

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ

**BETONARME BİNALARIN DEPREME KARŞI
GÜÇLENDİRİLMESİNDE LİFLİ POLİMER UYGULAMASININ
DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

Proje No: B-1397
FBA-08-477

Proje Türü

Araştırma Projesi

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:

Doç. Dr. Fatih ALTUN
Mühendislik Fakültesi/İnşaat Mühendisliği Bölümü

Hamdi ELCUMAN
Kayseri Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü

Mart 2010

KAYSERİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	4
ABSTRACT	5
TEŞEKKÜR	6
1. GİRİŞ	7
2.GENEL BİLGİLER	10
3. GEREÇ VE YÖNTEM	16
3.1 DENEYSEL ÇALIŞMA	20
3.1.1 REFERANS NUMUNE	20
3.1.2 GÜÇLENDİRİLMİŞ NUMUNE	24
4. BULGULAR	29
5.TARTIŞMA VE SONUÇ	33
6.KAYNAKLAR	34

ÖZET

Ülkemiz, dünya üzerindeki önemli deprem kuşaklarından biri üzerinde yer almaktadır. Nüfusumuzun yaklaşık %70'i 1. ve 2. derece deprem bölgesindedir. Türkiye de yapılar büyük depremin yanında orta büyüklükte sayılabilecek depremlerde dahi çok fazla sayıda can ve mal kaybına maruz kalmaktadır. Bu nedenle, deprem bölgelerinde inşaa edilen yapıların önemli bir bölümünün yeterli deprem güvenliğine sahip olmadıkları görülmektedir. Ülkemizdeki betonarme yapılar genellikle yeterli yanal dayanım ve rijitliğe sahip olmamaktadır. Bu zayıflıklara sahip yapıların kuvvetli bir depremde sağlıklı bir davranış sergilemesini beklemek mümkün değildir. Bu nedenle, mevcut yapı stokunun deprem güvenliğinin artırılması gerekmektedir.

Lifli polimerlerin yapıların güçlendirilmesinde kullanımı son yıllarda oldukça ilgi çeken bir araştırma konusudur. Özellikle yüksek mukavemete sahip olmaları, hızlı ve pratik uygulama imkânları lifli polimerleri popüler kılmaktadır. Lifli polimerler; döşeme, kiriş ve kolonların kapasitelerini artırmaktadır.

Proje çalışması kapsamında lifli polimer uygulamasının, hasar görmüş veya görmemiş betonarme binaların deprem davranışına katkıları araştırılmıştır. Özellikle üç boyutlu betonarme numunelerde denemeleri zor ve kısıtlı kalmaktadır. Bu çalışma ile üç boyutlu betonarme numune deneyleri yapılarak, yapı davranışına ve enerji tüketim kapasitelerine sağladıkları olumlu etki ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlar, pratik uygulama imkanı sağlayarak ekonomiye önemli bir katkı sağlamaktadır. Çünkü verilen boyut ve kalınlıklarda lifli polimer kullanılması tavsiye edilmektedir.

ABSTRACT

Our country is located on one of the major earthquake zones in the world. Approximately 70% of our population live in the 1st and 2nd degree earthquake zones. Buildings in Turkey cause so many death losses and so much damage in high-magnitude earthquakes as well as low-magnitude earthquakes. Therefore, it is obvious that a considerable amount of buildings erected in the earthquake zones do not have enough resistance to earthquakes. In our country, reinforced concrete structures do not have sufficient lateral resistance and rigidity. It is not possible for these deficient buildings to resist to a major earthquake. Therefore, the earthquake safety of existing structures should be improved.

The use of fiber polymer to strengthen the structures is a very popular research topic in the recent years. The fact that they have a particularly high strength, fast and practical application possibilities make fiber polymers popular. Fiber polymers increase the capacity of □roj, beams and columns.

In this □roject it is intended to find out to what extend fiber polymer application is effective on the concrete buildings – whether previously damaged or not by an earthquake. Reinforced concrete is especially difficult to test and remains limited on three-dimensional samples. Based on three-dimensional concrete sample experiments, we have tried to find out the effects of the structure behavior. With the results obtained, the possibility of practical application will be improved, and it will contribute to the economy significantly.

TEŞEKKÜR

FBA-08-477 proje numarası ile alışmamıza araştırma fonunca destek verilmiştir. Bu destekten dolayı araştırma fonuna teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Türkiye dünyadaki birçok ülke gibi etkin bir deprem kuşağında yer almaktadır. Geçmiş yıllarda meydana gelen büyük depremler sonucunda, yetersiz dayanıma, rijitliğe ve sünekliğe sahip betonarme yapılar, önemli hasarların ve can kayıplarının oluşmasına neden olmuştur. Türkiye için bu depremlerden en sonuncusu 1999 Marmara depremi olup resmi rakamlara göre depremde 17 bin 480 kişi hayatını kaybetmiş, 23 bin 781 kişi yaralanmıştır. Depremde 505 kişi sakat kalırken, 285 bin 211 konut ve 42 bin 902 işyeri de hasar görmüştür. Depremde yıkılan ve ağır hasar gören binalarda yapılan incelemelerden düğüm noktası etriye yetersizliği sonucu yeterli süneklik değerinin sağlanamaması ve gevrek kırılma nedeniyle birçok yapı hasar görmüştür. Yeterli düğüm noktası dayanımına sahip olmayan binalarda gevrek kırılma meydana gelmektedir. Yapılardaki benzer üretim şartları tüm dünyada özellikle 1970'li yıllardan önce inşa edilmiş betonarme binalarda bulunmaktadır.

Günümüzde betonarme yapıların davranışlarının iyileştirilmesi için çeşitli güçlendirme yöntemleri uygulanmaktadır. Bu yöntemler, ölü duvarların betonarme perdeye çevrilmesi, kolonların mantolanması ve betonarme kirişlerin güçlendirilmesidir. (Kaynak, Altun, Mantolu betonarme kirişler). Ancak, genellikle bu yöntemlerin uygulanması sırasında mevcut yapının kullanımı önemli ölçüde engellenmekte ve bina içinde zaman alıcı inşaat işlerinin yapımı gerekmektedir. Günümüzde, hızlı ve etkili bir şekilde güçlendirilmesi gereken okul, hastane gibi binaların mevcut yöntemlerle güçlendirilmesi sorunlu olmaktadır.

Güçlendirme sonrası yapıların davranışlarının belirlenmesi son derece önemli bir aşamadır. Çünkü sağlıklı bir güçlendirme ile depreme karşı yapı emniyeti tekrardan sağlanabilmektedir. Yapıların deprem davranışının belirlenmesi ile ilgili çalışmalar deneysel ve analitik olarak ikiye ayrılabilir. Deneysel çalışmalar ise eleman, çerçeve ve sistem deneylerini içeren iki veya üç boyutlu deneyler olarak sınıflandırılabilir. İki boyutlu deneyler yapı davranışını modellemede ve üç boyutlu analitik çalışmalarda kullanılmak üzere yapılan çalışmalardır. Oysa deprem etkisindeki yapılar gerçekte üç boyutludur ve etkiyen deprem yükleri altında üç boyutlu harekete maruz kalırlar. Üç boyutlu deneyler iki boyutlu deneylerden farklı olarak, gerçek yapıyı temsil etmesi, elemanların birbiriyle olan yardımlaşmalarını, döşemenin etkilerini ve burulma etkilerini ortaya koyabilmesi nedeniyle önemlidir. Deneysel zorlukları olmakla birlikte tam davranışı daha gerçekçi olarak vermesinden dolayı düzlem deneylere göre önemli üstünlükleri vardır. Yakın zamana kadar yapılar üç boyutlu olmasına rağmen test kolaylığı için basitleştirilmiş iki boyutlu deneyler ile davranışları benzeştirilmek istenmiştir. Ancak günümüzde deney imkânlarının gelişmesi ve deneylerde numuneden bilgisayar

destekli ölçüm alınmasının mümkün olmasında dolayı üç boyutlu deneyler zor olmakla birlikte daha değerli olmuştur.

Türkiye’de nüfusun ve ekonomik değerlerin büyük kısmının deprem etkilerine maruz hasarlarla ya da hasar görmeden atlatan binaların, yeni bir depremde hasar görme ihtimallerini bölgelerde bulunması, bu bölgelerde daha önce meydana gelen depremleri ufak artırmaktadır. Ülkemizdeki betonarme yapılar genellikle yeterli yanal dayanım ve rijitliğe sahip olmayan, donatı detayları deprem davranışı açısından yetersiz, beton dayanımları düşük çerçevelerden oluşmaktadır. Bunun yanında bu yapılarda yumuşak kat, kısa kolon, kuvvetli giriş zayıf kolon gibi sistem yetersizliklerinin de bulunması, deprem güvenlikleri yeterli olmayan büyük bir yapı stokunu gündeme getirmektedir. Bu zayıflıklara sahip yapıların kuvvetli bir depremde sağlıklı bir davranış sergilemesini beklemek mümkün değildir. Bu nedenle, bir öncelik sırası belirlenerek, mevcut yapı stokunun deprem güvenliğinin artırılması gerekmektedir. Özellikle ivedi olarak iyileştirilmesi ve yapı fonksiyonlarının bozulmaması istenilen yapılar için hızlı, pratik, bina kullanımını aksatmayan etkili bir yöntemin geliştirilmesi gerekmektedir.

Lifli polimerlerin yapıların güçlendirilmesinde kullanımı son yıllarda oldukça ilgi çeken bir araştırma konusudur. Özellikle yüksek mukavemete sahip olmaları, hızlı ve pratik uygulama imkânları lifli polimerleri popüler kılmaktadır.

Lifli polimerler kolonların düşey yük, kesme ve sismik yük taşıma kapasitelerini artırmada, girişlerin eğilme ve kesme kapasitelerini artırmada, döşemelerin yük taşıma ve eğilme kapasitelerini artırmada etkin olarak kullanılmaktadırlar. Bunun yanında bindirme boyu problemlerinde, dolgu ve taşıyıcı yığma duvarlar ile düğüm noktalarının kapasitelerini arttırıp sistemin iyileştirilmesinde de kullanım alanları artmaktadır. Özellikle köprüler, su altı yapıları, beton su boruları ve korozyon dolayısıyla yapısal zayıflamanın görüldüğü yapılarda hızlı, ekonomik ve uzun ömürlü bir çözüm olarak kullanılmaktadırlar. Günümüzde lifli polimerler yalnız betonarme elemanların onarım ve güçlendirilmesinde değil çelik yerine donatı olarak kullanılması da deneysel olarak araştırılmaktadır. Özellikle girişlerde enine ve boyuna donatı olarak, döşemelerde çekme donatısı olarak kullanımı ile ilgili deneysel çalışmalar yapılmaktadır.

Proje çalışması kapsamında lifli polimer uygulamasının hasar görmüş veya görmemiş betonarme binaların deprem davranışına katkıları Dünya’da sınırlı sayıda yapılmış olan üç boyutlu betonarme yapı deneyleri ile ortaya konmaya çalışılacaktır.

