü tekrarlı yüklere maruz kalan numunelerin CFRP malzeme ile daha etkili güçlendirme yapılması için, numuneyi her iki yüzünden güçlendirerek, çift yüz ankraj uygulaması ve kolon mesnet bölgeleri ile dolgu duvarlarda uygulanan diyagonal CFRP malzeme de ankraj sayısını artırmanın oldukça etkili olduğ u sonucu ortaya çıkmıştır. Dolgu duvardaki karbon lif ankrajları, duvarın iki yüzündeki karbon lif örtülerini birbirine bağlayarak duvardan ayrılmalarını önlemektedir.

Betonarme çerçevenin karbon lifler ile güçlendirilmesi sonucunda dolgu duvar köşe kırılmaları ve çapraz çatlaklar dolgu duvarın tamamına yayılmakta, belirli bölgelerde toplanma önlenmektedir. Böylece dolgu duvarın tümünden göçmesi önlenmiş olmaktadır. Buna ilaveten deneylerde uygulanan CFRP elemanların itme ve çekme etkisi altında sıvanın da kabarmasıyla duvardan kabarma suretiyle ayrılıp daha sonra koptuğ u görülmüştür. Duvarda çapraz olarak uygulanan CFRP elemanlar üzerindeki ankrajlar CFRP malzemenin duvar üzerinde daha fazla tutunabilmesinde çok etkili olmuşlardır.

İyi ankraj sağlandığında, güçlendirilmiş dolgu çerçevenin dayanımının, güçlendirilmemiş dolgu duvarlı çerçevenin yaklaşık iki katına eriştiğ i gözlenmiştir. Daha da önemlisi, güçlendirilmemiş dolgu duvar, tersinen tekrarlanan yükler altında dağıldıktan sonra, davranış çerçeve davra-

nışına dönüşürken, güçlendirilmiş dolgu dağılmadığından, daha fazla enerji sönmleyebilmektedir.

Karbon elyaf uygulaması yapılan numunelerde oluşan çatlak sayısı ve duvarda sıva, tuğla düşmeleri güçlendirme uygulanmayan çerçevelere göre çok daha azdır. Ayrıca kolon mesnet bölgeleri ve kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki bantlar o bölgelerdeki eğilme çatlakları ve kesme çatlakları sayısının azalmasında etkili olmuştur. Güçlendirilen numunelerde kolonlardaki çatlaklar, güçlendirilmeyen numunelere göre kolon alt bölgesinde orta bölgeye doğru yoğunlaşmıştır.

Özen gösterilmesi gereken nokta dolgu duvarların doldurdukları betonarme çerçeve ile arada boşluk bırakmadan iyi bir şekilde bağlanması ve mümkün olduğunca ayrılmamasının sağlanmasıdır. Deneylerde görüldüğü üzere belirli bir çevrim ve yatay yerdeğiştirmeden sonra dolgu duvar ile çerçeveler birbirinden ayrılmaya başlamışlardır. Bu seviyeden sonra dolgu duvarın çerçeve rijitliği açısından etkisi giderek azalmıştır. Bu etkinin sağlanabilmesi ve dolgu duvarın daha büyük yerdeğiştirmelere dayanarak daha geç göçmesi ve dağılmaması amacıyla denenmiş olan karbon lif takviyesi bu açıdan olumlu sonuçlar vermiştir. Karbon lif sayesinde çerçeve rijitliği artarak yerdeğiştirmeler azaldığı için ve ayrıca dolgu duvara bir örtü gibi sarılması açısından dolgu duvarın daha geç göçmesine ve çerçeveden geç ayrılmasına neden olmuştur.

CFRP diyagonal bantların en olumlu katkısı, dolgu duvarların çerçeve ile birlikte deney sonrası fazla dağılma olmadan ayakta kalabilmesini sağlaması ve bu nedenle de deney numunelerinin sünek davranış göstermesi ve göçtükten sonra da maksimum yük taşıma kapasitelerinin diğer numunelere göre daha fazla değerlerde olması şeklinde değerlendirilmiştir. Karbon lifler ile güçlendirilme sonucunda dolgu duvar köşe kırılmaları ve çatlaklar dolgu duvarın tamamına yayılarak, belirli bölgelerde toplanması önlenmiş, dolgu duvarın tümünden göçmesinin önüne geçilmiştir. Ankrajların, köşe bölgelerdeki ek CFRP bantlar ve CFRP çapraz bantların duvara yapıştırılmasından sonra bu elemanların üzerine

gelecek şekilde duvara yapıştırılması çok daha etkili olmuştur.

