



ARAŞTIRMA MAKALESİ /RESEARCH ARTICLE

Hande GÖKDEMİR¹, Tuğrul TANKUT², Ruhi AYDIN³

KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİM BÖLGESİNİN CFRP RULOLARLA DEPREME KARŞI GÜÇLENDİRİLMESİ

ÖZ

Çerçeve türü yapıların deprem davranışında; kiriş-kolon birleşim bölgelerinin büyük zorlamalar taşıdığı, dolayısıyla bu yapıların deprem güvenliğinde önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Deprem kuvvetleri, birleşim bölgesinde büyük kesme kuvvetleri oluşturmakta, bunlardan kaynaklanan eğik asal çekme gerilmeleri de eğik çatlamlara ve giderek birleşim bölgesindeki betonun dağılmasına yol açmaktadır. Bu gerilmelerin sağlıklı biçimde taşınabilmesi için birleşim bölgesinde yoğun etriye kullanılması gerekmektedir. Yürürlükteki deprem yönetmeliği de kolon ucundaki etriye sıklaştırma bölgesinde kullanılan yoğun etriyenin belirli bir oranının birleşim bölgesi içinde de sürdürülmesini öngörmektedir. Ancak, bu bölgede yönetmelik gereği olan etriyenin yerleştirilmesi oldukça güç olduğundan, bu koşul çoğu zaman yerine getirilememekte, hatta hiç etriye konulmamaktadır. Bunun sonucu olarak, var olan yapıların büyük çoğunluğunda kiriş-kolon birleşim bölgeleri deprem davranışı açısından son derece yetersiz bir durumdadır. Yeterli kesme donatısı taşımadığı bilinen bir kiriş-kolon birleşim bölgesinde, dışarıdan açılacak eğik deliklere karbon fiber güçlendirmeli polimer ruloları yerleştirilerek oraya epoksilenmeleri ve her iki ucundan delik dışına kenetlenmeleri sonucunda, birleşim bölgesinde deprem etkisiyle oluşacak eğik asal çekme gerilmelerini güvenilir biçimde taşıyabilecek yeni ve etkili bir düzenleme gerçekleştirilebilir. Bu ilkenin, çeşitli durumlarda kolayca uygulanabilir bir birleşim bölgesi güçlendirme tekniği olarak geliştirilmesi, bu araştırmanın ana amacını oluşturmaktadır.

ODTÜ Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda deneysel çalışma olağan boyutlu bir çerçevenin bir dış birleşim bölgesini yansıtan T-biçimli ve yaklaşık 2/3 ölçekli deney elemanları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Biri referans deneyi olmak üzere; diğerleri birleşim bölgesinde epoksi kullanılarak çapraz şekilde, CFRP rulolarıyla güçlendirilmiş toplam beş adet deney elemanı test sonuçları bu yazının konusunu oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kiriş-kolon birleşim bölgesi, Karbon fiber güçlendirmeli polimer (CFRP) ruloları, Depreme karşı güçlendirme, Epoksi.

SEISMIC STRENGTHENING OF BEAM-COLUMN JOINTS WITH CFRP ROLLS

ABSTRACT

In the seismic behavior of frame structures, it is known that beam-column joints carry high stresses, so that they play an important role in seismic safety. Earthquake forces create high shear forces in the joint region and the inclined principal tensile stresses formed by this action induce

¹ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir , 26480.
E-mail: handeg@ogu.edu.tr

² İnşaat Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 06531.
E-mail: ttankut@metu.edu.tr

³ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir , 26480.
E-mail: raydin@ogu.edu.tr

diagonal cracks, which eventually lead to disintegration of concrete. To resist these stresses, use of ties is needed in the joint region. The seismic codes in effect require continuation of a certain ratio of closely spaced ties used in the region at the column ends, in the joint region. Since the placement of ties required by the code in this region is rather difficult, this condition is hardly fulfilled and in some cases even no ties are placed in the joint at all. As a result of this, in the majority of existing structures, beam-column joints are in a very deficient state in terms of their seismic behavior. In the case of a beam-column joint, where it is known that there are not sufficient shear reinforcement, it is thought that new reinforcement, which can carry inclined principal tensile stresses developing in the joint due to earthquake forces, are provided by placing carbon fiber reinforced polymer rolls into the inclined holes drilled from the outside and by gluing them there using epoxy and by anchoring the ends from the outside. This research mainly aims to develop a practical joint strengthening technique on this principle.

The experimental study was carried out at the METU Structural Mechanics Laboratory and using T-shaped test specimens reflecting an exterior joint region of a frame having normal dimensions, to a scale of 2/3. Test results of five specimens, one reference and four strengthened with diagonal CFRP rolls are reported in the present paper.

Keywords: Beam-column joints, Carbon fiber reinforced polymer rolls, Seismic strengthening, Epoxy.

1. GİRİŞ

Yapılarda çerçeve elemanlarının deprem davranışı açısından bireysel olarak güçlendirilmesinde “Eleman Güçlendirme Teknikleri” kategorisinde yer alan çeşitli teknikler uygulanmaktadır. “Sistem Davranışı İyileştirme Teknikleri” uygulamalarındaki amaç ise binaya aktarılan deprem etkilerini azaltmaktır. Bunun için ya deprem yüklerinin büyük bölümünü alarak mevcut yapıyı rahatlatan, yeni elemanlar yerleştirilir ya da taban yalıtımı sistemleri ve sönümlendiriciler kullanılarak deprem etkilerinin yapıya aktarılması engellenmeye çalışılır.