Özellikle, ülkemizde deprem riski olan bölgelerde inşa edilmiş olan yapıların büyük bir kısmının betonarme olması, bu yapıların birçoğunun yürürlükteki deprem yönetmeliğinin şartlarını sağlamaması ve ülkemizdeki güçlendirmeye muhtaç yapı stoğunun büyüklüğü düşünüldüğünde hızlı bir güçlendirme yöntemine duyulan ihtiyaçlar lifli polimerler ile yapıların güçlendirilmesini daha da öne çıkarmaktadır. Bu yöntem ile amaç, yapıda en az kırım döküm yapılması ve yapı içerisinde yaşayanların yapıyı terk etmelerine gerek kalmadan güçlendirme işleminin yapılabilmesidir. Özellikle hastane, yatakhane, okul vs. gibi acil güçlendirilmesi gereken binalar düşünüldüğünde, bu binaların boşaltılmadan, fonksiyonlarını devam ettirerek güçlendirilmesi önemli bir avantajdır. Çalışma ile lifli polimerler ile güçlendirmenin etkinliği ortaya konarak literatürde sınırlı olan bir araştırma konmuş olacaktır.

2. GENEL BİLGİLER

Aşağıda verilen literatür özetinden görüleceği üzere dünyada üç boyutlu deney sayısı oldukça sınırlı düzeydedir. Fib (2001), ACI 440.2R-02 (2002), CAN/CSA-S806 (2002), AFGC (2003), and CNR-DT 200 (2004), rapor ve yönetmeliklerinde lifli polimerlerin (FRP) inşaat mühendisliğinde uygulamaları hakkında kural ve bilgiler verilmiştir. Bu kurallar genel olarak eleman kapasiteleri ile ilgili olup, yapı sistemi ve özellikle düğüm noktası iyileştirmeleri ile ilgili günümüzde yeterli çalışma olmadığından bu tür iyileştirmeleri kapsamamaktadır. FRP ile güçlendirmelerin üç boyutlu bir bina üzerinde deneysel olarak uygulanması yalnızca Balsamo ve ark. (2005) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarla ortaya konmuştur. Diğer deneysel ve analitik çalışmalar genel olarak eleman bazında veya yine sınırlı sayıda düğüm noktası üzerinde olmuştur. Proje kapsamında yapılacak deneysel çalışmaların dünyadaki az sayıdaki çalışmalardan biri olacağı ve literatüre sağlayacağı katkı açıktır.

Aşağıda literatürde geçen üç boyutlu deneysel çalışmalar ile düğüm noktalarının FRP'lerle güçlendirilmesi ile ilgili çalışmaların kısa bir özeti verilmiştir.

Mayasa H. Ve ark. (1982), Japon-Amerikan ortak çalışmaları kapsamında 7 katlı, tam ölçekli, üç boyutlu, perde duvarlı betonarme binada pseudo-dinamik ve yarı statik deneyler gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sonucunda yapıya belli bir seviyeye kadar hasar verilmiş daha sonra hasar gören yapı epoksi enjeksiyonu yöntemi ile onarılmış ve onarılan yapı yeniden deneye tabi tutulmuştur. Ayrıca deneye tabi tutulan binaya yapısal olmayan parapet duvar, bölme duvar ve pencereler eklenerek yapısal olmayan elemanlarda deprem nedeniyle oluşabilecek hasarlar incelenmiştir.

Nakata ve ark. (1982), Japon-Amerikan ortak çalışmaları kapsamında deneye tabi tutulan 7 katlı tam ölçekli betonarme yapının orta ve kenar düğüm noktalarından seçilen üç boyutlu tam ölçekli örnekler üzerinde deneysel çalışmalar yapmışlardır. Kolon, kiriş ve döşemeden oluşan düğüm noktası elemanları deneylerin ardından epoksi ile güçlendirilmiş ve sonra deneyler tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar bina deneyi ile karşılaştırılmıştır.

Ann W. Ve ark. (1991), tarafından gerçekleştirilen çalışmada kiriş beton basınç mukavemetinin FRP ile yapılan güçlendirmeye etkisi araştırılmıştır. Beton basınç mukavemetleri 20.6 Mpa ve 41.4 Mpa olan iki tip kiriş çalışmada ele alınmıştır. Sonuçta

kompozit levhanın ilavesi ile birlikte beton basınç mukavemetinin artışının, kiriş nihai moment ve nihai yük taşıma kapasitelerini de yükselttiği görülmüştür.

Triantafillou T.C. ve Plevris N. (1992), tarafından FRP oranının güçlendirmeye etkisi araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan kiriş numuneleri, orta açıklığın her iki yanının 305 mm mesafesinde simetrik olarak uygulanan tekil yükü yüklenmiştir ve 1220 mm temiz açıklığa sahiptir. FRP oranındaki artış kirişlerin rijitlik ve nihai yük kapasitesini yükseltmiştir. Bununla birlikte, orandaki artışla birlikte kırılma mekanizması FRP kopmasından yapışma bölgesinden sıyrılmaya dönüşmüştür.

Cheung ve ark. (1993), bu çalışmada Yeni Zelanda yönetmeliğine göre tasarlanmış döşeme içeren ve içermeyen orta ve kenar betonarme düğüm noktaları deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda tüm numunelerin enerji yutma, süneklik ve dayanım kapasiteleri açısından iyi bir performans gösterdikleri belirtilerek elde edilen sonuçların yönetmeliğin geliştirilmesine katkıda bulunduğu belirtilmiştir.

Sharif A. Ve ark. (1994), yaptıkları çalışmada kiriş güçlendirmede lifli polimer yerleştirmede çeşitli ankraj tiplerini kullanmış ve aralarındaki farklılıkları ortaya koymuştur. Çelik ankraj bulonlarının levha sıyrılmalarını ortadan kaldırdığını ancak göçmenin diyagonal çekme çatlaklarından dolayı olduğunu ortaya çıkarmışlardır. I şeklinde GFRP kullanılarak yapılan mantolama şeklinin çalışmada en iyi ankraj sistemi olduğu anlaşılmıştır. Öyle ki levha sıyrılmaları ile diyagonal çekme çatlak göçmesini ortadan kaldırırken eğilme mukavemetini de arttırdığı görülmüştür. Ayrıca yine çalışma kapsamında üç kiriş farklı kalınlıklarda levhalarla güçlendirilerek levha kalınlığının etkileri araştırılmıştır. Levha kalınlığı arttığı zaman, akmadaki yükler de artarken, süneklik indeksi düşmüştür. Ayrıca, kırılma mekanizması da değişmiştir. En ince levhayla güçlendirilen kiriş için kırılma modu levha kırılması şeklindeyken, diğer kirişler boyuna çekme donatısı boyunca betondaki yerel kesme çatlaklarıyla birlikte oluşan levha ayrılması şeklinde göçmüştür.

Norris T. Ve ark. (1997), tarafından betonarme kirişlerin Karbon FRP ile güçlendirilmesi ile ilgili analitik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. CFRP liflerinin çatlaklara dik olarak yerleştirilmesi durumunda mukavemette ve rijitlikte çok büyük artış sağlanmış ve CFRP uçlarındaki gerilme yığılmalarından dolayı beton ezilmiş ve gevrek kırılma olmuştur. CFRP liflerinin çatlaklara dik olmaması durumunda mukavemette ve rijitlikte daha az artış olmuş

ama daha sünek bir davranış gözlenmiştir. Çalışma kapsamında CFRP plakaların kirişlerin mukavemetini ve rijitliğini önemli ölçüde arttırdığı ispatlanmıştır.

Ehsani M., ve ark. (1997), yaptıkları çalışmada 1994 Northridge Kaliforniya depreminde zarar gören Prekast-beton perde duvarların FRP ile onarımını araştırmışlardır. Çalışma kapsamında yaklaşık 2000 m² perde duvar bu metot ile onarılmıştır. Çalışmada malzemenin hafif olması nedeniyle temellere önemli bir yük gelmediğinden temellerin güçlendirilmesi gerekmediği belirtilmiştir. Bu metodun, bir binanın onarımı için bu kadar kısa zamanda yapılabilecek en ekonomik metot olduğu ispatlanmıştır.

Saadetmenesh H. Ve ark. (1997) çalışma kapsamında depremden hasar görmüş dört adet betonarme kolon CFRP ile güçlendirilmiş ve tersinir-tekrarlanır yük ile yüklenmiştir. Çalışma sonucunda FRPnin hasar görmüş kolonların eğilme mukavemetini ve sünekliğini önemli ölçüde arttırdığı, kolonların yatay yük-deplasman grafiği zarflarında önemli iyileşmeler olduğu gözlenmiştir. Bindime boyları yetersiz olan kolon numunelerinde yapılan güçlendirme sonucunda iyi bir performans elde edilmiştir. Boyuna donatısı eksiz, güçlendirilmiş kolonlarda, deney aletinin kapasitesinin sonuna kadar yatay yük taşıma kapasitesinde azalma olmadığı belirtilmiştir.

Norris T. Ve ark. (1997), yaptıkları araştırmada kompozit kirişlerin davranışı üzerindeki lif yönlendirmesinin etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, kiriş eksenine göre 0°, 90° ve ± 45° olarak üç ayrı tipte lif yönlendirmesi kullanılmıştır. Kiriş 1A'da lifler hem çekme başlığına hem de gövdeye boylamasına yönlendirilmiş ve bu kirişin nihai mukavemetinin yaklaşık 138 kN ve kırılma tipinin CFRP laminatının betondan sıyrılması şeklinde olduğu gözlenmiştir. Kiriş 1B (0°/90°) karşılıklı kat uygulaması olarak birleştirilmiş ve bu kirişin en son dayanımının Kiriş 1A'dan daha az olduğu ancak kırılmanın ise daha az şiddetli olduğu görülmüştür. Kiriş 1C kirişin eksenine ± 45°'li lifler uygulanmış ve bu kirişin de en son dayanımının Kiriş 1B'nin dayanımından da az olduğu ancak kirişin tüm davranışının diğer iki kirişten daha sünek olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Böylece, bu çalışma göstermiştir ki, CFRP lifleri kirişte çatlaklara dik olarak yerleştirildiklerinde, rijitlik ve dayanımları büyük ölçüde artarken kırılma modları gevrek olmakta, çatlaklara eğik olarak yerleştirildiklerinde ise rijitlik ve dayanımları daha az artarken kırılma modları daha sünek olmaktadır.

Spadea G. Ve ark. (1998), harici ankrajlarla betonarme kirişe harici olarak yapıştırılan CFRP kompozitlerinin davranışını incelemiş ve çalışmada çalışmasında çelik ankrajlar kullanmışlardır. Açıklık boyunca ilave ankrajların levha ile kirişin beton yüzü arasındaki kaymayı azalttığını görmüştür. Ankrajlı kirişlerin ankrajsız kirişlere kıyasla yaklaşık %70 ilave yük taşıdığını belirlemiştir. Bu ankrajlardan dolayı, ankrajsız kirişe göre beton basınç şekil değiştirmeleri ve CFRP levha şekil değiştirmelerinde artış görülmüştür.

David E. (1999), tarafından yapılan çalışmada lifli polimer levha kalınlığı ve levha oranı gibi birçok parametre araştırılmıştır. Çalışmada P2, P3, P4 ve P5 olarak isimlendirilen dört adet kiriş, bu parametrelerin davranış üzerindeki etkisini bulmak amacıyla test edilmiştir. P2 ve P3 kirişleri tek katmanlı iki levha ve diğer iki kiriş de çift katmanlı iki levha ile sarılmıştır. Kalınlığın artışının, kirişlerin rijitliğini ve nihai yük taşıma kapasitesini arttırdığı belirlenmiştir.. Ayrıca, levha oranının artışı rijitlik ve nihai yükte de bir artışa neden olmuştur. Nihai yüklerdeki artışlar güçlendirilmemiş referans kirişe göre P2 ve P3 kirişleri için %51 ve %58 mertebelerinde gerçekleşmiştir. Bu artışların P4 ve P5 kirişlerinde ise yine referans kirişe göre sırasıyla %73 ve %77 seviyelerinde olduğu bulunmuştur.

