



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/humder>

Tarihi Yiğma Bir Yapının Lifli Polimerler (FRP) İle Güçlendirme Alternatiflerinin Araştırılması ve Proje Uygulaması

The Investigation of Retrofitting Alternatives in Historical Masonry Building with Fiber Reinforced Polymers and Project Application

Yazar(lar) (Author(s)): Ahmet BAL¹, S.Serdar ŞİMSEK²

¹ORCID ID: 0000-0003-3305-928X

²ORCID ID: 0000-0001-5675-1469

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Bal A., Şimşek S.S., "Tarihi Yiğma Bir Yapının Lifli Polimerler (FRP) İle Güçlendirme Alternatiflerinin Araştırılması ve Proje Uygulaması", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4(3): 112-119, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>



Tarihi Yığma Bir Yapının Lifli Polimerler (FRP) İle Güçlendirme Alternatiflerinin Araştırılması ve Proje Uygulaması

Ahmet BAL^{1*}, Serdar ŞİMŞEK²

¹Namık Kemal Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, TEKİRDAĞ

²Namık Kemal Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, TEKİRDAĞ

Öz

Tekirdağ'da 19.yy sonu neoklasik mimari döneme ait yığma (taş-tuğla almaşık) iki katlı yapının restorasyon çalışmaları kapsamında yapının lifli polimerler ile güçlendirme alternatiflerinin belirlenmesi çalışmanın esasını oluşturmaktadır. Yığma yapılarda karbon esaslı lifli polimerler çubuk, kumaş ve lamine (şerit) şeklinde uygulanabilmektedir. Çalışma kapsamında yapının öncelikle sonlu eleman modeli mevcut haline uyularak oluşturulmuş; yapı periyotları ve göreceli ötelenmeleri belirlendikten sonra yapının farklı lifli polimer uygulamalarıyla dinamik özelliklerdeki değişimleri incelenmiştir. Ayrıca yapıda kat hizalarında çelik rijitlik elemanlarının kullanılmasıyla yapı davranışındaki değişim de belirlenmiştir. Lifli polimerlerin yığma duvar elemanlarına uygulanma yöntemleri de çalışma kapsamında araştırılmış ve tipik tarihi yığma yapılarda lifli polimerlerin değişik kombinasyonlarla uygulanabilirliği incelenmiştir. Projede epoksi esaslı polimer, karbon esaslı lifler tercih edilmiştir. Çalışmanın sonucunda 1. derece deprem bölgesinde bulunan tarihi bir yapının deprem etkisine karşı uygun lifli polimer tercihleriyle yığma yapının dinamik özelliklerinin iyileştirilmesi araştırılarak yapı güvenliğinin temini sağlanmıştır.

The Investigation of Retrofitting Alternatives in Historical Masonry Building with Fiber Reinforced Polymers and Project Application

Abstract

In the scope of the restoration works of the two-story building belonging to the 19th century neoclassical architectural period in Tekirdağ, determining the strengthening alternatives of the structure with fiber reinforced polymers constitutes the basis of the study. Carbon based fiber reinforced polymers in masonry structures can be applied as rod, fabric and laminated (strip). Within the scope of the study, firstly the finite element model of the building was constructed according to the existing state; After the construction periods and relative displacements were determined, the changes in the dynamic properties of the structure with different fiber reinforced polymer applications were investigated. In addition, changes in the structure behavior were determined by using steel stiffness elements at the floor level. Methods of applying fibrous polymers to masonry wall elements were also investigated in the study and the applicability of fiber reinforced polymers with different combinations in typical historical masonry structures was investigated. In the project, epoxy based polymer and carbon based fibers are preferred. As a result of the study, the structural properties of a historical building located in the 1st degree earthquake zone were investigated by improving the dynamic properties of the masonry structure with suitable fiber reinforced polymer preferences.

Makale Bilgisi

Başvuru: 08/12/2018

Düzeltilme: 01/10/2019

Kabul: 06/12/2019

Anahtar Kelimeler

Tarihi Yığma Yapılar

Lifli Polimerler

Güçlendirme

Deprem

Dinamik Özellikler

Keywords

Historical Masonry

Building

Reinforced Polymer

Retrofitting

Earthquake

Dynamic Properties

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kent kimliğinin önemli bir yapısını oluşturan tarihi yapılar nesilden nesile aktarım için oldukça önemli bir konudur. Bu nedenle tarihi yapıların korunmasında eski yöntemlerle beraber yeni teknolojik yöntemler de entegre bir biçimde uygulanmalıdır. Önemli kültürel değerleri bulunan bu yapıların belirli yükler altında gün geçtikçe kaybolan performanslarını geri kazandıracak yeni nesil onarım ve güçlendirme yöntemleri kullanılmalıdır. Özellikle taş-tuğla almaşık duvar örgüsü bulunan yığma yapılar 2 veya 3 katlı