Birinci kategoride yer alan eleman güçlendirme teknikleri arasında, kolonların, kirişlerin, perdelerin, döşemelerin ve temellerin güçlendirilmesine yönelik çeşitli teknikler bulunmasına karşın, kiriş-kolon birleşimlerinin deprem için güçlendirilmesi amacıyla kullanılacak çok elverişli, ekonomik, etkin ve pratik bir güçlendirme tekniğindeki gelişmeler yeterli değildir.

Oysa, çerçeve türü yapıların deprem yüklerine karşı davranışında, kiriş-kolon birleşim bölgelerinin büyük zorlamalara maruz kaldığı bilinmektedir. Dolayısıyla bu bölgelerin güçlendirilmesinin önemi deprem güvenliği açısından ortaya çıkmaktadır. Deprem kuvvetleri, birleşim bölgesinde büyük kesme kuvvetleri oluşturmakta, bunlardan kaynaklanan

eğik asal çekme gerilmeleri de çatlamalara neden olmakta ve giderek birleşim bölgesindeki betonun dağılmasına yol açmaktadır. Bu gerilmelerin sağlıklı biçimde taşınabilmesi için birleşim bölgesinde yoğun etriye kullanılması gerekmektedir. Nitekim, yürürlükteki deprem yönetmeliği de; kolon ucundaki etriye sıklaştırma bölgesinde kullanılan yoğun etriyenin, birleşim bölgesi içinde de sürdürülmesini önermektedir. Ancak, bu bölgede yönetmelik gereği olan etriyenin yerleştirilmesi oldukça güç olduğundan, yönetmelik gereği, genellikle çoğu zaman yerine getirilememekte ve birleşim bölgesine çoğu zaman hiç etriye konulmamaktadır. Bunun sonucu olarak, var olan yapıların büyük çoğunluğunda kiriş-kolon birleşim bölgeleri deprem davranışı açısından son derece yetersiz bir durumdadır.

Özellikle yanal rijitlik yetersizliğinin çok yaygın olması nedeniyle, Türkiye’de, “eleman güçlendirme” yaklaşımı yalnız başına uygulandığında çoğunlukla başarılı, verimli ve ekonomik olamamakta; bu yüzden, “sistem davranışı iyileştirme” yaklaşımını temel alarak var olan kusurlu yapı elemanlarını deprem etkilerinden kurtararak yeterli duruma getirmeyi amaçlayan ve bu işlem gerçekleştirildikten sonra eğer hala kalmışsa kalan sınırlı sayıda yetersiz çerçeve elemanını güçlendirmekle yetinen bir güçlendirme stratejisi genellikle benimsenmektedir. Bu strateji izlendiğinde, diğer yetersiz elemanlar

gibi, kiriş-kolon birleşimlerinin yetersizliği de önemini kaybetmekte ve kiriş-kolon birleşim bölgeleri yetersiz olan yapılar da çoğu zaman yeterli deprem güvenliğine kavuşturulabilmektedir.

Bununla birlikte, Türkiye’de çok yaygın değilse bile, dünyanın birçok ülkesinde, yapıların depreme karşı güçlendirilmesinde “eleman güçlendirme” yaklaşımı yaygın olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla; etkili, elverişli ve ekonomik bir birleşim bölgesi güçlendirme tekniği geliştirilmesine gereksinim bulunmaktadır.

Depremlerde; yapıdaki birleşim bölgesinin taşıma kapasitesini arttırmak ve ani göçmeyi engellemek için kolay, ekonomik ve etkin yöntemler geliştirmek gerekmektedir. Güçlendirmenin binalar boşaltılmadan ve bina sakinlerine rahatsızlık verilmeden hızlı bir şekilde yapılması da önemli olmaktadır. Birleşim bölgesi kırılmasından kaynaklanan göçmeleri önlemek için temel ilke, birleşim bölgelerinde önemli bir hasar olmaksızın, kirişte mafsallı oluşmasını sağlamaktır. Bu durum sağlandığı takdirde sünek bir davranış biçimi gerçekleşmiş olur.

Kiriş-kolon birleşim bölgelerinde; CFRP (karbon fiber güçlendirmeli polimerler) ve GFRP (cam fiber güçlendirmeli polimerler) tabakaların kiriş-kolon birleşim bölgesine dıştan sarılmasıyla güçlendirme çalışmaları yapılmıştır. Bu tür birleşim bölgesi güçlendirme çabaları, gerçek anlamda birleşim güçlendirmesi olmadıkları gibi, uygulanabilir olmaktan da uzaktırlar. Gerçekte, kiriş ve kolon uçlarını sargılamak anlamına gelen bu yaklaşımlar laboratuvardaki test elemanlarına kolayca uygulanabilirse de, döşeme plakları da içeren üç boyutlu çerçevelerin birleşim bölgelerine uygulanmaları, pratik değildir. (Ghobarah vd., 2001), (Antonopoulos vd., 2003), (Prota vd., 2004). CFRP ruloların bindirme boyu davranışı ile ilgili deneyler yapılmıştır. (Taşlıgedik A.Ş., 2008)

Bu çalışma kapsamında; yeterli kesme donatısı taşımadığı bilinen bir kiriş-kolon birleşim bölgesinde, dışarıdan açılacak eğik deliklere karbon fiber güçlendirmeli polimer ruloları yerleştirilerek oraya epoksilenmeleri ve her iki ucundan delik dışına kenetlenmeleri sonucunda, birleşim bölgesinde deprem etkisiyle oluşacak eğik asal çekme gerilmelerini güvenilir biçimde taşıyabilecek yeni ve etkili bir düzenleme gerçekleştirilebilir.