Ross C.A. ve ark. (1999), FRP levha ile güçlendirilen betonarme kirişlerde bulunan boyuna donatıları oranının güçlendirmeye etkisi araştırılmıştır. Çalışmada 1 ile 6 arasında adlandırılan altı değişik donatı oranı kullanılmıştır. Donatı oranı arttığı zaman, kirişlerin nihai yüklerinin de arttığı fakat FRP'nin katkısının azaldığı tespit edildiği tespit edilmiştir.

Nanni, A. Ve ark. (1999), Orta Amerika'da 1950'lerden önce yapılmış köprülerden biri üzerinde, CFRP malzeme ile yapılan güçlendirmenin sahadaki gerçek davranışını gözlemek için, köprü döşemesi ve ayakları göçene kadar test edilmiştir. Teorik hesaplar, deney numunelerinden elde edilen sonuçlar ve gerçek durumun uyum sağladığı görülmüştür. FRP ile güçlendirmenin etkinliği gösterilmiştir.

Ehsani M. R. (1999), yaptıkları çalışmada ½ ölçekli yığma duvarı düşey yönde uygulanan FRP ile güçlendirmişlerdir. Dolgu duvarların kayma davranışını incelemiş ve sonuçlarını açıklamıştır. Güçlendirmede FRP liflerin yönünün elemanın rijitliği üzerinde etkili olduğunu ama taşıma gücünü etkilemediğini belirtmişlerdir. Sonuçlar bu yöntemle güçlendirilen örneklerin mukavemetlerinin ve sünekliklerinin arttığını göstermiştir.

Spadea G. Ve ark. (2000), yapmış oldukları çalışmada lifli polimerler ile güçlendirmede harici ankrajları değişkenlerden biri olarak test etmişlerdir. Çeşitli harici ankraj sistemleri ile güçlendirilmiş kirişlerin harici ankrajsız kirişlerden daha fazla yük taşıdığı ve göçme modlarının daha fazla sünek davrandığı görülmüştür.

Prota A. Ve ark. (2000), çalışma kapsamında ACI 318-63'e göre dizayn edilmiş kolon-kiriş birleşim bölgeleri üzerinde karbon FRP ile güçlendirme yapılmış ve toplam 12 adet deney gerçekleştirilmiştir. Numuneler sadece düşey yüke göre tasarlanmış olup makalede ilk iki adet deney sonuçları verilmektedir. FRP ile güçlendirilen kolon ve kirişlere ayrı ayrı yük verilmiş ve numuneler tersinir-tekrarlanır yük ile yüklenmişlerdir. Güçlendirme sonunda kolon ve düğüm noktası dayanım, kesme ve dönme kapasitelerinin arttığı tespit edilmiştir.

Bugeja ve ark. (2000), kompozit (çelik kolon, kiriş betonarme döşeme) düğüm noktaları çalışma kapsamında ele alınarak geniş bir literatür verilmiştir. Deneysel çalışmada 6 adet numune tersinir-tekrarlanır yüke maruz bırakılmış ve betonarme döşemenin çelik taşıyıcılara katkısı araştırılmıştır. Deneyler sonucunda kompozit kesitlerin sünek bir davranış gösterdiği ortaya konmuş ve alternatif bir düğüm noktası birleşimi ortaya konmuştur.

A, Parvin, ve P, Granata, (2000), çalışma kapsamında $\frac{1}{4}$ ölçekli dış düğüm noktası modelleri üzerinde FRP ile güçlendirme analitik çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Değişkenler olarak FRP çeşidi (cam, karbon ve kevlar), kalınlığı ve sarım şekli (üç farklı sarım) kullanılmıştır. Sonlu eleman analizi Ansys Paket Programı ile gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda yalnız boyuna yerleştirilen FRP'li numunelerde göçmenin FRP'nin sıyrılması sonucunda meydana gelen mekanizma ile oluştuğu, ikinci kat enine FRP ile sarılan modelde ise FRP'nin düğüm noktası ile birlikte çalıştığı gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda FRP kalınlığının artmasının beton ve çelikte oluşan maksimum gerilmeleri daha fazla düşürdüğü, düğüm noktası dönme kapasitesini etkilediği ve özellikle keskin köşelerde oluşan gerilme yığılmalarını azalttığı ortaya konulmuştur. FRP cinsinin mukavemet özelliklerinden dolayı çift sarımlı numunelerde düğüm noktası dayanımına etki ettiği, moment kapasitesindeki artışın ise FRP'nin elastisite modülünden bağımsız olduğu iddia edilmiştir.

Myers, J.J. ve ark. (2001), çevre koşullarının betonarme elemana yapıştırılan CFRP malzemenin üzerine etkileri ile ilgili çalışma kapsamında 48 adet kiriş deneyi yapmışlardır. Kirişler çeşitli FRP malzemelerle güçlendirildikten sonra, yük altında donma-çözülme,

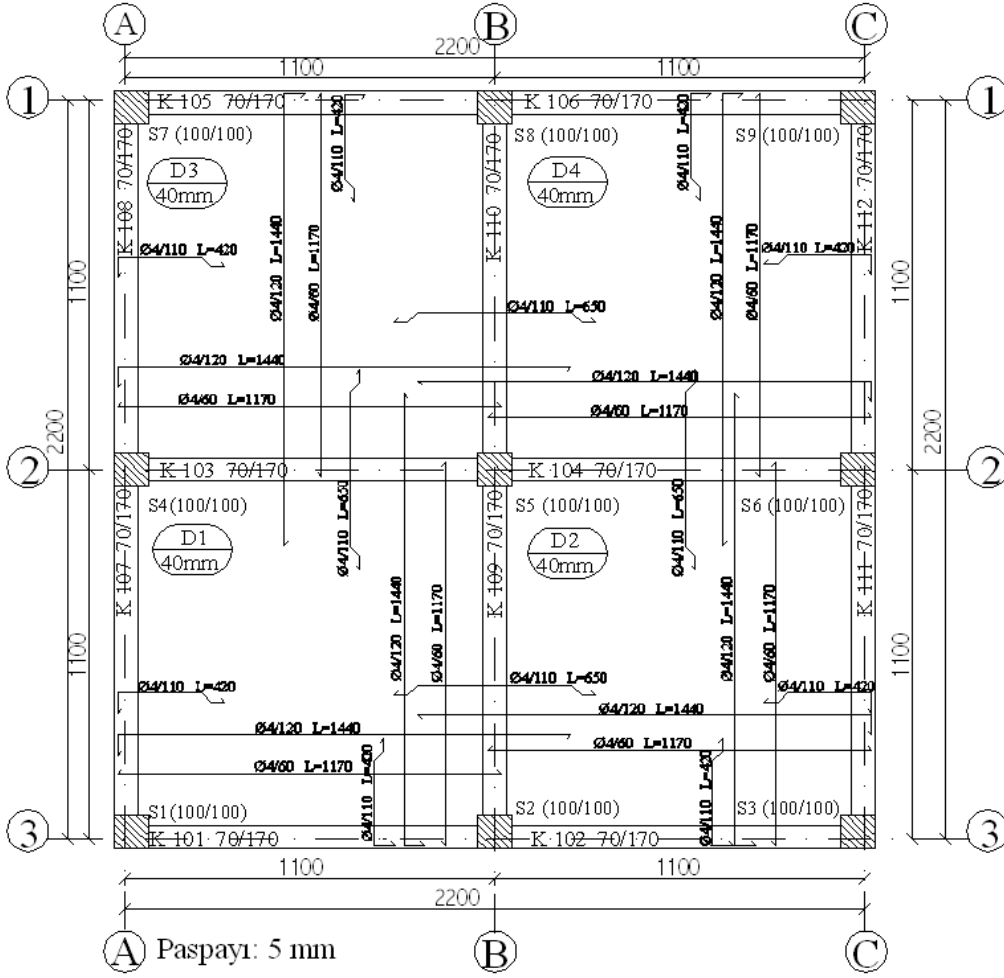
yüksek nem, yüksek sıcaklık ve güneşin ultraviyole ışınlarına maruz bırakılmıştır. Daha sonra orta bölgeden iki eşit noktasal yükle, eğilme testine tabi tutulmuş, elemandaki çatlaklar ve FRP malzemedeki gerilme ve şekil değiştirmeler incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre incelenen çevre koşulları FRP malzeme ile betonarme eleman arasındaki bağ üzerinde olumsuz etkiler oluşturmuştur. Elemanların eğilme rijitliklerinde azalma olmuştur.

Daha yüksek sabit yükler altındaki numunelerdeki bağlarda daha fazla etkilenme olmuştur. Uygulamaların yürürlükteki şartnamelere uygun yapıldığı takdirde FRP malzemedeki ani sıyrılma ve bağ kaybı olmayacağı belirtilmiştir.

Yang. X. Ve ark. (2001), FRP malzemelerle güçlendirmede betonarme elemanda köşe yuvarlatılmasının etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonuçlarına göre betonarme elemanın köşe yuvarlatması FRP malzeme ile güçlendirmede önemli bir etkiye sahiptir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

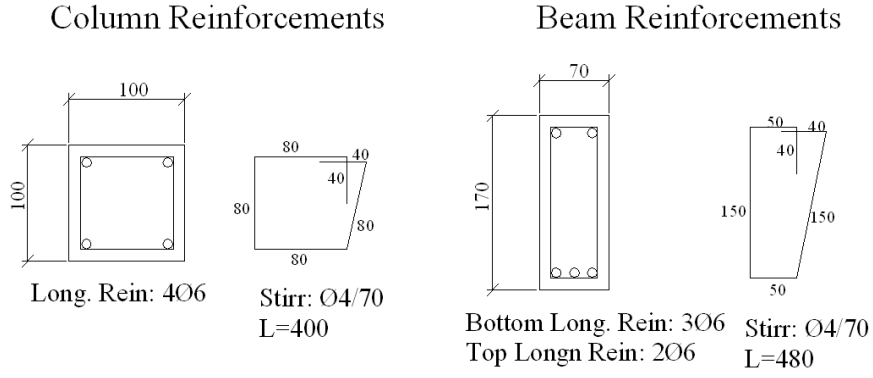
Deney numunesi her iki yönde simetrik olacak şekilde tasarlanmıştır. 1/3 ölçekli olan referans deney numunesi toplam 3 katlıdır. Betonarme numune kolon boyutları 100/100 mm, giriş boyutları ise 70/170 mm'dir. Rijit diyafram vazifesi yapacak olan döşemenin kalınlığı ise 40 mm'dir.