*İletişim yazarı, e-mail: abal@nku.edu.tr

olacak şekilde ülkemizde yaygın olarak görülmektedir. (Örnek bir yapı Şekil 1’de görülmektedir.) Bu tarihi yapıların güncel güçlendirme yöntemleri arasında “Lifli Polimerlerle Güçlendirme (FRP)” son zamanlarda yaygınlıkla kullanılan yöntemdir. Tarihi yapılar sünekliği düşük olan yapılardır. Çekmeye karşı mukavemetleri çok azdır. Ayrıca ana taşıyıcılar duvarlar olduğu için duvarlar da temel oturmasına karşı dayanıksızdır. Güçlendirme yöntemlerinden ve yenilikçi yaklaşımlardan FRP malzemelerin hem korozyon gibi dış etkilere dayanıklı hem de düşük kesitlerle yüksek çekme gerilmelerini taşıyabilir olması tarihi yapılarda kullanımı artırmaktadır. [4] Bu sayede yapı hem süneklik kazanacak hem de çekme gerilmelerini taşıyacaktır.

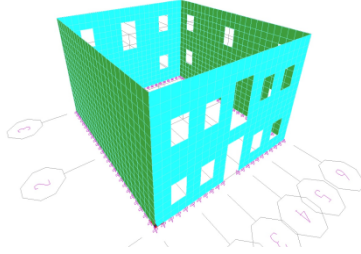


Şekil 1. Tarihi Yığma Bina. (Historical Masonry Building)

Bu çalışmada Tekirdağ ilinin Süleymanpaşa ilçesinde bulunan tarihi yığma bir yapının güçlendirme uygulaması ele alınmıştır. Yapı iki katlı ve taş-tuğla almaşık duvar örgüsüne sahiptir. Duvarlarda ve çerçevelerde ahşap taşıyıcı elemanlar da bulunmaktadır. Benzer yapılarda olduğu gibi kemer pencere ve kapı detayları bulunmaktadır. Yapı 1. Derece deprem bölgesinde bulunduğu dolaylı olarak üzerinde bazı deformasyonlar mevcuttur. Yatay ve düşey kesme çatlaklarına ve oturma çatlaklarına özellikle kapı ve pencere bölgelerinde sık rastlanmaktadır. FRP ile güçlendirme kumaş, lamine ve çubuk halinde olmak üzere 3 şekilde yapılmaktadır. Yapılacak olan güçlendirme yöntemi yapının maruz kalacağı yük etkilerine göre seçilmelidir. Karbon lifli polimerlerin sünme dayanımı ve çevrimsel yük etkisi altında yorulma dayanımları yüksektir. Özellikle deprem etkileri gibi yön değiştiren tekrarlı yükler etkisi altında yapı elemanlarının süneklik kapasitesinin yüksek olması önemlidir. Lifli polimerler uygulandıkları mevcut yapı elemanlarının süneklik ve enerji yutma kapasitelerinde önemli oranda artış oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra lifli polimerlerin ağırlıklarının düşük olması güçlendirme yapılacak yapının ağırlığında önemli miktarda artış oluşmasını engeller. Ayrıca lifli polimerlerin korozyon ve aşınma dayanımları da yüksektir. Lifli polimer uygulandıkları elemanda bulunan kesit tesirine göre kesme, eğilme ve eksenel yük dayanımlarının artışı için kullanılabilir. Kesme dayanımının artışı için genellikle kumaş tipindeki lifli polimerler ile sargılama yoluna gidilir. Lifli polimer kumaşların tek yönlü dokunanlarının yanı sıra özellikle karmaşık gerilme durumlarının olduğu bölgelerde kullanılmak üzere tasarlanan iki yönlü dokunmuş olan tipleri de mevcuttur. Eğilme dayanımını artırmak için FRP kumaş olarak uygulanabilir. Ayrıca lifli polimerlerin liflerin doğrultusuna dik yönde herhangi bir dayanımı yoktur. Benzer şekilde plakalar halinde lamine olarak da uygulanabilir. Lamine(şerit, plaka) tipinde olan lifli polimerler daha çok ağır düşey yüklerin bulunduğu kirişlerde eğilme kapasitesini arttırmak ve oluşan sehimleri azaltmak için tercih edilir. Özellikle de büyük açıklıklı yapı elemanlarında lamine(şeritler, plakalar) halinde eğilme dayanımını arttırmada kullanılabilir. Lifli polimer tiplerinden kumaş ve lamine(şerit, plaka) dışında daha çok yığma yapılarda kullanımı bulunan lifli polimer çubuklar bulunur. Çubuk tipinde olan lifli polimerlerin özellikle yığma yapıların eğilme dayanımlarının artırılmasında ve çatlak onarımında gergi çubuğu olarak kullanımı yaygındır. Gerçekleştirilen mevcut tarihi yığma yapının güçlendirilme projelerinin uygulanmasında lifli polimer tiplerinin dengeli, kullanılabilir ve yapı mimari işlevini engellemeyecek şekilde optimizasyonu yapılarak gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Lifli polimer tiplerinin kullanım yeri ve yapı davranışına olumlu etkilerinin araştırılması çalışmanın konusudur. Yapılan proje uygulamasında hasar gören bölgeler ve özellikle çatlak onarımlarında yüksek dayanımlı ve yüksek elastisite modüllü karbon lifli polimer çubukların kullanılması önerilmiştir. Yapılan arakat restorasyonundan sonra duvarda oluşan emniyet gerilmelerinin sağlanması için duvarların dört köşelerinde kolon formunda alt kattan çatı kotuna kadar ve arakat kotu seviyesinde binayı çevreleyecek şekilde 50 cm genişliğinde “Tek Yönlü Lifli Polimer Kumaş” olarak çift yüzeyli olarak uygulanacaktır. Yığma binanın duvar iç kısımlarında ve pencerelerinde oluşan gerilmelerin emniyeti için “Ön üretilmiş Karbon Lifli Polimer Plakalar” kullanılacaktır.

