

BETONARME ZAYIF KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN DAVRANIŞI

Şule BAKIRCI ER¹, Sabahattin AYKAÇ², Hüsnü CAN³

¹Kırıkkale Üniv. Müh. Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü

²Gazi Üniv. Müh. Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü

³Gazi Üniv. Müh. Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü

sule_bakirci71@hotmail.com, sabaykac@gazi.edu.tr, husnucan@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 22.11.2013; Kabul/Accepted: 01.07.2014)

ÖZET

Bu çalışmada düğüm bölgesi etriyesiz, kolon etriyeleri eksik olan betonarme kolon-kiriş birleşimlerinin deprem yüklerini benzeştiren yükler altındaki davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada kenar kolon-kiriş birleşimleri ele alınmış tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Çalışma, bu çalışmanın devamı olan, yedi adet düğüm güçlendirme yöntemini içeren çalışmanın ön çalışması niteliğindedir. ½ ölçekli 1 tanesi referans, yedi tanesi düğüm bölgesi etriyesiz eleman olmak üzere toplam sekiz adet deney elemanı hazırlanmış ve test edilmiştir. Elemanlar hazırlanırken gerçek yapıdaki yapım kusurları aynen oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu yapım kusurları; düğüm bölgesinde eksik bırakılan etriyeler, düşük beton dayanımı ve zamanla dökülen kabuk betonunu kapsamaktadır. Zayıf düğüm elemanlarının davranışları referans elemanı ile karşılaştırılmış, yük-sehim grafikleri elde edilmiştir. Kolondaki sabit aksenal yük ve kolon üzerinde düğüme yakın bölgede, kolonda eksik bırakılan etriye aralıkları ana parametre olarak ele alınmıştır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda referans eleman eğilme taşıma gücüne kırıktan ulaşılmıştır. Zayıf elemanların tamamında ise kırış taşıma gücünden çok önce birleşim bölgesinde taşıma gücüne ulaşılmıştır. Birleşim bölgesinde hasar oluşumu tehlikelidir. Bazı zayıf elemanlarda taşıma gücünü hem kolonlardaki kesme hasarları, hem de düğümdeki ağır birleşim hasarları (düğüm bölgesindeki betonun tamamen ezilip dökülmesi gibi) birlikte belirlemiştir.

Anahtar kelimeler: Betonarme birleşim, Zayıf düğüm, Düğüm mekanizması

BEHAVIOUR OF REINFORCED CONCRETE WEAK COLUMN-BEAM CONNECTIONS

ABSTRACT

In this study the behavior of RC weak column-beam connections which have no joint stirrups and lack of column stirrups, are investigated experimentally under earthquake loads. Edge beam to column joints were tested under reversed cyclic loads. It is the prestudy of which has seven joint strengthening techniques. ½ scaled one reference and seven weak joint specimens with no stirrups were prepared and tested. The building defects in real structure exactly tried to create when producing the weak specimens. These building defects include lacking stirrups in joint region, low compressive strength of concrete and in progress of time pouring out of concrete cover. The weak specimens' behaviors compared with the reference specimen and load-deflection graphics taken. The main parameters are constant axial load and the distance of lacking stirrups at the joint region. As a result of the experimental study in reference specimen achieved to carrying capacity from the beam. Damages in joints are dangerous. In all weak specimens reached to carrying capacity from the joint before the beam. In some weak specimens columns' shear damages and joints' hard damages together determined the carrying capacity.

Key words: Reinforced concrete connection, Weak joint, Joint mechanism.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Betonarme yapıların imalatı sırasında sıklıkla yapılan hatalardan biri de kolon etriyelerinin birleşim bölgesi içinde devam ettirilmemesidir. Böyle bir durumda 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. Betonarme kolon-kiriş birleşimleri ile ilgili çalışmalar 2 grupta incelenmiştir. 1. Grupta düğümün mevcut davranışını inceleyen çalışmalar, 2. Grupta ise onarılmış-güçlendirilmiş düğümlerin davranışını inceleyen çalışmalar olarak toplanmıştır. Onarım ve güçlendirme çalışmaları da önce mevcut düğüm davranışını inceleyerek başlamış, sonrasında düğüm performansını artırmak için çeşitli iyileştirme ve güçlendirme yöntemleri geliştirilmiştir. Burada davranış ve onarım-güçlendirme çalışmalarına örnek olacak tipik çalışmalara yer verilmiştir. Davranışın incelendiği çalışmalardan B. Bayhan ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarda 4/9 ölçekli 2 katlı 2 açıklıklı kolon-kiriş birleşimleri zayıf olan düzlem çerçeve sarsma tablasında test edilmiş, kat ötelenmeleri deneysel ve analitik olarak hesaplanarak karşılaştırılmıştır [1-2]. Li Xue Jiang ve arkadaşları tarafından yapılan bir diğer çalışmada 8 adet zayıf 2 adet güçlü betonarme eleman tersinir-tekrarlanırlar yükler altında test edilmiştir [3]. Bu çalışmada araştırmacılar kiriş-kolon birleşimlerinin deprem davranışını belirlemede, tek doğrultulu döşemelerin kiriş üst donatısı oranını ve kolon-kiriş birleşimi içindeki etriye oranını, öncelikle incelemiştirler. Joehong Kim ve James M. LaFave tarafından yapılan çalışmada düğümün kesme kapasitesini belirlemede beton basınç dayanımının, kiriş donatısının, kiriş etriyesinin, düzlem geometrisinin, düzlem dışı geometri ve düğüm etriyesinin diğer parametrelerden daha önemli olduğu belirlenmiştir [4]. A. G. Tsonos'un yaptığı çalışmada 1/2 ölçekli dört kenar kolon-kiriş birleşiminin deprem performansı incelenmiştir [5]. Bütün elemanların üretiminde geçerli yapı yönetmeliklerindeki zayıf kiriş-güçlü kolon gibi sismik detaylara uyulmuştur. Birleşimlere çok sayıda inelastik çevrim uygulanmıştır. Deneyler sonucunda geçerli tasarım kurallarının bazen düğüm bölgelerinde aşırı hasara yol açabileceği gözlenmiştir. S. R. Uma ve A. Meher Prosad'ın çalışmalarında düğüm davranışıyla ilgili kabul edilmiş teoriler incelenmiştir [6]. G. Somma ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada düğümün mekanik ve geometrik özellikleri belirlenerek düğümün göçme mekanizmasını tespit etmek amacıyla bir metod

önerilmiştir [7]. Literatürdeki 40 tane deneysel çalışmaya bu metod uygulanmış ve deney sonuçları ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Higazy ve arkadaşları orta ve yüksek katlı kolonlarda bazen çekme olabileceğini vurgulayarak, 6 adet orta açıklıklı kolon kiriş birleşiminin deprem performansını artırmak için geliştirilmiş bir sarsma tablasında deneyler yapmışlardır. Kolonda çekme gözlemlendiğinde veya kolon basınç yükü önemli oranda düştüğünde, deformasyon yapabilirlikte bir artış ve kayma dayanımında kayıp olduğu gözlenmiştir [8].