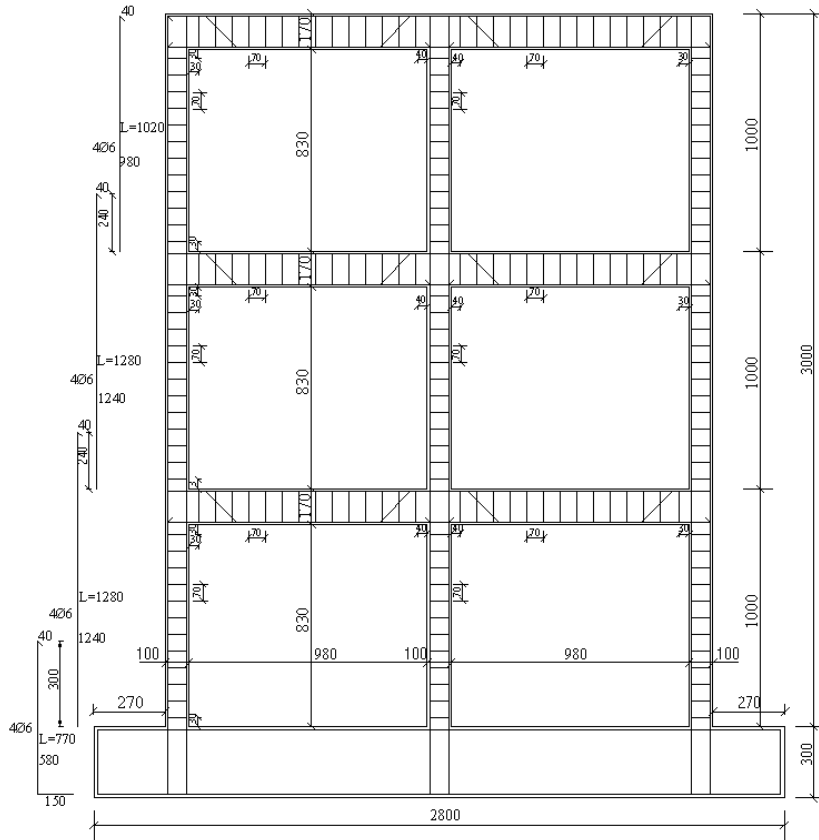
Şekil 1. Numune kalıp planı

Yapı taşıyıcı eleman boyut ve donatıları, yönetmeliklerdeki minimum koşullar dikkate alınarak seçilmiştir. Depremde gevrek kırılma davranışı gösteren güçlü kiriş-zayıf kolon ilkesine göre tasarlanmıştır.

Kolonlarda 4 adet 6 mm. Çapında donatı ($\phi 6$), kiriş alt bölgelerinde $3\phi 6$ ve üst bölgelerinde $2\phi 6$ boyuna donatı kullanılmıştır. Etriyeler 4 mm. Çaplı ($\phi 4$) olarak kolon ve kirişler için 70 mm. Aralıklarla yerleştirilmiştir. Betonarme yapı boy kesiti Şekil 3 de verilmiştir.



Şekil 2. Kolon ve kiriş donatı açılımları

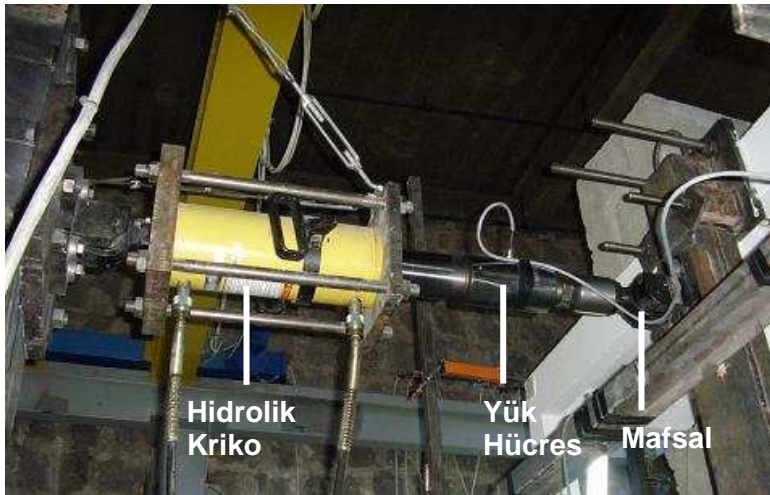


Şekil 3. Numune boyuna kesiti

Döşemeler yatay yükleri kirişlere güvenli bir şekilde aktaracak ve rijit diyafram oluşturacak şekilde tasarlanmıştır. Betonarme yapıda beton dökümü sırasında silindir beton numuneleri alınmıştır. Basınç deneylerinden numune silindir beton mukavemetinin 15 Mpa olduğu tespit edilmiştir. Donatılar üzerinde yapılan deneyler sonucunda ise, $\phi 4$ donatısı için akma mukavemeti 580 Mpa, çekme mukavemeti ise 610 Mpa olarak bulunmuştur. Üst çap olan $\phi 6$ donatısı için akma mukavemeti 620 Mpa, çekme mukavemeti ise 700 Mpa olarak elde

edilmiştir. Betonarme yapıda düşey yük numune katlarına yerleştirilen beton bloklar ile verilmiştir. Burada 1. kat orta, kenar ve köşe kolonlar için N/No oranı sırasıyla 0.2, 0.1 ve 0.05 olmuştur.

Deneyler Erciyes Üniversitesi Deprem Araştırma Laboratuvarında bulunan güçlü döşeme üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yatay yük çelikten imal edilmiş olan rijit duvarın üzerine monte edilmiş 300 kN kapasiteli hidrolik kriko ile verilmiştir. Yatay yük kriko ucuna monte edilen loadcell ile ölçülmüştür. Deney esnasında numunenin davranışını anlayabilmek amacıyla 15 noktada LVDT vasıtasıyla deplasman ölçümleri alınmıştır. LVDT'ler genel olarak kat seviyelerinde ve moment-eğrilik ölçümü için kolon-temel birleşim noktalarına yakın olabildiğince yerleştirilmiştir. LVDT'lerden okunan değerlerin mafsallaşma ve ezilmeden etkilenmemesi için, temel üstünden 100 mm yukarıda kolonun iki yanına yerleştirilmiştir. Bu LVDT'ler, alttan temel üzerindeki yatay ve düzgün bir yüzeye basmaktadırlar. Üstten ise kolonlara tespit bulonu ile bağlanmışlardır. Çalışmada kullanılan LVDT'ler 100 ve 400 mm ölçme kapasite sahiptirler. Deneylerde, bilgisayar destekli veri okuma sistemi kullanılarak, gerekli yük ve yer değiştirme okumaları yapılmış ve anında kayıt altına alınmıştır. Deneylere yük kontrollü olarak başlanıp, sistemin nominal akma yükü değerinden sonra deneye deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir. Yükleme, hidrolik pompa aracılığı ile mümkün olduğu kadar düzenli ve deney sırasında oluşan çatlak gelişimini gözleyecek bir hızda yapılmıştır.



Şekil 4. Yükleme düzeneği verilim

Yatay yük 3. ve 2. kata 2'ye 1 yük dağılımı oluşturacak şekilde üçgen olarak eşdeğer deprem yükünü benzeştirerek verilmiştir. Deney numunesinin yükleme yönüne dik yönde deplasman yapmasını engelleyerek, burulmanın önlenmesi amacıyla numune kenarlarına rijit çelik platform imal edilmiştir. Rijit çelik platform üzerlerine tekerlek yerleştirilerek, numunenin platform ile sürtünmesi minimuma indirilmeye çalışılmıştır. Temel sistemi, ankastre mesnet şartlarını sağlayacak şekilde güçlü döşemeye monte edilmiştir. Betonarme yapı numunesi deneye tabi tutulduktan sonra CFRP ile güçlendirilerek yeniden test edilmiştir. Referans ve güçlendirilmiş numunenin deneye hazır hali Şekil 5 de verilmiştir.



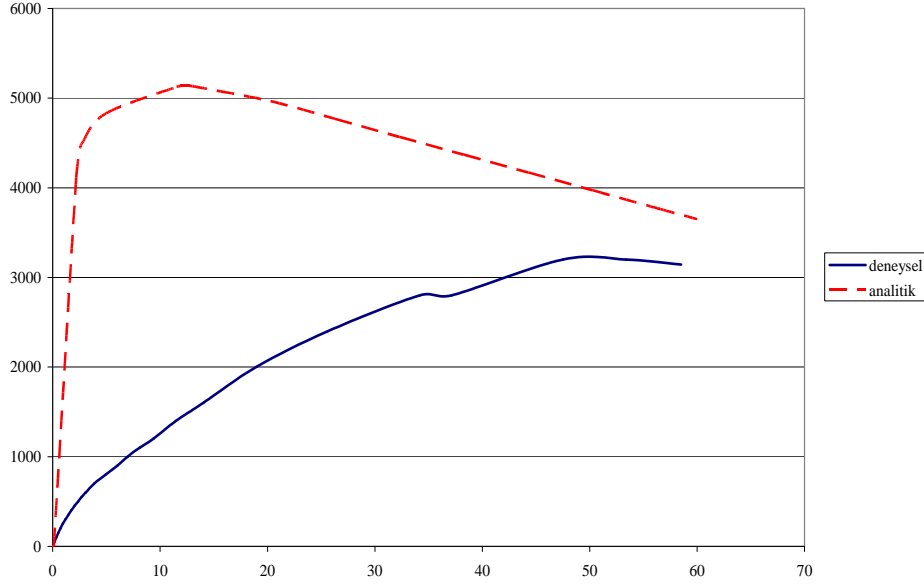
Şekil 5. Referans ve Güçlendirilmiş Deney Numunesi

3.1 DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1.1 Referans Numune

Deneylerde uygulanan yükleme programı, sistemin nominal akma yüküne kadar yük kontrollü olarak, akma sınırından sonra ise deplasman kontrollü olarak planlanmıştır. Numunenin akma yükü ve maksimum yatay yük taşıma kapasitesine bağlı olarak elde edilen yükleme programı,

yapının yük-deplasman eğrilerinin tahmini ile oluşturulmuştur. Yapının yük-deplasman eğrileri, SAP2000 programının statik nonlineer analiz (pushover analiz = statik itme analizi) alt programıyla elde edilmiştir. Analizde malzeme deneyleri sonunda elde edilen gerçek malzeme değerleri kullanılmıştır.