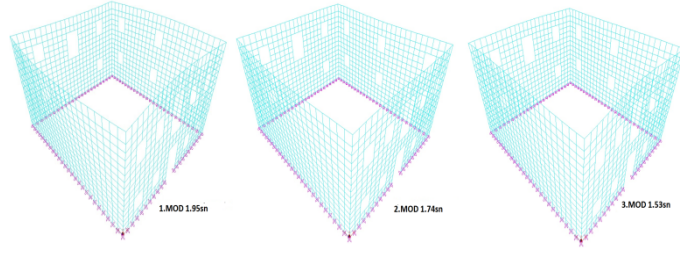
2. YÖNTEM (METHOD)

Tarihi yığma yapı mevcut durumda sadece çevre duvarlarından oluşmaktadır. Yapının daha öncesinde bulunan ahşap arakatı ve ahşap çatısı bulunmamaktadır. Bu sebeple yapının analizine mevcut duvarların üç boyutlu sonlu eleman modeli gerçekleştirilmiştir. Yapının analizi için üç boyutlu sonlu eleman modeli SAP2000’de oluşturulmuştur. Deprem analizleri DBYBHY 2007 belirtilen mod birleştirme yöntemi ile yapılmıştır. Ayrıca elde edilen kesme kuvvetleri eşdeğer deprem yükleri ile kontrol edilmiştir. Bu durumda yapı kendi ağırlığı, rüzgar ve deprem yükleri altında tahkik edilmiştir. Rüzgar yükleri, kar yükleri ve düşey yükler TS498’de verilen ölçütlere göre alınmıştır. Kar yükü hesabında yapı mevcut konumu 10m rakımda 2. Bölgededir ve 75kg/m² kar yükü hesaplarda göz önüne alınmıştır. Rüzgar yükü ise yapı yüksekliği ve yığma taşıyıcı sistemi çerçevesinde hesaplanmıştır. Düşey yük olarak alınan sabit yükler mevcut malzemenin durumuna göre hareketli yükler ise TS498’de yer verilen konut türü yapı hesaplarına göre hesaplanmıştır. Daha sonra planlanan çelik arakat ve çatı katı için diyafram oluşturularak analizler gerçekleştirilmiştir. Yapı kullanıma alındığında arakatı ve çatısı çelik elemanlar ile oluşturularak diyafram haline getirilecektir. Başlangıçta yapı mevcut durumu Şekil 2 ‘deki gibi Sap2000 programında analiz edildikten sonra yapı rijitliği ve doğal titreşim periyodu belirlenmiştir. Yapı emniyetinin belirlenmesinde ayrıca yığma duvarlarda oluşan gerilmeler kontrol edilmiştir.

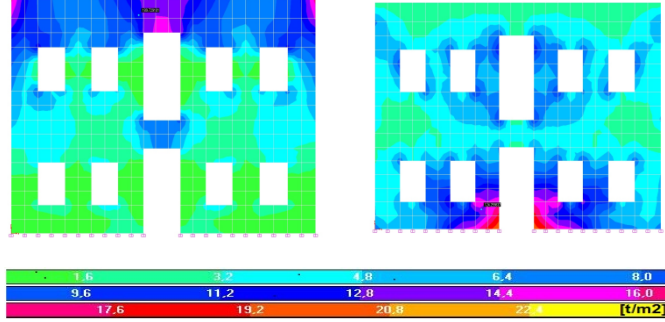


Şekil 2. Yığma Bina Mevcut Yapı Modeli. (Current Model of Masonry Building)

