

DOLGU DUVARLARIN LİFLİ POLİMERLER İLE GÜÇLENDİRİLMESİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Hamide TEKELİ¹ (ORCID: 0000-0002-3515-6836)*

Coşkun AVCI¹ (ORCID: 0000-0002-8358-9767)

Mustafa ÜREYEN¹ (ORCID: 0000-0002-7334-4424)

Veysel SASA¹ (ORCID: 0000-0001-9352-0627)

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta

Geliş / Received: 25.12.2017

Kabul / Accepted: 28.02.2018

ÖZ

Ülkemizde meydana gelen depremlerdeki hasarların en aza indirilebilmesi için, öncelikle depreme güvenli olmayan binaların belirlenmesi gerekir. Güvensiz bu binaların uygun teknikler kullanılarak güçlendirilmesi veya güçlendirmenin ekonomik olmaması durumunda yıkılması gerekir. Bu çalışmada, mevcut dolgu duvarların lifli polimerler ile güçlendirilmesi yöntemi deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla toplam 5 adet 700 mm×700 mm boyutlarında tuğla duvar numunesi üretilmiştir. Bu numunelerden iki adedi güçlendirme uygulanmadan sıvalı ve sıvasız olarak bırakılmıştır. Diğer üç numune ise çift taraflı olarak lifli polimerler ile güçlendirilmiştir. Güçlendirilen numunelerde, lifli polimerlerin ankrajlarının uygulanmasında kullanılan detay farklılıklarının davranışa etkisi incelenmiştir. Hazırlanan tüm numunelerin diyagonal kayma deneyleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ankraj detayı, Dolgu duvar, Güçlendirme, Lifli Polimerler

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF STRENGTHENING INFILL WALLS WITH CFRP

ABSTRACT

In order to minimize the damages of the earthquakes that occur in our country, it is necessary to determine the unsafe buildings against earthquake. The unsafe buildings must be strengthened by using suitable methods, or must be demolished if the strengthening is not economical. In this study, strengthening of existing infill walls with fiber polymer (CFRP) was experimentally investigated. For this reason, a total of 5 brick wall samples were manufactured in 700mm × 700mm dimensions. Two of the specimens were left as plastered and un-plastered without strengthening. The other three specimens were strengthened with CFRP on both sides of infill wall. In the strengthened samples, the effects on the behavior of anchor differences in CFRP application have been investigated. Diagonal shear tests of the all samples were carried out, and the obtained results were compared.

Keywords: Details of anchorages, Infill wall, Strengthening, Carbon fiber reinforced polymers

1. GİRİŞ

Ülkemizde yaşanan depremlerde ortaya çıkan can ve mal kayıplarının gelişmiş ülkelere göre fazla olması, binaların depreme dayanıklı tasarım ilkelerine uygun projelendirilmesi ve inşa edilmesi gerekliliğini ortaya

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 246 211 11 90 ; e-mail / e-posta: hamidetekeli@gmail.com

DOLGU DUVARLARIN LİFLİ POLİMERLER İLE GÜÇLENDİRİLMESİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

koymaktadır. Bu durum, yeni yapılacak binalar için bir tedbir olsa da mevcut binaların deprem güvenliklerinin kontrol edilmesinin ve gerekli görülenlerin güçlendirilmesinin önemini yansıtmaktadır.

Ülkemizde meydana gelen depremlerde önemli bina hasarlarının ortaya çıkmasının sebebi, hangi yılda yapılmış olursa olsun binaların deprem etkileri dikkate alınmadan tasarlanmış olmalarıdır. Mevcut binalarımızın büyük çoğunluğu yeterli deprem güvenliğine sahip değildir. Bu nedenle meydana gelmesi muhtemel bir depremde ortaya çıkabilecek deprem zararlarının en aza indirilebilmesi için, öncelikle depreme güvenli olmayan binaların belirlenmesi gerekir. Belirlenen bu binaların, güçlendirilmesi veya güçlendirmenin ekonomik olmaması durumunda yıkılması, en etkili zarar azaltma önlemdir [1].

Literatürde tanımlanan farklı güçlendirme yöntemleri mevcuttur. Güçlendirme yönteminin seçimine, eleman veya sistem boyutunda performans katkısı, ekonomik olarak uygunluğu ve işçiliğin kolaylığı gibi farklı parametreler değerlendirilerek karar verilir. Betonarme binaların eleman ve sistem bazında güçlendirilmesinde uygulanabilecek yöntemler Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY)'te [2] detaylı olarak tanımlanmıştır. Kolonların sarılması (betonarme sargı, çelik sargı, lifli polimer sargı), kolonların eğilme kapasitesinin artırılması, kirişlerin sarılması (dıştan etriye ekleme, lifli polimerler ile sarma), dolgu duvarların güçlendirilmesi (hasır çelik donatılı özel sıva, lifli polimerler ve prefabrike beton paneller), betonarme binaların yerinde dökme betonarme perdeler ile güçlendirilmesi, betonarme sisteme yeni çerçeveler eklenmesi, betonarme sisteminin kütesinin azaltılması bu yöntemler arasında sayılabilir.