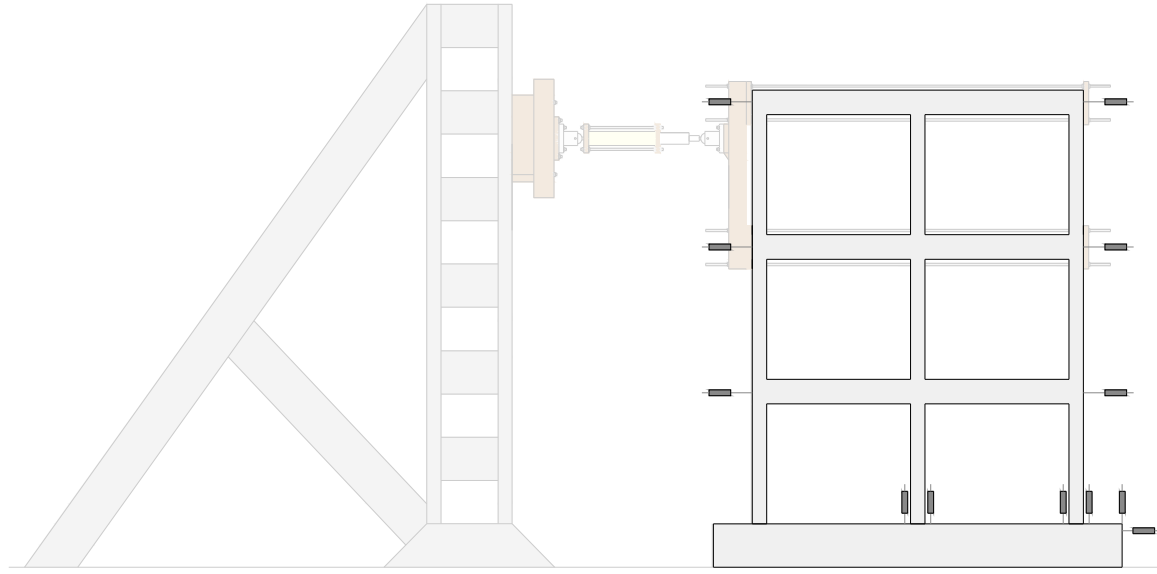
Şekil 6. Sap2000 çözümü

Deneysel verilerle yapılan ve yukarıda deney için verilmiş olan yatay yük-tepe deplasmanı grafiği incelendiği zaman, deneysel sonuçlarla analitik sonuçlar arasında bir miktar fark görülmektedir. Bu farklılıkların temel nedeni olarak, analitik çözüm için kullanılan SAP2000 programının ve program kullanıcısının yapmış olduğu bazı kabullerin olduğu düşünülmektedir. Değişik çaplarda kullanılan donatıların akma ve pekleşme değerleri birbirinden farklıdır. Halbuki, SAP2000’de program girdileri içinde yer alan ve malzeme özelliklerinin girildiği bölümde, program gereği, donatılar için ortak akma ve pekleşme değerleri girilmiştir. Bunun yanında, program, özellikle belirli bir yatay deplasman değerinden sonra iterasyon yapamamakta ve yapımız göçmektedir.

Numunenin akma yükü ve maksimum yatay yük taşıma kapasitesine SAP2000 ile belirlendikten sonra bu yük değerine göre yapı onarılıp güçlendirileceği için belirli oranda hasar verilmiştir. Bu nedenle yapı hasar sınırı olarak, 0.02 tepe deplasmanı oranına kadar itilip çekilmiştir. Bu oran, yapı performans seviyesi için yönetmeliklerde verilen sınır değerler dikkate alındığı için seçilmiştir. Deneysel çalışmada, konutlar için verilmiş olan, Can Güvenliği Performans Seviyesi (LS: Life Safety) performans seviyesi dikkate alınmıştır. Bu

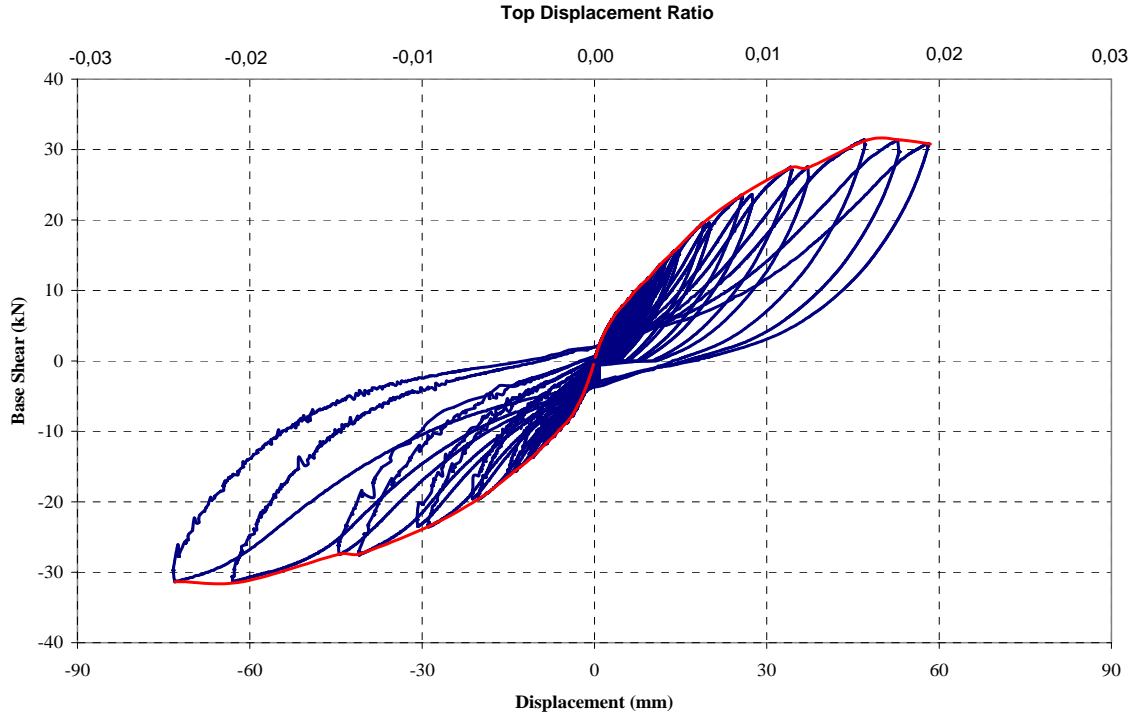
sınır özellikleri, yapıda, deprem sonrasında belirli ölçülerde hasar oluşabilir. Yapı, deprem öncesi dayanımının ve rijitliğinin bir kısmını kaybetmiştir. Ancak, toptan göçme ve ağır hasarlar olmaz. Hasarlardan dolayı ölüm riski çok düşüktür (FEMA 356 (2000), Türk Deprem Yönetmeliği (2007)).

Betonarme numuneden deplasman datalarının alındığı noktalar şematik olarak Şekil 6 da verilmiştir.



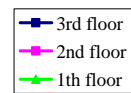
Şekil 6. Deney düzeneği ve deplasman alınan noktalar

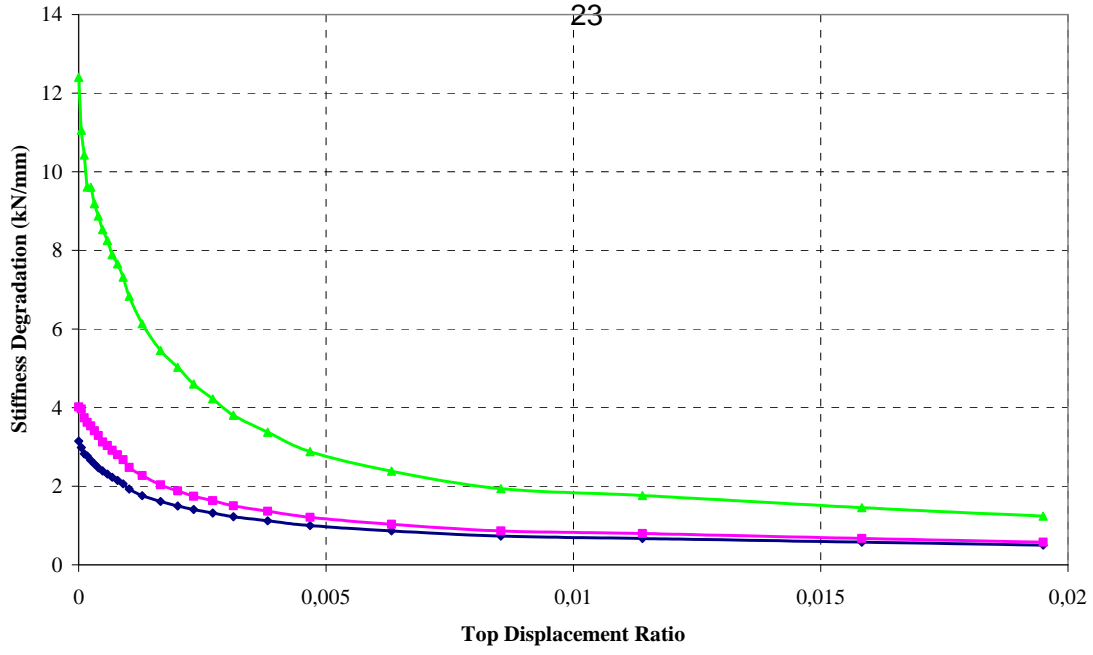
Deney sırasında ilk çatlak +3 kN yük seviyesinde yaklaşık +1,19 mm deplasmanda yükleme yönüne paralel yöndeki 2. kat dış açıklık kirişinde meydana gelmiştir. İtme yönünde maksimum yük 31.36 kN olarak ölçülürken, çekme yönünde -31.00 kN olarak elde edilmiştir. Yapıda kirişler kolonlara göre daha kuvvetli tasarlandığından, döşeme katkısı ile birlikte kiriş kapasiteleri daha da artmıştır. Bu nedenle betonarme kirişlerde fazla çatlak gelişimi oluşmamıştır. Çatlaklar genelde betonarme kolon alt ve üst noktaları ile düğüm noktalarında meydana gelmiştir. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye kullanımının özellikle düşük tutulmasından dolayı, bu bölgelerde betonda dökülmeler ve kesme kırılmaları gerçekleşmiştir. Hasarlar özellikle 1. kat kolonları ile düğüm noktalarında yoğunlaşmıştır. Deney numunesine ait taban kesme kuvveti-üst kat deplasman değişim grafiği Şekil 7 de verilmiştir.



Şekil 7. Taban Kesme Kuvveti-Üst kat Deplasmanı Grafiği

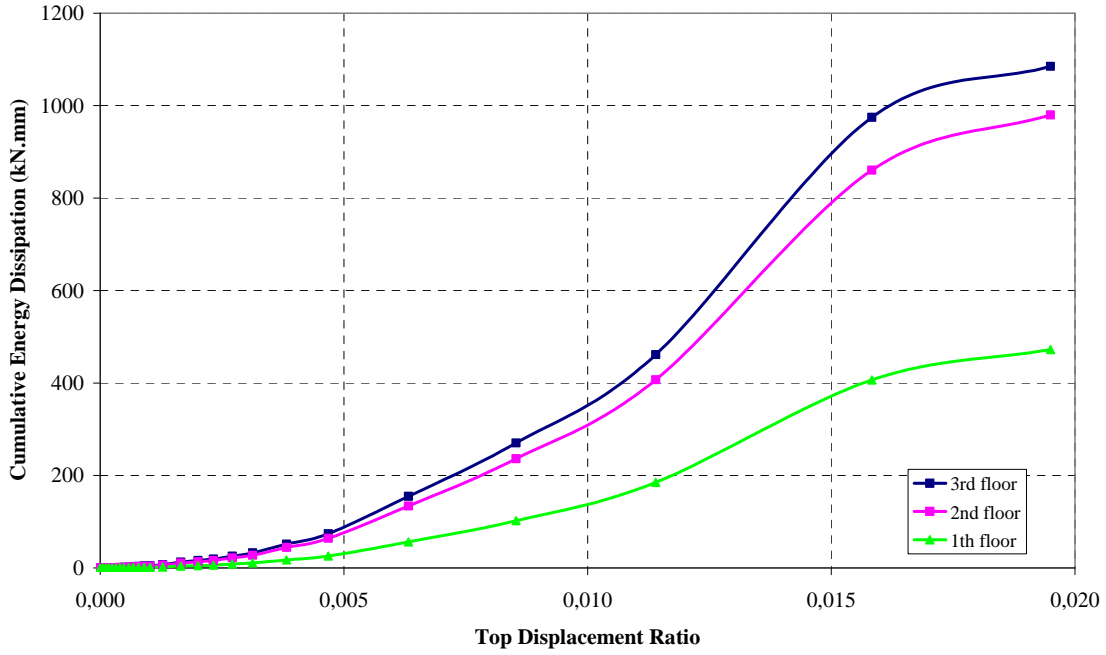
Taban kesme kuvveti ve üst kat deplasmanları eğrisinde yapılan incelemelerde, gerek itme gerekse çekme yönünde rijitlik değerinde bir azalma olduğu görülmektedir. Grafik başlangıçta lineer bir değişim gösterirken, artan yük değerlerinde lineer davranıştan uzaklaşmıştır. Rijitlik değerlerinin artan yük ile değişimleri Şekil 8 de verilmiştir.





