

Türkiye'de Kullanılan Önüretimli Bir Kolon-Kiriş Birleşiminin Deprem Davranışı

Birliğimiz bursiyerlerinden M. Zafer BAYSAL, bursuna ek olarak bazı üye kuruluşlarımız tarafından da aynı ve maddi destek sağlanan "Bir Prefabrik Dış Kolon-Kiriş Birleşiminin Deprem Etkisi Altındaki Davranışı" konulu yüksek lisans tezini, 1991 Eylül ayında başarıyla tamamlamış bulunmaktadır. Tez çalışmasına dayanarak, İnş. Y. Müh. M. Zafer BAYSAL ile tez hocaları Prof. Dr. Sn. Uğur ERSOY ve Prof. Dr. Sn. Tuğrul TANKUT'un işbirliği içinde hazırladıkları teknik makaleyi aşağıda sunuyoruz.

ÖZET :

İki adet büyük ölçekli dış kolon-kiriş birleşimi deney elemanı, benzeştirilmiş deprem yükü altında denenmiş ve elemanların davranışı incelenmiştir. Deney elemanlarından birinde, önüretimli olan kolon ve kiriş birbirine, yerinde dökülmüş beton bir birleşim bölgesi ile bağlanmıştır. Kirişin kolona bağlanması, birleşim donatısının yerleştirilip kaynaklanmasından sonra, birleşim bölgesindeki boşluğa, yerinde dökme beton yerleştirilmesi ile sağlanmıştır. İkinci deney elemanı ise, karşılaştırma amacıyla, aynı boyuta ve donatı detayına sahip monolitik bir eleman olarak düzenlenmiştir.

Bu çalışmada denenen önüretimli eleman, süneklik ve enerji tüketimi açısından oldukça başarılı bir davranış sergilemiş ve monolitik elemanın taşıma gücüne yaklaşmıştır. Ancak, monolitik elemanda bütün hasar kirişte mafsallaşma bölgesinde olurken, önüretimli elemanda birleşim bölgesinde büyük hasar meydana gelmiştir. Bu nedenle, önüretimli elemanın birleşim bölgesi davranışının iyileştirilmesi amacıyla donatı detayında bazı değişiklikler yapılması önerilmiştir.

ABSTRACT :

Behavior of two full-scale exterior beam-column joints were tested under simulated seismic loading. The first specimen was a precast one in which the column and the beam were connected by a wet joint. In connecting the beam to the column, joint reinforcement was welded to the beam reinforcement. Top of the beam and the joint were then filled by concrete-in-situ.

The second specimen was a monolithic one which served as a reference specimen, having identical dimensions and reinforcement as the precast one.

The precast specimen tested in this study exhibited quite a satisfactory behavior as regards ductility and energy dissipation, and reached almost the capacity of the monolithic reference specimen. However, while the monolithic specimen failed by hinging of the beam at the column face without any significant damage in the joint, the joint of the precast specimen suffered considerable damage.

To improve the joint performance of the precast specimen some modifications in the reinforcement detail were proposed.



Prof. Dr. UĞUR ERSOY (1932)

Tarsus Amerikan Koleji'nden sonra 1955'te Robert Koleji'den İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. Texas Üniversitesi'nden Yüksek Lisans ve Doktora aldı. 1959 Yılından bu yana ODTÜ'de hizmet etmektedir. Üç kez Rektör yardımcılığı, iki kez bölüm başkanlığı ve bir kez de Dekanlık yaptı. Zaman zaman Kanada ve ABD'de öğretim üyeliği yaptı.

ERSOY, 1969 Yılında Amerikan Beton Enstitüsü'nce yılın en iyi araştırmacısına verilen "Wason Medal" ödülünü, 1985 Yılında "Mustafa Parlar Vakfı Bilim Ödülü"nü kazandı. 1970'de Amerikan Mühendisler Birliği'nce yayımlanan "Engineers of Distinction" kitabında yer aldı. Ayrıca, Avrupa Beton Komitesi ve Amerikan Beton Enstitüsü'nün depremle ilgili ihtisas komisyonları'na üye seçildi.

İkisi İngilizce 7 kitabı, 35'i yurt dışında basılmış 93 adet bilimsel makalesi ve çoğunluğu hasar ve onarımla ilgili 50 inceleme raporu vardır.

Halen ODTÜ'deki öğretim üyeliğinin yanısıra, betonarme ve depremle ilgili deneysel araştırmalar ile uygulamada hasar görmüş yapılar ve onarımlar konularında çalışmaktadır.



Prof. Dr. TUĞRUL TANKUT (1940)

Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nden mühendis (1963) ve yüksek mühendis (1964), Londra Üniversitesi'nden

tesi'nden (Imperial College of Science and Technology, 1969) doktora dereceleri alan TANKUT, 1970 Yılından beri ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Ayrıca halen, TÜBİTAK İnşaat Teknolojileri Araştırma Grubu Sekreterliği görevini de yürütmektedir.

Çoğunluğu betonarme yapıların deprem davranışıyla ilgili çeşitli konulardaki deneysel araştırmalarına ilişkin çok sayıda uluslararası ve yurtiçi yayını bulunan TANKUT, şu sırada, betonarme yapıların onarımı ve güçlendirilmesi, yüksek dayanımlı beton elemanların yapısal davranışı ve prefabrik beton yapı birleşimlerinin deprem davranışı konularında deneysel araştırma çalışmalarına etkin biçimde katılmaktadır.



M. ZAFER BAYSAL (1967)

1967 Ankara'da doğdu. İlk orta ve lise eğitimini TED Ankara Koleji'nde tamamladı. 1988 Yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 1991 Yılında aynı üniversitede Yapı Mekaniği Anabilim Dalı'nda "Prefabrik Kolon-Kiriş Birleşimlerinin Deprem Yükleri Altında Davranışı" konusunda yüksek lisans eğitimi tamamladı. Ayrıca 1990 Yılında Bilkent Üniversitesi'nde İşletme Yüksek Lisansı (MBA) eğitimini tamamlayan BAYSAL Temmuz 90'da Interbank AŞ'ye girerek 4 ay süreyle temel bankacılık eğitimi aldı ve daha sonra Ocak 92'ye kadar aynı bankanın Ankara Şubesi'nde Kredi Pazarlama Birimi'nde Yönetmen Yardımcısı olarak çalıştı. BAYSAL halen Bilkent Holding AŞ - Planlama ve Koordinasyon Konseyi'nde çalışmaktadır.

1. GİRİŞ

Önüretimli yapıların deprem davranışı hakkında eldeki yetersiz bilgi nedeniyle şu andaki yapı yönetmelikleri, önüretimli yapıların monolitik betonarme yapılar için istenen koşulları sağlamasını öngörmektedir ki, bu gereksinim deprem bölgelerinde önüretimli yapıları cezalandırmak demektir. Ancak, kayda değer araştırmalar ve deprem sonrası kesin bilgi birikimi olmadan yönetmeliklerde değişiklik önerilmesi mümkün değildir. Bu nedenle, önüretimli yapılarda süneklik ve enerji tüketimi açısından en zayıf noktalar olduğu düşünülen birleşim (düğüm) bölgelerinin davranışını araştırarak, önüretimli yapı bilimine katkıda bulunmak amacıyla, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda deneysel bir araştırma programı planlanmıştır.