Sistem bazında uygulanan güçlendirme yöntemleri, binanın yapısal özelliklerini iyileştiren geleneksel yöntemler ve üzerine etkileyen deprem yükünü azaltan yenilikçi yöntemler olarak gruplandırılabilir. Geleneksel yöntemlerde binada ağır yıkım ve inşaat çalışmaları ortaya çıkarken, yenilikçi yöntemlerin maliyeti oldukça yüksek olabilmektedir. Dolayısıyla son yıllarda yapılan araştırmalar her iki yöntemin olumsuzluklarını ortadan kaldırmayı hedefleyen yeni yöntemler üzerinde odaklanmaktadır [3]. Özellikle son yıllarda yapılan çalışmalarda, güçlendirme yöntemlerine bir alternatif olarak betonarme çerçevelerdeki dolgu duvarların güçlendirilmesi; işçiliğin kolay, yöntemin daha az tahripkar ve ekonomik olması gibi nedenlerden dolayı oldukça tercih edilen bir konu olmuştur. Literatürde yapılan çalışmalarda betonarme çerçevelere ait dolgu duvarlar, hasır çelik donatılı özel sıva [4, 5], lifli polimerler [6-9] ve prefabrike beton paneller [10, 11] ile güçlendirilmiştir. Özellikle lif takviyeli güçlendirme, malzemenin hafif olması, korozyon tehlikesinin olmaması, rijitlik dağılımını değiştirmemesi gibi üstünlüklerinden dolayı popüler bir konu olmuştur.

Özkaynak ve Yüksel [6] tarafından yapılan çalışmada karbon lifli polimerler (CFRP) ile güçlendirilmiş dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Toplam üretilen altı adet numuneden, üç adedi güçlendirilmeden, diğer üç adedi ise güçlendirilerek kullanılmıştır. Üç adet numuneden oluşturulan grupların deneyleri, bir tanesi statik yük altında, bir tanesi küçük ataletli benzeşik dinamik yük altında, sonuncusu ise büyük ataletli benzeşik dinamik yük altında yapılmıştır. Deney sonuçları yük taşıma kapasitesi, rijitlik, süneklik, enerji tüketimi gibi parametreler incelenerek değerlendirilmiştir. Güçlendirilen numunelerde güçlendirilmemiş numuneye göre davranış üstünlükleri gözlenmiştir. Dinamik deneylerden elde edilen sonuçlar, statik yükleme sonuçları ile uyumlu olarak elde edilmiştir.

Anıl [7] yaptığı çalışmada dolgu duvarların düzlem dışı davranışını deneysel olarak incelemiştir. Düzlem dışı davranış, yatay yükün dört noktadan uygulanması ile modellenmiştir. Dolgu duvarların güçlendirilmesinde lifli polimerler kullanılmıştır. Güçlendirmede ankrajların uygulandığı ve uygulanmadığı numuneler hazırlanmıştır. Her bir numunenin dayanım, süneklik, enerji tüketimi gibi parametreleri değerlendirilerek parametrelerin etkinliği yorumlanmıştır.

Hamd [8] tarafından yapılan çalışmada, farklı açıklık ve kat adedine sahip betonarme binalardaki lifli polimerler ile güçlendirilen dolgu duvarların bilgisayar modeli oluşturulmuştur. Her bir model bina; dolgu duvarsız, dolgu duvarlı ve FRP ile güçlendirilmiş dolgu duvarlı olarak oluşturulan otuz iki adet model doğrusal olmayan statik itme analizi ile çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek güçlendirme yönteminin etkinliğine karar verilmiştir.

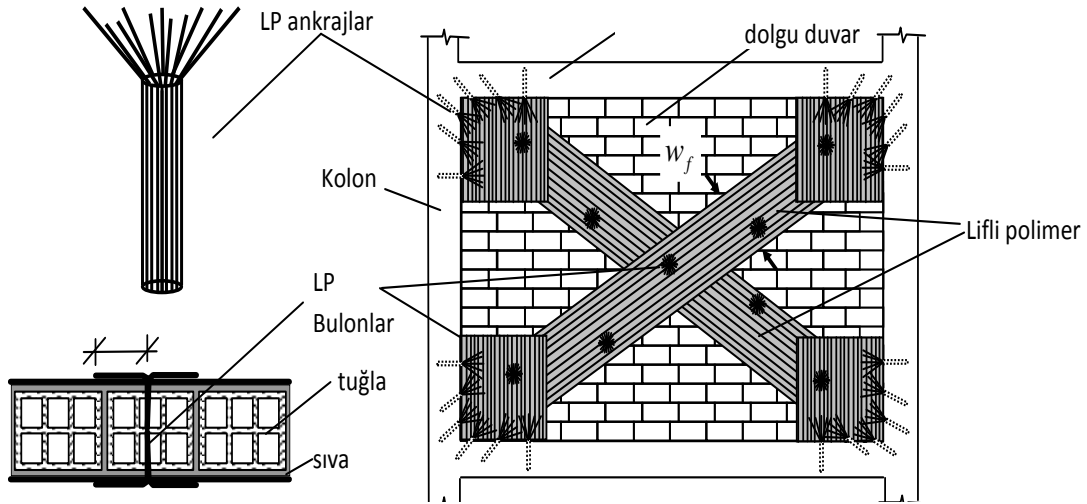
Choi vd. [9] tarafından yapılan çalışmada dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin FRP çaprazlarla optimum şekilde güçlendirilmesi sağlanmıştır. Çalışmada önerilen yöntem ile az sayıda FRP kullanarak üst düzeyde enerji tüketiminin sağlanması ve 5 ile 10 arasında kat adedine sahip betonarme binalarda kullanılacak optimum FRP miktarını ve yerini belirlemek amaçlanmaktadır. Böylece piyasadaki mühendislerinin, güçlendirme detaylarını planlamasında ekonomi ve kolaylık sağlanacaktır.