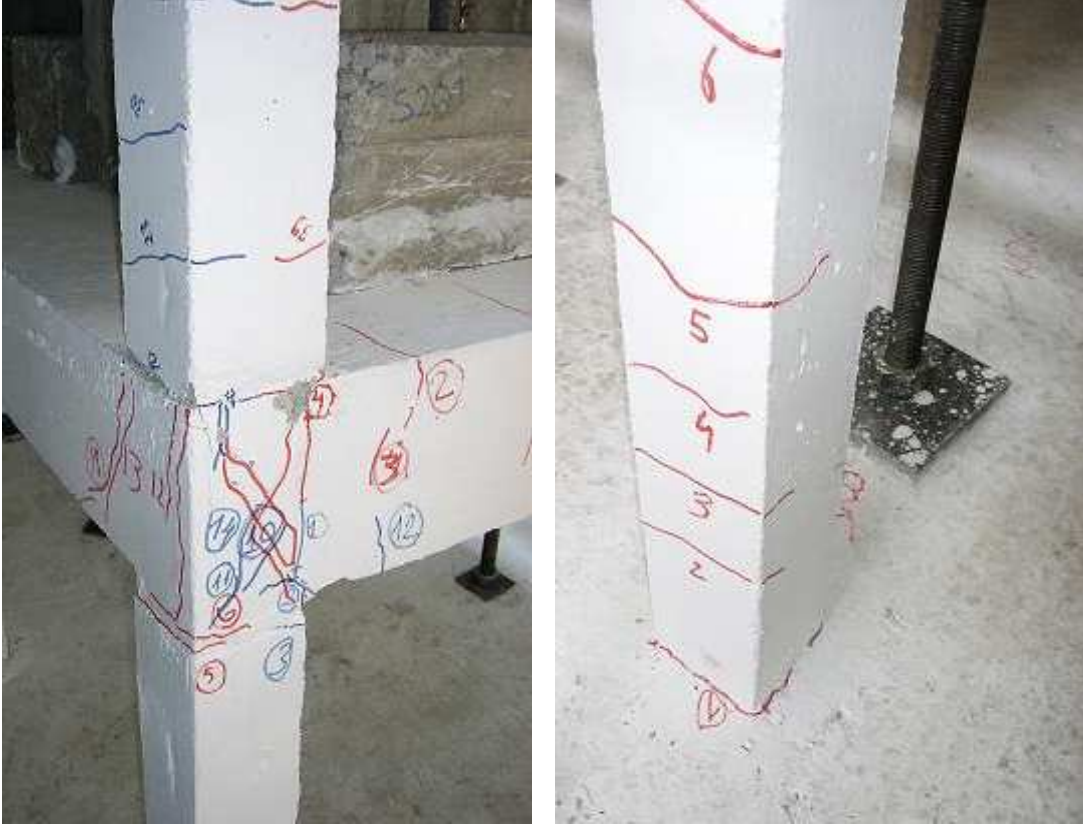
Şekil 7. Rijitlik Azalım Grafiği

Deney sonrası elde edilen ve her bir döngü altındaki alan değeri hesaplanarak bulunan enerji yutma kapasitesinin katların deplasman oranlarına bağlı olarak değişimleri Şekil 9 de verilmiştir.



Şekil 9. Enerji Yutma Grafiği

Can güvenliği performans seviyesi üst sınırı için 0.02 tepe deplasmanı oranına ait hasar durumu Şekil 10 da verilmiştir. Özellikle düğüm noktalarında hasarın yoğunlaştığı kolonlarda ise hasar olmadığı tespit edilmiştir. Beklenildiği gibi gerçekleşen bu hasar şekli ile yatay yüklemeye son verilerek betonarme yapı düğüm noktaları güçlendirilmiştir.



Şekil 10. Tipik dış düğüm noktası ve kolon hasarı görünümü

3.1.2. Güçlendirilmiş Numune

Mevcut halinde 0.02 tepe deplasmanı oranına kadar test edilen referans numune düğüm noktası çatlakları, öncelikle sıva kısmı sıyrılmış ve çatlaklar ortaya çıkarılmıştır. Çatlaklara epoksi enjeksiyonu 10 bar basınçlı cihaz ile verilerek düğüm noktaları onarılmıştır. Daha sonra özel yapıştırıcı yüzeye ve CFRP'ye uygulanarak düğüm noktaları sarılmış ve numune güçlendirilmiştir.

Güçlendirme tasarımında güçlü kiriş-zayıf kolon analogisine sahip numune davranışının güçlü kolon-zayıf kirişe dönüştürülmesi istendiğinden kolonlar CFRP ile sarılmış, kirişler ise sarım boyu sınırlı bırakılmıştır. Gevrek bir kırılma olan kesme kırılmasının önlenerek sünek davranışının ortaya konulmasına çalışılmıştır. Bu amaçla düğüm noktasını içerisine alacak şekilde, kolon alt ve üst uçları 150 mm uzunluğunda sarılmıştır. Kirişler ise kolon kenarından itibaren 50 mm uzunluğundaki mesafeye kadar uygulama yapılmıştır. Tüm düşey CFRP'ler

tek kat, yatay CFRP'ler ise iki kat olarak malzeme kullanılmıştır. Tipik köşe kolon düğüm noktası CFRP sarımını şematik olarak Şekil 11 de görülmektedir.

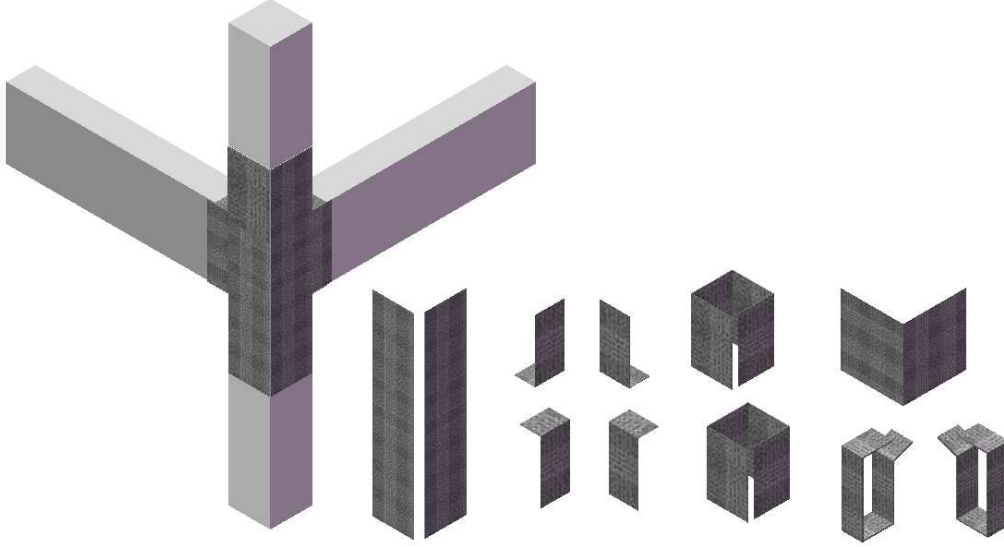


Figure 11. Köşe kolon düğüm noktası CFRP uygulaması

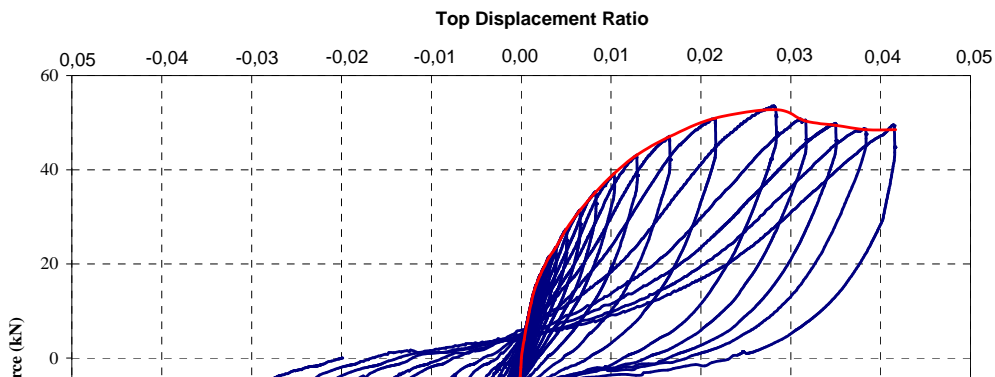
Güçlendirme malzemesi olarak MBRACE C1-23 Carbon fiber kullanılmıştır. Üretici tarafından verilen teknik özelliklere göre fiberin çekme dayanımı 3800 Mpa, elastisite modülü ise 24×10^4 Mpa'dır.

Deneyin ikinci aşamasında yatay yükleme, güçlendirilmemiş numunenin ilk halinde olduğu gibi, yatay yük akma değerine kadar yük kontrollü, bu değerden sonra ise deplasman kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Yapı 0.04 tepe deplasmanı oranına kadar itilip çekilmiştir. Bu oran ile yapısal stabilite performans seviyesi (CP: Collapse Prevention) değerine ulaşılmıştır. Bu değer, yapıda deprem sonrası ağır hasarlar oluşmasını temsil eder. Taşıyıcı elemanlarda önemli hasarlar oluşmuş, yapı rijitliğinde ve dayanımında önemli azalmalar meydana gelmiştir. Hasarlardan dolayı yapıda kalıcı deformasyonlar oluşmuştur. Yapı taşıyıcı sistemi, ancak düşey yükler altında stabilitesini korumaktadır. Yapı, toptan göçme riskinin yanında, can güvenliği riskini de taşımaktadır. Yapının kullanılmaması gerekir (FEMA 356, 2000, Turkish Design Code, 2007).

Deney sırasında ilk çatlak -20 kN yük seviyesinde yaklaşık -8,00 mm deplasmanda 2. kat kenar kolonunda meydana gelmiştir. İtme yönünde ise maksimum yük 52.77 kN olarak ölçülürken, çekme yönünde -50.00 kN olarak ölçülmüştür.