Binanın mevcut (sadece dış duvarları ile, arakat ve çatıda diyafram bulunmadan) durumunun analizi sonucu yapının birinci doğal titreşim periyodu $T_1=1,946$ saniye olarak elde edilmiştir. Yapının ikinci doğal titreşim periyodu $T_2=1.74$ sn ve üçüncü doğal titreşim periyodu $T_3=1.53$ sn olarak belirlenmiştir. Elde edilen yapı mod şekillerinden yapı davranışına hakim olanların çoğunda burulma davranışı etkinliği göze çarpmakta ve yığma duvarların düzlemdışına hareketleri görülmektedir. Elde edilen doğal titreşim periyodunun yapı yüksekliği, rijitliği, kütlesi gibi temel etmenler ele alındığında yüksek çıkmasının sebebi araştırıldığında öncelikle yapıda kat ve çatı seviyelerinde diyafram bulunmaması olduğu görülmüştür. Yapının davranışına hakim olan diğer modlar da incelendiğinde yapıda duvarların düzlem dışına hareketi açık şekilde görülmektedir. Yığma yapılarda düzlem dışı hareketleri önlemek ve düzleminde titreşimin sağlamak amacıyla öncelikle arakat ve çatı düzeyinde çelik elemanlardan oluşturulacak taş duvarlara ankraj edilecek diyaframaların kurgulanması zorunlu olmuştur. Yığma yapının duvarlarında bulunan maksimum gerilme x yönünde $S_{11}=189,72$ ton/m² ve y yönünde $S_{22}=124,25$ ton/m² olarak elde edilmiştir. Tuğla ve doğal taş almalı yığma duvarlardan olan tarihi mevcut yapıımızda yönetmelikte izin verilen sınır emniyet gerilmeleri değerlerinin özellikle de deprem tesirleri altında aşıldığı görülmüştür. Tarihi yığma yapı taşıyıcı duvarlarında elde edilen gerilme değerleri sınır gerilme değerlerinin çok üzerindedir. Şekil.3’te yığma yapının mevcut durumuna ait ilk 3 doğal titreşim mod şekli gösterilmiştir. Şekil.4’te ise yapının mevcut durumunda oluşan gerilmelerin yapıdaki dağılımları gösterilmiştir. Yapıda gerilmelerin duvarlarda bulunan kapı ve pencere boşluklarında; özellikle de ön cephede yoğunlaştığı yapılan analizlerden anlaşılmıştır. Elde edilen gerilme değerleri çelik diyafram eklendikten ve CFRP uygulaması yapıldıktan sonra tekrar analiz edilmiştir.

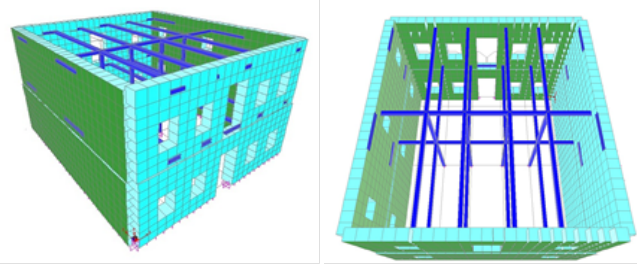


Şekil 3. Yapının ilk üç doğal titreşim periyotları (Periods of structure for 3 mod)



Şekil 4. Mevcut Durumdaki Gerilmeler S11(sol) ve S22(sağ) (Current stresses S11(left) and S22(right))

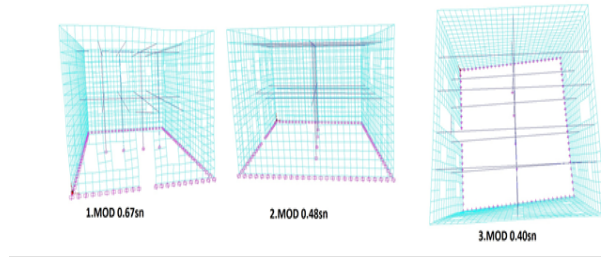
Uygulanması planlanan restorasyon projesi dahilinde sisteme arakat ve çatı düzlemine çelik elemanlardan oluşan diyafram ilave edilecektir. Ayrıca bu yapıda bulunan çevre duvarların düzlemsiz hareketine engel olacak, yapının yüksek olan doğal titreşim periyodunu azaltacaktır. Bunun için taşıyıcı sisteme belirli düzen ve aralıklarda ST37 çeliğinden imal edilecek 2UPN200 profil kolonlar, UPN200 kiriş ve IPN120 ikincil kirişlerden oluşan döşeme ilave edilecektir. Diyafram mevcut yığma duvarlara epoksi ile oluşturulan ankrajlama sistemiyle uygulanacaktır. Şekil.5'te ilave edilen kat diyaframlarına ait yapı modelleri gösterilmiştir.