Yapılan çalışmada, dolgu duvarların güçlendirmesinde kullanılan lifli polimerlerin (FRP), güçlendirmedeki etkinliğinin ve lifli polimerlerin dolgu duvara ankrajının sağlanmasında uygulanan detay farklılıklarının davranış üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

2. DOLGU DUVARLARIN GÜÇLENDİRİLMESİ

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY)'te [2] dolgu duvarların güçlendirilmesinde, hasır çelik donatılı özel sıva, lifli polimerler ve prefabrike beton paneller ile güçlendirilmesi kullanılabilir yöntemler olarak verilmektedir. Dolgu duvarların güçlendirilmesinde kullanılacak yöntemler bodrum hariç en fazla üç katlı binalarda uygulanabilir. Lif takviyeli güçlendirmede malzemenin hafif olması, korozyon tehlikesinin olmaması, rijitlik dağılımını değiştirmemesi ve güç tükenmesi durumunda büyük şekil değiştirmeler yapabilmesi yöntemin üstünlükleri arasında sayılabilir. Bu malzemenin çelikten en büyük farkı güç tükenmesine kadar elastik davranmasıdır. Bu güçlendirmede elemanın rijitliği ve yük dağılımı değişmemektedir. Bu çalışmada, dolgu duvarların lifli polimerler ile güçlendirilmesi üzerine deneysel incelemeler yapılmıştır. Güçlendirme işleminde DBYBHY [2] esasları uygulanmıştır.

Dolgu duvarların rijitliği ve kesme dayanımı değerleri, duvar yüzüne uygulanan lifli polimerler (LP) yardımı ile artırılabilir. Bu uygulama, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY)' te [2] uzunluğunun yüksekliğine oranı 1/2 ile 2 arasında olan duvarlar ile sınırlandırılmıştır. Bu tür güçlendirmede mevcut çerçeve içinde basınç çubuğu oluşumu ve uygulanan ankrajlarla dolgu duvarın çerçeveye yük aktarımı sağlanmalıdır. Köşegen lifli polimer şeritlerin detaylandırılması için DBYBHY' te [2] tanımlanan uygulama detayları Şekil 1'de gösterilmiştir.



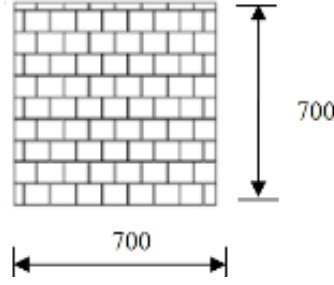
Şekil 1. Köşegen lifli polimer şeritlerin detaylandırılması [2]

DBYBHY'de [2] yük aktarımını sağlamak amacıyla köşe bölgelerde şerit genişliğinin en az 1,5 katı genişlikte kare LP levhaların kullanılması önerilmektedir. Lifli polimerler duvarın her iki tarafında uygulanmalıdır. LP şeritler, duvar kalınlığına geçen LP bulonlar ile duvara sabitlenmelidir. LP bulonlar arasındaki mesafe en fazla 600 mm, bulunun köşegen şerit kenarına uzaklığı ise en fazla 150 mm olmalıdır. Köşegen LP şerit ile çerçeve arasındaki yük aktarımını sağlamak için LP ankrajlar kullanılmalıdır. LP ankrajlar LP şeritlerin epoksi ile doyurulması ve bir silikon çubuk etrafına sarılması ile oluşturulmalıdır. LP ankrajların uçları yelpaze şekline getirilerek en az 4 adet ankraj beton içinde açılan deliğe epoksi enjekte edilerek yerleştirilmelidir. Ankraj yapımında çubuk etrafına sarılan LP'nin genişliği 100 mm'den, ankraj deliğinin çapı 10 mm'den, derinliği ise 150 mm'den küçük olmamalıdır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Numunelerin Hazırlanması

Dolgu duvarların lifli polimerler ile güçlendirilmesinde uygulanan ankraj farklılığının davranış üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla, beş adet 700mm×700mm boyutlarında tuğla duvar deney numunesi üretilmiştir (Şekil 2).

DOLGU DUVARLARIN LİFLİ POLİMERLER İLE GÜÇLENDİRİLMESİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**Şekil 2.** Üretilen duvar numunesinin boyutları (mm)

Numuneler 75×90×100 mm boyutlarında tuğla malzemesi kullanılarak şaşırtma örgü uygulaması ile yerde yatay olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan kalıplar yardımıyla tuğla duvarın düz bir şekilde örülmesi sağlanmıştır. Tuğlalar arasında yatay ve düşey doğrultuda yaklaşık 10 mm derz dolgusu uygulanmış ve sıkışma sağlanmıştır. Sıva ve derz dolgusu harç karışımları, 6 hacim kum, 1 hacim çimento, 2 hacim su ve 1 hacim kireç kullanılarak hazırlanmıştır. Numunelerin üretimi ile ilgili bazı görünümeler Şekil 3'te verilmiştir.

**Şekil 3.** Numunelerin hazırlanmasına ait görünümeler

Karışımların hazırlanması sırasında 150×150×150 mm boyutlarında küp numuneler alınmış ve 28 günlük kür işleminin tamamlanmasının ardından basınç dayanımları test cihazı yardımıyla belirlenmiştir. Duvar örümü sırasında uygulanan yatay ve düşey derz dolgusunun dayanımlarının ortalama değerleri N1, N2 ve N3 numunelerinde 6,4 MPa, N4 ve N5 numunelerinde ise 6,8 MPa olarak elde edilmiştir. Duvar örüm işleminin tamamlanmasının ardından tüm numuneler bir hafta süre ile kür edilmiştir. Daha sonra numunelerin dört adedinin her iki yüzünde 15 mm kalınlığında kaba sıva uygulaması yapılmıştır. Tüm numunelerin sıva harcı tek seferde hazırlanmış ve ortalama olarak 7,1 MPa değeri elde edilmiştir.