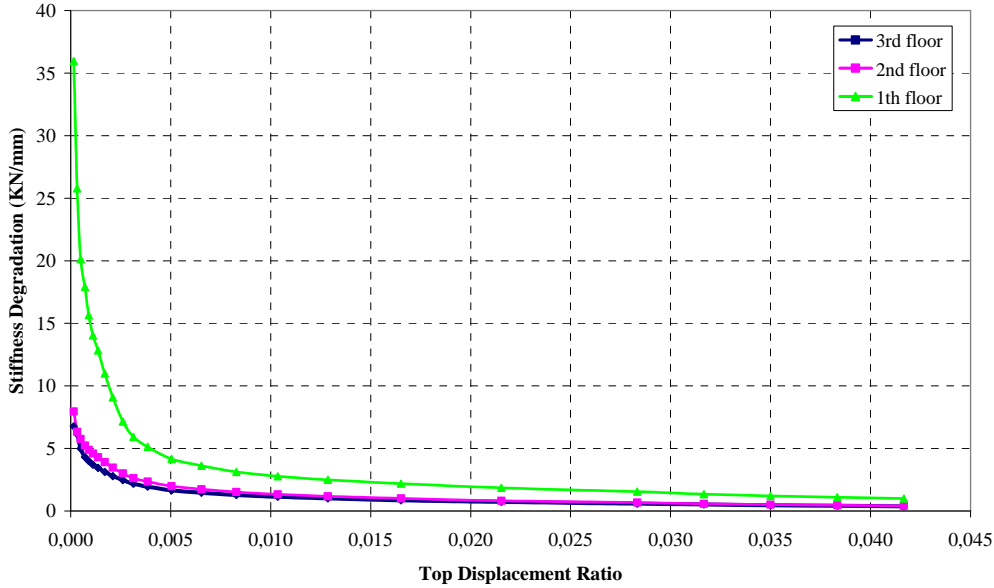
Deney sonunda çatlaklar yine kolonlarda CFRP sarılan bölgelerin hemen alt ve üst kısımlarında yoğunlaşmıştır. Kapasite tasarımından beklendiği üzere orta kolonlarda hasar çok az seviyede oluşmuş, hasarlar genelde yükleme yönüne paralel yöndeki köşe kolonlarda yoğunlaşmıştır. Kirişlerde çatlak ve hasarlar yine sınırlı seviyede kalmıştır.

Betonarme yapı için 0.025 tepe deplasmanı oranı (75.0 mm deplasman) seviyesinde 2. kat dış köşe kolonları kiriş alt seviyesinde CFRP'lerde yırtılmalar oluşmuştur. 0.030 tepe deplasmanı oranı seviyesinden sonra kolon-temel birleşim bölgesindeki CFRP'lerde kabarmalar başlamış ama deney sonuna kadar herhangi bir yırtılma veya kopma gözlemlenmemiştir. CFRP'lerde beton yüzeyinden kalkmalar, kiriş ve döşeme üst yüzeylerindeki CFRP'lerde oluşmuştur. Güçlendirilmiş deney numunesine ait taban kesme kuvveti-üst kat deplasman değişim grafiği Şekil 12 de verilmiştir.



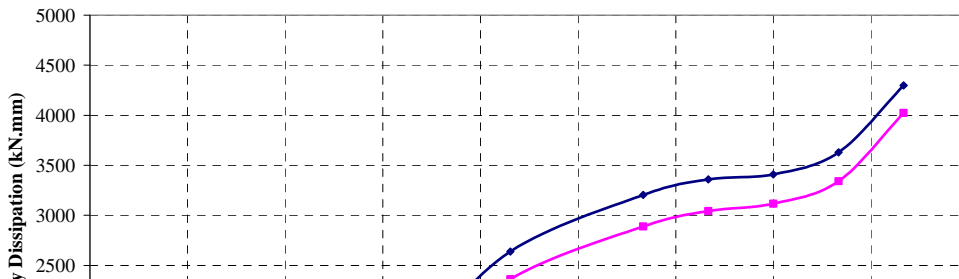
Şekil 12. Taban Kesme Kuvveti-Üst Kat Deplasmanı Grafiği

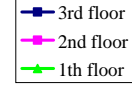
Taban kesme kuvveti ve üst kat deplasmanları eğrisinde yapılan incelemelerde, gerek itme gerekse çekme yönünde rijitlik değerinde bir azalma olduğu görülmektedir. Grafik başlangıçta lineer bir değişim gösterirken artan yük değerlerinde lineer davranıştan uzaklaşmıştır. Rijitlik değerlerinin artan yük ile değişimleri Şekil 13 de verilmiştir.



Şekil 13. Rijitlik Azalım Grafiği

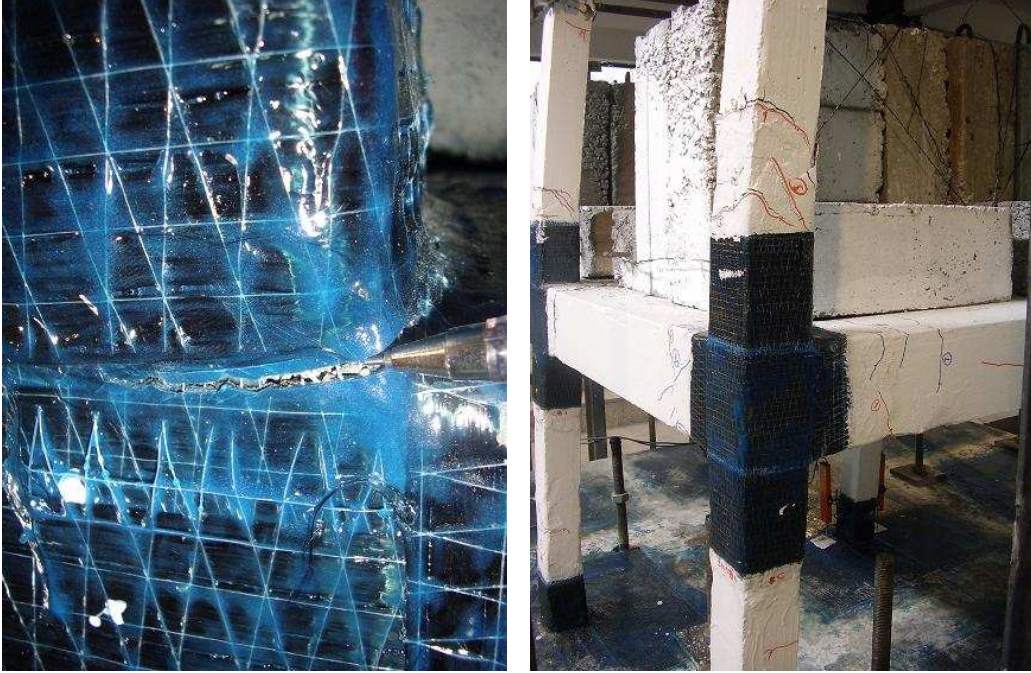
Deney sonrası elde edilen ve her bir döngü altındaki alan değeri hesaplanarak bulunan enerji yutma kapasitesinin katların deplasman oranlarına bağlı olarak değişimleri Şekil 14 de verilmiştir.





Şekil 14. Enerji Yutma Grafiği

Yapısal stabilite performans seviyesi üst sınırı için 0.04 tepe deplasmanı oranına ait hasar durumu Şekil 15 de verilmiştir. Özellikle düğüm noktalarında hasarın yoğunlaştığı ve CFRP'lerde yırtılmaların olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca temele yapıştırılmış olan CFRP'lerde ise kalkmalar meydana gelmiştir.



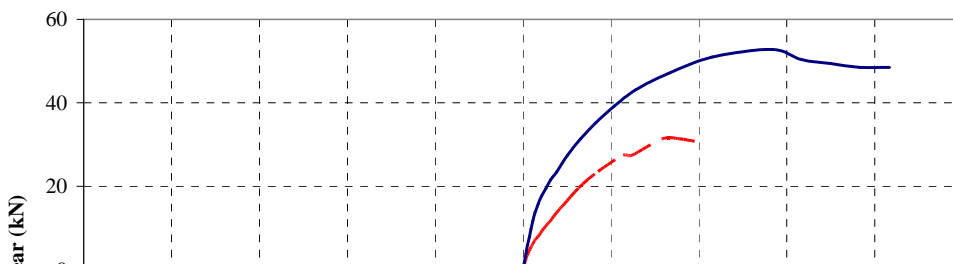
Şekil 15. CFRP'de yırtılma ve deney sonu dış düğüm noktası hasarı

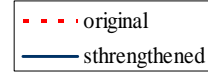
4. BULGULAR

Ülkemiz, dünya üzerindeki önemli deprem kuşaklarından biri üzerinde yer almakta olup, nüfusunun yaklaşık %70'i 1. ve 2. derece deprem bölgesi olup yüksek deprem riski olan alanlarda yaşamaktadır. Geçmişten günümüze kadar birçok büyük depremin yanında orta büyüklükte sayılabilecek depremlerde dahi çok fazla sayıda can ve mal kayıpları ile yapılarda hasarlar oluşmuştur. Üstelik bu zararlar yalnızca kırsal alanlarda tekniğine uygun olarak yapılmamış yapılarda değil, büyük şehirlerde depreme karşı güvenli zannettiğimiz yapılarda da meydana gelmiştir. Bu durum, deprem bölgelerinde inşa edilen yapıların önemli bir bölümünün yeterli deprem güvenliğine sahip olmadıklarını göstermektedir. Aktif bir deprem kuşağı üzerinde bulunan ülkemizde, olası yeni depremlerde de benzeri olumsuzlukların meydana gelmemesi için, çeşitli önlemlerin alınması kaçınılmaz olmaktadır. Bu önlemlerden birisi de, özellikle deprem riski yüksek olan bölgelerdeki kamu binalarından başlayarak, mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve yeterli güvenliğe sahip olmayan yapıların iyileştirilmesidir.

Türkiye’de nüfusun ve ekonomik değerlerin büyük kısmının deprem etkilerine maruz hasarlarla ya da hasar görmeden atlatan binaların, yeni bir depremde hasar görme ihtimallerini bölgelerde bulunması, bu bölgelerde daha önce meydana gelen depremleri ufak artırmaktadır. Ülkemizdeki betonarme yapılar genellikle yeterli yanal dayanım ve rijitliğe sahip olmayan, donatı detayları deprem davranışı açısından yetersiz, beton dayanımları düşük çerçevelerden oluşmaktadır. Bunun yanında bu yapılarda yumuşak kat, kısa kolon, kuvvetli kiriş zayıf kolon gibi sistem yetersizliklerinin de bulunması, deprem güvenlikleri yeterli olmayan büyük bir yapı stokunu gündeme getirmektedir. Bu zayıflıklara sahip yapıların kuvvetli bir depremde sağlıklı bir davranış sergilemesini beklemek mümkün değildir. Bu nedenle, bir öncelik sırası belirlenerek, mevcut yapı stokunun deprem güvenliğinin artırılması gerekmektedir. Özellikle ivedi olarak iyileştirilmesi ve yapı fonksiyonlarının bozulmaması istenilen yapılar için hızlı, pratik, bina kullanımını aksatmayan etkili bir yöntemin geliştirilmesi gerekmektedir.