Şekil 5. Yapı katlarına çelik elemanlardan oluşan diyafram ilavesi . (Storey diaphragms used with Steel members)

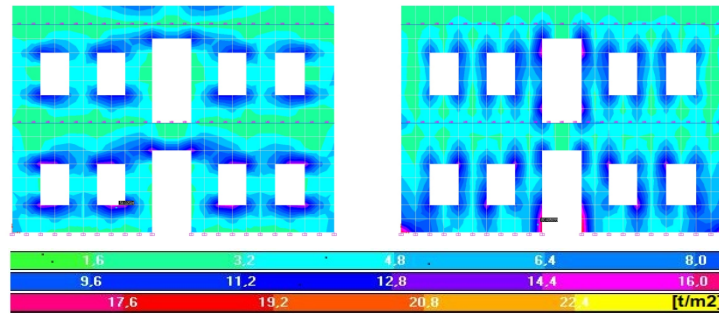
Sonlu eleman modeli hazırlanan çelik arakat ve çatı diyaframları için gerçekleştirilen analizlerde yapının birinci doğal titreşim periyodu $T_1=0,667$ sn olarak elde edilmiştir. Yapının ikinci doğal titreşim modu $T_2=0,48$ sn, üçüncü doğal titreşim periyodu ise $T_3=0,40$ sn olarak elde edilmiştir. Çelik arakatın ilavesi ile tarihi yığma yapıda arakat ve çatı düzleminde rijit diyafram oluşumu ile yapının doğal titreşim modları düzenli hale gelmiştir. Yığma yapının diyafram ilavesinden sonra duvarlarda oluşan gerilme x yönünde $S_{11}=58,02$ ton/m² ve y yönünde $S_{22}=80,40$ ton/m²'dir. Yapıda planda ilave edilen diyaframlar yapının doğal titreşim periyotlarını ve yığma yapı duvarlarında oluşan gerilmeleri önemli miktarda azaltmıştır. Yapı duvarlarında oluşan gerilme değerleri yönetmelikte doğal taş-tuğla alması için izin verilen emniyet gerilmeleri değerlerini sağlayamamakta ve bu sebeple yapının lifli polimerlerin ilavesi ile güçlendirilmesini zorunlu hale getirmektedir. Arakat ve çatı düzeyinde gerçekleştirilen çelikten imal edilen diyaframa rağmen yığma taşıyıcı duvarlarda özellikle kapı pencere boşlukları ile rölöve projesinde hasarlı duvar kısımlarında gerilme yığılmaları gözlenmiştir. Yapının çelik elemanlardan oluşan diyafram ilavesi sonucu yapıda oluşan yapı doğal titreşim periyodu ilk 3 mod için Şekil.6'da gösterilmiştir. Yapıda

titreşim modları duvarların düzlemdışı hareketi ile oluşurken kat ve çatı diyaframlarının ilavesi sonucu 1.mod yapı düzleminde X yönünde, 2.mod yapı duvar düzlemi olan Y yönünde, 3.mod ise burulma olarak elde edilmiştir. Bu yapının deprem etkisinde düzenli bir davranışla tepki vereceği anlaşılmaktadır.



Şekil 6. Çelik diyaframlı yapının ilk 3 modu (Periods of structure with steel diaphragm)

Şekil.7’de gösterilen çelik arakat ve çatı diyaframı sonrasında elde edilen gerilme değerlerinde de önemli miktarda azalma gözlenmektedir.



Şekil 7. Çelik Arakat Sonrası Gerilmeler S11(sol) ve S22(sağ) (Stresses after steel story S11(left) and S22(right))

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDING AND DISCUSSION)