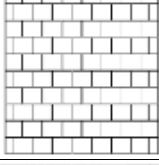



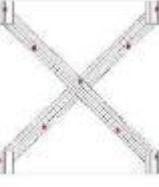
3.2. Numunelerin Güçlendirilmesi

Üretilen numunelerden, sıvalı ve sıvasız olmak üzere iki adedi referans numune olarak güçlendirilmeden bırakılmıştır. Diğer üç numune ise FRP ile farklı detaylarla güçlendirilmiştir. Güçlendirilen numunelerde LP ankrajlarının yeri ve sayısı değiştirilmiştir. Aynı zamanda kare LP levhaların kullanılması ve kullanılmaması durumları ile bu levhaların davranıştaki etkinliği incelenmiştir. Üretilen tüm numunelere ait özellikler Tablo 1'de özetlenmiştir.

Güçlendirme uygulamasına geçilmeden önce hazırlanan numunelerde güçlendirme işleminin yapılacağı bölgeler kalem yardımı ile çizilerek belirlenmiştir. Daha sonrasında ölçüm aletlerinin bağlantısının yapılacağı noktalara matkap yardımıyla 6 mm çapında, LP bulonların yerleştirileceği alanlara ise 8 mm çapında delik açılmıştır (Şekil 4).

Delme işlemlerinin tamamlanmasının ardından numuneler her türlü toz ve kirden komprasör yardımıyla temizlenmiştir. Düzgün bir işçilik elde edebilmek için uygulamanın yapılacağı alanının kenarlarına maskeleme bandı yapıştırılmıştır (Şekil 5).

Tablo 1. Üretilen numunelere ait tanımlanan özellikler

Numune İsmi	Ön ve arka yüz	Detay
N-1		Sıvasız referans yalın numune
N-2		Sıvalı referans yalın numune
N-3		Sıvalı güçlendirilmiş numune (5 adet ankraj, uç bölgesiz)
N-4		Sıvalı güçlendirilmiş numune (5 adet ankraj, uç bölgesi)
N-5		Sıvalı güçlendirilmiş numune (8 adet ankraj, uç bölgesi)



Şekil 4. Güçlendirme için numunelerin hazırlanması



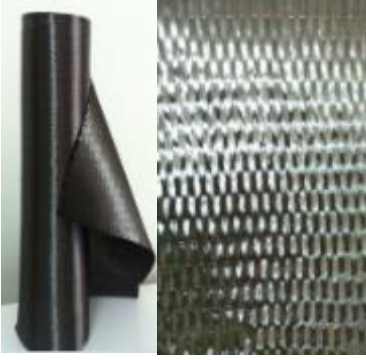
Şekil 5. Güçlendirilecek numunelere maskeleme bandı uygulaması

DOLGU DUVARLARIN LİFLİ POLİMERLER İLE GÜÇLENDİRİLMESİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Güçlendirmede Spintex marka tek yönlü SPN U 300 tipi Lifli Polimer (LP) malzemesi kullanılmıştır (Şekil 6). SPN U 300 FRP (Lifli Polimer) tek yönlü karbon elyaflarının (0°) eksenine dik yerleştirilen E Glass termoplastik cam elyafları ile (90°) oluşturulan dokuma esaslı kumaştır. Betonarme kirişlerin eğilmeye ve kesmeye karşı güçlendirilmesinde, yapısal güçlendirmelerde, yığma yapıların güçlendirilmesinde kullanılır. En büyük avantajları arasında hafiflik, uygulamada kolaylık, her iki yönde kesilip uygulanabilmesi, dengeli dokuma konstrüksiyonu sayılabilir. Malzemenin kalınlığı 0,18 mm, çekme dayanımı 420 MPa, elastisite modülü 240 GPa, kopma uzaması %1,8 değerindedir.

Güçlendirmede kullanılmak üzere LP şeritlerin 100mm×1000mm, LP bulonların 60mm×200mm, LP kare levhaların 150 mm×150 mm olacak şekilde uygun ölçülerde kesim işlemi gerçekleştirilmiştir. LP bulonların hazırlanabilmesi için yaklaşık 50 cm uzunluğunda bağ teli ikiye katlanarak burulmuş ve yaklaşık 4 mm kalınlığında çubuk elde edilmiştir. LP çubuk etrafında ne fazla sıkı ne de fazla gevşek olmayacak şekilde sarılmıştır. Hazırlanan çubukların her iki ucu ip ile bağlanarak kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Güçlendirme için gerekli ön hazırlıkların tamamlanmasının ardından sıva üzerine öncelikle astar malzemesi rulo yardımıyla uygulanmıştır (Şekil 7). Astar malzemesi iki bileşenli bir malzemedir. Hassas terazi kullanılarak kutu üzerinde belirtilen oranlarda karışım hazırlanmıştır.



Şekil 6. Güçlendirme kullanılan LP görünümü



Şekil 7. Güçlendirilen numunelerde astar malzemesi

Astar uygulamasının ardından uygun kuruma süresi kadar beklenmiştir. Astar tabakası üzerine tamir harcı uygulanmıştır. Harç karışımı da iki bileşenli bir malzemedir. Malzeme kutusu üzerinde belirtilen oranlarda karışım oluşturulmuştur. Harç spatula ve mala yardımıyla duvara uygulanmıştır (Şekil 8). Harç uygulaması yapılırken açılan deliklerin kapanmamasına dikkat edilmiştir. Uygulamanın bitiminde maskeleme bantları sökülüştür. Tamir harcının kuruması için bir gün ara verilmiştir.