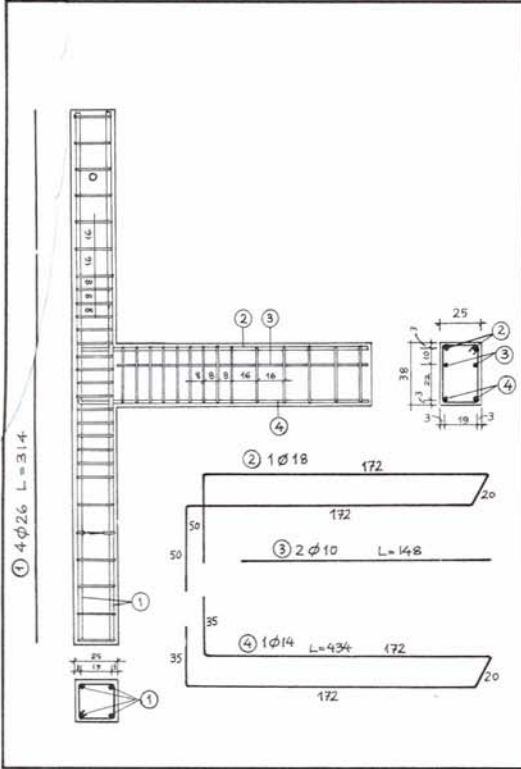
Bu deneysel program çerçevesinde, Türkiye'de

kullanılmakta olan önüretimli kolon-kiriş birleşim detaylarının benzeştirilmiş deprem yükleri altındaki davranışları araştırılacaktır. Bu bildiriye sunulan çalışma da, bu deneysel araştırma programının ilk aşamasıdır. Öncelikle deney elemanlarının, içine yerleştirilip tersinir-yinelenir yüklemeye tabi tutulacağı deney çerçevesi ve ölçüm düzeneği, tasarlanıp üretilmiştir. Sonra da, iki adet kolon-kiriş birleşimi deneyerek davranışları incelenmiştir.

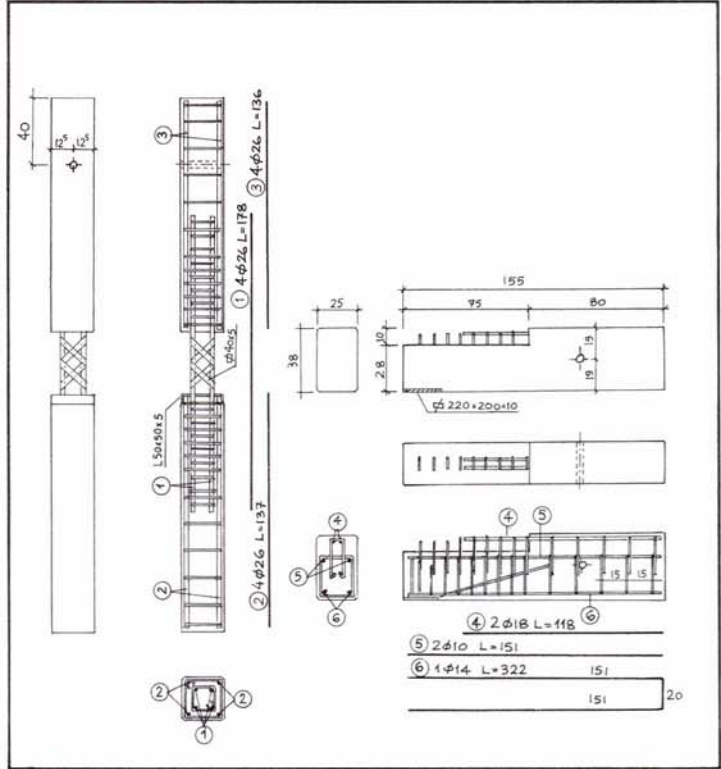
Birinci eleman, Set Betoya firması tarafından monolitik davranış beklenerek kullanılmakta olan önüretimli ve ıslak birleşimli bir kolon-kiriş numunesidir. İkinci eleman ise, karşılaştırma amacıyla denenen, aynı boyuta ve donatı detayına sahip monolitik bir elemandır. Deney elemanı boyutlarının, firma tarafından kullanılmakta olan boyutlara olabildiğince yakın olması amaçlanmış, ancak tasarımda deney



Deney Alanından Genel Görünüş.



Şekil 1 : Monolitik Numunenin Donatı Detayları



Şekil 2 : Öndökümlü Kolon ve Kiriş Alemanlarının Donatı Detayları

düzenine kapasitesi de göz önünde tutulmuştur.

Deney programının amacı, önüretimli elemanın davranışını, dayanım, süneklik ve enerji tüketimi açısından değerlendirip, monolitik eleman ile karşılaştırmaktır.

2. DENEY ELEMANLARI :

Deneyel programın başlangıcında, daha kritik olması nedeniyle dış kolon-kiriş birleşimleri ele alınmıştır. Her iki deney elemanı da aynı boyutlara sahiptir. 25x25 cm kesite sahip kolonların uzunluğu 3.20 m; 25x38 cm kesite sahip kirişlerin konsol açıklığı 1.5 m olarak seçilmiştir.

Deney elemanlarında, Set Betoya tarafından yaygın olarak kullanılan

30x30 cm kesitli kolon yerine, deney düzenine kapasitesi göz önüne alınarak, uygulamada daha az kullanılan 25x25 cm kesitli kolon seçilmiştir.

Yönetmelik gereği, mafsallaşmanın kirişte olmasını zorlamaya yönelik olan "güçlü kolon-zayıf kiriş" ilkesi, deney elemanlarının tasarımında temel alınmıştır. Bu nedenle, 25x25 cm kesitli kolonla uyum sağlaması için Set Betoya tarafından 30x30 cm kesitli kolonla birlikte kullanılan 25x50 cm kesitli kirişin boyutları da 25x38 cm'ye indirilmiştir. Tasarımda, ileride iç kolon-kiriş birleşimleri (2 kolon-2 kiriş) için de deney yapılacağı akıld tutularak, "güçlü kolon-zayıf kiriş" felsefesi,

sadece dış kolon-kiriş birleşimi (2 kolon-1 kiriş) için değil, aynı zamanda iç birleşimler için de sağlanmıştır.

Boyuna donatı olarak, bütün kolon ve kirişlerde nervürlü donatı kullanılmıştır. 8 mm çaplı etriyeler ise, sıklaştırma bölgelerinde 8 cm aralıkla, diğer bölgelerde de 16 cm aralıkla yerleştirilmiştir.

Şekil 1'de gösterilen monolitik elemanın donatısı, Şekil 2'de gösterilen önüretimli kolonda kullanılan kenetleme donatısı (iki kolonu bağlayan kafes) ve önüretimli kirişteki plaka için kullanılan ankraj çubukları dışında, önüretimli elemanın donatısı ile aynıdır.

Kolonlarda boyuna donatı olarak 4- ϕ 26; kirişlerde üst donatı olarak 2- ϕ 18, ara donatı olarak 2- ϕ 10 ve alt donatı olarak da 2- ϕ 14 kullanılmıştır. Donatı çubuklarının akma gerilmesini saptamak için yapılan kupon deneylerinde; ϕ 26 için 420 Mpa; ϕ 18 için 535 Mpa; ϕ 14 ve ϕ 10 için 470 Mpa ve ϕ 8 için de 290 Mpa akma dayanımı değerleri elde edilmiştir.

Önüretimli deney elemanlarını oluşturan kolon ve kiriş, yatay konumda ayrı ayrı dökülmüştür. Birleşim bölgesinde alt kat kolonunu, üst kat kolonuna bağlamak için, her iki kolona da 70'er cm boyuna giren ve 4- ϕ 26 çubuklardan oluşan bir kenetleme donatısı (bağlama kafesi) kullanılmıştır. Üst ve alt kat kolonları arasındaki boşlukta kalan kenetleme donatıları ise, taşıma sırasında oluşabilecek deformasyonları önlemek amacıyla, kafes sistemine benzeyen bir şekilde, 4 cm genişliğinde, 5 mm kalınlığında çapraz olarak kaynaklanmış lama demirleri ile birbirine bağlanmıştır.

Alt kat kolonunun 4- ϕ 26 ana donatı çubukları, üst uçlarından alt kat kolonunun tepesine ankrajlanmış olan ve kolonun kenarlarını çepeçevre saran L 50x50x5 kolon köşebent şapkasına kaynaklanmıştır.

Şekil 3'te gösterildiği gibi; önüretimli kirişin, alt

kat kolonunun üst kenarına 5 cm oturacak şekilde yerleştirilmesinden sonra, kiriş plakası, kolon köşebent şapkasına kaynaklanmıştır. Daha sonra L şeklindeki (2- ϕ 18) bağlantı donatısı, bir ucundan kolon köşebent şapkasına, diğer ucundan da öndökümlü kirişin üst donatısına 30 cm boyunca kaynaklanmıştır. Böylece çekme donatısının sürekliliği

sağlandıktan sonra, birleşim bölgesindeki boşluk, yerinde dökme beton ile doldurulmuştur.

Deney elemanlarında C30 hazır beton kullanılmıştır. Önüretimli deney elemanının birleşim boşluğunda ise, şantiye koşullarında yerinde dökülen betonun kalitesini yansıtmak amacıyla C20 beton kullanılmıştır. Kullanılan

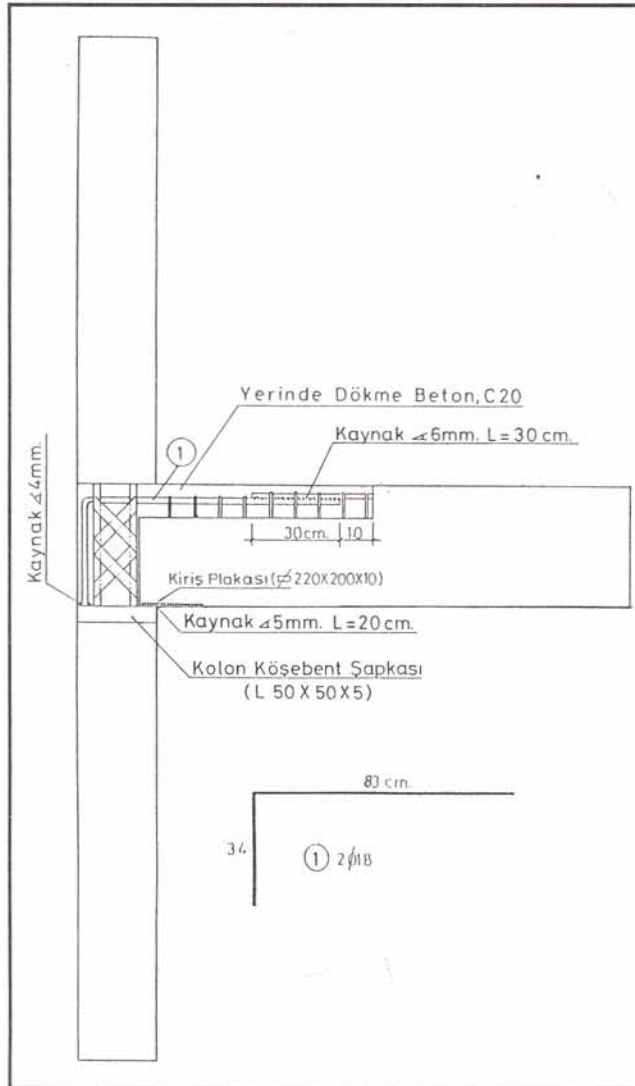
betonlardan alınan küp beton örneklerinin deney günü (150.gün) ortalama basınç dayanımı, C30 beton için 32.2 Mpa ve C20 beton için 24 Mpa olarak saptanmıştır.

3. DENEY DÜZENİ :

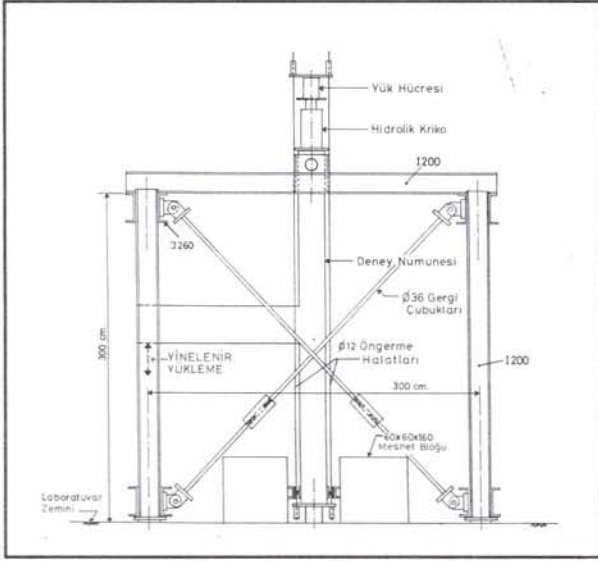
3.1. Deney Çerçevesi

Deney elemanları, Şekil 4'de gösterilen deney çerçevesi içinde yüklenmiştir. Deney sırasında uygulanan yükler nedeniyle, çerçevede oluşacak tepki kuvvetlerinin çerçevede yapacağı ötelenmeyi, denetleyerek kabul edilebilir düzeye indirebilmek için, çerçeveye çapraz olarak yerleştirilmiş ve deney öncesi herbiri 60 kN çekme ile gerilmiş, dört adet 36 mm çapında gergi çubuğu kullanılmıştır.

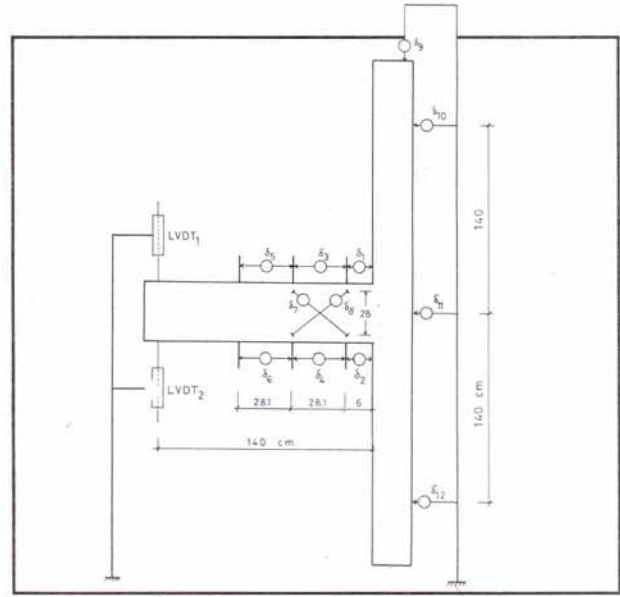
Deney numuneleri çerçeve içine yerleştirildikten sonra, kolonlar; alt ucunda düşey ötelemeye, üst ucunda ise, hem düşey hem de yatay ötelemeye engel olacak biçimde mesnetlenmiştir. Mesnetler, kolon uçlarının serbestçe



Şekil 3 : Öndökümlü Kolon-Kiriş Elemanlarının Birleşim Detayları



Şekil 4 : Deney Çerçevesi



Şekil 5 : Ölçüm Düzeni

dönmelerini sağlayacak biçimde düzenlenmiştir.

3.2. Yükleme Düzeni

Kirişe tersinir-yinelenir yüklemeyi uygulamadan önce kolona, eksenel yük kapasitesinin %16'sına eşit olan 400 kN eksenel basınç uygulanmıştır. Deney boyunca sabit tutulan bu yük, kolona, her iki ucundaki plakaları köşelerinden birbirine bağlayan dört adet 12 mm'lik öngerme halatının hidrolik kriko ile gerilmesiyle uygulanmıştır. Bu sistem, çerçeveden bağımsız olduğundan, herhangi bir reaksiyona neden olmamıştır.

Kirişe yinelenir yükleme, kolon yüzünden 140 cm uzaklıkta, çift yönlü kriko ile uygulanmıştır.

3.3. Ölçüm Düzeni

Her deney elemanı; kolon eksenel yükünü, kiriş ucuna uygulanan yinelenir yükü, kolon ve kirişteki dönmeleri, kiriş ucundaki yer değiştirmeleri (çökmeleri) ve kesme

deformasyonlarını ölçmek üzere ölçüm araçları ile donatılmıştır. Bu amaçla her deney elemanına, Şekil 5'de şematik olarak gösterilen, 12 adet elektronik komparatör, 2 adet doğrusal değişken deplasman ölçer (LVDT) yerleştirilmiştir.

Kolon eksenel yükü, kolonun üstünde hidrolik krikoya seri olarak bağlanmış olan yük hücresi aracılığı ile ölçülmüş ve kontrol edilmiştir. Kirişe uygulanan yük ise, iki yönlü hidrolik krikoya seri olarak bağlanmış olan 2 yük hücresinden ilki aracılığı ile ölçülmüştür. İkinci yük hücresi ise, çiziciye bağlanmış ve deney sırasında yük-çökme grafiğinin çiziminde kullanılmıştır.

Kiriş ucunun yük altında yer değiştirmesi (çökmesi), yüklemenin yönüne göre LVDT1 veya LVDT2 ile ölçülmüştür. Ayrıca LVDT1 ile paralel olarak monte edilmiş üçüncü bir LVDT de çökmeyi, çiziciye aktarmakta kullanılmıştır.

Kiriş boyunca dönmeleri ölçmek amacıyla 3 çift komparatör yerleştirilmiştir. Birinci ölçüm bölgesindeki komparatörler, δ_1 ve δ_2 kirişin kökündeki dönmeyi, ikinci ölçüm bölgesindeki δ_3 ve δ_4 ile üçüncü ölçüm bölgesindeki δ_5 ve δ_6 ise, kiriş boyunca olan dönmeleri ölçmek amacıyla yerleştirilmiştir.

Çapraz olarak yerleştirilen komparatörler (δ_7 ve δ_8) ise, kritik bölgedeki kayma zorlamalarının neden olduğu deformasyonu ölçmek amacıyla kullanılmıştır.

Çerçevenin 4 adet gergi çubuğu ile güçlendirilmiş olmasına karşın, deney elemanlarının rijit cisim ötelenme ve dönmesinin tam olarak önlenmesi mümkün olmadığından, komparatörlerden δ_9 , δ_{10} , δ_{11} ve δ_{12} , bu ötelenme ve dönmeleri saptayarak, kiriş ucundaki yer değiştirmelerden, bu etkileri arındırmak amacıyla kullanılmıştır.

4. DENEY SONUÇLARI :

4.1. Yük (Deplasman) Geçmişi

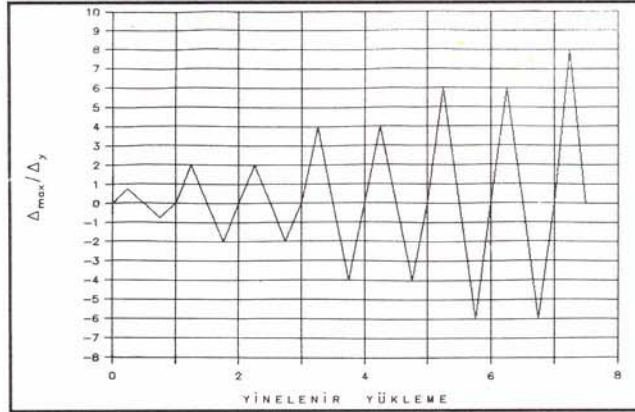
Deneyler sırasında, Şekil 6'da gösterilen deplasman programının uygulanması amaçlanmıştır. Bu yükleme programı, elastik bir yükleme çevrimini izleyen 2,4 ve 6 kat akma çökmesine (Δy) denk gelen ikişer yükleme çevriminden ve bir adet de güç tükenmesine kadar yüklemeyi içeren yarım çevrimden oluşmaktadır. Kirişin üst yüzünde çekme, alt yüzünde basınç oluşturan aşağı yöndeki yüklemeler, "İleri Yarı Çevrim"; üst yüzünde basınç, alt yüzünde çekmeye neden olan yukarı yöndeki yüklemeler ise, "Geri Yarı Çevrim" olarak adlandırılmıştır.

İkinci yükleme çevriminde, akma sırasında ölçülen kiriş ucu yerdeğiştirmeleri, deney elemanının rijit cisim ötelenmesi ve dönmesini de içerdiğinden, amaçlanan yükleme programı tam olarak uygulanmamıştır. Ancak, Şekil 7'de gösterilmiş olan uygulanan deplasmanlar ile amaçlananlar arasındaki fark büyük değildir.

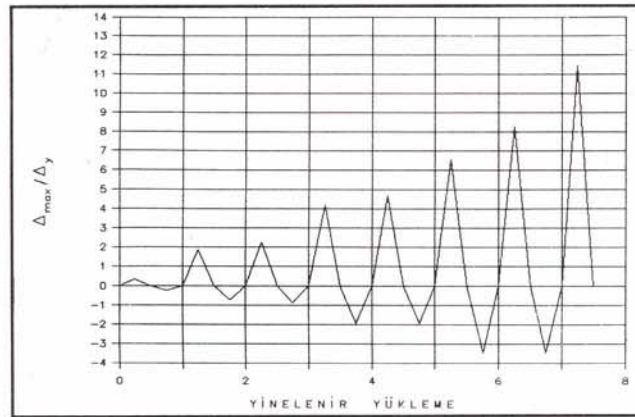
4.2. Deney Elemanlarının Davranışları

4.2.1. Monolitik Eleman

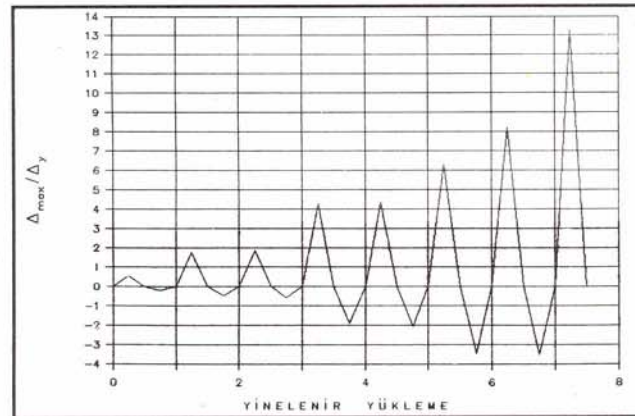
Birinci çevrim sırasın-



Şekil 6 : Amaçlanan Deplasman Geçmişi



(a) Monolitik Numune



(b) Öndökümlü Numune

Şekil 7 : Uygulanan Deplasman Geçmişleri

da, kirişin her iki yüzünde de kılcal eğilme çatlakları gözlenmiştir. Kiriş üst donatıları (2- ϕ 18), ikinci ileri yarı çevrim sırasında (72 kN'da); alt donatıları ise, (2 ϕ 14), geri yarı çevrim sırasında (-35 kN'da) akmıştır. İleri yükleme yönünde akmadaki kiriş ucu yerdeğiştirmesi 10.7 mm, geri yükleme yönünde ise -7.1 mm olarak ölçülmüştür.

Deneyin başında kirişin kökünde, her iki yüzde de oluşan eğilme çatlaklarının genişliği ve derinliği, beşinci çevrim sonunda artmış ve çatlaklar her iki yönde de birleşerek kiriş kökünde, kesit boyunca uzanan bir plastik mafsall haline gelmiştir.

Altıncı çevrim sırasında, kirişte, kolon yüzünden 12 cm uzaklıktaki eğilme çatlakları, kesme çatlaklarına dönüşmüştür.

Yedinci ileri yarı çevrim sırasında, kirişin alt yüzünde, betonda ezilme gözlenmiştir.

Sekizinci ileri yarı çevrim sırasında, 62 kN yük düzeyinde, kiriş alt donatılarının (2- ϕ 14) burkulmasından sonra, yük boşaltılarak deneye son verilmiştir. Bu son yükleme çevrimi sırasında ulaşılan yük 62 kN olup, akma yükünün %14 altındadır ve bu yük, kiriş



Resim 1: Monolitik Numunede Deney Sonunda Plastik Mafsalsal Bölgesi



Resim 2: Öndökümlü Numunede Yedinci Yükleme Devri Sonunda Birleşim Bölgesindeki Kabuk Kabarması ve Çatlaklar



Resim 3: Öndökümlü Numunede Deney Sonunda Kabaran Kabuk Söküldükten Sonra Kolonun Dış Yüzündeki Görünüm

ucunda 114 mm yerdeğiştirmeye neden olmuştur.

Monolitik elemanda oluşan plastik mafsalsal bölgesi Resim 1'de gösterilmektedir.

4.2.2. Önüretimli (Birleşimli) Eleman

Birinci yükleme çevrimi sırasında, sadece ileri yükleme yapılırken kılcal eğilme çatlakları gözlenmiştir. Ayrıca, önüretimli kiriş elemanının kolon boşluğu içinde kalan kısmının sonunda, kiriş ile yerinde dökme betonun birleşim çizgisi boyunca dikey bir çatlak oluşmuştur.

Kirişin üst donatıları (2-ø18), ikinci ileri yarı çevrimi sırasında 60 kN'da akmıştır. Bu yönde akmadaki kiriş ucu yerdeğiştirmesi, 10 mm

olarak gerçekleşmiştir. İkinci yükleme çevrimi sırasında, yerinde dökme beton ile doldurulmuş alt ve üst kolon birleşim bölgesinde, birbiriyle kesişen iki adet çapraz çatlak oluşmuştur. Bu yükleme devri sırasında, kiriş boyunca gözlenen eğilme çatlaklarının sayısı artmıştır.

Dördüncü geri yarı çevrim sırasında, alt ve üst kolon birleşim bölgesinin dış yüzünde dikey çatlaklar meydana gelmiştir. Bu durum, Şekil 3'de gösterilen 1 no'lu birleşim donatısının, geri yükleme sırasında kayma yaparak, tam üzerindeki beton kabuğu zorlaması nedeniyle olmuştur.

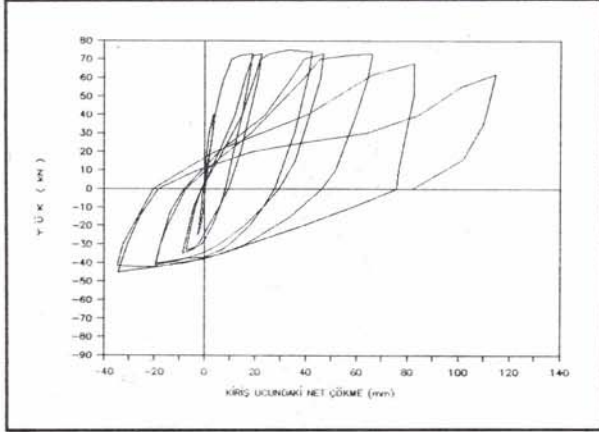
Altıncı yükleme çevrimi sırasında, kiriş kökünün üst köşesinden ilerleyen eğilme çatlağı ile birinci yükleme çevrimi sırasında

birleşim bölgesi içinde oluşan dikey çatlak birleşmiştir.

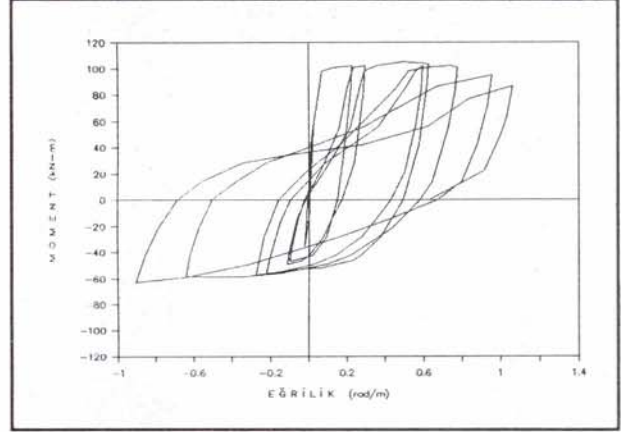
Yedinci geri yükleme yarı çevrimi sırasında, -76 kN'da, birleşim bölgesinde kabukta meydana gelen kabarma ve çatlakların son durumu Resim 2'de gösterilmiştir.

Sekizinci ileri yarı çevrim sırasında, akma yükünün %10 altında olan 54 kN yük düzeyine ulaşılmıştır. Bu çevrim sırasında, ölçüm araçlarına zarar vermemesi için, kabaran kabuk düşmeden yerinden sökülmüştür (Resim 3). Bu son çevrim sırasında, kiriş ucu yerdeğiştirmesi 133 mm olarak ölçülmüştür.

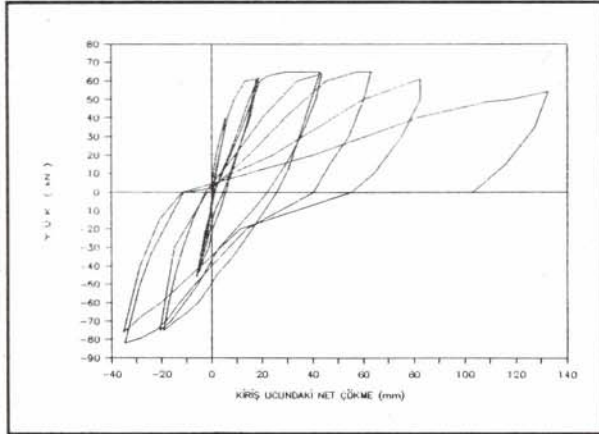
Önüretimli elemanın, kirişinde güç tükenmesi olmadan, birleşim bölgesinde hasar meydana gelmiştir.



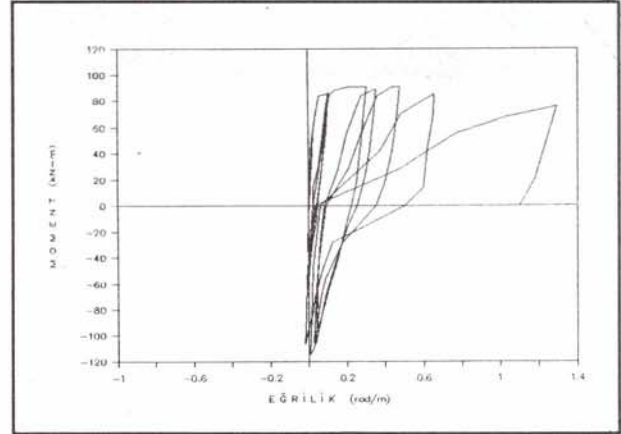
(a) Monolitik Numune



(a) Monolitik Numune



(b) Öndökümlü Numune



(b) Öndökümlü Numune

Şekil 8 : Yük-Çökme İlişkisi

Şekil 9 : Moment-Eğrilik İlişkisi

4.3. Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi

İki deney elemanına, Şekil 7'de gösterilen yükleme programları uygulanmış ve elemanlardan elde edilen yük-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 8'de gösterilmiştir.

4.4. Moment-Eğrilik İlişkisi

Şekil 5'deki ölçüm düzeninde gösterilen δ_1 ve δ_2 komparatörlerinden elde edilen veriler kullanılarak elde edilen moment-eğrilik ilişkileri Şekil 9'da gösterilmiştir.

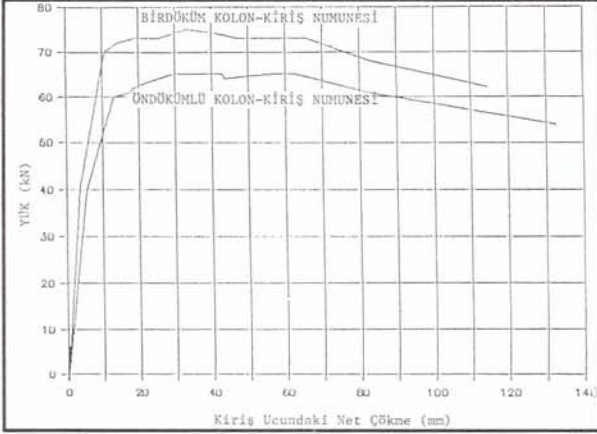
5. DEĞERLENDİRME VE YORUMLAR

5.1. Yük-Yerdeğiştirme Davranışı

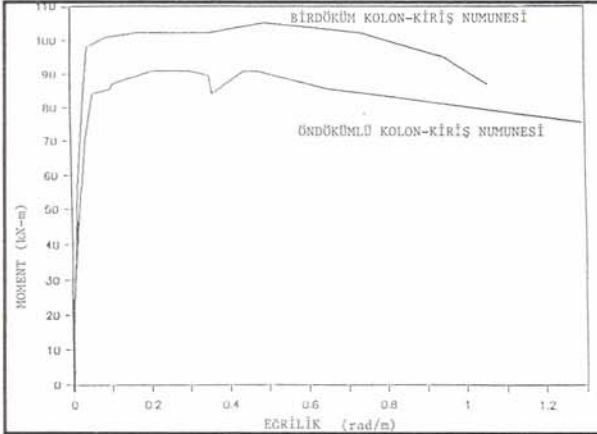
Şekil 10'da, ileri yükleme yarı çevrimleri için karşılaştırılan yük-yerdeğiştirme zarf eğrilerinden görüldüğü üzere, önüretimli kirişin başlangıç rijitliği, monolitik elemanından %41 daha azdır. Ayrıca önüretimli elemanda, birleşim bölgesindeki güç tükenmesi nedeniyle, yük kapasitesi, monolitik elemanından ortalama %12 daha

azdır. Ancak, her iki elemanın da deplasman süneklik katsayısı 10'un üzerinde olduğundan, iki elemanın da oldukça sünek bir davranış sergilediği söylenebilir.

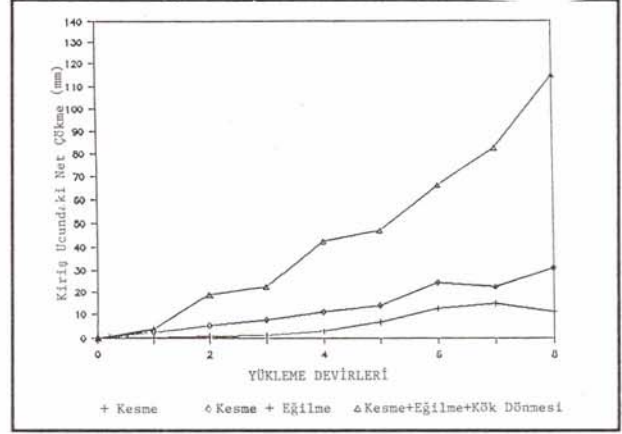
Kiriş ucundaki net yerdeğiştirmeler üç bileşenden oluşmaktadır. Bunlar; kayma deformasyonları, eğilme deformasyonları ve kirişin kökündeki dönmenin uçtaki yerdeğiştirmeye olan katkılarıdır. Şekil 11'deki eğrilerde, ileri yükleme yarı çevrimleri için



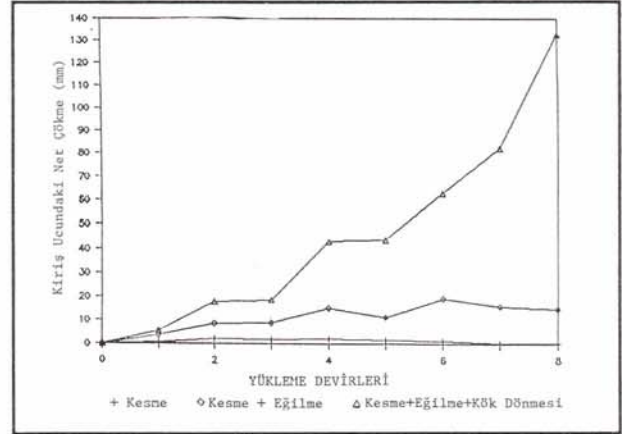
Şekil 10 : Zarf Yerdeğiştirme (Çökme)



Şekil 12 : Zarf Moment-Eğrilik Grafikleri



(a) Monolitik Numune



(b) Öndökümlü Numune

Şekil 11 : Kiriş Ucundaki Net Yerdeğiştirmenin (Çökmenin) Elemanlarına Ayrıştırılması

kirişlerdeki net yerdeğiştirmelerin bileşenleri gösterilmiştir. Şekillerden de görüleceği gibi, en büyük katkı %80-90 ile kökteki dönmeden gelirken, eğilme deformasyonu %20-30 katkıda bulunmakta, en az katkıyı da %0-15 ile kesme deformasyonu yapmaktadır.

Kesme deformasyonunun etkisi, monolitik kirişte, önüretimli kirişe oranla daha fazla olurken, önüretimli kirişte kesme çatlaklarının etkisi, deney başında %11 iken, deney sonuna doğru tamamen kaybolmuştur.

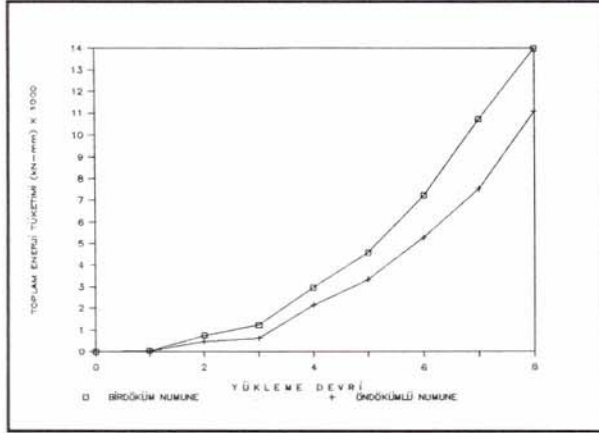
Burada değinilmesi gereken önemli bir nokta, kökteki dönmeyi ölçen komparatörlerden (δ_1 ve δ_2) alınan okumaların, ölçüm aralığı içinde olan eğilme deformasyonunun etkisini de kapsamıdır. Bu nedenle, kök dönmesinin katkısının grafiklerde gösterildiğinden daha az, eğilme etkisinin de daha fazla olduğu açıktır.

5.2. Moment-Eğrilik Davranışı

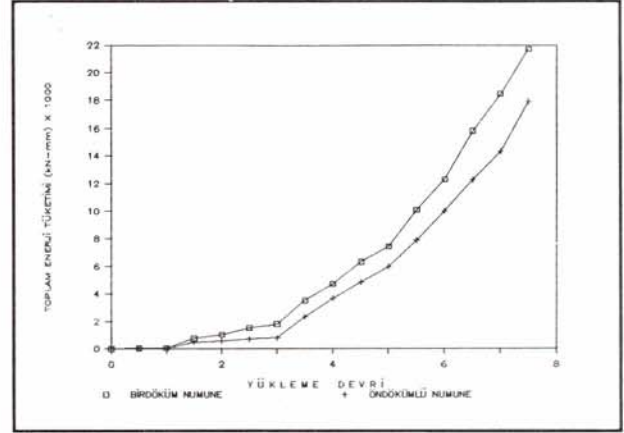
Şekil 12'de, ileri yüklemeye yarı çevrimleri için karşılaştırılan zarf moment-eğrilik eğrilerinden

görüleceği gibi, monolitik kirişin moment kapasitesi önüretimli kirişinkinden fazladır.

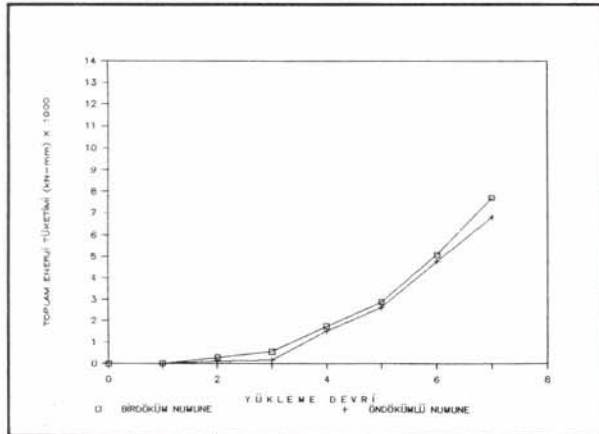
Her iki kirişten de, ikinci ve üçüncü ölçüm bölgelerinde (δ_3 , δ_4) ve (δ_5 , δ_6) komparatörleri ile alınan okumalar, kirişlerin bu bölgelerde elastik davrandığını göstermiştir. Bunun nedeni, her iki kirişte de ana hasarın, kirişin kökünde δ_1 ve δ_2 komparatörleri ile veri alınan birinci ölçüm bölgesinde ya da birleşim bölgesinde meydana gelmiş olmasıdır.



(a) İleri Yükleme Yarım Devirleri

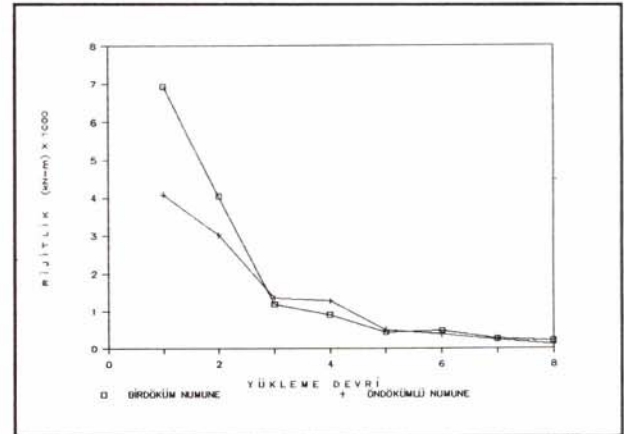


Şekil 14 : Toplam Enerji Tüketimi (İleri + Geri)



(b) Geri Yükleme Yarım Devirleri

Şekil 13 : Toplam Enerji Tüketimi



Şekil 15 : Rijitlik Değişimi

5.3. Enerji Tüketimi

Şekil 13'de, ileri ve geri yüklemeye yarım çevrimleri için monolitik ve öngerme elemanlar ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Bu şekilden görüleceği gibi, monolitik elemanın toplam enerji tüketim kapasitesi öngerme elemandan, ileri yüklemeye yarım çevrimleri için %26, geri yüklemeye yarım çevrimleri için de %13 daha fazladır. Şekil 14'de ileri ve geri yüklemeye yarım çevrimleri için toplam olarak verilen enerji tüketimi grafiklerinden de görüleceği gibi, toplamda monolitik

elemanın enerji tüketim kapasitesi, öngerme elemanın kapasitesinden %22 daha fazladır.