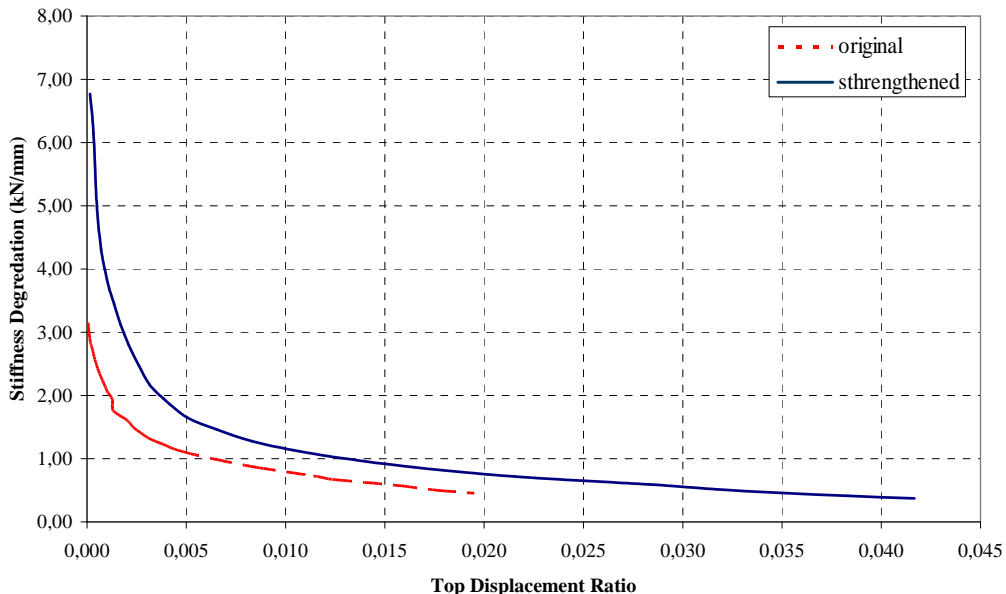
Bu çalışma kapsamında Yapılan deneyler sonucunda onarım ve ardından gerçekleştirilen CFRP ile düğüm noktalarının sarılarak yapılan güçlendirmenin başarılı olduğu tespit edilmiştir. Deney sonucunda yapılan incelemede bu bölgede CFRP’nin beton yüzeyinden ayrıldığı gözlemlenmiştir. Referans ve güçlendirilmiş deney numunelerinin davranışının kıyaslanması için dayanım zarfı grafiği Şekil 16 de verilmiştir.





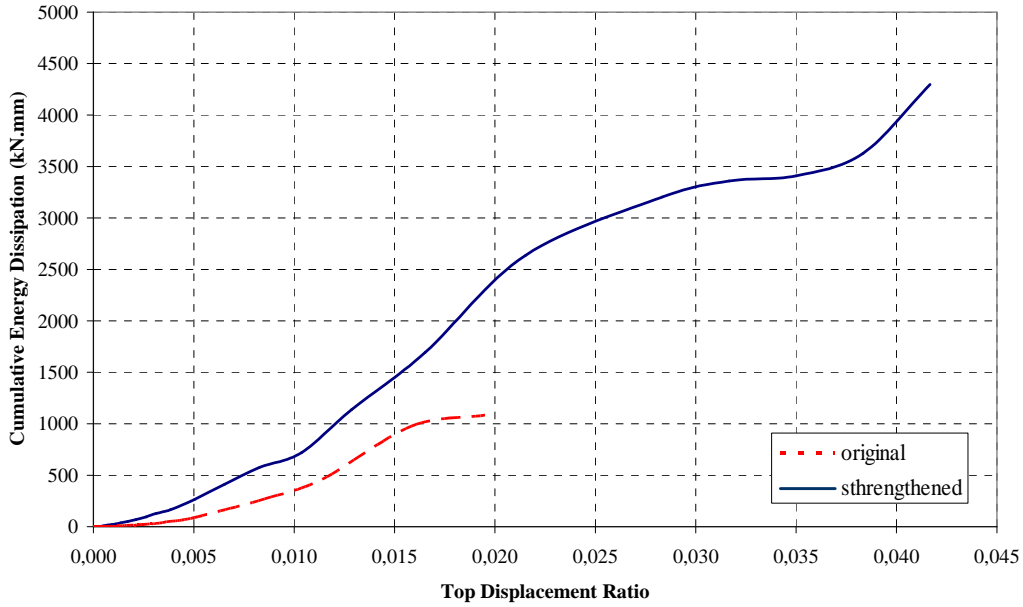
Şekil 16. Orijinal ve güçlendirilmiş numune dayanım zarfı grafikleri

CFRP sarım detaylandırması yapılırken kolon uç bölgeleri düğüm noktaları ile birlikte sarılmış, kiriş uç bölgelerinde ise çok sınırlı bir bölge sarılmıştır. Böylece güçlü kiriş-zayıf kolon davranışından, güçlü kolon-zayıf kiriş davranışına geçmek amaçlanmıştır. Oysa yapılan deneyde hasarların yine kolon uçlarında olduğu, kirişlerde hasarların yine sınırlı kaldığı gözlemlenmiştir. Literatürde kolon-kiriş birleşim ara yüzey bölgelerine ankraj yapılması tavsiye edilmesine rağmen, güçlendirme uygulamasında ankraj sistemi uygulanmamıştır. Mevcut ve güçlendirilmiş durumda deneye tabi tutulan numunelerin dayanım değişim grafikleri Şekil 17 de verilmiştir.



Şekil 17. Orijinal ve güçlendirilmiş numune 3. kat rijitlik azalım grafikleri

Yapı yatay yük taşıma kapasitesi %68 oranında artmıştır. Başlangıç rijitliği yine %215 seviyesinde artmıştır. Güçlendirme sonucunda enerji yutma kapasitesindeki artış 0.02 tepe deplasmanı oranı için %250 olmuştur.



Şekil 18. Orijinal ve güçlendirilmiş numune 3. kat enerji yutma grafikleri

Güçlendirilmiş yapı 0.04 tepe deplasmanı oranına kadar itilip çekilmiştir. Bu oran ile yapısal stabilite performans seviyesi (CP: Collapse Prevention) değerine ulaşılmıştır. Sonuç hasar durumunun genel görünümü ve oluşan elastik eğrinin durumu Şekil 17 de verilmiştir.



Şekil 19. Deney sonu numune görünümü

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapıların beklenen performanstan uzak olması durumunda güçlendirilmesi gerekmektedir. Yapılan araştırmaların sonucu olarak günümüzde çok sayıda güçlendirme tekniği üretilmiş olmasına rağmen, bu yöntemlerin birçoğunun pratik olarak uygulanması zordur. Çalışmadan elde edilen sonuçlar ışığında CFRP ile yapılan güçlendirilmenin, güçlendirilmemiş yapı numunesine, yatay yük, rijitlik ve enerji yutma kapasitesi olarak çok önemli katkıda bulunduğu görülmüştür. Yapılan çalışma ile CFRP'li düğüm noktası güçlendirilmesiyle sistem güçlendirmesinin başarılı olduğu ortaya konulmuştur.

Kirişlerin uç kısımları plastik mafsal boyundan daha az kısımda sarılarak hasarların kirişlerde oluşması istenmiş, ancak hasar yine CFRP'nin alt kısmındaki bölgelerde kolonlarda meydana gelmiştir. En önemli sonuçlardan birisi ise, güçlendirilmemiş yapıda maksimum yük esnasında çok önemli hasarlar meydana gelmiş iken, güçlendirilmiş yapı numunesinde maksimum yük seviyesinde üç boyutlu betonarme sistemde önemli çatlakların oluşmamış olmasıdır. Bu durum, düğüm noktası dışında kalan eleman bölgelerinde herhangi bir güçlendirmeye gerek kalmadan güçlendirme için düğüm noktasına CFRP uygulamasının yeterli olabileceğini ortaya koymaktadır.

Yapılan çalışma ile çok sayıda ve daha büyük ölçekte deneylere ihtiyaç duyulmakla birlikte, CFRP'nin düğüm noktalarında uygulamasının güçlendirme gereken betonarme binalarda önemli bir seçenek olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

6. KAYNAKLAR

Antonopoulos, C. P., and Triantafillou, T. C. (2003). "Experimental investigation of FRP-strengthened RC beam-column joints." *J. Compos. Constr.*, 7(1), 39–49.

Al-Salloum Y.A., Almusallam, T.H. (2007). "Seismic response of interior RC beam-column joints upgraded with FRP sheets 1: experimental study." *Journal of Composites for Construction*, 575-589, Vol. 11, No. 6, December 1.

Balsamo, A., Colombo, A., Manfredi, G., Negro, P., Prota, A. (2005a). "Seismic behavior of a full-scale RC frame repaired using CFRP laminates." *Engineering Structures*, 27, 769-780.

Balsamo, A., Manfredi, G., Mola, E., Negro, P., Prota, A. (2005b). *Seismic Rehabilitation of a Full-Scale RC Structure using GFRP Laminates*, 7th International Symposium on Fiber-Reinforced (FRP) Polymer Reinforcement for Concrete Structures, SP-230-75, Kansas City, Missouri, November 6-10.

Clyde, C., and Pantelides, C. P. (2002). "Seismic evaluation and rehabilitation of R/C exterior building joints." *Proc.*, 7th U.S. National Conf. on Earthquake Engineering (CD-ROM), Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, Calif.

D'Ayala, D., Penford, A., Valentini, S. 2003."Use of FRP fabric for strengthening of reinforced concrete beam-column joints." 10th International conference on Structural Faults and Repair, London, July, <http://staff.bath.ac.uk/absdfda/CAC-DAY.pdf>

El-Amoury, T., Ghobarah, A. 2002. "Seismic rehabilitation of beam-column joint using GFRP sheets." *Engineering Structures*, Volume 24, Issue 11, 1397-1407.

Engindeniz, M., Kahn, L.F., Zureick, A-H. (2007). "Bidirectional loading of pre-1970 RC corner beam-column joints before and after rehabilitation with CFRP composites." Sixth National Conference on Earthquake Engineering, 551-562, 16-20 October, Istanbul, Turkey.

Gergely, I., Pantelides, C. P., and Reaveley, L. D. (2000). "Shear strengthening of R/C T-joints using CFRP composites." *J. Compos. Constr.*, 4(2), 56-64.

Ghobarah, A., and Said, A. (2002). "Shear strengthening of beam-column joints." *Eng. Struct.*, 24(7), 881–888.

Ghobarah, A., and El-Amoury, T. (2005). "Seismic rehabilitation of deficient exterior concrete frame joints." *J. Compos. Constr.*, 9(5), 408–416.

Mosallam, A. S. (2000). "Strength and ductility of reinforced concrete moment frame connections strengthened with quasi-isotropic laminates." *Composites, Part B*, 31(6-7), 481-497.

Mukherjee, A., Joshi M., 2005. "FRPC reinforced concrete beam-column joints under cyclic excitation." *Composite Structures*, 70, 185-199.

Pampanin, S., Bolognini, D., Pavese, A. (2007). "Performance-based seismic retrofit strategy for existing reinforced concrete frame systems using fiber-reinforced polymer." *Composites Journal of Composites for Const.*, Vol. 11, No. 2.

Pantelides, C.P., Okahashi Y., Reaveley L.D. (2008). "Seismic Rehabilitation of reinforced concrete frame interior beam-column joints with FRP composites." *Journal of Composites for Construction*, Vol. 12, No. 4, 435-445, August 1.

Prota, A., Manfredi, G., Nanni, A., Cosenza, E. (2002). "Capacity assessment of GLD RC frames strengthened with FRP." 12th European Conference on Earthquake Engineering, London, UK, September 9-13.

Said, A.M., Nehdi, M.L. 2004. "Use of FRP for RC frames in seismic zones:part 1 evaluation of FRP beam-column joint rehabilitation techniques." *Applied Composite Materials Volume 11, Number 4*, 205-226.

FEMA 356 (2000), *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı (2007), *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar HakkındaYönetmelik* (in Turkish) (Regulations for Buildings to be Constructed in

Earthquake-prone Regions), Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (Ministry of Public Works and Settlement, Government of Turkey) Published also in the Official Gazette number: 26511, dated: May 3, 2007.