Güçlendirilmemiş dolgu duvarlı tek yüzü sıvalı ve çift yüzü sıvalı deney numunelerin yatay yük taşıma kapasiteleri, boş çerçeveye göre yaklaşık ~2 kat artmış, çift yüz sıva uygulaması, tek yüzü sıva uygulaması ile karşılaştırılacak olursa, çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini 1.15, enerji sönmleme kapasitesini 1.2 ve rijitlik değerlerini 1.3 kat artırarak, çerçeveye, çok fazla olmamakla birlikte, olumlu katkı sağlamıştır. Karbon liflerin kopması sonucu güçlendirilen numunelerin yatay yük taşıma kapasitesinde meydana gelen sert düşüşler, karbon lifli kompozitlerin çerçeveye olan etkisini göstermektedir.

Güçlendirilen numunelerde duvara uygulanan CFRP bantlar ankraj noktalarından kopmuşlardır. Bu davranış, o bölgedeki CFRP ankraj kesitinin azalması ve zayıf noktadan kopmuş olması şeklinde değerlendirilmiştir.

Analitik çalışma sonucunda da dolgu duvarların yapının deprem etkisi altındaki kapasitesi, kat yatay yer değiştirmeleri, görelî kat öteleme değerleri, sistemde oluşan plastik kesitlerin dağılımları ve her plastik kesitin oluştuğu yük değerleri üzerinde önemli etkisi olduğu görülmüştür. Bu etkinin ihmal edilmesi analizleri gerçek dışı bırakmakta ve yapısal analizde gerçek dışı sonuçlar elde edilmesine sebep olmaktadır.

Deney sonuçlarından görüldüğü üzere boş çerçevede, deprem yükünün daha az değerinde plastik mafsallar meydana gelmekte ve ilk plastik kesitler kolonlarda oluşmaktadır. Dolgu duvarlı çerçevelerde ise ilk plastik kesitin oluştuğu andaki taban kesme kuvveti artmakla birlikte ilk plastik kesitler dolgu duvarlarda meydana geldikten sonra kolonlarda görülmektedir. Bununla birlikte de dolgu duvarlı çerçevelerde ilk plastik kesitler beklenildiği gibi yatay tepe yer değiştirmelerinin daha büyük değerlerinde meydana gelmektedir. Bu sonuçlara göre dolgu duvarların analiz sonuçlarını önemli oranda değiştirdiği görülmektedir.

Numunelerin modellemedeki davranışları deney sonuçlarına yakın tepkiler vermiştir. Modelleme aşamasında malzeme özelliklerini tanımlamak oldukça önemlidir. Modelleme çevrimsel tepkime dahil edilerek daha da iyileştirilebilir çünkü bu şekilde çerçeve duvar etkileşimi, mafsal davranışı da modelle birleştirilebilir.

Etkili basınç çubuğu genişliği rijitlik değerinde oldukça etkilidir. Bununla birlikte genişlik değerinin değişmesi kapasite değerini değiştirmiştir. Eşdeğer çubuk genişliğini hesaplamada DBYBHY 2007'deki bağlantılar kullanıldığında başlangıç rijitliği değerleri ve tepe yüke gelen rijitlik değerlerinde sonuçlar deney verilerine yakın çıkmaktadır.

Karbon elyaf malzeme ile yapılan güçlendirme yönteminin daha etkili olması için kolon-kiriş birleşim ve kolon alt bölgelerdeki ek CFRP bantların lif yönlerinin çerçeve ile 45° açı yapacak ve birbirleriyle dik olacak şekilde epoksi ile yapıştırılması uygun olmaktadır.

Kaynaklar

- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Ersoy, U., Özcebe, G., Tankut, T., Akyüz, U., Erduran, E. and Erdem, I., (2003). Strengthening of infilled walls with CFRP sheets, Seismic Assessment and Rehabilitation of Existing Buildings. International Advanced Research Workshop, Izmir.
- Mander, J.B., Priestley, M.J.N., Park, R. 1988. Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, *Journal of Structural Division* (ASCE), 114(8), 1804-1826.
- Özcebe, G., Ersoy, U., Tankut, T., Erduran, E., Keskin, Mertol H., (2003). Strengthening of brick infilled RC frames with CFRP. Structural Engineering Research Unit, Rep. No. 2003/1, Tubitak, Ankara.
- Özgen, K., (2001). Betonarme sistemlerde iyileştirme ve güçlendirme esasları, Yapı Malzemesi ve Deprem Semineri, İTÜ, İstanbul, 14-16 Mart, 102-111.
- Özgen, K., Mutlu, Ü., (2005). Karbon Elyaf Üretimi ve Özellikleri. Yapı Dergisi, Nisan, 92-95.