Şekil 8. Tamir harcının duvara uygulanması

LP malzemesinin tamir harcının üzerine iyi yapışmanın sağlanması için yeniden astar uygulaması yapılmıştır. Astarın kurumasının ardından epoksi malzemesinin karışımı hazırlanmıştır. Epoksi malzemesi duvara ve LP şeritlere rulo yardımıyla sürülmüştür (Şekil 9).

H. TEKELİ, C. AVCI, M. ÜREYEN, V. SASA



Şekil 9. Epoksi yardımıyla LP malzemesinin yapıştırılması

Daha sonra LP şeritler ve ardından LP kare levhalar duvar üzerine rulo ile boşluk kalmayacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. LP şeritlerin yerleştirilmesi

LP şeritlerin ve levhaların yerleştirilmesinin ardından ankraj deliklerinin olduğu kısımlar maket bıçağı ve makas yardımıyla kesilerek açılmıştır. Ankraj işleminde hazırlanan çubuk elemanlar deliklerden geçirilmiş, daha sonra ip kesilerek çiçek şeklinde açılmış ve epoksi yardımıyla yapışması sağlanmıştır (Şekil 11). Ankraj deliklerinin içine şırınga yardımıyla epoksi enjekte edilmiştir. İşlemlerin tamamlanmasının ardından maskeleme bantları sökülüştür. Epoksinin mukavemetini kazanması için bir hafta beklenmiştir.

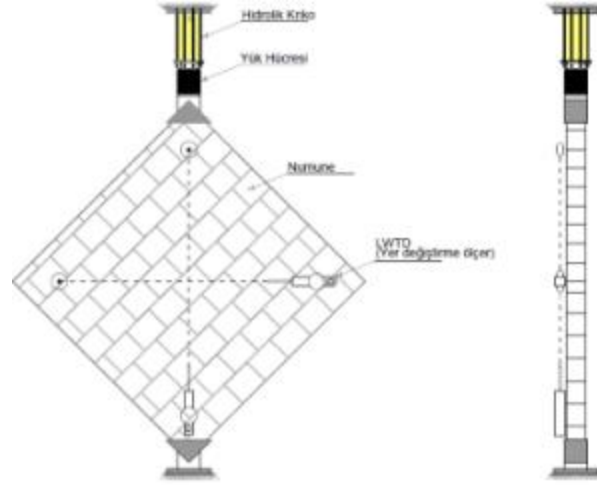


Şekil 11. LP bulonların yerleştirilmesi

3.3. Yükleme Düzenine Hazırlanması

Tüm numunelerin kür süresinin tamamlanmasının ardından diyagonal kayma deneyleri yapılmıştır. Bu amaçla Şekil 12’de görülen yükleme düzeneği kullanılmıştır.

DOLGU DUVARLARIN LİFLİ POLİMERLER İLE GÜÇLENDİRİLMESİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ



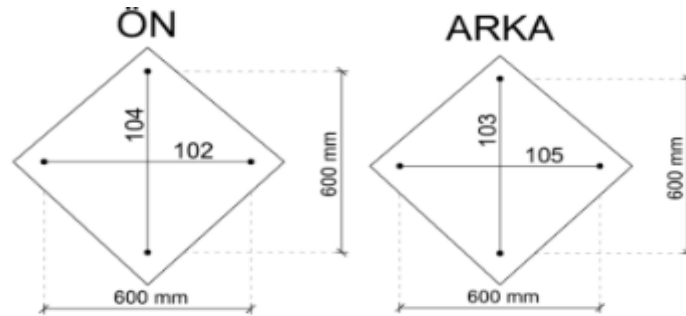
Şekil 12. Diyagonal kayma deney düzeneği

Oluşturulan deney düzeneğine numuneler yerleştirilmiştir. Numune yerleştirilirken öncelikle yük hücresinin merkezinden şakül yardımıyla alt başlığın merkezi belirlenmiştir. Alt başlık alçı yardımıyla sabitlenmiştir. Başlığın içerisine alçı konularak numune bu merkeze oturtulmuştur. Üst başlıkta numune üzerine yine alçı ile sabitlenerek yükleme ünitesi tamamlanmıştır. Yük hücrelerinden sonra yerleştirilen çelik bilye yardımıyla yükün sisteme dik bir şekilde uygulanması sağlanmıştır. Hazırlanan sistemin üzerine ölçüm aletleri yerleştirilmiştir. Numunenin deney düzeneğine yerleştirilmesi aşamasına ait bir görünüm Şekil 13’te verilmiştir. Deney sırasında kırılma anında duvarın devrilmesini önlemek amacıyla 5×10 kalaslar kullanılmıştır. Numunenin yataylığı master üzerine su terazisi konularak kontrol edilmiştir.