Febres ve Wight'ın çalışmalarında Yarı statik yinelenir yüklemeye altındaki üç adet orta, geniş kolon-kiriş döşeme birleşimi test edilmiştir. Bu çalışmada orta geniş kiriş birleşimlerinin uygun şekilde tasarlandıklarında (kiriş genişliğinin kolon genişliğine oranına dikkat edilerek) deformasyon kapasitesi artmış ve yeterli dayanım elde edilmiştir [9]. Stehle ve arkadaşları 2 adet 1/2 ölçekli betonarme iç geniş şeritli kolon-kiriş birleşimi üzerinde yarı statik tekrarlı yanal yükler altında deneyler yapmışlardır. İlk eleman herhangi bir deprem şartnamesi kullanılmadan detaylandırılmış, ikinci elemanda ise istenmeyen burulma ve kesme çatlaklarının oluşmasını engelleyecek şekilde donatı çubuklarının sıyırılmasını da içeren özel bir detaylandırma şekli hazırlanmıştır. Bu özel detaylandırma kullanıldığında, mevcut şartnamelerde deprem riskinin yüksek olduğu bölgelerde kiriş genişliğini sınırlandıran kısıtlamaların kaldırılabilmesi belirtilmiştir [10]. Onarım ve Güçlendirme Çalışmalarından Ghobarah ve Said yaptıkları çalışmada çok sayıda betonarme kolon-kiriş birleşimi üretilmiş, düğümler, deprem öncesi imalat standartları kullanılarak sünük olmayacak şekilde detaylandırma özelliklerini benzeştirecek şekilde tasarlanmıştır. Referans elemanları kiriş ucundan yinelenir yüklere maruz bırakıldıklarında düğümde kesme göçmesi oluşmuştur. Düğüm bölgesinin kesme dayanımını artırmak amacıyla kompozit lifler düğüm bölgesine değişik şekilde sarılmıştır. Denenen iyileştirme teknikleri, düğümün kesme dayanımını artırmada ve kesme göçmesi modunu geciktirmede başarılı olmuştur [11]. Gülkan çalışmasında onarılmış betonarme kolon-kiriş birleşimlerinin elastik olmayan sonuçlarını araştırmıştır. Onarım öncesinde ve sonrasında kolon-kiriş birleşimleri tersinir yükler altında incelenmiştir. 5 adet artı şeklinde eleman hazırlanmış ve tersinir yükler altında test edilmiştir. Mantolama tekniği uygulanmıştır. Onarım tekniği hasar görmüş betonarme kolonun dayanımını artırmada etkili olmuştur. Gülkan'ın deneylerinde mantolanmış kolonun bir döküm davranış gösterdiği belirlenmiştir [12]. Zaid, Shiohara ve Otani çalışmalarında 2 adet 1/2 ölçekli kolon-kiriş birleşiminden oluşan deney elemanları deprem etkilerine benzer tersinir tekrarlanan yük etkisi altında test edilmişlerdir. Her iki deney elemanı da düğümde kesmeden göçecek şekilde donatılandırılmıştır. Kullanılan yeni kompozit detay sayesinde kat kesme

kapasitesi artmış aynı zamanda düğüm deformasyonunu da azalmıştır. Ayrıca göçme modu düğümde kesmeden değil kirişte eğilme şeklinde gerçekleşmiştir [13]. Büyükkaragöz ve Arslan çalışmalarında zayıf kolon-güçlü kiriş birleşimlerinde kullanılan kesme çivili çelik plakaların etkisini deneysel ve analitik olarak incelemiştir. 5 adet eleman test edilmiştir. Kesme çivili çelik plakalar birleşim bölgesi boyunca kullanılmıştır. Deneysel elemanları yapı çerçevesinin dış düğümündeki elemanları temsil etmektedir. Ana parametreler kayma çivisi başlık genişliği ve çelik plaka üzerindeki aralıdır. Referans elemanı düğüm hasarından göçmüştür. Diğer dört eleman sünek davranış göstererek, kiriş eğilme taşıma gücüne ulaşması ile göçmüştür. Sonuçlar ANSYS Sonlu elemanlar programı ile karşılaştırılmıştır [14].

Bu yapılan çalışmaların birçoğunda düğümde dik yönde saplanan kiriş ve döşemeler düşünülmediği için gerçek durumu pek yansıtamadığı belirlenmiştir. Hayati derecede önemli ve tam olarak çözüme kavuşturulmamış olması nedeniyle konunun kapsamlı bir deneysel çalışma ile ele alınması kararlaştırılmış ve düğüm güçlendirme çalışmasının ilk aşaması olan davranış belirlemeye yönelik 1 adet referans elemanı olmak üzere toplam 8 adet deney elemanı ile deneyler yapılmıştır. Deneysel elemanları; davranış, göçme karakterleri ve dayanım açısından karşılaştırılmış ve gerekli yorumlar yapılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL WORK)

2.1. Deneysel Elemanları (Test Specimens)

Çalışmada 1 adet referans (karşılaştırma) elemanı, 7 adet zayıf düğüm, zayıf düğüm/düğüm+kolon elemanı olmak üzere 8 adet deney elemanı test edilmiştir. Tablo-1’de deney elemanlarına ait özellikler topluca sunulmuştur. Laboratuvar koşulları göz önünde bulundurularak deney elemanı ölçeğinin 1/2 olmasına karar verilmiştir. Çalışmada, zemin kat kolonunun üst ucundaki birleşim bölgesi, birleşime düzlem içinde ve dışında bağlanan kiriş ve döşemeler ile birlikte incelenmiştir. İncelenen birleşim yapının dış aksı üzerindedir. Düzlem içindeki kolon ve kirişler moment sıfır noktasına kadar ele alınmıştır. Birinci kat kolon ve kirişinde moment sıfır noktasının eleman ortasında olduğu varsayılmıştır. Zemin kat kolonunda ise olabildiğince büyük kesme kuvvetleri elde etmek için gerçek yapılar gibi moment sıfır noktasının kolon ortasından kirişe doğru kaydığı göz önüne alınmıştır. Zemin kat kolonunun moment sıfır noktası prototip olarak ele alınan Bingöl Çeltiksuyu Yatılı Bölge Okulu’nun yapısal analizinden bulunmuştur [15].

Referans elemanında tüm boyut ve donatılar TS500 ve Deprem Yönetmeliği’ne uygun olarak hazırlanmıştır [16-17]. Zayıf elemanlarda ise düğüm bölgesi etriyesiz yapılmış, alt ve üst kolonlarda eksik

etriyeler bırakılmıştır. Deneysel elemanlarının boyut ve donatı detayları Şekil 1 ve Şekil 2’de verilmiştir.

Tablo 1’de deney elemanı adındaki ilk harf eleman türünü göstermektedir. “R” referans elemanı, “W” zayıf elemanı göstermektedir. Eleman adındaki ikinci harf düğüm (J) veya kolon elemanı (C) temsil etmektedir. Deneysel elemanlarının bazılarında sabit eksenel yükleri temsil etmesi için 150 kN değerinde sabit bir eksenel yük uygulanmıştır. Proje dayanımının sağlandığı varsayımıyla 150 kN’luk eksenel yük yaklaşık % 18 lik eksenel yük oranına karşı gelmektedir ($N/Ac.fck=0.18$) [18]. Ancak birçok durumda ortalama beton dayanımı 7 MPa civarındadır. Dolayısıyla bu değer göz önüne alındığında aynı oran % 36’lık bir değere ulaşmaktadır ($N/Ac.f_{c\text{ mevcut}}=0.36$). Bu değer seçilirken daha kritik olacağı düşüncesiyle, dengeli kırılmayı sağlayan eksenel yük civarında olması göz önüne alınmıştır. Eleman adlandırmalarındaki 1 rakamı kolonda sabit eksenel yükün olmadığı, 2 rakamı ise sabit eksenel yükün olduğu elemanı göstermektedir.

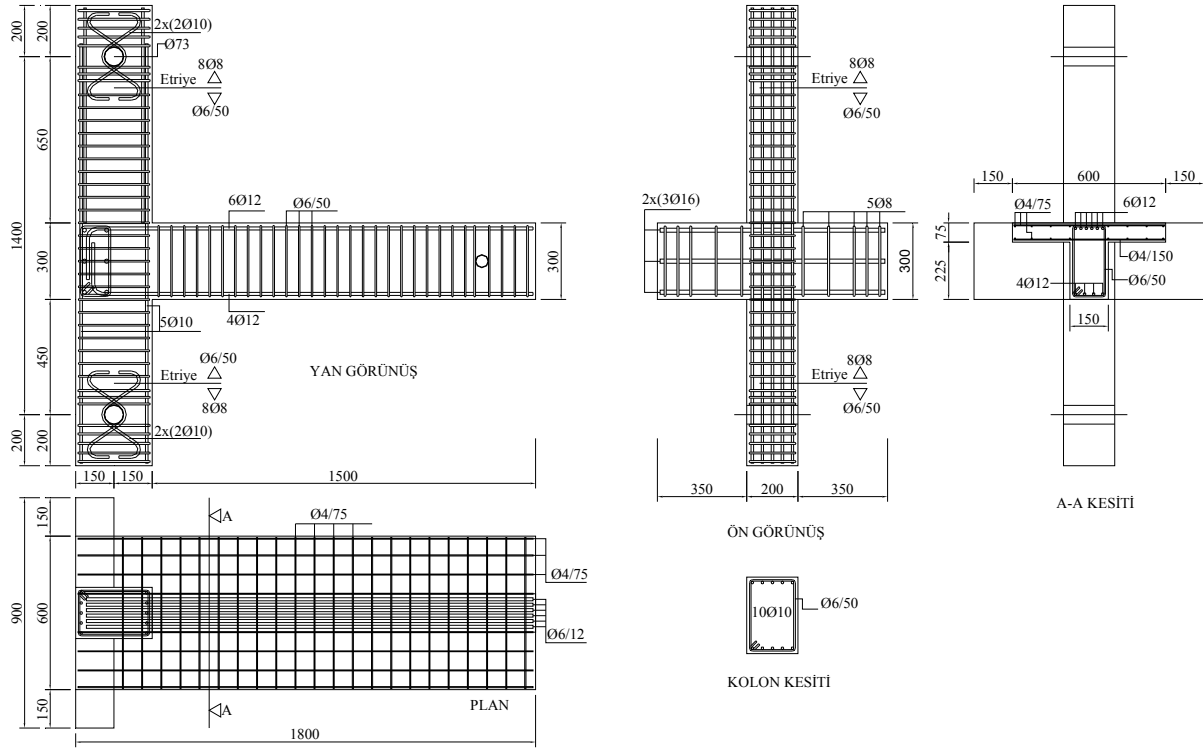
Tablo 1. Deneysel elemanlarının özellikleri (Properties of test specimens)

Eleman Adı	Eleman Türü	Kolon Etriyesi (Çap-Aralık, mm)	Düğümde Etriye (Çap-Aralık, mm)	Kolon Eksenel Yükü (kN)	Düğümde kolon dış kenar paspayı	Göçme Türü
RC2	Ref.	φ 6/50	φ 6/50	150	Var	Kirişte eğilme
WJ1	ZD	φ 6/50-100	Yok	0	Yok	Düğüm hasarı
WC1a	ZDK	φ 6/50-150	Yok	0	Yok	Düğüm hasarı ve kolon uçlarında kesme
WC1b	ZDK	φ 6/50-150	Yok	0	Yok	Düğüm hasarı ve kolon uçlarında kesme
WC1c	ZDK	φ 6/50-250	Yok	0	Var	Düğüm hasarı ve kolon uçlarında kesme
WC1d	ZDK	φ 6/50-250	Yok	0	Yok	Düğüm hasarı ve kolon uçlarında kesme
WJ2	ZD	φ 6/50-100	Yok	150	Yok	Düğüm hasarı
WC2d	ZDK	φ 6/50-250	Yok	150	Yok	Düğüm hasarı ve kolon uçlarında kesme

Not: Kolon uçları ile belirtilen, üst kolon alt ucu ve alt kolon üst ucudur.

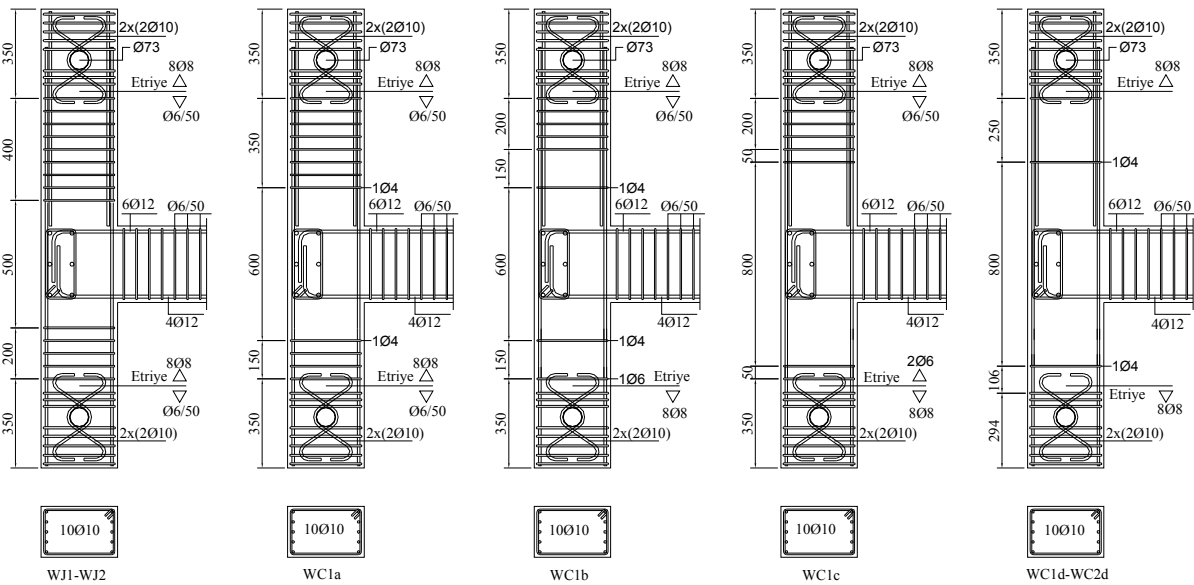
Deney elemanının kolonlarında boyuna doğrultuda her bir yüzde 5 adet 10 mm çapında nervürlü donatı olmak üzere toplam 10 adet 10 mm çaplı donatı yerleştirilmiştir (10 ϕ 10). Tüm kirişlere üst boyuna donatı olarak, 6 adet 12 mm çaplı nervürlü donatı yerleştirilmiştir (6 ϕ 12). Kirişlerin alt boyuna donatısı WJ1 elemanı hariç 4 adet 12 mm çaplı nervürlü donatıdan oluşmaktadır (4 ϕ 12). WJ1 elemanında ise

kiriş alt donatısı olarak nervürlü ve 3 adet 12 mm çaplı donatı kullanılmıştır (3 ϕ 12). Kiriş etriyesi tüm elemanlarda 6 mm çaplı, 50 mm aralıklı etriyelerdir (ϕ 6/50). Döşeme donatıları tüm elemanlarda ızgara şeklinde alt ve üst ızgara olarak 4 mm çaplı donatıdan hazırlanmıştır. Döşeme üst donatısı 4 mm çaplı, 110 mm aralıklı (ϕ 4/110), alt donatısı ise 4 mm çaplı ve 220 mm aralıklıdır (ϕ 4/220).



Not: Ölçüler mm'dir.

Şekil 1. Referans Elemanı Donatı Detayları ve Boyutları (Reference Specimen's Reinforcement Details and Dimensions)



Not: Ölçüler mm'dir. ϕ 4 lük etriye kancaları 90° dir. Tüm elemanların (WC1c hariç) birleşim bölgesindeki ilk kolon etriyesine kadar kolon beton örtüsünün kendiliğinden kabarıp dökülmüş olduğu varsayılmıştır.

Şekil 2. Zayıf Elemanların Donatı Detayları (Weak Specimens' Reinforcement Details)

2.2. Malzeme Özellikleri ve Dayanımları (Material Properties and Strengths)

Deney elemanlarının beton dökümü sırasında her deney elemanından 150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğinde standart silindirik numuneler alınmış ve bu numuneler deney elemanının bulunduğu kür ortamında bulunmuşlardır. Deney elemanlarının beton dayanımları referans elemanında 22 MPa, diğer elemanlarda 6-18 MPa arasında değişim göstermiştir. Tüm elemanlarda 8 mm'den küçük çaplı donatılar düz yüzeyli, diğer donatılar nervürlü donatılardır.

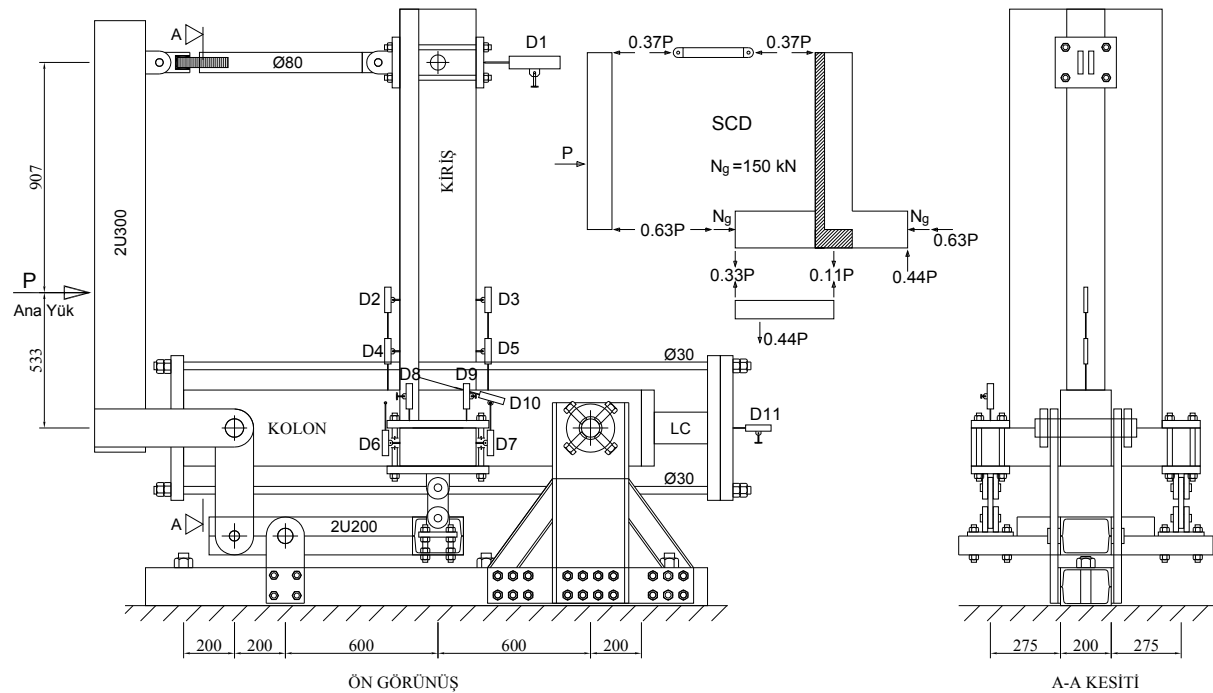
Düz yüzeyli donatıların akma dayanımlarının 250 MPa, nervürlü donatıların akma dayanımları ise 420 MPa olduğu belirlenmiştir.

2.3. Deney Düzeni (Test Setup)

Deneyler Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünün Yapı Mekaniği Laboratuvarında güçlü deney döşemesi üzerinde yapılmıştır. Deney döşemesi rijit bir döşeme ve güçlü bir duvardan oluşmaktadır. Yükleme ve ölçümler açısından kolaylıklar sağlaması amacıyla deney elemanları gerçek yapıdakine göre 90° döndürülerek deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Deney elemanlarından bir gruba düşey yüklerden kaynaklanan sabit yükleri temsil etmek amacıyla kolona ilave aksel yük uygulanmıştır. Deney elemanına yükleme yapabilmek için bir ucu rijit duvara, diğer ucu ise yük hücreğine bağlı (LC) çift etkili hidrolik kriko kullanılmıştır. Yük okumaları kriko ile kiriş arasına yerleştirilen ve hem çekmeye hem basınca çalışan bir yük hücresi ile yapılmıştır. Krikonun rijit duvara bağlı ucu ile yük hücresinin

deney elemanına bağlı ucu mafsallıdır. Bu şekilde yük eksenine dik yönde kuvvet oluşması önlenmiştir. Yük ve ölçüm düzeni Şekil 3'te ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Deney elemanları üzerinde farklı doğrultulardaki yer değiştirmeler (konsol uç deplasmanı, kayma deformasyonu, rijit ötelenmeler) için 11 adet elektronik deplasman ölçerler (LVDT) kullanılmıştır. Her LVDT'ye 'D' ve numara verilmiştir. Konsol uç deplasmanını ölçen LVDT; D1, rijit ötelenmeleri ölçen LVDT; D11 ve düğüm bölgesindeki dönmeyi belirlemek için kullanılan LVDT ler; D8, D9 deney elemanı dışına, rijit döşeme üzerine mesnetlenmiştir. Diğer LVDT'ler deney elemanı betonuna ankre edilmiş çubuklara bağlanmıştır. Deney elemanı, kiriş üzerinde iki ölçüm bölgesine ayrılmıştır. D1: kiriş uç deplasmanını, D2 ve D3: 2. bölge eğrilik hesabını, D4 ve D5: 1. bölge eğrilik hesabını, D6 ve D7: Alt ve üst kolon düşey yer değiştirmeleri, D8 ve D9: Rijit düğüm dönmelerini, D10: Kayma deformasyonu hesabını, D11: Rijit yatay ötelenmeyi ölçmek için kullanılmıştır.

Elemanlarda kolon ve kiriş uçlarında oluşan kesme kuvvetleri ve aksel yükler prototipten oransal olarak hesaplanmış ve tek noktadan sisteme uygulanan yükün yukarıda belirtilen tüm uç kuvvetlerini oransal olarak oluşturacak bir yükleme sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemde sadece kiriş ucundaki aksel yük kendi doğrultusunda düğüme kadar kaydırılmıştır. Sisteme çift etkili kriko (itme/çekme krikosu) ile genliği giderek artan, tersinir yinelenir yükler uygulanmıştır. Uygulanan yükün büyüklüğü yük hücresi ile ölçülmüş diğer iç kuvvetler ise izostatik olan sistemde denge denklemleri ile bulunmuştur.



Not: Ölçüler mm'dir.

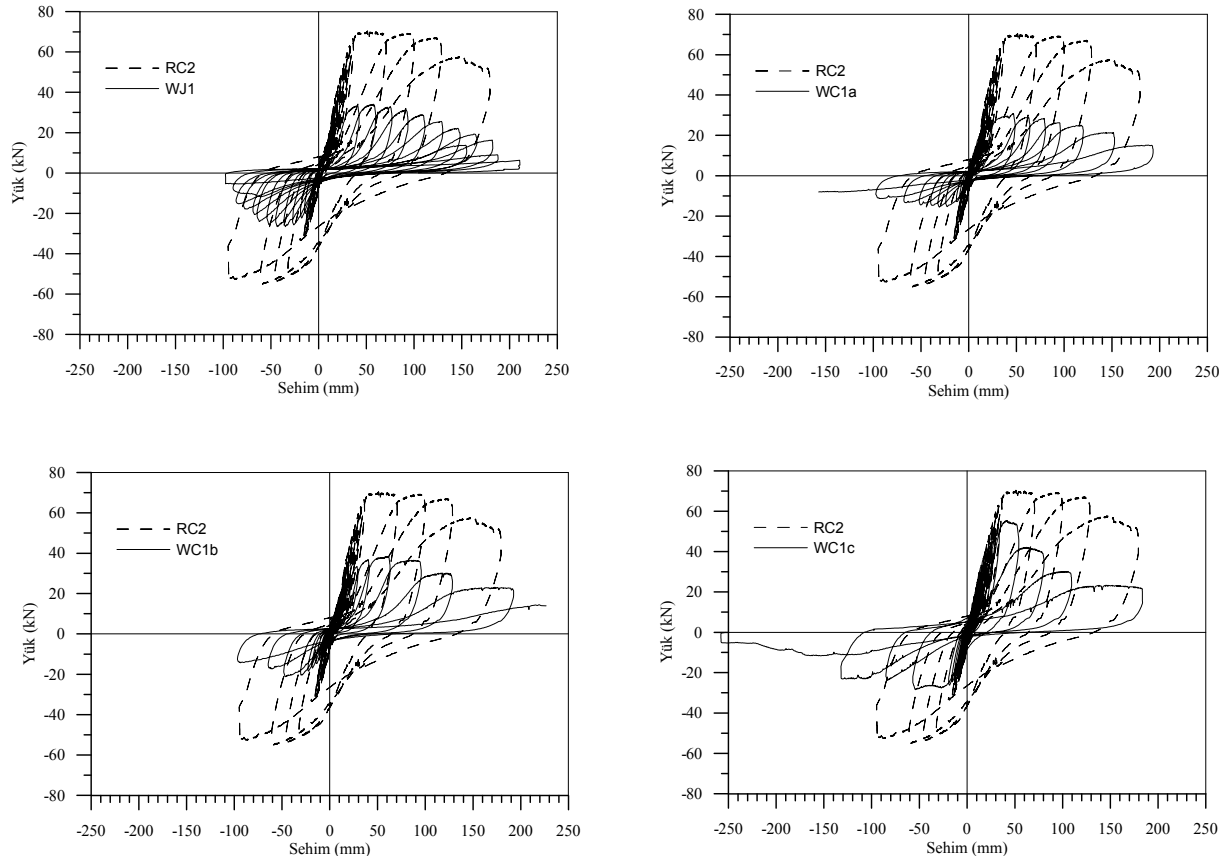
Şekil 3. Yükleme ve ölçüm sistemi (Loading and measurement system, $N_g=0$ veya $N_g=150$ kN)

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

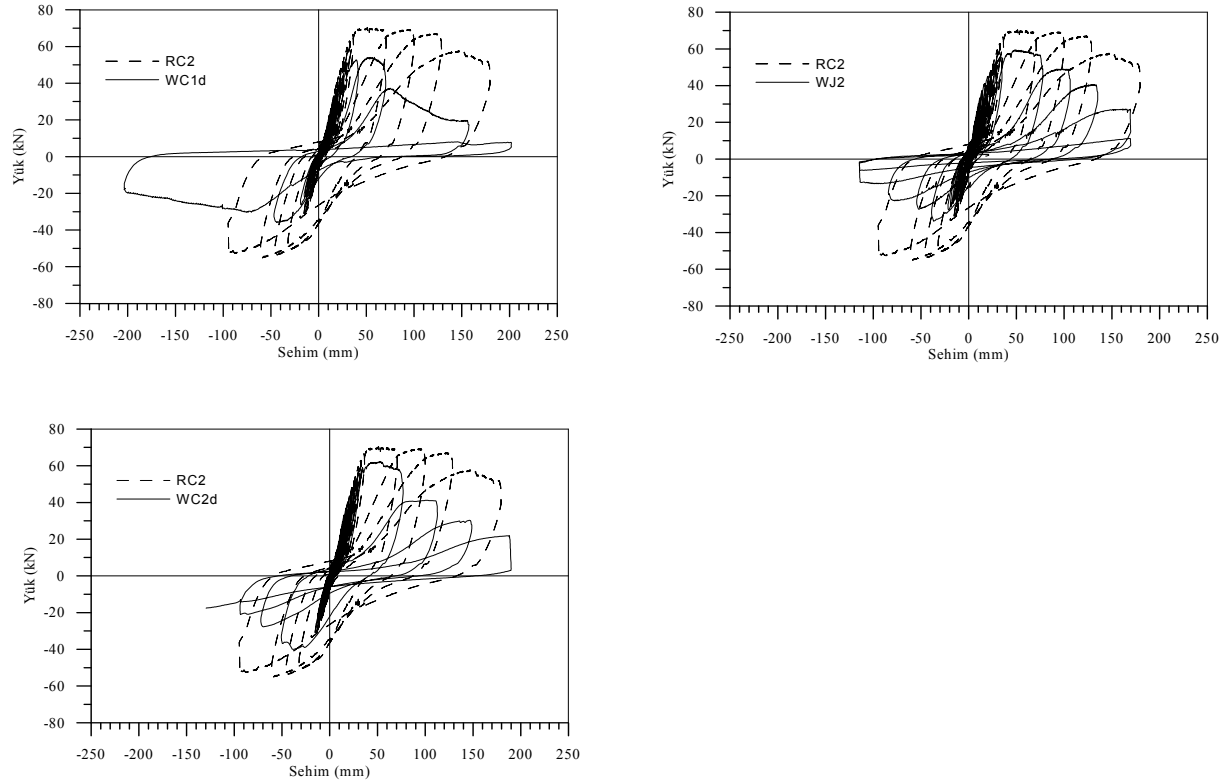
WC1a elemanında düğüm bölgesi etriyesizdir. Kolonlardaki ilk etriyeler düğüme 150 mm mesafededir. Elemanda hasar düğümün yanı sıra büyük ölçüde alt ve üst kolon uçlarında oluşmuştur. **WC1b** elemanında düğüm bölgesi etriyesizdir. Kolonlardaki ilk etriyeler düğüme 150 mm mesafededir. İkinci etriyeler 150 mm aralıkla yapılmıştır. Düğüm bölgesindeki kolon donatısında burkulma belirlenmiştir. Alt kolon etriyesi açılmış ve kolon kiriş altından çıkmıştır. Hasar düğüm ve kolon uçlarında gerçekleşmiştir. **WC1c** elemanında düğüm bölgesi etriyesizdir ve kolonlardaki ilk etriyeler düğüme 250 mm uzaklıktadır. Bu elemanda kolon dış yüzünde zamanla dökülen paspayı oluşturulmamıştır. Deneyin ilerleyen aşamalarında kiriş donatısı kolondan sıyrılmıştır. Hasarlı bölge; düğüm ve kolon uçlarıdır. **WC1d** donatı ve etriyeleri WC1c'ye benzerdir. Farklı olarak kolonlardaki ikinci etriyeler 250 mm aralıkla yapılmıştır. Bu elemanda da hasar düğüm bölgesi ve kolon uçlarında oluşmuştur. **WC2d** elemanı donatı ve etriye detayı WC1d ile aynıdır. Farklı olarak WC2d elemanında kolonda sabit eksenel yük mevcuttur. WC2d elemanı da kolon ve düğümden kapasitesine ulaşmıştır. Hasarlar düğüm ve kolon uçlarında gerçekleşmiştir. WJ1 elemanında düğüm bölgesi etriyesizdir ve düğümden sonraki ilk etriyeler düğüme 100 mm mesafededir. WJ2 elemanı da WJ1

elamanıyla aynı donatı ve etriyelere sahiptir. Farklı olarak WJ2 elemanında kolonda sabit düşey yük mevcuttur. Her iki elemanda da taşıma gücüne düğüm hasarı ile ulaşılmıştır. Deney elemanları düğüm bölgesi etriyesiz ve kolon etriyeleri eksik birleşim elemanlarının davranışını belirlemek amacıyla hazırlanmış ve test edilmişlerdir. Kolon etriyeleri adlandırmadaki yazılı sırasına göre (a-b-c-d) gittikçe seyreltilmiştir. Bilindiği gibi birleşim bölgesi etriyesiz yapılan kolonların birçoğunun pas payı, eksenel sünme deformasyonlarının etkisi ile zamanla dökülmekte ve dış kenar boyunca yerleştirilen kolon boyuna donatılarının aderansı yok olmaktadır. Birçok durumda aynı etkilerden dolayı kolonun dış kenarına yerleştirilen donatılar burkulmaktadır. Uygulamadaki bu durumu benzeştirmek için WC1c dışındaki elemanların hiç birinde bu pas payı oluşturulmamıştır. Bu amaçla kolon dış yüzünün, birleşimi de içine alan, bir bölümüne beton dökümü sırasında strafor yerleştirilmiştir. Ancak WC1c elemanında aynı bölgeye strafor yerleştirilmesi unutulmuştur.

Genel olarak tüm zayıf elemanların dayanımlarının ileri ve geri çevrimlerde referans eleman dayanımının altında kaldıkları gözlenmiştir (Şekil 4-5). Referans eleman taşıma gücüne oranları %40 (WC1a) ile % 90 (WC2d) arasında değişim göstermiştir. İlk bakışta kolonları en seyrek etriyeye sahip elemanlardan biri olan WC2d elemanında, zayıf elemanlara göre en büyük dayanıma ulaşılması çelişki gibi



Şekil 4. WJ1-WC1a-WC1b-WC1c-RC2 elemanları yük sehim grafikleri (WJ1-WC1a-WC1b-WC1c-RC2 specimens' load-deflection graphics)



Şekil 5. WC1d-WJ2-WC2d-RC2 Elemanları Yük Sehim grafikleri (WC1d-WJ2-WC2d-RC2 specimens' load-deflection graphics)

gözükmektedir. Ancak bilindiği gibi kesme dayanımını etkileyen parametrelerden biri de betonun çekme dayanımıdır. Bu elemanın beton dayanımı diğer zayıf elemanlara göre, göreceli olarak büyük olduğu için dayanımda böyle bir artış gözlenmiştir. Zaten beton kesme dayanımına ulaşıldıktan hemen sonra dayanımda hızlı kayıplar başlamıştır. Beton dayanımının aşırı düşük olması düğümün erkenden hasar görüp, birçok durumda boşalmasına ya da düğüme bağlı kolon etriyeleri yetersiz ise kolonun kesmeden de kırılmasına yol açabilmektedir. Dolayısıyla beton dayanımının düşük olması göçme mekanizmalarının daha erken oluşmasına yol açmaktadır. Değerlendirmelerde her eleman kendi beton dayanımına göre değerlendirilmiş, dayanım farklılıklarının elemanlar arasında oluşturduğu davranış farklılıklarına ayrı ayrı değinilmiştir.

Tablo 2. Elemanların ileri ve geri plastik çevrimlerdeki en büyük yüklerin aynı çevrimlerdeki referans eleman yüklerine oranları (The ratio of max. loads to reference specimen's load in forward and back cycles)

	C.No.	RC2	WC1a	WC1b	WC1c	WC1d	WJ	WC2d	WJ2
İleri çevrimler	1	1,00	0,42	0,52	0,79	0,75	0,48	0,88	0,85
	2	1,00	0,42	0,55	0,61	0,78	0,49	0,59	0,71
	3	1,00	0,42	0,54	0,45	0,56	0,49	0,45	0,61
	4	1,00	0,46	0,52	0,40	0,14	0,54	0,38	0,47
Geri çevrimler	1	1,00	0,30	0,33	0,56	0,43	0,39	0,78	0,66
	2	1,00	0,29	0,34	0,44	0,49	0,41	0,51	0,51
	3	1,00	0,27	0,37	0,42	0,65	0,47	0,38	0,41
	4	1,00	0,27	0,40	0,22	0,58	0,50	0,33	0,26

Tablo 2 incelendiğinde zayıf eleman dayanımlarının referans elemanına göre önemli ölçüde küçük olduğu görülmektedir. WC1a ve WC1b elemanlarında ileri ve geri çevrimlerde yaklaşık sabit dayanım oranları gözlenmiştir. Diğer elemanların bazılarında ise çevrim sayısına bağlı olarak dayanımda hızlı düşüşler oluşmuştur. Birleşimi etriyesiz, ancak kolonları diğer zayıf elemanlara göre göreceli olarak iyi olan WJ1 ve WJ2 elemanlarında eleman hasarlarının büyük bir kısmı birleşim bölgesinde oluşmuştur. Bu elemanların kolonlarında önemsenebilecek düzeyde bir hasar oluşmazken, birleşim bölgesindeki beton tamamen dökülerek boşalmıştır. Diğer elemanlarda ise birleşim bölgesi ve kolonda ağır kesme hasarları oluşmuştur. Bazı elemanlarda kolon hasarları belli bir düzeye ulaştıktan sonra kiriş alt boyuna donatıları, kolonun ezildiği kısımdan sıyrılmıştır. Daha sonra da sistem stabilitesini yitirmiştir. Gerçek bir yapıda böyle bir kolonun bina altında durması neredeyse imkansızdır. Genel olarak zayıf düğümlü ve/veya eksik etriyeli elemanların tamamında kolonlar kiriş yüzeylerinden ayrılarak önemli ölçüde çıkma eğilimi göstermişlerdir. Ancak bu elemanların hiç birinde tam bir ayrılma oluşmamıştır. Bu duruma yükün yarı dinamik olmasının yanı sıra kolon iç boyuna donatılarındaki kaldırıcı etkilerinin neden olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada kolon boyuna donatılarının bindirmeli ekleri herhangi bir aderans sorunu yaşanmaması için standartlara uygun olarak yapılmıştır. Buna bağlı olarak bu bölgedeki kaldırıcı etkisi azımsanmayacak kadar artmış ve bu da kolonun kiriş yüzeylerinden ayrılmasını engellemede önemli

bir etken olmuştur. Zayıf elemanlar içinde etriyesi WC1a ve WC1b ye göre daha seyrek olmasına rağmen WC1c ve WC1d elemanlarının dayanımlarının daha fazla olduğu görülmektedir. Ancak bu durum doğrudan bu elemanların beton kalitesi ile ilgili olup genellenmemelidir. WC1c 'de görülen dayanım artışının diğer bir sebebinin ise diğerlerinden farklı olarak bu elemanın dış yüzünde oluşturulan pas payının etkisi olduğu düşünülmektedir. Ayrıca eksenel yükün eleman davranışı üzerinde önemli etkileri olduğu görülmüştür. Eksenel yüklü WJ2 ve WC2d elemanlarında, basınç gerilmelerinin etkisi ile betonun kesme dayanımı önemli ölçüde artmış ve bu elemanlar, eksenel yüksüzlere göre daha büyük dayanımlara ulaşabilmiştir. Buna rağmen zayıf elemanların hiç biri referans eleman dayanımlarına ulaşamamıştır. Zayıf elemanların tamamının dayanım ve süneklik kapasiteleri referans elemanınkinin altında kalmıştır. Genel olarak davranışı belirginleştirmeye yönelik zayıf deney elemanlarında taşıma gücü değerleri geniş bir bölgede dağılım göstermiştir. Bu elemanların tamamında kiriş taşıma gücünden çok önce, birleşim taşıma gücüne ulaşmıştır. Bazı elemanlarda dayanımda %60'lara varan kayıplar gözlenmiştir. Bazı elemanlardaki taşıma gücünü ise, hem kolonlardaki kesme hasarları, hem de düğümdeki ağır birleşim hasarları birlikte belirlemiştir. Bu elemanlarda davranışın ve taşıma gücünün beton çekme dayanımı ile eksenel yük düzeyine büyük ölçüde bağlı olduğu gözlenmiştir. Tablo 4'te çevrimlerdeki en büyük yük ve ona karşı gelen deplasman değerleri verilmiştir.

Tablo 3. Tüketilen kümülatif enerjiler (Cumulative Energies)

Eleman Adı	İleri yöndeki çevrim sayısı	Tüketilen Kümülatif Enerji Değerleri (kJ)	Referans eleman enerji tüketme kapasitesine oranları
RC2	23	32,5	1
WJ1	20	17,5	0,54
WC1a	14	11	0,34
WC1b	15	12	0,37
WC1c	18	16,5	0,51
WC1d	16	14,5	0,45
WC2d	19	18	0,55
WJ2	25	20	0,62

Deney Elemanlarının Enerji Tüketme Kapasitesi

Deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri, elemanlara ait yük deplasman eğrilerinin alanlarından hesaplanmıştır. Her çevrimde tüketilen enerji miktarı, bir önceki çevrimde tüketilen enerji ile toplanarak tüketilen kümülatif enerjiler bulunmuştur. Tablo 3'te tüketilen kümülatif enerjiler verilmiştir. Genel olarak zayıf elemanların enerji tüketme kapasiteleri referansa

göre çok daha düşük düzeylerde kalmıştır. Bu elemanların referansa göre enerji tüketme oranları %35 ile %60 arasında değişmiştir.

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER (ASSESSMENT OF CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada, zayıf düğümlerin deprem yükleri altında davranışını belirlemeye yönelik sistematik bir çalışma yapılmıştır. Zayıf olan düğümlerde deprem sırasında oluşabilecek hasarları bir de deneysel olarak gözlemlemek ve deprem sırasında elemanda oluşacak tüm kuvvetleri oluşturan bir deney sistemi geliştirmek hedeflenmiştir. Çalışmada eksenel yük düzeyi ve kolonda düğüme yakın etriye aralığı parametre olarak ele alınmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir. Varılan sonuçların deneysel çalışmanın kapsamı ile sınırlı olduğu unutulmamalıdır.

1. Birleşimi etriyesiz, ancak kolonları diğer zayıf elemanlara göre etriye sayısı ve aralığı açısından göreceli olarak iyi olan elemanlarda eleman hasarlarının büyük bir kısmı birleşim bölgesinde oluşmuştur. Bu elemanların kolonlarında önemsenebilecek düzeyde bir hasar oluşmazken, birleşim bölgesindeki beton tamamen dökülerek boşalmıştır. Diğer elemanlarda ise birleşim bölgesi ve kolonda ağır kesme hasarları oluşmuştur. Bazı elemanlarda kolon hasarları belli bir düzeye ulaştıktan sonra kiriş alt boyuna donatıları, kolonun ezildiği kısımdan sıyrılmıştır. Daha sonra da sistem stabilitesini yitirmiştir. Gerçek bir yapıda böyle bir kolonun bina altında durması neredeyse imkânsızdır.

2. Genel olarak zayıf düğümlü ve/veya eksik etriyeli elemanların tamamında kolonlar kiriş yüzeylerinden ayrılarak önemli ölçüde çıkma eğilimi göstermişlerdir. Ancak bu elemanların hiç birinde tam bir ayrılma oluşmamıştır. Bu duruma yükün yarı statik olmasının yanı sıra kolon iç boyuna donatılarındaki kaldıraç etkilerinin neden olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada kolon boyuna donatılarının bindirmeli ekleri herhangi bir aderans sorunu yaşanmaması için deprem şartnamesinde belirtilen temel kenetlenme boyu olan 1b kadar yapılmıştır.

$(l_b = 1,5[0,12(f_{yd}/f_{cd})\phi] \approx 1,5[0,12(3650/9)\phi] \approx 70\phi = 70 \text{ cm})$ Buna bağlı olarak bu bölgedeki kaldıraç etkisi azımsanmayacak kadar artmış ve bu da kolonun kiriş yüzeylerinden ayrılmasını engellemede önemli bir etken olmuştur. Oysa denetimsiz ya da yeterince denetlenmemiş eski yapıların çoğunda bindirme bölgelerinin standartlara uygunluk açısından çok yetersiz kaldığı bilinen bir gerçektir. Dolayısıyla bu gibi yapılarda kolonların kiriş altlarından sıyrılıp çıkmasının ve bir göçme yaşanmasının kaçınılmaz olduğu bilinmelidir.

Tablo 4. Yük Şehim Tablosu (Load Deflection Table)

Çevrim sayısı	Eleman Adı		WJ1	Şehim (mm)	WJ1a	Şehim (mm)	WJ1b	Yük(kN)	WJ1c	Şehim (mm)	WJ1d	Şehim (mm)	WJ2	Yük(kN)	Şehim (mm)	WJ2d	Yük(kN)	Şehim (mm)
	Yük(kN)	Şehim (mm)																
0,5	9,365	0,613			10,54	1,013	9,612	10,23	0,666	1,481	9,841	0,666	10,52	4,102		10		2,671
1	-6,032	-0,761			-5,001	-0,101	-5,174	-5,346	-0,256	-5,873	-5,873	-0,256	-5,565	-1,12		-5,556		-0,103
1,5	19,31	1,588			19,38	2,432	19,84	20,51	2,254	19,83	2,758	2,254	19,31	5,715		20,17		3,75
2	-10,16	-1,168			-9,83	-0,811	-10	-10,18	-0,717	-9,524	-9,524	-0,717	-10	-1,68		-9,206		-0,514
2,5	29,83	5,177			29,91	3,647	29,23	4,002	3,227	30,17	5,209	3,227	30,34	3,422		30,52		3,904
3	-15,08	-1,218			-14,14	-1,773	-14,49	-2,837	-1,483	-2,973	-14,6	-1,839	-14,6	-1,46		-15,08		-1,079
3,5	40,67	9,075			39,32	5,268	39,49	5,522	4,068	39,31	6,435	4,068	39,83	16,8		39,66		6,935
4	-19,36	0,716			-19,31	-2,837	-19,14	-3,901	-20,18	-3,901	-19,68	-2,911	-5,565	-1,124		-20,48		-1,49
4,5	49,67	11,02			49,4	8,055	49,4	8,709	8,709	49,67	7,559	8,709	19,31	5,715		50,67		8,168
5	-24,44	1,229			-25,35	-4,559	-24,32	-5,015	-25,35	-5,015	-25,4	-3,882	-19,31	-1,68		-24,29		-1,901
5,5	59,5	12,25			60,5	10,99	59,32	9,169	60,34	9,99	60,88	8,887	30,34	3,422		60,35		9,247
6	-29,21	0,716			-30,18	-6,484	-29,66	-6,028	-30,18	-6,028	-30	-4,801	-14,6	-1,46		-29,84		-2,774
6,5	69,83	13,28			70,76	15,76	69,41	11,65	70,25	11,27	71,13	10,27	39,83	16,8		70		10,32
7	-35,24	-0,203			-34,84	-8,815	-35,01	-7,649	-34,84	-8,815	-34,92	-5,771	-20,32	-3,32		-34,76		-2,158
7,5	79,52	14,36			83,1	31,02	80,52	14,99	80,34	12,6	80	11,85	60,7	5,975		80		11,35
8	-39,37	-2,944			-41,39	-15,76	-39,66	-9,828	-40,7	-2,049	-40,16	-6,793	-36,03	-4,75		-39,52		-2,62
8,5	89,11	15,43			77,98	40,69	90,17	19,61	89,83	14,4	89,64	13,43	81,96	7,252		89,46		12,59
9	-44,44	-3,553			-41,91	-20,94	-45,7	-12,46	-45,53	-5,584	-44,6	-7,967	-40,95	-5,414		-45,4		-4,058
9,5	99,83	16,66			76,81	50,67	99,31	27,05	99,66	16,29	100,2	15,17	90,34	8,529		100		14,23
10	-49,84	-4,975			-39,66	-25,63	-49,84	-15,1	-51,05	-7,428	-49,84	-9,04	-45,24	-8,784		-49,52		-4,932
10,5	110,1	18,31			88,97	55,14	103,4	40,7	110,5	18,8	110,9	17,57	100,8	9,755		109,6		16,03
11	-54,92	-5,685			-38,97	-32,95	-55,18	-19,91	-55,53	-8,76	-55,71	-10,37	-50,63	-10,27		-54,44		-5,908
11,5	121,8	19,95			67,73	75,36	98,62	60,81	120,7	21,72	120,3	20,12	110,9	11,49		119,6		17,82
12	-60,16	-6,447			-36,04	-42,9	-57,25	-30,83	-60,7	-10,45	-59,68	-11,54	-55,24	-11,39		-59,37		-6,884
12,5	129,9	21,59			57,78	95,55	81,38	80,95	129,7	24,49	142,3	30,83	121,8	13,74		129,4		19,73
13	-66,19	-7,462			-30,52	-61,13	-46,91	-40,83	-66,39	-12,5	-70,95	-14,45	-60,32	-12,67		-65,24		-7,962
13,5	139,7	23,02			41,03	120,5	62,35	120,4	141,4	28,23	146,2	50,97	130,2	16,14		143		22,45
14	-71,43	-8,426			-21,73	-98,22	-38,63	-60,74	-70,7	-15,11	-96,83	-34,27	-65,08	-14,25		-69,68		-9,041
14,5	151,2	24,66			60	104,7	38,97	141,3	149,3	42,6	100,6	111,2	139,5	18,54		150,3		24,97
15	-76,35	-9,746			-41,56	-48,73	-76,74	-41,39	-76,74	-41,39	-82,06	-143,4	-69,84	-15,42		-74,6		-10,22
15,5	160,9	26,72			52,14	116,9		113,7	113,7	61	21,9	141,7	150,3	21,52		168,2		56,43
16	-79,84	-10,86			-36,22	-55,51		-64,32	-60,81				-74,92	-17,42		-108,1		-36,83
16,5	169,9	28,66			44,1	128,4		81,55	80,63				160,7	26,58		111		81,25
17	-84,76	-11,78			-30,87	-60,95		-62,43	-93,72				-91,27	-19,1		-74,76		-51,42
17,5	179,6	31,28			37,27	109,3		62,86	132,1				132,7	56,6		81,79		106,4
18	-89,84	-12,64			-23,8	-53,13		-31,39	178,4				-73,81	-31,47		-56,83		-66,35
18,5	190,1	53,33			24,44	132,1							109,6	76,34		59		134,6
19	-137,9	-25,81			-11,04	-68,4							-61,43	-41,93		-47,46		-91,11
19,5	186,9	75,74			17,05	148							73,55	96,33				
20	-145,2	-35,7											-36,35	-62,19				
20,5	181,2	95,8											30,52	120				
21	-148,7	-46,26											-16,51	-79,93				
21,5	155,8	130,5											6,984	120				
22	-142,5	-69,67																
22,5	32,07	20,2																
23	-0,317	-8,985																

3. Etriyeleri daha seyrek olmasına rağmen beton dayanımlarının daha fazla olduğu elemanların dayanımları daha yüksek olabilmektedir. Zayıf elemanlar içinde etriyesi WC1a ve WC1b ye göre daha seyrek olmasına rağmen WC1c ve WC1d elemanlarının dayanımlarının daha fazla olduğu görülmektedir. Ancak bu durum doğrudan bu elemanların beton kalitesi ile ilgili olup genellenmemelidir. WC1c 'de görülen dayanım artışının diğer bir sebebinin ise diğerlerinden farklı olarak bu elemanın dış yüzünde oluşturulan pas payının etkisi olduğu düşünülmektedir. Ayrıca eksenel yükün eleman davranışı üzerinde önemli etkileri olduğu görülmüştür. Eksenel yüklü WJ2 ve WC2d elemanlarında, basınç gerilmelerinin etkisi ile betonun kesme dayanımı önemli ölçüde artmış ve bu elemanlar, eksenel yüksüzlere göre daha büyük dayanımlara ulaşabilmiştir. Buna rağmen zayıf elemanların hiç biri referans eleman dayanımlarına ulaşamamıştır.

4. Genel olarak davranışı belirginleştirmeye yönelik zayıf düğüm elemanlarında taşıma gücü değerleri geniş bir bölgede dağılım göstermiştir. Bu elemanların tamamında kiriş taşıma gücünden çok önce, birleşim taşıma gücüne ulaşmıştır. Bazı elemanlarda dayanımda %60'lara varan kayıplar gözlenmiştir. Bazı elemanlardaki taşıma gücünü ise, hem kolonlardaki kesme hasarları, hem de düğümdeki ağır birleşim hasarları birlikte belirlemiştir. Bu elemanlarda davranışın ve taşıma gücünün beton çekme dayanımı ile eksenel yük düzeyine büyük ölçüde bağlı olduğu gözlenmiştir.

5. Deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri, elemanlara ait yük deplasman eğrilerinin alanlarından hesaplanmıştır. Her çevrimde tüketilen enerji miktarı, bir önceki çevrimde tüketilen enerji ile toplanarak tüketilen kümülatif enerjiler bulunmuştur. Genel olarak zayıf elemanların enerji tüketme kapasiteleri referansa göre çok daha düşük düzeylerde kalmıştır. Bu elemanların referansa göre enerji tüketme oranları %35 ile %60 arasında değişmiştir.

SEMBOLLER (SYMBOLS)

ϕ :Donatı çapı

LC :Load Cell

SCD :Serbest cisim diyagramı

D :Deplasman ölçer

LVDT:Elektronik deplasman ölçer

ZD :Zayıf Düğüm

ZDK :Zayıf Düğüm ve Kolon

Bilgi Notu: Bu çalışmanın yapılmasında TÜBİTAK 106M417 No'lu projeden yararlanılmıştır. Katkılarından dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Bayhan B., Moehle J.P., Yavari S., K.J. Elwood K.J., Lin S. H., Wu C. L., Hwang S. J. “**Concrete Frames with Weak Beam-Column Joints**”, 15WCEE, Lisboa, 2012.
2. Bayhan B., Moehle J.P., Yavari S., K.J. Elwood K.J., Lin S. H., Wu C. L., Hwang S. J. “**An Experimental and Analytical Study in Reinforced Concrete Frames with Weak Beam-Column Joints**”, 15WCEE, Lisboa, 2012.
3. Jiang L. X., Zheng S. J., Zhang W. P., Xiang L. G., “Cyclic Loading Behavior of Weak Reinforced Concrete Beam-Column Connections”, **Advances in Concrete and Structures**, 400 (402), 881-886, 2008.
4. Kim J., Lafave J. M., “**Joint Shear Behavior Prediction in RC Beam-Column Connections Subjected to Seismic Lateral Loading**”, 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, October 12-17, 2008.
5. Tsonos A. G., “Cyclic Load Behaviour of Reinforced Concrete Beam-Column subassemblages of Modern Structures”, **ACI Structural Journal**, Cilt 104-4, 468-478, 2007.
6. Uma S. R., Prosad A. M., “**Seismic Behaviour of Beam Column Joints in Reinforced Concrete Moment Resisting Frames**”, Document No.: IITK-GSDMA-EQ32-V1.0, Final Report: A - Earthquake Codes, IITK-GSDMA Project on Building Codes.
7. Somma G., Pieretto A., “**A New Approach to Evaluate Failure Behavior of Reinforced Concrete Beam-Column Connections Under Seismic Loads**”, 15WCEE, Lisboa, 2012.
8. Higazy, M., Elnashai, S., Agbabian, S. “Behaviour of beam-column connections under axial column tension”, **Journal of Structural Engineering**, 122 (5): 511, 1996.
9. Febres, C., Wight, J., “Experimental study of reinforced concrete interior wide beam-column connections subjected to lateral loading”, **Structural Journal**, 98 (4): 572-582, 2001.
10. Stehle, J., Goldsworthy H., Mendis P., “Reinforced concrete interior wide beam-column connections subjected to lateral earthquake loading”, **ACI Structural Journal**, 98 (3): 270-279, 2001.
11. Ghobarah, A., Said, A. “Seismic rehabilitation of beam-column joints using FRP laminates”, **Journal of Earthquake Engineering**, 5 (1): 113-129, 2001.
12. Gulkan, P., “**The inelastic response of repaired reinforced concrete beam-column connections**”, 6th World Conference on Earthquake Engineering, New Delhi, 10 – 14, 1977.
13. Zaaid S., Shiohara H., Otani S., “**Test of a joint reinforcing detail improving joint capacity of R/C interior beam-column joint**”, The 1st

- Japan Korea Seminer on Earthquake Engineering for Building Structures, Seoul National University, Seoul, Korea, Oct.30-31, 1999.
14. Büyükkaragöz A, Arslan A., “The Effect of Steel Plates with Shear Studs for Weak Column–Strong Beam Connections in the Reinforced Concrete Structures under Earthquake Effect”, *Strain*, 47, 393-411, 2011.
 15. Bakırcı Er, Ş., **Betonarme Kenar Kolon-Kiriş Birleşimlerinin Güçlendirilmesi**, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
 16. TS 500, “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları”, **Türk Standartlar Enstitüsü**, 22-24, 2000.
 17. “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007”, **TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi**, 2. Baskı, 47-54, 2007.
 18. Aykaç S., Bakırcı Er, Ş., “**Betonarme Kenar Kolon Kiriş Birleşimlerinin Güçlendirilmesi ve Yeni bir Deneysel Sistemi**”, Sakarya 1. Uluslararası Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 486-497, Ekim 2009.