Rulo haline getirilmiş CFRP tabakaların zayıf kiriş-kolon birleşim bölgesine çapraz olarak yerleştirilmesiyle gerçekleşen güçlendirme deneyleri ilk kez yapılmıştır. (Gökdemir H, 2009) Mevcut binaların kiriş-kolon birleşim bölgelerinde çok donatı bulunması halinde; CFRP ruloların bir uçtan diğer uca geçmesi mümkün olamamaktadır. Bu durumda; karşılıklı iki taraftan çapraz ve bindirmeli olarak CFRP ruloların yerleştirilmesiyle çalışmalar yapılmıştır. Malzemenin cinsi, miktarı, ankrajlanma şekli ve bindirme boyu araştırılan başlıca parametrelerdir. Hedeflenen amaç; depremlerde en çok hasar gören betonarme yapıların kiriş-kolon birleşim bölgelerine kesme donatısı niteliğinde CFRP ruloları yerleştirerek, birleşimin güçlendirilmesini sağlayan yeni ve pratik bir teknik geliştirmektir. Bu yöntemin uygulanmasıyla; kiriş-kolon birleşim bölgelerinin kesme kuvvetlerine karşı dayanımı arttırılacak, kirişte mafsallı oluşması sağlanacak ve daha sünek bir davranış elde edilmiş olacaktır.

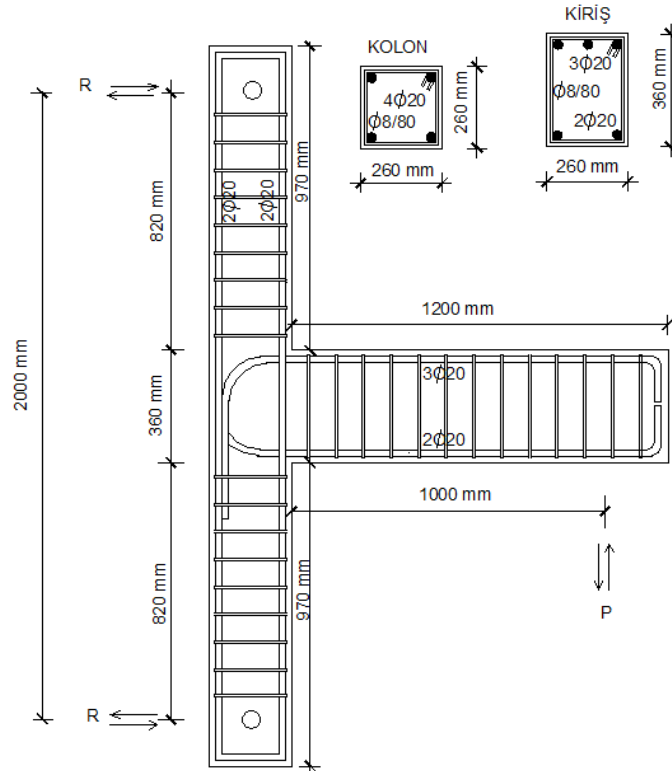
2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Deney Elemanları

Kiriş-kolon birleşim bölgesine çapraz olarak yerleştirilen CFRP rulolarla yapılan güçlendirme deney çalışmalarında, dış kiriş-kolon birleşim bölgesi seçilmesinde, donatı oranlarının belirlenmesinde, deney elemanlarının boyutlarının belirlenmesinde ve deney düzeninin tasarımı, bir çalışmadan kapsamlı biçimde yararlanılmıştır. (Seçkin, 1981) Hipotetik prototip çerçeve göz önüne alınmış ve yapı bölgesi izole edilerek deney elemanları oluşturulmuştur. Olağan boyutlu bir çerçevede bir dış birleşim bölgesini oluşturan ve kolonlar ile kirişin açıklıkları ortasında birer mafsallı (moment sıfır noktası) bulunduğu varsayımı ile tanımlanan 2 m yüksekliğindeki kolon ile 1 m boyundaki kirişten oluşan ve kolon uç noktalarında mafsallanmış olan T-biçimli ve 2/3 ölçekli deney elemanları kullanılması tasarlanmıştır. Deney elemanları TS 500 ve Türk Deprem Yönetmeliği’ne göre tasarlanmış, güçlendirilmiş deney dizisinde birleşim bölgesinde etriye kullanılmamıştır. Deney elemanlarının boyutları ve donatı düzeni Şekil 1’de gösterilmiştir.