Şekil 13. Numunenin deney düzeneğine yerleştirilmesi

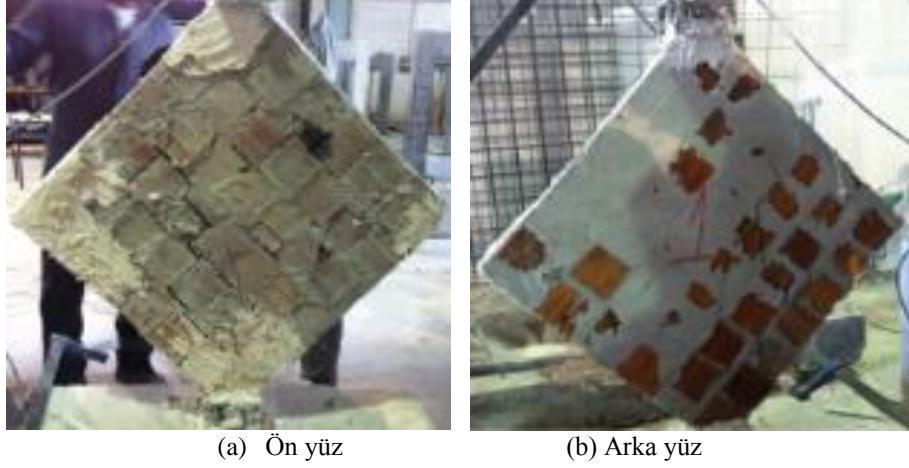
Deney sırasında yük el kumandalı hidrolik kriko yardımı ile uygulanmıştır. Yük değeri yük hücresi, uzama-kısalma bilgileri ise Linear Variable Differential Transformer (LVDT) ölçüm cihazlarından veri toplama sistemi yardımıyla bilgisayara aktarılmıştır. Ölçüm düzeneğinin yerleşimi Şekil 14’te verilmiştir. Ölçüm mesafesi başlangıçta 600 mm olarak ayarlanmıştır. Deney sırasında meydana gelen uzama ve kısaltmalar bilgisayar ortamında kaydedilmiştir.



Şekil 14. Ölçüm düzeneklerinin yerleşimi

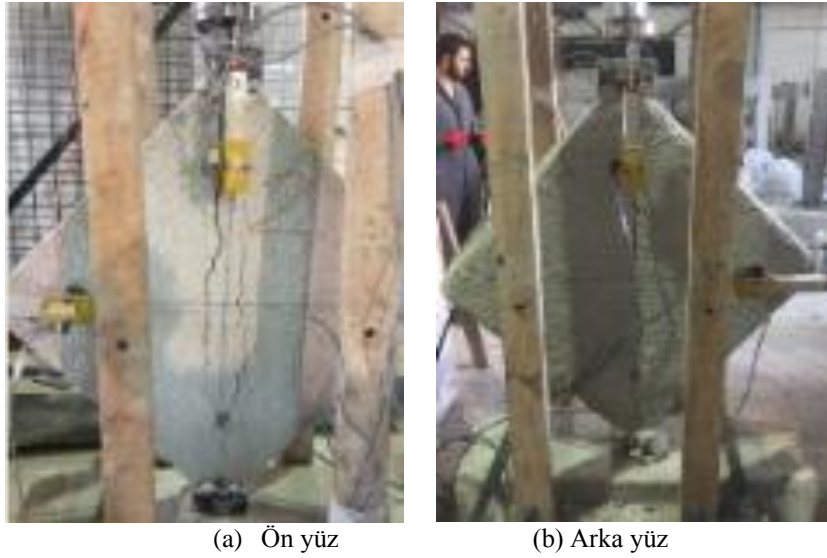
4. DENEY SONUÇLARI

Deneye hazır hale getirilen numunelerden ilk olarak sıvasız referans numunenin deneyi yapılmıştır. Yükleme, sıfırdan başlanarak kırılma yüküne kadar belli bir hızda artırılarak uygulanmıştır. Sıvasız referans numune için elde edilen hasar görünümleri Şekil 15’te verilmiştir. Numune yük doğrultusunda oluşan ani bir çatlama ile güç tükenmesine ulaşmıştır.



Şekil 15. Numune 1’e ait hasar görünümleri

İkinci olarak sıvalı referans numunenin deneyi yapılmıştır. Bu deneyde de sıvasız numuneye benzer olarak yük doğrultusunda meydana gelen ani bir çatlama gözlenmiştir. Bu çatlama ile numunenin yük taşıma kapasitesinde ani bir azalma meydana gelmiştir. Numunenin deney sonundaki hasar görünümü Şekil 16’da verilmiştir.



Şekil 16. Numune 2’ye ait hasar görünümleri

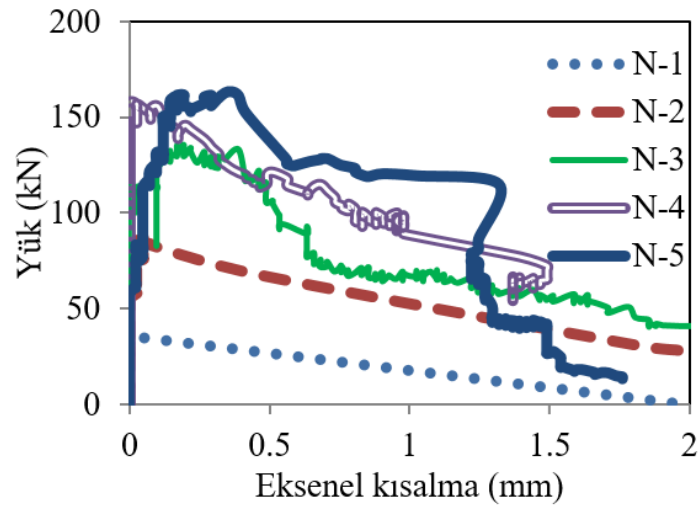
Güçlendirilen tüm numunelerde güç tükenmesi, referans numunelerdeki gibi ani çatlama ile meydana gelmemiş hasar zamana bağlı olarak ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla güçlendirme işlemi elemanın çekme çatlama engellemiştir. Çatlamlar FRP malzeme kenarında kılcal düzeylerde kalmıştır. Güç tükenmesi, alt ya da üst başlıkların basınç yüklemesi altında ezilmesi ve dağılması ile ortaya çıkmıştır. Duvar malzemesinin ezilmesinin etkisi ile FRP malzemede ayrılmalar gözlenmiştir. Güçlendirilen deney numunelerine ait hasar görünümleri Şekil 17’de verilmiştir.