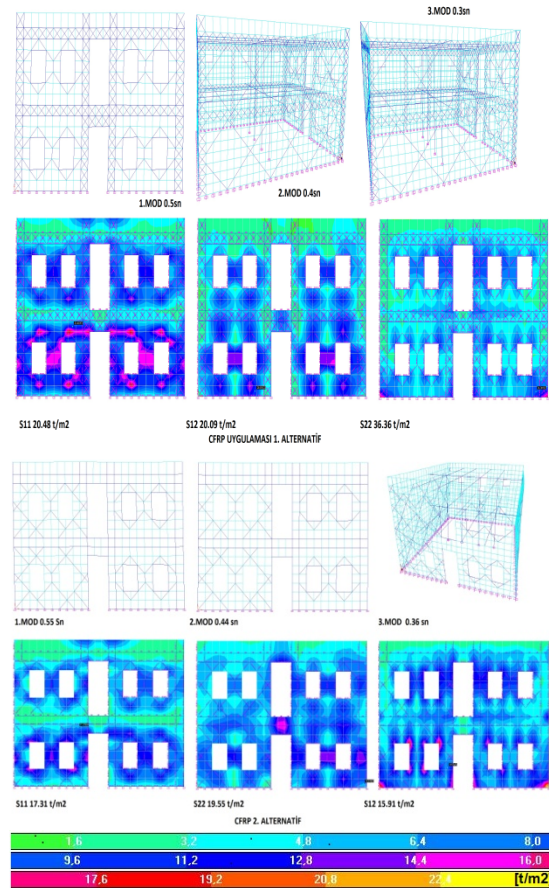
Gerçekleştirilen gerilme analizleri ve güncel yönetmeliklerde yığma yapılar için verilen emniyet gerilmeleri değerleri karşılaştırıldığında yapının mevcut durumu ve çelik diyafram eklenmiş haldeki durumu sınır gerilme değerlerini karşılayamamaktadır. Bu sebeple gerilme değerlerinin emniyet değerlerinin altına indirilebilmesi amacıyla güçlendirme projesinde CFRP (karbon lifli polimer) kullanılacaktır. CFRP’nin uygulanmasında, oluşan gerilme yönüne uygun doğrultunun seçilmesi önemlidir. Çünkü CFRP lif eksenine paralel yönde çekme kuvvetlerini karşılayabilmektedir. Kumaş tipi olan CFRP’lerde dokuma yönüne göre tek doğrultulu ve çift doğrultulu olanları mevcuttur. Gerilmenin tipine ve kesit tesirinin türüne göre kumaş tipi olanlarda tek doğrultuda ve çift doğrultuda yük taşıma olanağı vardır. Lamine ve çubuk tipinde olanlar ise tek doğrultuda yük aktarımına imkan vermektedir. Genellikle eğilme etkilerine karşı lamine, çubuk ve dokuma yönü tek doğrultuda olan kumaş tipi CFRP’ler tercih edilmektedir. Düğüm noktaları gibi çok eksenli gerilmelerin olduğu bölgelerde çift yönlü dokumaya sahip kumaşların tercih edilmesi gerekmektedir. Kesme etkileri kayma gerilmelerinin yönüne uygun CFRP seçimiyle mümkündür. Eksenel kuvvet dayanımının artırılması için ise CFRP’nin sargı etkisi oluşturması gerekmektedir. Oluşturulan sargı etkisi elemanda çok eksenli gerilme davranışı (Poisson Etkisi) ile basınç dayanımını arttırdığı bilinmektedir. Bu amaca uygun CFRP tipi ise genellikle tek yönlü dokunmuş kumaştır. Yığma yapılarda taşıyıcı olan duvar malzemesinde oluşan gerilmelerin doğrultusuna uygun tipte CFRP seçimi bu çalışmada örnek tarihi yığma bina üzerinde uygulanmaya çalışılmıştır.

Tarihi yığma yapılarda genellikle kullanılan taş tipi kargir malzemelerin elastisite modülü düşüktür. Malzeme sünekliğinin sağlanamadığı bu tür yapılarda yapısal sünekliğe geçiş ancak yüksek elastisite modülüne sahip sünek malzemeler ile güçlendirme tekniklerinin oluşturulmasıyla mümkündür. Tarihi yığma yapıda bulunan mevcut taş malzemenin ve kullanılması muhtemel CFRP tiplerinin mekanik özellikleri Tablo.1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Malzeme Mekanik Özellikleri (Material Mechanical Specification) [3]

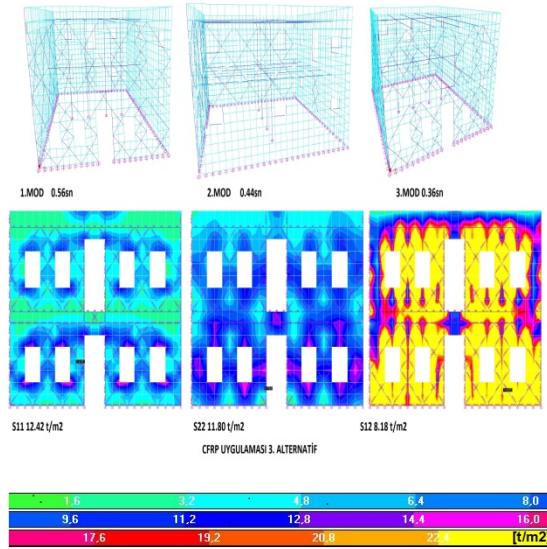
Tarama No	Doğal Taş	CFRP Plaka	CFRP Kumaş	CFRP Çubuk
Elastisite Modülü (N/mm ²)	13000-50000	165000	230000	165000
Çekme Dayanımı (N/mm ²)	2.0-4.0	3000	4900	3000
Kopma Uzaması (%)	-	1.50	2.10	1.50
Kalınlık (mm)	570-700	1.20	0.16	8
Genişlik (mm)	-	100	500	-