5.4. Rijitlik Azalması

Şekil 15'te verilen rijitlik değişimi eğrilerinde kullanılan veriler, moment-eğrilik eğrilerinden elde edilmiştir. Bu eğrilerden, ileri yüklemeye yarım çevrimlerinde uygulanan maksimum yükün %85'ine denk gelen sekant doğrularının eğimleri, ölçüm aralığının uzunluğuna bölünerek, her yüklemeye devrindeki rijitlik kN-m cinsinden elde edilmiştir. Şekil 9'da verilen moment-eğrilik ilişkisine

bakıldığında, her iki elemanda da ileri derecede rijitlik azalması olduğu gözlenmektedir.

Elemanlardaki rijitlik azalması, Şekil 15'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu grafikten anlaşılacağı gibi, ilk beş çevrim sırasında monolitik elemandaki rijitlik azalması, öngerme elemana oranla daha hızlı olmuştur. Başlangıç rijitliği, öngerme elemandan %70 daha fazla olan monolitik elemanın rijitliği, üçüncü yüklemeye devrimi sonunda, öngerme elemandan %12.5 daha az bir düzeye inmiştir.

Elemanların deney sonundaki rijitlikleri, başlangıç rijitliklerinin %3'üne kadar düşmüştür.

Monolitik elemanda rijitlik azalması, mafsallaşma bölgesinde betonun ezilmesi, dökülmesi, çatlakların genişlemesi ve derinleşmesi ve kiriş alt donatısının da burkulması nedenleri ile olmuştur.

Önüretimli elemanda ise rijitlik azalmasının ana nedeni, kiriş üst donatılarının (2-Ø18) ileri ve geri yüklemeler sırasında, birleşim bölgesinde içeri-dışarı kayma yapmasıdır. Bu durum, birleşim bölgesindeki betonun ezilmesi, çatlama ve dökülmesine neden olmuştur.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER :

6.1. Sonuç

Set Betoya tarafından kullanılmakta olan önüretimli ve ıslak birleşimli bir kolon-kiriş deney elemanının, deprem etkisi altındaki davranışını araştırmaya yönelik, sınırlı sayıdaki deney elemanı üzerinde yapılan gözlemler ışığında, aşağıdaki sonuçlara varılmıştır :

●Deneylerde kullanılan yükleme sistemi, deney çerçevesi ve ölçüm düzeni başarılı sonuç vermiştir.

●Önüretimli elemanın, yük kapasitesi, süneklik ve enerji tüketimi açısından oldukça başarılı bir davranış sergilemiş olmasına rağmen, birleşim bölgesinde güç tükenmesi olması nedeniyle, bu bölgedeki donatı detayında birtakım değişiklikler yapılması gerekmektedir.

●Monolitik elemanın süneklik açısından davranışı, önüretimli elemana oranla çok daha başarılı olmasa da, monolitik eleman yük ve enerji tüketim kapasitesi açısından daha başarılı olmuştur. Ayrıca, kirişteki güç tükenmesi, birleşim bölgesinde değil, kolon yüzünde

mafsallaşma yolu ile olmuştur ki, bu tür mafsallaşma istenen bir güç tükenmesi tipidir.

●Monolitik elemanda hesaplanan kiriş kapasitesine tam olarak erişilmiştir. Ancak düşük donatı oranı nedeniyle, kirişteki mafsallaşma yaygınlaşmamış ve kolon yüzünde yoğunlaşmıştır.

●Her iki elemanda da kiriş kökündeki dönme, kiriş ucundaki net yerdeğiştirmeye en çok katkıyı yapan faktör olmuştur.

●Monolitik elemanda, ileri yüklemeye yarım çevrimlerinde çatlak kapanmasının rijitlik artışına etkisi, önüretimli elemana oranla daha fazla olmuştur. Bunun nedeni, önüretimli elemanda birleşim bölgesindeki hasar nedeniyle, kiriş üst donatısının kayma yaparak ileri yüklemelerde etkisiz duruma gelmesidir.

●Kiriş boyunca üç bölgede dönmeler ölçülmüş ve eğriliğin, sadece kolon yüzüne bitişik olan birinci bölgede toplandığı, ikinci ve üçüncü ölçüm bölgelerinde kirişin elastik davrandığı gözlenmiştir.

●Önüretimli elemanın başlangıç rijitliğinin monolitik elemanınkinden çok daha az olmasına karşın, monolitik elemanın rijitliğinin daha hızlı bir azalış sergilemesi ve üçüncü yüklemeye çevriminden sonra, rijitliğinin önüretimli elemandan daha az olması dikkati çekmektedir. Ancak bu durumun, ölçüm düzeninin monolitik elemanda mafsallaşmayı tümüyle yansıtırken, önüretimli elemanda birleşim bölgesi içindeki hasarı tam olarak yansıtamamasından kaynaklandığı ortadadır.

6.2. Öneriler

Aşağıda yapılan öneriler, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yapı Mekanik Laboratuvarı'nda, bu araştırma programı çerçevesinde yapılacak

deneysel çalışmalarda araştırılması gereken parametrelerle ilgilidir.

●(a/d) oranının davranışa etkileri araştırılmalıdır.

●Bu çalışmada anlatılan deneyler, kiriş üst donatısının kaymasının önlenmesi, geliştirilmiş birleşim donatı detayına sahip elemanlar kullanılarak yinelenmelidir.

●Döşemelerin davranışa etkisi araştırılmalıdır.

●Kiriş plakası ankraj donatıları sayısının ve yerleştirme şeklinin davranışa etkisi araştırılmalıdır.

●Kirişte daha yüksek donatı oranının etkileri araştırılmalıdır.

●Kolona uygulanacak daha yüksek düzeydeki eksenel yükün, birleşim bölgesinin davranışına etkileri araştırılmalıdır.

●İki kolon-iki kirişten oluşan iç kolon-kiriş birleşiminin davranışı da deneysel olarak incelenmelidir.

TEŞEKKÜR

●Çalışmada kullanılan deney elemanları, Türkiye Prefabrik Birliği üye kuruluşu olan Set Betoya Prefabrik Üretim Tesisleri AŞ tarafından üretilmiş ve ODTÜ Yapı Mekanik Laboratuvarı'na taşınmıştır. Yazarlar, bu katkıları nedeni ile Set Betoya yetkililerine içtenlikle teşekkür ederler.

●Dr. Celal KOZANOĞLU'nun, deney elemanlarının tasarımı ile ilgili çalışmalar sırasındaki katkıları da teşekkürle anılmalıdır.

●Çalışmanın gerçekleştirilmesine, iki yıl süre ile tez öğrencisine burs vererek katkıda bulunan Türkiye Prefabrik Birliği'ne, bu desteği için teşekkür edilmelidir.

●Son olarak yazarlar, bu projeye maddi katkıda bulunan Türkiye Prefabrik Birliği üye kuruluşları Afa, Eston ve Yapı Merkezi'ne de teşekkürü borç bilirler.

KAYNAKÇA

-Baysal, M.Z., "Bir Prefabrik Dış Kolon-Kiriş Birleşiminin Deprem Etkisi Altındaki Davranışı", Master Tezi (İngilizce), Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Eylül 1991, Sayfa 47-138.