Deney elemanlarının beton sınıfı C20'dir. Ve S420 donatıları kullanılarak deney elemanları tasarlanmıştır. CFRP ruloların beton içine ankrajında ve CFRP ruloların hazırlanmasında epoksi kullanılmıştır. Epoksi, MBRACE

Adesivo Saturant A & Saturant B'nin 1/3 oranında karıştırılmasıyla elde edilmiş ve uygulanmıştır.



Şekil 1. Deney elemanlarının boyutları ve donatı düzeni (Birleşim bölgesi donatısı gösterilmemiştir.)

CFRP ruloların yapımında MBT.MBRACE C1 30 0.165 mm kalınlığındaki karbon fiber güçlendirmeli polimer tabakalar kullanılmıştır. 180 mm genişliğindeki CFRP tabakalar öncelikle epoksi sürülerek ıslatılmış ve daha sonra ince çelik donatı etrafında döndürülerek CFRP rulolar hazırlanmıştır. Bu rulolar birleşim bölgesindeki boşluklardan çapraz olarak geçirilmiştir. Daha sonra boşluklar epoksi ile doldurulmuş ve CFRP ruloların uçları yelpaze şeklinde yayılarak ankrajlanmıştır. Bazı deney elemanlarında bu yelpazeler birleşim bölgesi kenarındaki kiriş ve kolon yüzlerine CFRP tabakaların sargılanmasıyla güçlendirilmiştir.

Kiriş-kolon birleşim bölgesinde beton dökümünden önce kalıpta bırakılan boşluklar için kullanılan çelik çubuklar Şekil 2a'da gösterilmiştir. Kiriş-kolon birleşim bölgesindeki CFRP ruloların uçlarının ankrajlanması yelpaze şeklinde açılarak uygulanmıştır ve Şekil 2b'de gösterilmiştir. Bazı deney elemanlarında ise bu yelpazeler birleşim bölgesi kenarındaki kiriş ve kolon yüzlerine CFRP tabakaların sargılanmasıyla güçlendirilmiştir.



Şekil 2 a. Kalıpta bırakılan boşluklar

CFRP rulolar CFWL deney elemanında ise; CFRP rulolar birleşim bölgesine iki taraftan çapraz ve bindirmeli olarak yerleştirilmiştir. Bindirme boyu 400 mm ve bindirmeli CFRP rulolar arası mesafe 20 mm'dir.

Deney programı beş deneyden meydana gelmiştir; Referans deneyi ve CFRP rulolarla güçlendirilmiş dört deney elemanı. Tüm deney elemanı özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Tabloda da görüldüğü aşağıdaki parametrelerin incelenmesi amaçlanmış ve deney serileri buna göre düzenlenmiştir.



Şekil 2 b. CFRP ruloların yelpazelenmesi

- Çapraz CFRP rulolarla birleşim bölgesini güçlendirme etkisi

CFRP ruloların uçlarının ankrajlanma şeklinin etkisi; yelpazeli veya sargılanmış yelpazeli

CFRP miktarının etkisi

CFRP ruloların yerleştirilme şeklinin etkisi; bindirmeli veya direkt

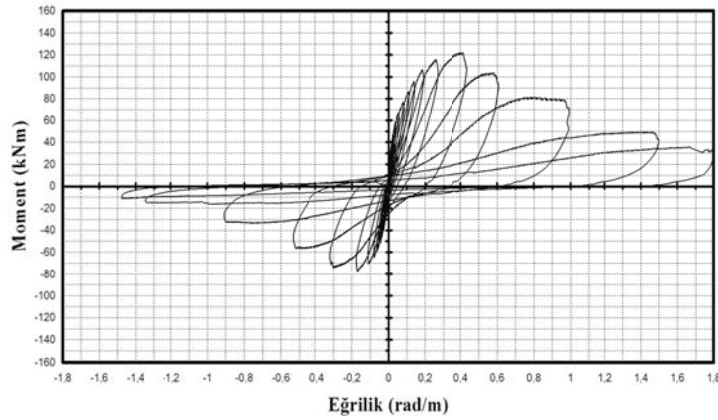
Tablo 1. Deney dizileri ve eleman özellikleri

| Diziler | Deney Elemanları | Birleşim Bölgesi Donatıları | Birleşim Bölgesi Güçlendirme | Açıklama/Ankraj |
|-------------------------|------------------|-----------------------------|------------------------------|--|
| Referans | RU | Etriye, $\phi 8/50$ mm | - | Referans |
| | CF | - | 2 x 2 rulo diyag. | Yelpazeli + epoksi |
| CFRP rulolu Güçlendirme | CFW1 | - | 2 x 2 rulo diyag. | Sargılanmış yelpazeli + epoksi |
| | CFW2 | - | 2 x 2 rulo diyag. | Sargılanmış yelpazeli + epoksi |
| | CFWL | - | 2 x 2 rulo diyag. | Sargılanmış yelpazeli + epoksi, bindirmeli |

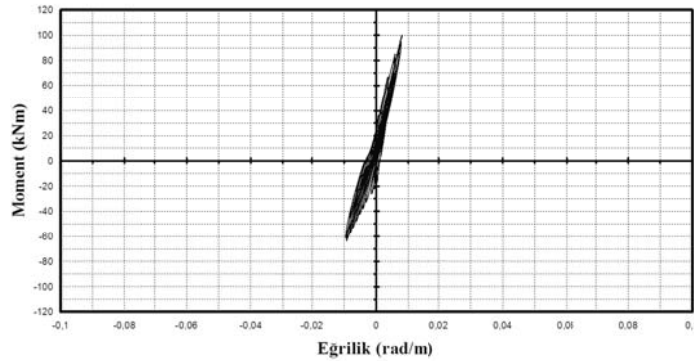
2.2. Deney Düzenegi

Mesnetleme ve yükleme düzenegi Şekil 7'deki deney elemanında gösterilmiştir. Kolon üstten ve alttan güçlü duvara mafsallanmıştır. Deney elemanının kolonuna, dışarıdan yerleştirilen ve öngerilme halatlarından oluşturulan bir düzenek aracılığıyla eksenel yük uygulanmıştır. Kolonun altına ve yük hücresinin üstüne yerleştirilen plakalara delikler açılmış, uçları kilitlenmiş halatlarla plakalar sıkıştırılarak, plakalar arasına yerleştirilmiş olan deney elemanına eksenel kuvvet uygulanmıştır. Daha sonra güçlü duvardaki bulonlar sıkılmıştır. Kolon eksenel yük taşıma kapasitesinin yaklaşık %20'si, kolonun üstünden eksenel yük olarak uygulanmış ve bu yük deneyin sonuna kadar sabit tutulmuştur. Kiriş ucundan uygulanan tersinir-yinelenir yük çift tesirli hidrolik kriko, yük hücresi ve mafsallarla üstten kirişe alttan da güçlü döşemeye tutturularak sağlanmıştır.

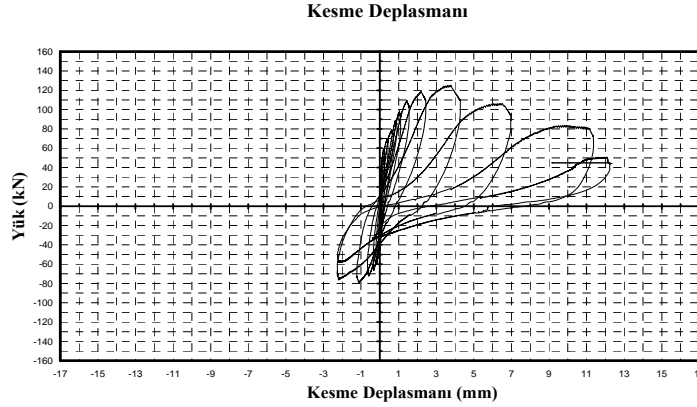
Yük-kiriş ucu deplasman grafiğinin yanında birleşim bölgesinde moment eğrilik ve kesme deplasman grafikleri çizilmiştir. CFWL deneyine ait moment eğrilik grafikleri Şekil 3 ve Şekil 4'te, kesme deplasman grafikleri ise Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Kiriş-kolon birleşim bölgesinin hemen yanına kiriş alt ve üstüne yerleştirilen elektronik komparatörler birinci bölgedeki moment-eğrilik grafiklerinin, kiriş alt ve üstüne yerleştirilen elektronik komparatörler ise ikinci bölgedeki moment-eğrilik grafiklerinin elde edilmesini sağlamıştır. Deney elemanının kiriş-kolon birleşim bölgesinin ön ve arka yüzlerine yerleştirilen elektronik komparatörler kesme deplasman grafiklerini elde etmemize yardımcı olmuştur.



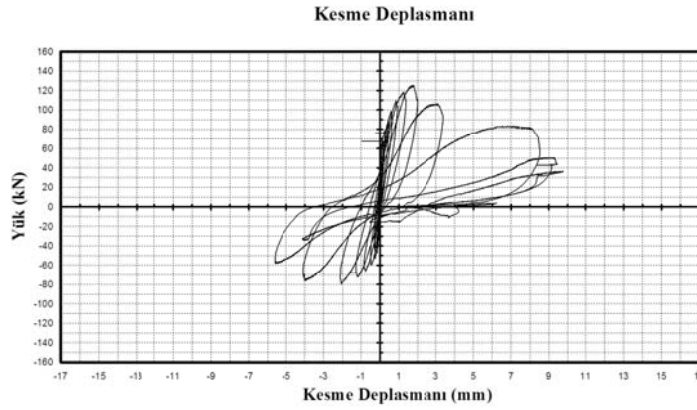
Şekil 3. Moment-eğrilik grafiği (birinci bölge) (CFWL)



Şekil 4. Moment-eğrilik grafiği (ikinci bölge) (CFWL)



Şekil 5. Yük-kesme deplasmanı grafiği (CFWL ön yüz)



Şekil 6. Yük-kesme deplasmanı grafiği (CFWL arka yüz)

2.3. Deney Sonuçları

Deney verilerini kullanarak çeşitli grafikler çizilmiş ve bu grafikler dayanım, dayanımdaki azalma, süneklik, enerji tüketimi, rijitlik, rijitlik azalması ile ilgili olarak çizilmiştir. Deney sonuçlarıyla ilgili detaylı bilgi bulunabilir (Gökdemir H, 2009). Kısa özet Tablo 2’de verilmiştir.

Güçlendirme çalışmalarında, birleşim bölgesinde çok önemli bir hasar olmadan kiriş eğilme donatılarının akması yani kirişte mafsallaşma oluşması amaçlanmıştır. Güçlendirmenin başarısı bu ölçüte göre değerlendirilmiştir. Tablo 2’de verilen değerler bu anlayışla yorumlanmaktadır.

Bu tabloda dört performans gözlenmektedir. Bunlar; kapasite, süneklik, başlangıç rijitliği ve kiriş eğilme donatısının akıp akmamasıdır. Genel başarı bu dört kriter temel alınarak değerlendirilmiştir.

Kapasite oranı; en büyük yükün, kiriş eğilme donatısının akma yüküne oranı olarak tanımlanmıştır. (P_{maks} / P_y)

Süneklik oranı ise; genelde yük-kiriş ucu deplasman grafiklerindeki en büyük yükün %85’ine karşılık gelen deplasmanın, akma anındaki deplasmana oranı olarak gösterilmektedir. Fakat yapılan deneylerde; en büyük yükün aniden düşmesi ve eğimin değişmesi nedeniyle, bu yüke karşılık gelen deplasman değerleri grafiklerden tam olarak belirlenememiştir.

Bundan dolayı; en büyük yükteki ani düşme nedeniyle bu yükün %85 yerine, yaklaşık %60'ına karşılık gelen deplasman değerleri (δ_{60}) gözlenmiş ve Tablo 2'nin yedinci sütununda (δ_{60} / δ_y) oranı gösterilmiştir. Bu değer, gerçek sünekliği yansıtmasa da bir karşılaştırma oranı olarak anlamlı olduğu düşünülmüştür.

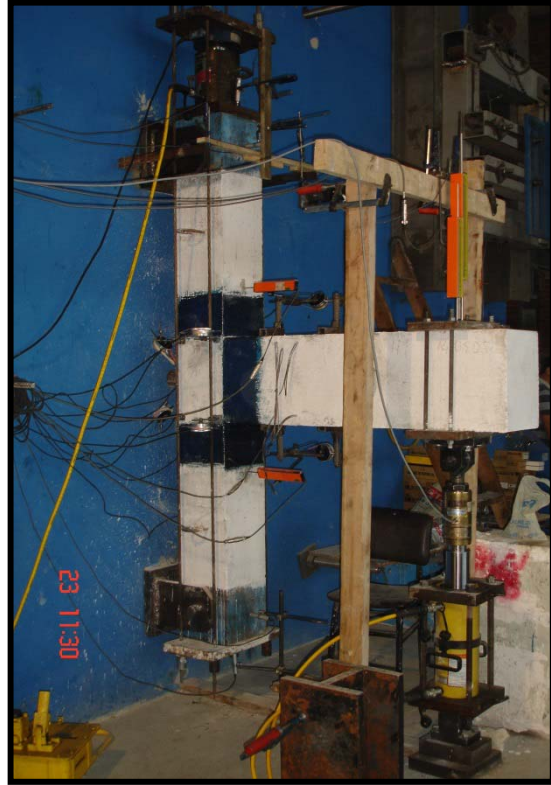
Eğilme rijitliği, moment-eğrilik ilişkisinin eğimidir. İdeal malzeme davranışına dayalı elastisite teorisinde $K=M/EI$ bağıntısı geçerli olduğundan, eğilme rijitliği EI olarak tanımlanır. Oysa davranışı ne doğrusal, ne de elastik olmayan betonarme için bu basitleştirme geçerli değildir; gerçek $M-K$ ilişkisinin eğimi göz önüne alınmalıdır.

Ancak, bu çalışmada yük-deplasman eğrisinin çıkış bölgesi eğimi, rijitliğin yaklaşık bir göstergesi olarak kullanılmıştır. Bu gösterge mutlak değerce doğru değilse de, tüm elemanlara uygulandığından, bir karşılaştırma aracı olarak yeterlidir.

Kiriş-kolon birleşimindeki; kiriş donatılarına yerleştirilen birim deformasyon ölçerlerden alınan okumalardan, kirişlerdeki eğilme donatılarının akıp, akmadığı gözlenmiştir. Bazı deney elemanlarında ise, kirişle kolonun birleştiği yüzeyde oluşan eğilme çatlaklarının büyüklüğü, burada akma olduğunu doğrulamaktadır.

Tablo 2'de, tüm deneylerden elde edilen genel performansların tutarlı sonuçlar verdiği görülmektedir. Yalnızca CFW1 deneyinde, donatının akmasına rağmen eğilme kapasitesine neden ulaşamadığı açıklanamamıştır. Bu yüzden aynı deney CFW2 olarak tekrarlanmış ve kabul edilebilir değerler elde edilmiştir.

Tablo 2'nin son sütununda, kiriş-kolon birleşim bölgesinin güçlendirilmesi amacıyla bir doğrultuda kullanılan CFRP rulonun, yönetmeliğin öngördüğü birleşim bölgesi donatısının (etriye) kaç katına eşdeğer olduğu belirtilmiştir.



Şekil 7. CFRP rulolarla güçlendirilmiş deney elemanı

Tablo 2. Deney elemanlarının sonuçları

| Deney Dizileri | Deney Elemanları | Birleşim Bölgesi Donatısı | P_{maks} (kN) | Kapasite Oranı P_{maks} / P_y | δ_y (mm) | Süneklik Oranı δ_{60} / δ_y | Rijitlik Oranı (kN/m) | Kiriş Eğilme Donatısı | Genel Başarı | Birleşim Bölgesi Donatısı Yönetmelik Eşdeğeri |
|-------------------------|------------------|---------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------|---|-----------------------|-----------------------|------------------|---|
| Referans | RU | $\phi 8/50$ mm etriye | 144 | 1.02 | ~ 22 | ~ 4.1 | ~ 12 | Aktı | Kabul edilebilir | 2 × Yönetmelik donatısı |
| | CF | 2×2 rulo diyagonal | 124 | 0.89 | ~ 20 | ~ 2.3 | ~ 10 | Aktı | Kabul edilebilir | 2× Yönetmelik donatısına eşdeğer |
| CFRP Rulolu Güçlendirme | CFW1 | 2×2 rulo diyagonal | 104 | 0.74 | ~ 22 | ~ 2.8 | ~ 13 | Aktı | Yetersiz | Şüpheli deney sonuçları |
| | CFW2 | 2×2 rulo diyagonal | 123 | 0.89 | ~ 22 | ~ 2.9 | ~ 12 | Aktı | Kabul edilebilir | 2× Yönetmelik donatısına eşdeğer |
| | CFWL | 2×2 rulo diyagonal | 126 | 0.90 | ~ 22 | ~ 2.9 | ~ 11 | Aktı | Kabul edilebilir | 2× Yönetmelik donatısına eşdeğer |

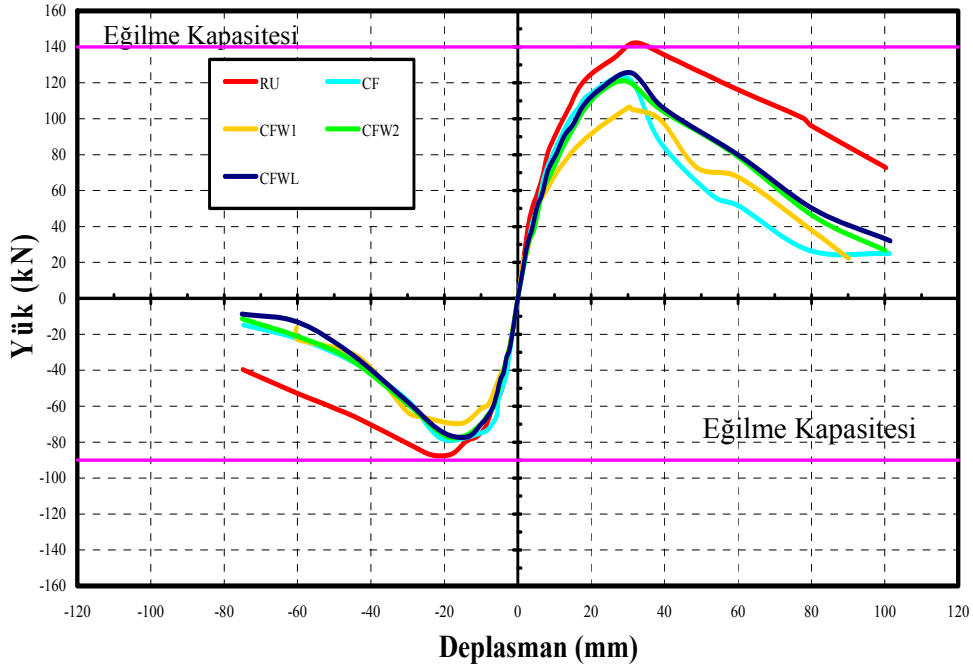
3. TARTIŞMA

Yük-deplasman grafiğindeki çevrimlerin tepe noktalarını birleştirerek elde edilen zarf eğrileri Şekil 8’de gösterilmiştir.

Bu grafikler üzerinde dikkatli ve hassas olarak yapılan bazı ilginç gözlemler Tablo 2’de verilen performans göstergeleri ile birlikte özetlenmiş ve kısaca aşağıda ele alınmıştır.

- Gerekli miktarda CFRP rulolar birleşim bölgesine yerleştirilir ve uçları uygun şekilde ankrajlanırsa performansın arttığı gözlenmiştir.
- Deney elemanlarında, birleşim bölgesine güçlendirme amaçlı çapraz CFRP rulosu olarak, herbir yönde yönetmelik gereği olan donatının 2 katına eşdeğer CFRP rulosu kullanılmış oldukça başarılı bir davranış ve dayanım elde edilmiştir.

- CFRP ruloların uçlarından yelpaze şeklinde ankrajlanması oldukça başarılı olmuştur. Fakat CF deneyinin son safhalarında CFRP tabakada ayrılma sorunu oluşmuştur. CFRP tabakaların bu yelpazelerin üzerine sarılması bu sorunu önlemiştir. Fakat kapasite ve davranışta bir artış olmamıştır.
- Çapraz CFRP ruloların bindirmeli olarak birleşim bölgesinden geçirilmesiyle oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bindirmeli olarak uygulanan CFWL deney elemanı ile CFW2 deney elemanından hemen hemen aynı sonuçlar alınmıştır.