DOLGU DUVARLARIN LİFLİ POLİMERLER İLE GÜÇLENDİRİLMESİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ



Şekil 17. Güçlendirilen numunelere ait hasar görünümleri

Deney boyunca düşey yük ve eksenel kısılma grafikleri bilgisayar ortamında takip edilmiş ve elde edilen grafikler Şekil 18’de tüm numuneler için verilmiştir.



Şekil 18. Tüm numunelere ait yük-eksenel kısılma grafikleri

Deney numunelerinin yük taşıma kapasiteleri sayısal olarak Tablo 2’ de verilmiştir. En küçük yük taşıma kapasitesi sıvasız dolgu duvarda, en büyük yük taşıma kapasitesi ise ankraj sayısı artırılarak ve kare levhalar yerleştirilerek güçlendirilen numunede ortaya çıkmıştır. Tablodaki parantez içinde verilen rakamlar, artışın hangi numuneye göre hesaplandığını ifade etmektedir.

Tablo 2. Numunelerin yük taşıma kapasitesi

Numune Numarası	Taşıma gücü yükü (kN)	N-1'e göre artış % si	N-2'ye göre artış % si	N-4'ün N-3'e göre artış % si	N-5'in N-4'e göre artış % si
N-1	35,624	_(1)	-	-	-
N-2	86,830	144 ⁽¹⁾	_(2)	-	-
N-3	135,672	281 ⁽¹⁾	56 ⁽²⁾	_(3)	-
N-4	158,178	344 ⁽¹⁾	82 ⁽²⁾	17 ⁽³⁾	_(4)
N-5	163,351	359 ⁽¹⁾	88 ⁽²⁾	-	3 ⁽⁴⁾

Tüm numunelerin enerji tüketme kapasitesi yük- eksenel kılma eğrisinin altında kalan alan olarak hesaplanmıştır (Tablo 3). Tüm numunelerde 1,5 mm kılmanın olduğu seviyeye karşılık gelen kümülatif enerji tüketme kapasitesi değerleri elde edilmiştir. Bu değer yaklaşık olarak %0,2 şekil değiştirme değerine karşılık gelmektedir.

Tablo 3. Numunelerin enerji tüketme kapasitesi

Numune Numarası	Enerji tüketme kapasitesi (kNmm)	N-1'e göre artış % si	N-2'ye göre artış % si	N-4'ün N-3'e göre artış % si	N-5'in N-4'e göre artış % si
N-1	46,406	_(1)	-	-	-
N-2	101,828	119 ⁽¹⁾	_(2)	-	-
N-3	131,904	184 ⁽¹⁾	30 ⁽²⁾	_(3)	-
N-4	161,196	247 ⁽¹⁾	58 ⁽²⁾	22 ⁽³⁾	_(4)
N-5	175,483	278 ⁽¹⁾	72 ⁽²⁾	-	9 ⁽⁴⁾

5. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada, betonarme çerçevesel binalar içerisinde bulunan dolgu duvarların lifli polimerler ile güçlendirilmesi yönteminin etkinliği deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla aynı özellikte üretilen toplam beş adet numuneden iki adedi referans numune olarak seçilmiştir. Diğer üç numunede ise lifli polimerler ile farklı detaylarla güçlendirilmiştir. Güçlendirmedeki parametreler lifli polimer levhaların kullanılması ve kullanılmaması durumları ile ankraj adedinin değişimi olarak seçilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

1. Deneyler sırasında yapılan hasar gözlemlerinden, sıvasız dolgu duvarın yük doğrultusunda oluşan ani bir çatlama ile taşıma gücü yükü değerine ulaştığı ve bu çatlama ile ani bir yük kaybının olduğu görülmüştür. Sıvalı deney numunesinde de benzer bir hasar oluşumu meydana gelmiştir.
2. Güçlendirilen numunelerdeki hasarlarda güçlendirilmeyen numunelerde meydana gelen ani çatlama hasarı görülmemiş ve FRP kenarlarında kılcal seviyelerde kalmıştır. Güç tükenmesine ise alt ya da üst başlıkların basınç yüklemesi altında ezilmesi ile ulaşılmıştır. Duvar malzemesinde ortaya çıkan ezilmenin etkisiyle FRP malzemesinde bu bölgelerde ayrılmaların meydana geldiği gözlenmiştir.
3. Deneylerde en küçük taşıma gücü yükü ve enerji tüketme kapasitesi sıvasız dolgu duvar numunesinde gözlenirken, en büyük taşıma gücü yükü ve enerji tüketme kapasitesi ankraj sayısı artırılarak ve lifli polimer levhalar kullanılarak güçlendirilen dolgu duvar numunesinde gözlenmiştir.