CFRP'nin uygulaması için çubuk, plaka(lamine) ve kumaşın farklı bölgelerde uygulanması ile ilgili 3 alternatif oluşturuldu. Gerçekleştirilen çalışmada oluşturulan lifli polimer tipleri ve uygulama geometrileri değiştirilerek gerçekleştirilen üç modelde elde edilen doğal titreşim periyotları ve yapı rijitlikleri sonucunda meydana gelen yapı davranışları karşılaştırılmıştır. Bunun yanı sıra oluşan gerilme seviyeleri de alternatif lifli polimer tipi ve uygulama geometrileri açısından değerlendirilmiştir. Oluşturulan üç farklı modelin doğal titreşim periyotları ve duvarlarda elde edilen gerilme değerleri ayrıntılı olarak Şekil 8'de görüldüğü üzere elde edilmiştir.



Şekil 8. CFRP Uygulaması 1. Ve 2. Alternatiflere Ait Mod ve Gerilmeler (Stresses and mode for CFRP Appl.1 and App.2)

1.alternatifte tarihi yığma yapı modelinde birinci doğal titreşim periyodu $T_1=0.55$ sn,2.alternatifte $T_1=0.55$ sn ve 3.alternatifte $T_1=0.56$ sn olarak elde edilmiştir. Elde edilen titreşim periyotlarının yükselmesi ile ters orantılı olarak yapı rijitlikleri düşmektedir. Rijitlikle orantılı olarak yapıya etkiyen deprem kuvvetleri de değişmektedir. Gerçekleştirilen modellerde elde edilen gerilme değerleri 1.alternatif için $S_{11}=20.48$ t/m² $S_{22}=20.09$ t/m² $S_{12}=36.36$ t/m², 2.alternatif için $S_{11}=17.31$ t/m² $S_{22}=19.55$ t/m² $S_{12}=15.91$ t/m², 3.alternatif için $S_{11}=12.42$ t/m² $S_{22}=11.80$ t/m² $S_{12}=8.18$ t/m²olarak elde edilmiştir. Elde edilen gerilme değerleri karşılaştırıldığında lifli polimerlerin uygulama geometrilerinin yapı duvarlarında oluşan gerilmelere etkidiği sonucuna ulaşılmaktadır. 1.alternatifte yapının ön duvarında çerçeve oluşturacak şekilde çubuk FRP'ler küçük çaprazlar oluşturarak 50cm genişliğinde kolon giriş biçiminde uygulanmış (yapı duvarlarında açılan çukurlara epoksi ile gömülmüş) yapının boşluksuz olan arka cephesinde ise lamine(plaka) tipinde lifli polimerler çapraz oluşturacak şekilde kullanılmıştır. Pencere ve kapı boşlukları baklava dilimi şeklinde lamine FRP ile takviye edilmiştir. 2.alternatifte yapı kat hizalarında FRP kumaşlar yapının tüm yönlerinde sargılanarak uygulanmıştır. 3.alternatifte ise kat hizalarında kumaş tipindeki FRP'nin uygulanmasının yanı sıra pencere ve kapı boşlukları ile hasarlı çatlak bölgeleri çubuk FRP'ler ile takviye edilmiştir. Yapı boşluksuz olan arka cephesinde kumaş ve laminenin birlikte çapraz biçiminde uygulanması gerçekleştirilmiştir.Kapı ve pencere boşlukları yine kapı ve pencere geometrisinde FRP çubuklar ile takviye edilmiştir. Alternatiflerin karşılaştırılması tamamlandığında optimum çözümün 3.alternatifte gerçekleştiği hem gerilme değerleri hemde yapı genel davranışına bakıldığında ortaya çıkmıştır. DBYBHY2007 verilerine göre düşey gerilme emniyet değerleri S_{11} ve S_{22} 30ton/m², kayma emniyet gerilmesi S_{12} 40ton/m² olarak belirlenmiştir. CFRP uygulanmasında bina duvarköşelerinde 4 köşesinde kolon formunda alt kotta çatı kotuna kadar ve arakat düzeyinde binayı çevreleyecek şekilde 50cm genişliğinde tek yönlü lifli polimer kumaş (MasterBraceFib) uygulanmıştır. Duvar iç kısımlarında ve kapı pencere kenarlarında gerilmelerin düşürülmesi için ön üretimli karbon lifli polimer plakalar kullanılmıştır. [2] (MasterBrace Lam) Yığma binadaki oluşan derin çatlaklar için ise yüksek dayanımlı ve yüksek elastisite modüllü karbon lifli polimer çubuklar kullanımı tercih edilmiştir. (MasterBrace BAR) [3]