Şekil 8. Çapraz CFRP rulolar ile güçlendirme deneyleri

4. SONUÇLAR VE UYGULAMA İÇİN ÖNERİLER

Tipik bir betonarme yapının dış birleşim bölgesini gösteren, 2/3 ölçekli beş deney elemanı üzerinde yapılan birleşim bölgesi güçlendirme çalışmalarından etkili ve başarılı olarak elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

4.1. Sonuçlar

- Birleşim bölgesi güçlendirilmesi için önerilen bu teknik oldukça etkili ve pratiktir. Çapraz olarak iki yönde yerleştirilen CFRP ruloların, kesme donatısı olarak performansı arttırdığı gözlenmiştir. Ancak; sargılama etkisi olmadığından, birleşim bölgesine yerleştirilen etriyelerin yerini tutamayacağı göz önünde bulundurulmalıdır.
- Önerilen teknikte kiriş-kolon birleşim bölgesini güçlendirmede CFRP rulolar etkili bir biçimde kullanılabilir.
- CFRP rulolar uygun şekilde uçlarından ankrajlanmalıdır.
- Bindirmeli çapraz CFRP rulolarla yapılan güçlendirme çalışmalarından, iki ucundan kenetlenmiş CFRP rulolarla yapılan güçlendirmelere eşdeğer sonuçlar alınmıştır.

4.2. Uygulama İçin Öneriler

- Mevcut birçok yapının depreme karşı güçlendirilmesi gerekmektedir. Kiriş-kolon birleşim bölgelerinin CFRP rulolar ile güçlendirilmesinde, önerilen tekniklerden oldukça başarılı sonuçlar elde edildiğinden, güçlendirme çalışmalarında uygulanabilir.
- CFRP rulolarla güçlendirmede; CFRP rulosu tek yönde çapraz olarak (CFRP alanı ile katalogta verilen dayanımın çarpımı) yönetmelik gereği olan birleşim donatısının (etriye) üç katına eşdeğer kullanılmalıdır. CFRP rulolarda kullanılan CFRP tabakanın genişliği bu ilkeye göre belirlenmelidir.
- Güçlendirilecek birleşim bölgesinin geometrik çizimi ve incelenmesi yapılmalıdır. Bölgede mevcut olan donatıların yerleri dedektörlerle belirlenerek çizimde işaretlenmelidir.

- Bazı birleşim bölgelerinde mevcut olan yoğun çelik donatılar nedeniyle bir köşeden diğer köşeye matkap ile tek doğrultuda delmenin yapılamaması durumunda; karşılıklı köşelerden iki paralel delik açılarak, CFRP rulolar yerlerine bindirmeli olarak yerleştirilmelidir.
- CFRP rulolar ile güçlendirme çalışmalarında hiçbir ön hazırlığa gerek yoktur. CFRP rulolar küçük çaplı boşluklara yerleştirilebildiğinden, birleşimde mevcut olan çelik donatılar arasından küçük çaplı deliklerin açılması daha kolay olmaktadır. Bu özellikler önerilen yöntemin bir avantajı olarak değerlendirilebilir.
- CFRP rulolar kullanılarak yapılan güçlendirme işleminde; CFRP tabakalara epoksi yayılarak, küçük çaplı donatıların üzerine sarılmalıdır. Hazırlanan rulolar, epoksi enjekte edilerek doldurulan boşluklara yavaşça yerleştirilmelidir. Deliklerin dışına kadar uzatılan ruloların uçları yelpaze haline getirilerek, deliğin kenarlarındaki beton yüzeydeki CFRP tabaka üzerine yayılmalı ve epoksi ile yapıştırılmalıdır. Daha sonra yelpazenin üzerine CFRP tabakalar yapıştırılmalıdır. Gerekli hallerde ise; daha iyi ankrajlanmanın olmasını sağlamak amacıyla birleşim bölgesinin kenarındaki kiriş ve kolonun yüzleri CFRP tabaka ile sargılanmalıdır.

KAYNAKLAR

- Antonopoulos, C. P., Triantafillou, T. C. (2003) Exp Investigation of FRP Strengthened RC Beam-Column Joints. *Journal of Composites for Construction*, 344(7), 39-49.
- Ghobarah, A., Said, A. (2001) Seismic Rehabilitation of Beam-Column Joints Using FRP Laminates. *Journal of Earthquake Engineering*, 5(1), 113-129.
- Gökdemir H (2009) Kiriş-Kolon Birleşimlerinin Depreme Karşı Güçlendirilmesi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.

Prota, A., Nanni, A., Manfredi, G., Cosenza, E.
(2004) Selective Upgrade of Under-designed RC
Beam-Column Joints Using CFRP, *ACI
Structural Journal*, 101(11), 699-707.

Seçkin M (1981) Hysteretic Behaviour of Cast-
in-Place Exterior Beam-Column Sub-
Assemblies, Doktora Tezi, Toronto
Üniversitesi, Toronto, Kanada.

Taşlıgedik, A.Ş (2008) Lap Splice Behaviour of
CFRP Rolls, Yüksek Lisans Tezi, Orta
Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.