DOLGU DUVARLARIN LİFLİ POLİMERLER İLE GÜÇLENDİRİLMESİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

4. Üzerine sıva uygulanan dolgu duvarın yük taşıma kapasitesinde ve enerji tüketme kapasitesinde, sıvasız dolgu duvar numunesine göre sırasıyla %144 ve %119 oranında artış meydana gelmiştir. Elde edilen bu sonuçlar, dolgu duvar üzerine uygulanan sıva tabakasının numune yük taşıma kapasitesini ve enerji tüketme kapasitesini önemli derecede artırdığını göstermektedir.
5. Güçlendirilen numunelerin (N-3, N-4 ve N-5) taşıma gücü yükü ve enerji tüketme kapasitesi, sıvalı referans numuneye (N-2) göre artış göstermiştir. Taşıma gücü yükü ve enerji tüketme kapasitesi açısından en küçük artış sırasıyla %56 ve %30 ile ankraj sayısının en az olduğu ve lifli polimer levhaların kullanılmadığı numunede gözlenirken, en büyük artış sırasıyla %88 ve %72 ile ankraj sayısının artırıldığı ve lifli polimer levhaların uygulandığı numunede meydana gelmiştir.
6. Kare levhanın uygulanmasının etkinliğinin incelenmesi için N-3 numunesi ile N-4 numunesinin sonuçları kıyaslanmıştır. Kare levhaların güçlendirme sistemine ilave edilmesi ile numunenin yük taşıma kapasitesi ve enerji tüketme kapasitesi sırasıyla %17 ile %22 artış göstermiştir.
7. Yapılan güçlendirmede kare levhalarının uygulanması durumunda ankraj sayısının artırılmasının etkinliğinin incelenmesi için N-4 ile N-5 numunelerinin sonuçları değerlendirilmiştir. Ankraj sayısının artırılması ile numunenin yük taşıma kapasitesi ve enerji tüketme kapasitesi sırasıyla %3 ile %9 artış göstermiştir.
8. Dolayısıyla dolgu duvarların FRP ile güçlendirilmesinde kullanılacak ankraj sayısının seçiminin ve özellikle kare levhaların uygulanmasının numunenin davranış, yük taşıma kapasitesi ve enerji tüketme kapasitesi açısından oldukça önemli olduğu söylenebilir.

TEŞEKKÜR

Çalışmanın gerçekleşmesinde Tübitak 2209 projesi ile maddi destek sağlayan TÜBİTAK'a, FRP malzemesini sağlayan İnş. Müh. Hamdi Türker'e ve REM Yapısal Onarım İnş. Ve Tic. Ltd. Şti.'ye, çimento desteği sağlayan Göлтаş Göller Bölgesi Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ne başta olmak üzere İnşaat Mühendisliği Bölümü yüksek lisans öğrencilerinden İnş. Müh. Ceyhun Yüksel, İnş. Müh. Nebyi Asmerom Negash, İnş. Müh. Faisal Kusain'e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] DEMİR, F., TEKELİ, H., GÜLER, K., CELEP, Z., “Binaların Deprem Güvenliklerinin Belirlenmesinde Kullanılabilecek Yeni Bir Yaklaşım”, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Grubu, 135s. Proje No, 111M119, 2013.
- [2] DBYBHY, “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2007.
- [3] İNCE, G., TEKELİ, H., İNCE, H.H., ÖCAL, C., MERCAN, K., ULUTAŞ, H., “Betonarme Çerçevelerin Düşey Bağ Kirişli Dışmerkez Çaprazlarla Güçlendirilmesi”, International Burdur Earthquake & Environment Symposium (IBEES2015), Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu, 7-9 May, Mehmet Akif Ersoy University, Burdur-Türkiye, 2015.
- [4] ÖZDEMİR, H., VE EREN İ., “Çerçeveye Yapılan Ankraj Aralığının, Bölme Duvarlı Çerçeve Güçlendirmesine Etkisi”, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 30(4), 248-256, 2014.
- [5] TEKELİ, H., AKYÜREK, O., DENİZ, M., HERSAT, E., KARA, N., TOSUN, U., KAYA, F., “Betonarme Çerçevede Dolgu Duvarların Hasır Çelik Donatılı Sıva İle Güçlendirilmesi”, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, BEU Journal of Science, 3(2),179-191, 2014.
- [6] ÖZKAYNAK, H., YÜKSEL, E., “Dolgu Duvarları Lifli Polimer İle Sargılanmış Betonarme Çerçevelerin Davranışı”, İTÜ Dergisi/D Mühendislik, 10(5), 79-90, 2011.
- [7] ANIL, Ö., “Tuğla Dolgu Duvarların Düzlem Dışı Davranışlarının CFRP Şeritlerle Güçlendirilmesi”, DEPAR Bilim ve Haber Dergisi, 2, 3-30, 2014.
- [8] HAMD, Y.A., “Seismic Performance Evaluation of Reinforced Concrete Buildings with FRP Retrofitted Infill Walls”, M.Sc. Thesis, University of Gaziantep Graduate School of Natural & Applied Sciences, 100 p., 2017.
- [9] CHOI, S.W., PARK, S.W., PARK, H.S., “Multi-Objective Design Model for Retrofit of Reinforced Concrete Frames with Infilled Walls using FRP Bracings”, Construction and Building Materials, 140, 454–467, 2017.

H. TEKELİ, C. AVCI, M. ÜREYEN, V. SASA

- [10]SEZER, R. VE AKIN, A., “Dolgu Duvarları Önüretimli Beton Panellerle Güçlendirilmiş Betonarme Çerçeveselerin Deprem Davranışının İncelenmesi”, e-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences, 1A0222, 6(4), 1127-1145, 2011.
- [11]BARAN, M., AKTAŞ, M., AYKAÇ, S., “Sıvanmış Tuğla Dolgu Duvarların Şerit Beton/Betonarme Panellerle Güçlendirilmesi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 29(1), 23-33, 2014.