Şekil 9. CFRP Uygulaması 3.Alternatifli Ait Mod ve Gerilmeler (Stresses and mode for CFRP Appl.3)

Gerçekleştirilen alternatifler arasından 3.alternatifte en uygun gerilme ve mod değerleri Şekil 9'da elde edilmiştir. Yığma yapının gerilme, deplasman ve doğal titreşim periyotları yapının mevcut durumuna ve güncel yönetmeliklere göre uygun hale getirilmiştir. [2]

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Gerçekleştirilen projenin 1.derece deprem bölgesinde bulunması, tarihi yığma yapıları temsil edebilecek kare planlı ve düzenli bir mimarisinin bulunması, iki katlı olması gibi birçok özelliği ile benzer tarihi yapıların güçlendirilmesine örnek teşkil edecektir. Yapı sahip olduğu nitelikleri ile önerilen güçlendirme çözümü tarihi yığma yapıların deprem yükleri altında güvenliklerinin sağlanmasında önemlidir. Özellikle

CFRP'nin hangi tip elemanlarının kullanılacağı ve bunların yapı titreşim modları ile duvar gerilmelerine etkisinin gösterilmesi yeni nesil güçlendirme alternatiflerinin kullanımının yaygınlaşmasına olanak sağlayacaktır. Ayrıca bu tür yığma yapılarda planda diyaframların kuvvetlendirilmesi ve bulunmuyorsa yeniden oluşturulması yapı duvarlarının düzlem dışı hareketinin önlenmesi ile yapı doğal titreşim modlarının düzenli hale getirilmesindeki katkısı çalışmada açık olarak gösterilmiştir. Çalışma neticesinde CFRP'nin tiplerinin doğru yöntemle uygulandığında yapı deprem güvenliğini sağlamadaki rolü gösterilmiştir. Bu çalışmanın sonrasında FRP'nin kubbeli ve kemerli yapılardaki uygulamaları araştırılmalıdır. Ayrıca tuğladan üretilmiş yığma yapılar içinde benzer kare planlı yapı alternatiflerinin CFRP ile güçlendirilmesi için de modellerin gerçekleştirilmesi analizlerin yapılması gerekmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Çalışmanın gerçekleştirilmesinde Mimar Kudret ÇİZEN, Mimar Selin KOCA ve BASF Yapı Kimyasalları'na katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] SAP 2000, 1997. Integrated Structural Analysis Design Software, Computers & Structures, Inc., Berkeley, California.
- [2] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 156s. 2007, ANKARA
- [3] Çelik, O.C., BASF Tarihi Yapı Onarım ve Güçlendirme Rehberi 52s. 2007.
- [4] Mohamed A.ElGawady, Pierino Lestuzzi, MarcBadoux 'A seismic retrofitting of unreinforced masonry walls using FRP'. Composites Part B: Engineering Volume 37, Issues 2-3, April 2005-March 2006, Pages 148-162
- [5] C.R.Willis, Q.Yang, R.Seracino M.C.Griffith 'Damaged masonry walls in two-way bending retrofitted with vertical FRP strips' Construction and Building Materials Volume 23, Issue 4, April 2009, Pages 1591-1604
- [6] Hernan Sant-Maria, Pablo Alcaino. 'Repair of in-plane shear damaged masonry walls with external FRP '. Construction and Building Materials Volume 25, Issue 3, March 2011, Pages 1172-1180
- [7] Değirmenci, İ., Sarıbiyık, (2015). Tarihi Yapıların Güçlendirilmesinde Yenilikçi Yaklaşımlar ve FRP Malzemelerin Kullanımı. ISITES2015 Valencia -Spain.
- [8] Bayraktar A, (2005). Tarihi Yığma Yapıların Depreme Karşı Güçlendirilmesi. YDGA2005. ODTÜ, Ankara
- [9] Aydın, E.Ö. , Fahjan, Y.M. , Çömlekçioğlu, R.(2007). Deprem Bölgelerinde Tarihi Kagir Yapıların Güçlendirilmesinde Kullanılan Yeni Teknikler. IESKO2007-Kocaeli
- [10] Sesigür H., Çelik O.C., Çılı F.,(İTÜ Mimarlık Fakültesi Yapı Statiği Betonarme Birimi), "Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Bileşenler,Hasar Biçimleri,Onarım ve Güçlendirme", İstanbul Bülteni.(2007)
- [11] Jafarov, O. Lifli Polimerlerle Güçlendirilmiş Yığma Duvarların Güçlendirilmesi.(Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi), İstanbul.2012.
- [12] Mahrebel, H. A., (2006). Tarihi YapılardaTaşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar, Onarım ve Güçlendirme Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [13]TS498. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri.