BETONARME KENAR KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN GÜÇLENDİRİLMESİ

S. Aykaç [1] ve Ş. Bakırcı Er [2]

[1] *Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara*
[2] *Yardımcı Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale*
Email: saykac@gazi.edu.tr

ÖZET:

Betonarme kolonların yapımı sırasında en sık yapılan hatalardan biri kolon sargı donatılarının kolon kiriş birleşim bölgesinde devam ettirilmemesidir. Deprem sırasında birleşimdeki bu zayıf bölgelerde mafsallaşma oluşmakta ve bu da binalarda kısmen ya da tamamen göçmelere neden olabilmektedir. Özellikle kenar ve köşe kolonlarda durum daha da önemli olmakta ve kolonu düğüme bağlayan etriyelerin eksikliğine bağlı olarak, kolon bağlı olduğu kirişin alt veya üst yüzünden sıyrılıp yapı dışına çıkmaktadır. Bu durumda yapının göçmesi kaçınılmazdır. Literatürde konu ile ilgili bir çok araştırma yapılmış olmasına rağmen, kendi içinde bir bütün oluşturan, sistematik ve uygulanabilir çalışmalara pek rastlanmamıştır. Ayrıca yapılmış olan deneysel çalışmalarda ise deney sisteminin gerçek durumu pek yansıtmadığı da görülmüştür. Bu nedenle bu çalışmada, öncelikle deprem sırasında kenar kolon-kirişlerde oluşan iç kuvvetlerin tümünü oluşturabilecek bir deney sistemi geliştirilmiş ve birleşim bölgesi için öngörülen bir güçlendirme yöntemi bu sistemde test edilmiştir. Güçlendirme yöntemi basit, kolay uygulanabilir ve ucuz olacak şekilde tasarlanmıştır. Deneysel olarak yürütülen çalışmada ½ ölçekli deney elemanları kullanılmış ve davranış ve dayanım açısından oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Betonarme birleşim, onarım, güçlendirme.

1. GİRİŞ

Betonarme yapıların yapımı sırasında sıklıkla yapılan hatalardan biri de kolon etriyelerinin birleşim bölgesi içinde devam ettirilmemesidir. Böyle bir uygulama durumunda ya birleşimde ağır hasar oluşmakta ya da mevcut kolon kiriş altından sıyrılıp çıkmaktadır. İkinci durumda binanın göçmesi kaçınılmazdır. Birinci durumda ise, eğer binada deprem yüklerini alacak yeterince perde duvar yoksa göçme yine kaçınılmaz olacaktır. Bu nedenle betonarme binaların yapımı sırasında, kolon etriyelerinin birleşim içinde devam ettirilmesi hayati derecede önem kazanmaktadır. Özellikle 2000 öncesi yapıların çok büyük bir kısmında, 2000 sonrası binaların ise azımsanmayacak bir kısmında kolon etriyelerinin birleşim bölgesinde devam ettirilmediği bilinen bir gerçektir. Bugüne kadar birleşim bölgelerinin güçlendirilmesine yönelik bir çok deneysel araştırma yapılmıştır (1-7). Ancak yapılan literatür çalışmalarında bu araştırma yöntemlerinin bir çoğunun uygulanmasının oldukça zor ya da birçok durumda mümkün olmadığı görülmüştür. Hayati derecede önemli ve tam olarak çözüme kavuşturulmamış olması nedeniyle konunun kapsamlı bir deneysel çalışma ile ele alınması kararlaştırılmış ve bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışma kapsamında birleşim bölgesi için öngörülmüş çeşitli güçlendirme teknikleri ile güçlendirilmiş zayıf elemanlar test edilerek sonuçlar referans elemanların davranışları ile karşılaştırılmıştır. Elemanların birinde (G2-elemanı) birleşim bölgesinin yanı sıra kolon da kesmeye karşı güçlendirilmiştir. Uygulanan güçlendirme

teknikleri sırasıyla C, E, F ve G olarak adlandırılmıştır. Güçlendirme teknikleri geliştirilirken, önerilen yöntemlerin hem etkili, hem kolay uygulanabilir hem de ucuz olmasına özellikle özen gösterilmiştir.

Laboratuvar olanakları göz önünde bulundurularak deney elemanlarının ½ ölçekli olmasına karar verilmiş ve bir kenar kolon-kiriş birleşimi, döşeme ve dik yönde saplanan kirişlerle beraber ele alınınarak üç boyutlu sayılabilecek bir model oluşturulmuştur. Deney elemanları olabildiğince gerçek yapıdaki gibi üretilmiş ve gerçek yapıda görülen yapım kusurları da aynen tekrarlanmıştır. Kötü betonun temsil edilebilmesi için özellikle güçlendirme elemanlarında beton dayanımlarının 7-10 MPa aralığında kalmasına özen gösterilmiştir. Deney elemanlarına ait özellikler ve ele alınan değişkenler Tablo-1'de sunulmuştur. Deney elemanlarının boyut ve donatı detayları ise Şekil-1 'de verilmiştir. Güçlendirme elemanlarında düğüm bölgesi etriyesizdir. Çalışmada birleşim bölgesini olabildiğince zorlamak için oldukça çok donatılı bir kiriş (ρ=0.0161, ρb=0.0136) seçilmiş ve hem kiriş hem de kolon boyuna donatıları (ρ=0.013) tüm elemanlarda sabit tutulmuştur.

Tablo 1. Deney elemanlarının özellikleri

Eleman		Eleman Türü	Kolon Donatısı		Düğümde	Kiriş Donatısı			Kolon Eksenel
No	Adı		Boyuna	Etriye	Etriye	Çekme	Basınç	Etriye	Yükü (kN)
1	RC2	Referans	10ϕ10	ϕ6/50	ϕ6/50	6ϕ12	4ϕ12	ϕ6/50	150
2	C1	Güçlendirme	10ϕ10	ϕ6/50	Yok	6ϕ12	4ϕ12	ϕ6/50	0
3	E1	Güçlendirme	10ϕ10	ϕ6/50	Yok	6ϕ12	4ϕ12	ϕ6/50	0
4	F1	Güçlendirme	10ϕ10	ϕ6/50	Yok	6ϕ12	4ϕ12	ϕ6/25-50	0
6	C2	Güçlendirme	10ϕ10	ϕ6/50	Yok	6ϕ12	4ϕ12	ϕ6/50	150
7	E2	Güçlendirme	10ϕ10	ϕ6/50	Yok	6ϕ12	4ϕ12	ϕ6/50	150
5	G2	Güçlendirme	10ϕ10	Yok	Yok	6ϕ12	4ϕ12	ϕ6/25-50	150

*Elemanlardaki eksenel yükler sabit yükleri temsil etmektedir.
*G2 elemanında kolon kesmeye karşı da güçlendirilmiştir.

Çalışmada güçlendirme detayları Şekil-2'de verilen elemanların deneyleri yapılarak referans eleman ile karşılaştırılmıştır. Deney elemanlarının bazılarına sabit eksenel yükleri temsil etmesi için 150 kN değerinde bir eksenel yük uygulanmıştır ($N/A_c.f_{ck}$=0.18, $N/A_c.f_{c_mevcut}$=0.36). Bundan önceki çalışmalarda ele alınan kolon-kiriş sistemleri genellikle kolon uçlarından mesnetlenmiş ve kiriş ucuna kesme kuvveti uygulanarak elemanlar test edilmiştir. Buna bağlı olarak, davranış üzerinde önemli etkileri olabilecek, kolon eksenel yükleri ile kolonlar arasındaki kesme kuvveti farkı ihmal edilmiştir. Bilindiği gibi deprem yüklerinden dolayı kolon ve kirişlerde kesme kuvvetleri, eksenel yükler ve momentler oluşmaktadır. Deprem sırasında kolonda olabilecek olası eksenel çekme yükleri de, kirişin kolon uçları arasından çıkmasını kolaylaştırmaktadır. Dolayısıyla davranış üzerinde önemli etkileri olabilecek bu kuvvetlerin ihmal edilmesi değerlendirmelerde önemli yanlışlıklara yol açabilecektir.

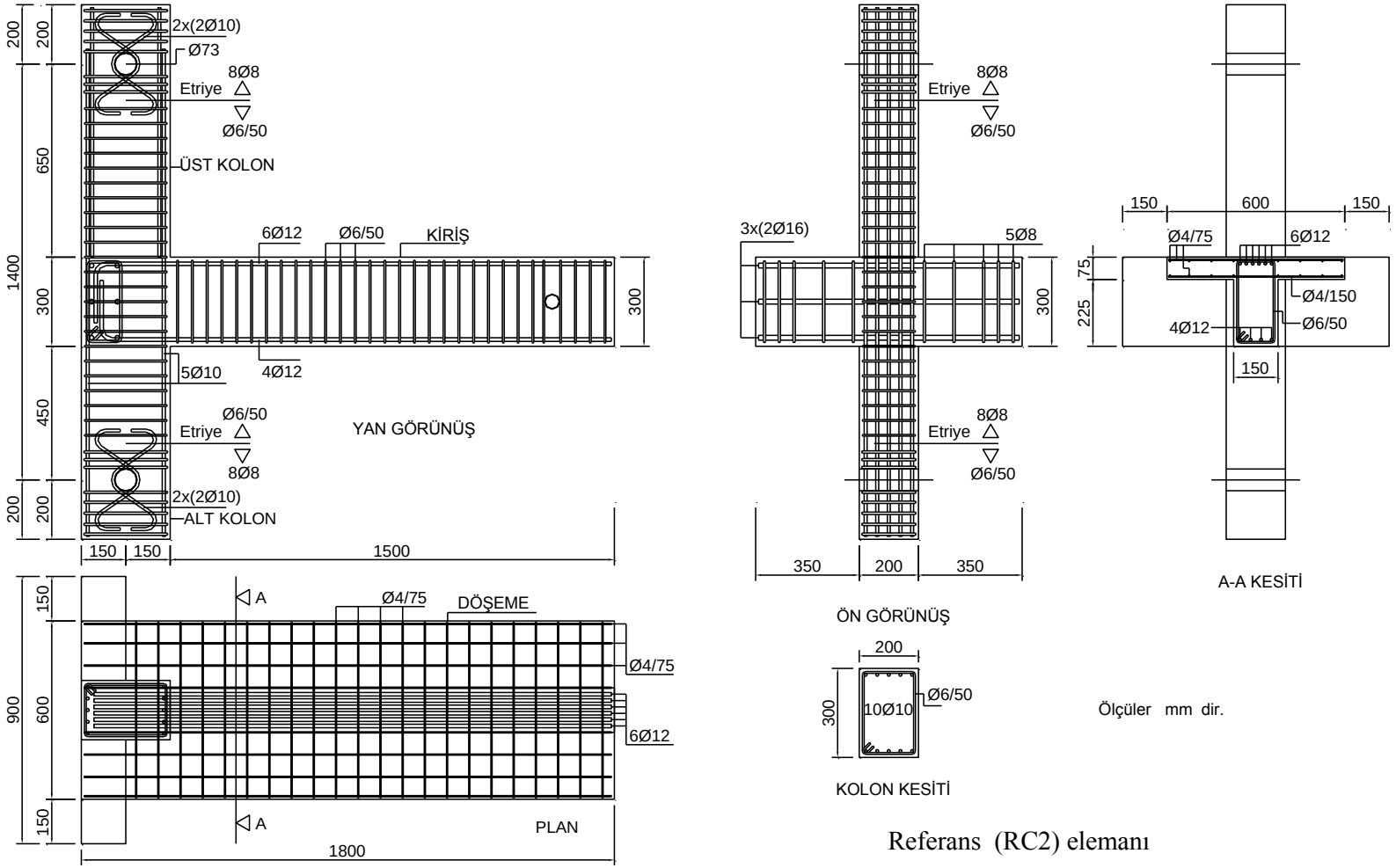
Bu nedenle, bu çalışmada öncelikle kenar kolon-kiriş sistemini biraz daha gerçeğe yakın bir biçimde test edebilecek, yeni bir deney sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen yeni sistemde depremden ve düşey yüklerden dolayı kolon ve kiriş uçlarında oluşan iç kuvvetlerin tamamı (kesme kuvveti, eksenel yük ve moment) tek noktadan uygulanan bir yükün uygun oranlarda eleman uçlarına dağılması sağlanarak oluşturulabilmiştir, Şekil-3. Böylece gerçek yapıdakine çok daha benzeyen bir model oluşturularak davranışın daha iyi anlaşılması sağlanmıştır. Sisteme, büyüklüğü yük hücresi ile ölçülen, tersinir-yinelenir yükler uygulanmıştır. Elamanlarda oluşan iç kuvvetler ise denge denklemleri ile bulunmuştur. Kiriş uç sehimi, rijit ötelenmeler ve çeşitli deformasyon ölçümleri için toplam 11 adet LVDT kullanılmış ve tüm ölçümler bir bilgisayara aktarılarak deneyin gelişimi bilgisayardan izlenmiştir.

C-tipi güçlendirme tekniğinde, alın kirişi üzerine birbirine paralel ve boyları kolon genişliğinden biraz daha uzun u-profiller yerleştirilmiştir. Daha sonra bu profillerin uçlarındaki ve alın kirişi üzerindeki deliklerden bulonlar geçirilmiştir. Bulonların diğer uçları ise ana kiriş gövdesine bağlanmış olan L-profillere ard germeli olarak sıktırılmıştır. Böylece hem kolon boyuna donatıları baskılanarak burkulmaları ve/veya kolon yüzünden ayrılmaları önlenmiş hem de ard germeli bulonların birleşim bölgesindeki kesme kuvvetlerini alması ve birleşim bölgesini sargılaması sağlanmıştır.

E-tipi güçlendirme tekniği, C-tipi ile oldukça benzerdir. Bu yöntemde u-profiller yerine lamalar kullanılmış ve lamalar aynı zamanda kolona da ankre edilmiştir. Bu anlamda bakıldığında C-tipi güçlendirme tekniği, kolon içinde herhangi bir işlem gerektirmediğinden daha kolay uygulanabilmektedir. Ancak E-tipinde yapı dış yüzeyindeki çıkıntı diğerlerine göre daha azdır.

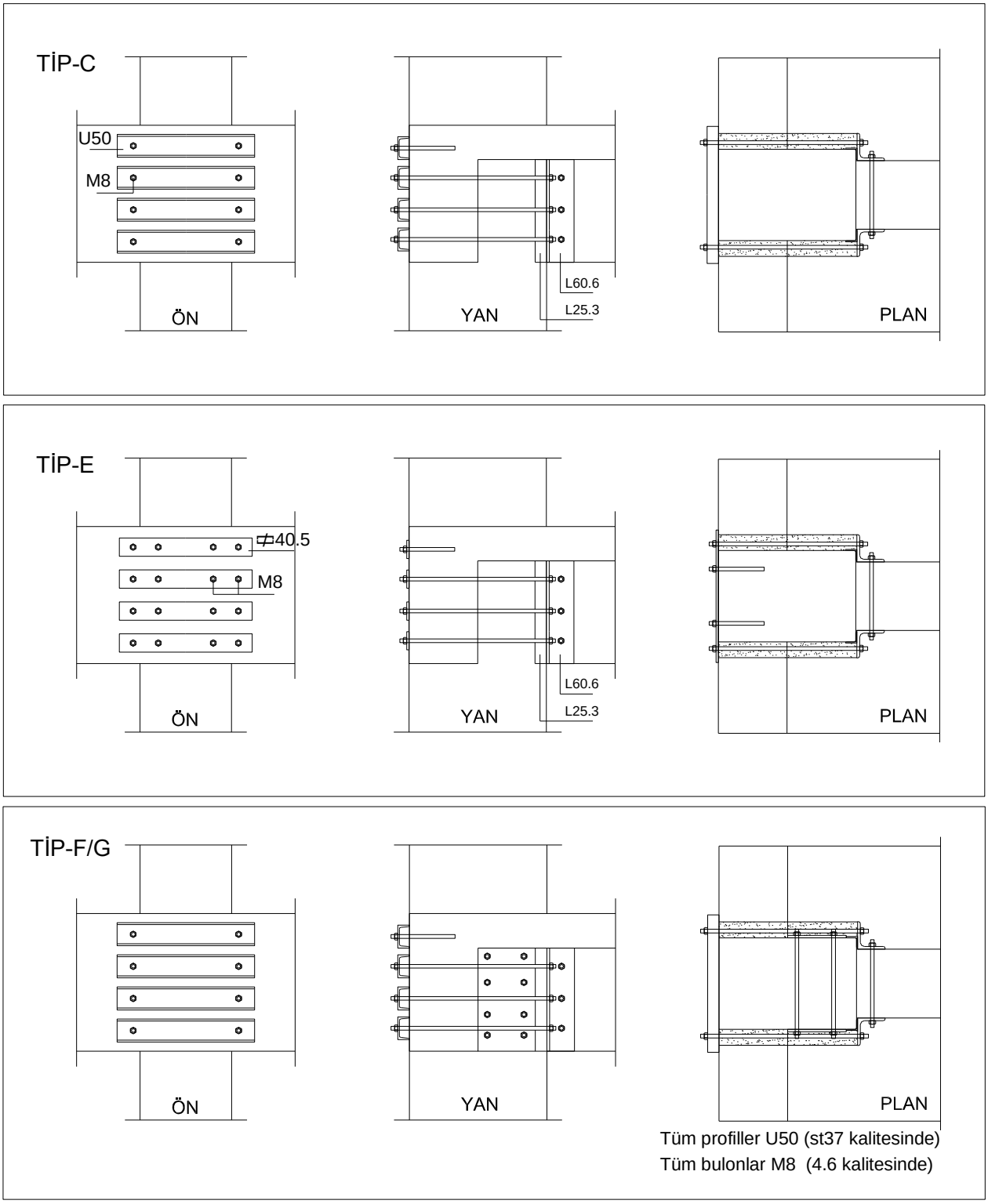
F-tipi güçlendirme tekniği de C-tipi ile oldukça benzerdir. F-tipinde, C-tipinden farklı olarak kolon yan yüzündeki kuşatılmamış dikdörtgen bölgeler karşılıklı olarak çelik levhalar ile birbirlerine ard germeli olarak bağlanmıştır. Böylece birleşim bölgesi her üç eksende de baskılanarak oldukça etkili bir sargılama sağlanmıştır. F-tipi güçlendirme elemanının kirişinde, kiriş yüksekliğinin iki katı kadar olan bir bölgede etriye aralığı diğer elemanlardaki etriye aralığının yarısı kadar yapılmıştır. Ancak buradan, diğer elemanlarda bir tasarım hatası yapılmış olduğu sonucu çıkartılmamalıdır. Bu işlem, sadece kirişin olabildiğince uzun süreli dayanıp, mevcut birleşimi ve güçlendirme elemanlarını oldukça ağır koşullar altında test etmek için yapılmıştır.

G-tipi güçlendirme elemanı aslında F-tipi ile tamamen aynı olup bu elemanın kolonları da kesmeye karşı, sonradan eklenen etriyelerle güçlendirilmiştir.

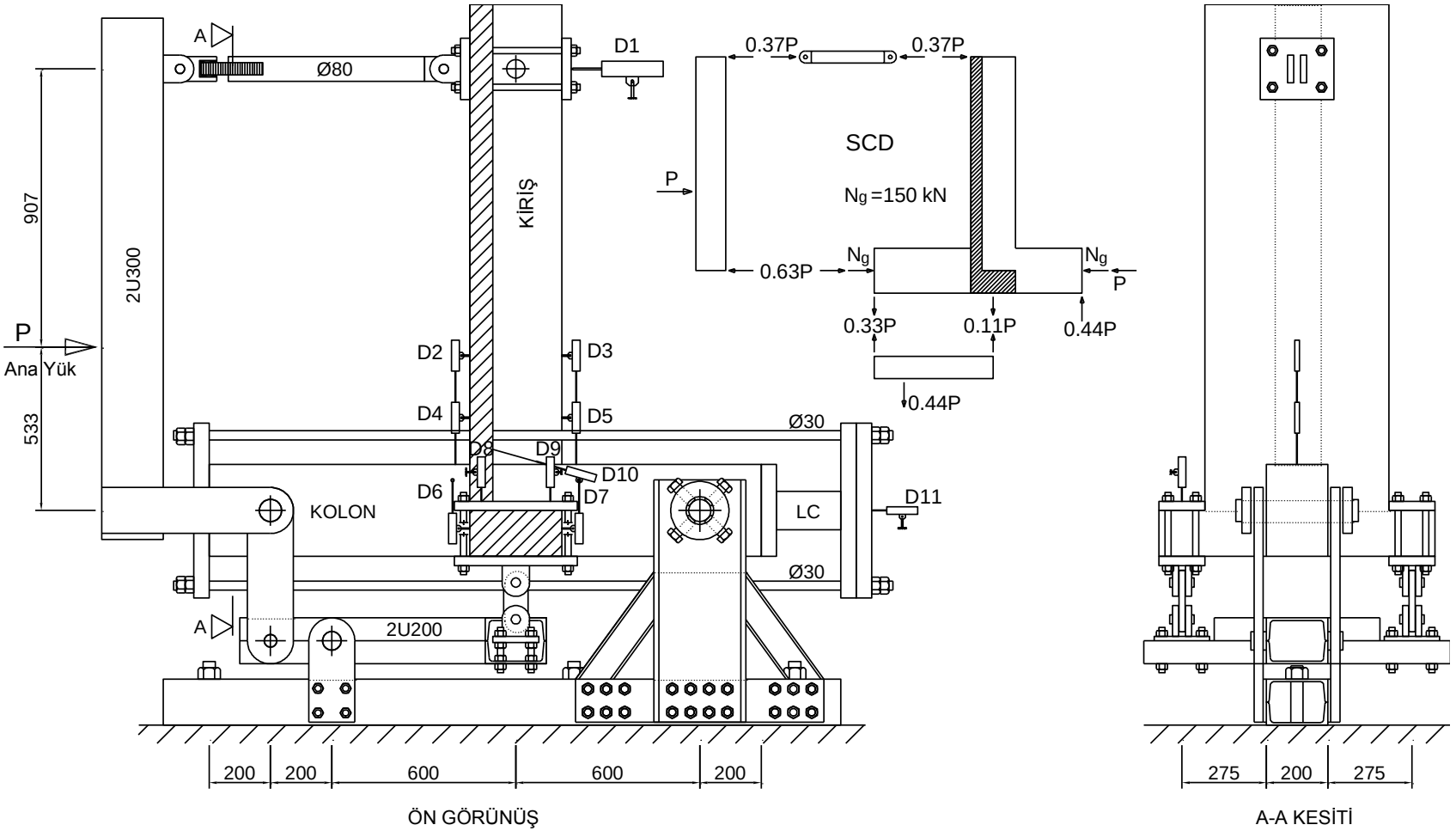


Referans (RC2) elemanı

Şekil 1. Referans elemanı (RC2) elemanı donatı detayı



Şekil 2. Güçlendirme Detay Çizimleri



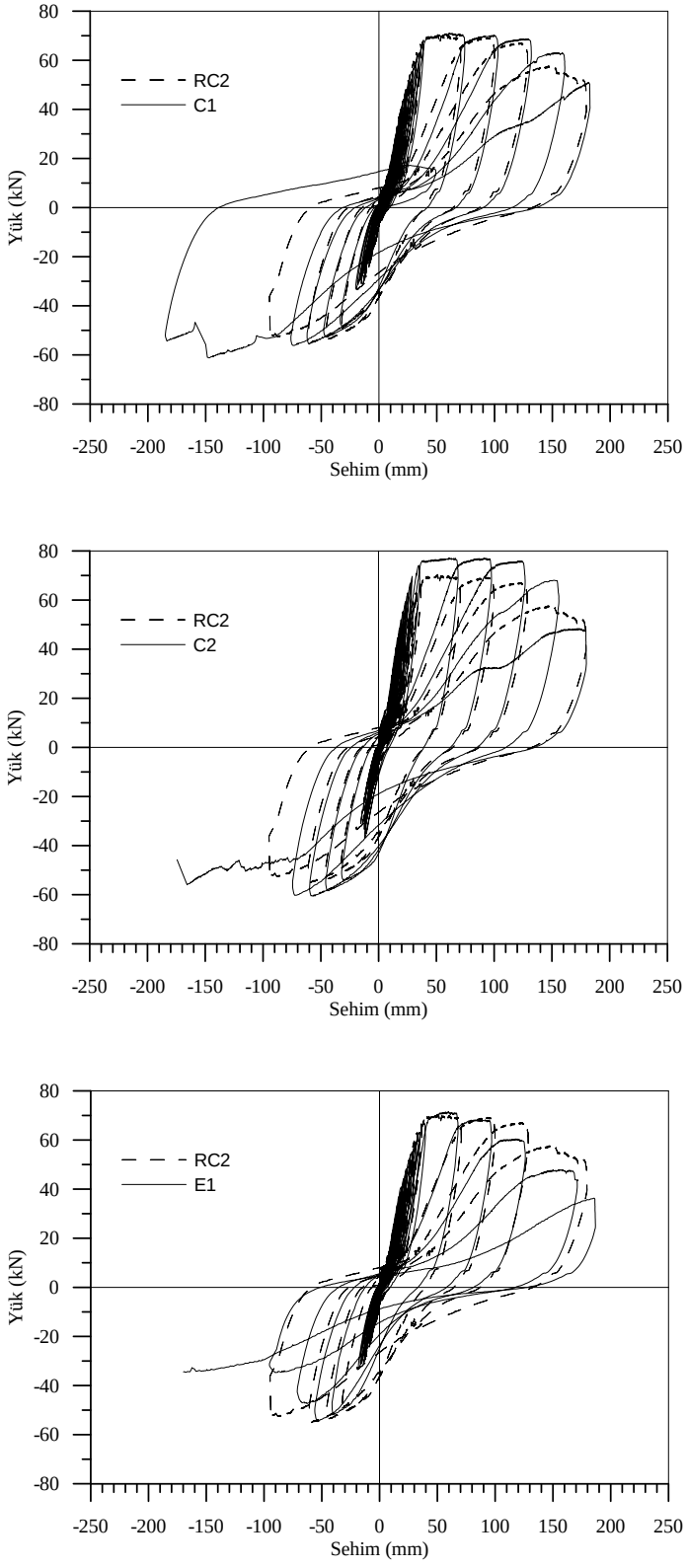
Şekil 3. Yük ve ölçüm sistemi

3. DENEYLER

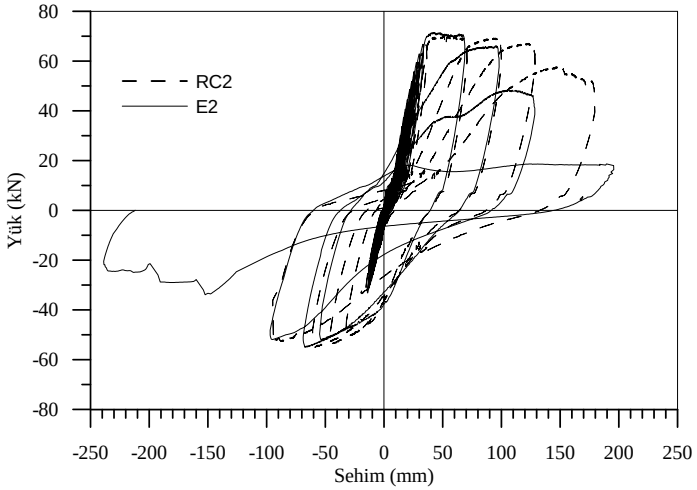
E1, E2, C1, C2, F1 ve G2 elemanlarındaki güçlendirme tekniği çok benzer olup bu elemanlarda oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu elemanların tamamında, oldukça çok donatı olmasına rağmen, kiriş taşıma gücüne ulaşılabilmiş, tam bir referans kiriş davranışı elde edilmiş ve hasarlar hedeflenen bölgede yani kirişlerde oluşmuştur. Sistemin taşıma gücünü kirişler belirlemiştir. Ayrıca, bu elemanlardaki güçlendirme tekniğinin de oldukça kolay uygulanabilir olduğu belirlenmiştir. Önerilen C ve E tipi güçlendirme yöntemlerinin oldukça başarılı olduğu ve E1 dışındaki elemanlarda son ana kadar birleşimlerde önemsenebilecek bir hasar oluşmadığı belirlenmiştir. E1 elemanında ise kiriş taşıma gücüne ulaştıktan hemen sonra, ilerleyen deformasyonlara da bağlı olarak, birleşim bölgesini sargılayan bulonların somunlarında sıyrılmalar oluşmuş ve bu noktadan sonra birleşimde de önemli ölçüde hasar meydana gelmiştir. Bunun üzerine diğer elemanlarda üst üste iki somun sıkılarak oluşan soruna çözüm getirilmiştir ve E2-C1 elemanları her yönü ile oldukça başarılı bir davranış sergilemiştir. Öngörülen güçlendirme tekniklerinin yapım ve uygulamasının basit aynı zamanda başarılı davranış göstermesi işin en sevindirici yanlarından biri olmuştur. Deney elemanlarının referans elemanla karşılaştırmalı yük sehim grafikleri Şekil-4 ve Şekil-5'te verilmiştir.

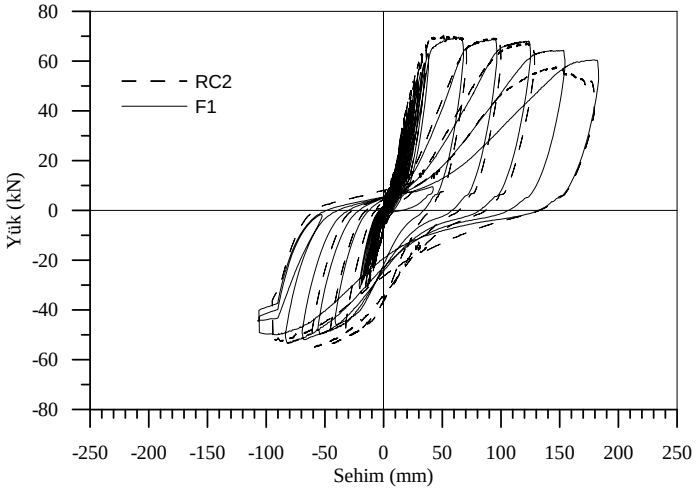
4. SONUÇLAR

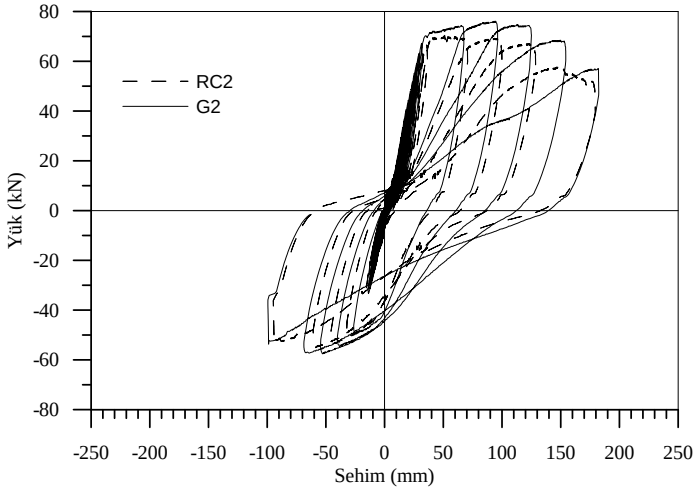
Kenar kolon-kiriş birleşimlerinin güçlendirilmesi için bir dizi deney yapılmış ve yazarlar tarafından öngörülmüş birçok güçlendirme tekniğinin etkinliği araştırılmıştır. Çalışmanın sonunda burada önerilen güçlendirme yöntemlerinin oldukça basit, kolay uygulanabilir ve etkili olduğu ortaya koyulmuştur. Bu elemanlarda kolon-kiriş sisteminin kirişi oldukça güçlü olmasına rağmen, kolon ve birleşimde önemsenebilecek bir hasar olmaksızın, kiriş taşıma gücüne ulaşılabilmiştir. Bu tekniklerin sağladığı kolaylıklardan biri de ankraj deliklerinin ya hiç donatı olmayan ya da çok az donatı bulunan bölgelerde yapılmış olmasıdır. Bu elemanlarda tam bir referans kiriş davranışı elde edilmiş ve tüm elemanlarda hasarlar hedeflenen bölgede yani kirişlerde oluşmuştur. Önerilen güçlendirme yöntemlerinin davranışları arasında belirgin bir fark gözlenmemiştir. Bu nedenle birleşimlerin güçlendirilmesinde bu yöntemlerin herhangi birinin kullanılabileceği düşünülmektedir. Buna rağmen beton dayanımlarının çok düşük olduğu ve/veya birleşim bölgesi içinde boşluk şüphesi olan düğümlerde, birleşimi her üç eksende de sargılayabilen F-tipi güçlendirme yönteminin uygulanması önerilmektedir. Çalışmada güçlendirme işlerinde kullanılan bulon ve somunların standartlara uygun olmadığı durumlarda somun veya bulonlarda sıyrılmalar olabileceği ve bu durumun güçlendirme yöntemini etkisiz kılabileceği belirlenmiştir. Bu durumun yaşanmaması için tüm bulon uçlarında üst üste çift somun (kontra somun) kullanılması önerilmektedir. Gerçek yapılar üzerinde uygulanacak güçlendirme işlerinde kullanılacak bulonların akma ve sıyrılma dayanımları en az 600 MPa olmalıdır. Bu nedenle kullanılacak somun ve bulonlar en azından 8.8 kalitesinde olmalıdır. Gerçek yapıda güçlendirmede kullanılacak bulon çapı en az 16 mm (dış çap) olmalı ve çelik kalitesi yükseltilerek çap düşürme yoluna gidilmemelidir. Benzer olarak bulon çapını artırarak çelik kalitesini düşürme yoluna da gidilmemelidir. Gerçek yapıda (betonda veya güçlendirme elemanlarında herhangi bir ezilme veya çatlak oluşmaması için) bulon başına 40 kN eksenel yük oluşacak şekilde hesap yapılmalıdır. Araştırmada ele alınan model ölçeği ½ olduğundan gerçek yapıda kullanılacak malzeme ölçüleri çalışmada kullanılan ölçülerin 2 ile çarpımından bulunmalıdır. Malzeme kalitesi ise aynı olmalıdır. Uygulamada bulon sayısı ve aralıkları deprem şartnamesinde birleşim bölgeleri için tanımlanan koşullara göre belirlenmelidir (9). Ancak alın kirişi üzerine açılacak olan delik aralıklarının uygulama işlemlerini zorlaştıracak kadar yakın olması durumunda etriye oranları sağlanmak koşulu ile düğüm bölgesindeki bulon aralığının dolayısıyla alın kirişi üzerine açılacak delik aralığının 150 mm'ye kadar (kuşatılmış birleşimler için izin verilen değer) çıkartılabileceği deneyler sırasında gözlenmiştir. Ancak hiçbir durumda 16 mm'den küçük bulon çapı kullanılmamalı ve herbir yüzde en az 3 bulon kullanılmalıdır.



Şekil 4. C1-C2-E1-RC2 Elemanları yük sehim grafikleri







Şekil 5. E2-F1-G2-RC2 Elemanları yük sehim grafikleri

KAYNAKLAR

Montesinos, G. J. P., Peterfreund, S. W., Chao S. H, (2005). Highly Damage-Tolerant Beam-Column Joints Through Use of High–Performance Fiber-Reinforced Cement Composites", *ACI Structural Journal*, 102-S50: 487-495

Tsonos A.G. (1999). Lateral Load Response of Strengthened Reinforced Concrete Beam to Column Joints, *ACI Structural Journal,* 96-S6:46-56

Granata P. J., Parvin A. (2001). An experimental study on Kevlar strengthening of beam-column connections, *Composite Structures,* 53: 163-171.

Ghobarah, A., Said, A.(2002). Shear Strengthening of beam-column joints, *Engineering Structures,* 24: 881-888.

Parvin, A. Wu, S.(2008). Ply angle effect on fiber composite wrapped reinforced concrete beam–column connections under combined axial and cyclic loads, *Composite Structures,* 82: 532–538.

Mosallam, A. S., Chackrabarti, P. R.(1999). Concrete Connections, *Civil Engineering,* 69: 43-45.

Said, A.,Nehdi, M.(2008). Rehabilitation of RC frame joints using local steel bracing, *Structure and Infrastructure Engineering*, 4 (6): 431-447.

Bakırcı Er, Ş (2010). Betonarme Kenar Kolon- Kiriş Birleşimlerinin Güçlendirilmesi. Doktora Tezi, İnşaat Müh. Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007). *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi,* 2. Baskı, 47-54.