

BETON İÇİNDE KULLANILAN ÇELİK TELLERİN BETONARME ÇERÇEVENİN DAVRANIŞINA OLAN ETKİSİ

Musa Hakan ARSLAN¹, Gamze DOĞAN¹

¹Selçuk Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, mharslan@selcuk.edu.tr, gamze@selcuk.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada betonarme çerçevelerin deprem yükleri altında performansının artırılması için beton içinde belirli oranlarda çelik tel kullanılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda TDY-2007 normlarına uygun 1/3 geometrik ölçekli üç adet iki katlı tek açıklıklı betonarme çerçeve üretilmiştir. Çerçevelerden biri referans olarak düşünülmüş (S_1) ve içinde çelik tel olmayan normal beton kullanılarak imal edilmiştir. Diğer iki çerçevenin birinde (S_2) m^3 'de 30 kg, diğerinde ise (S_3) m^3 'de 60 kg çelik tel kullanılmıştır. Üretilen betonarme çerçeveler, depreme benzeştirilmiş tersinir tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiş, deneyler sonunda betonarme çerçevelerin yatay yük taşıma kapasiteleri ve rijitlikleri tespit edilmiştir. Çalışma sonunda S_2 numunesinin yatay yük taşıma kapasitesinin ve başlangıç rijitliği açısından deprem performansının S_1 ve S_3 'e göre daha iyi olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Betonarme, Çelik Tel, Deneysel Çalışma, Deprem

EFFECT OF STEEL FIBERS USED CONCRETE ON STRUCTURAL BEHAVIOUR OF REINFORCED CONCRETE BUILDINGS

ABSTRACT

In this study, in order to improve the seismic performance of reinforced concrete frames using the specific amount of steel fiber in concrete is aimed. In this scope, three 1/3 geometric scaled reinforced concrete have produced according to the TEC-2007 rules. One of the three frames is called as a reference (S_1) which has been produced with normal concrete. The others have produced with different fiber amount in the concrete. The selected amount is $30\text{kg}/m^3$ and $60\text{kg}/m^3$ for S_2 and S_3 , respectively. The three different specimens have been tested under earthquake resembling cycling lateral loading, the stiffness and lateral loading capacities have been obtained, experimentally. At the end of the study, it has been seen that the seismic performance of S_2 is better than S_1 and S_3 with respect to initial stiffness and lateral loading capacity.

Keywords: Reinforced Concrete, Steel Fiber, Experimental Study, Earthquake

1. GİRİŞ

Deprem riski yüksek olan bölgelerde yapılacak olan betonarme binaların en büyük sorunu deprem sırasında ortaya çıkacak olan enerjinin yapısal elemanlar tarafından istenilen seviyede tüketilememesidir. Deprem enerjisinin yapı içinde tüketilmesi taşıyıcı sistem elemanları olan kolon, kiriş ve perdelerde plastik mafsallı oluşumu ile ilgilidir. Plastik mafsallı ile yapıda deprem sırasında oluşan enerjinin sönmülmesi mümkün olabilmektedir. Deprem yönetmeliklerinde plastik mafsallı oluşma kapasitesi olan bölgelerde farklı tasarım kriterlerine göre donatıların yerleştirilmesi ve böylece mafsallaşmanın bu bölgelerde daha rahat oluşması

istenmektedir. Betonun gerek deformasyon gerekse diğer mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi, kesitin daha sünek davranarak enerji yutma kapasitesinin artması anlamına gelmektedir.

Çelik tel kullanımı ile betonun düşük olan çekme mukavemeti değeri artmakta, geleneksel donatı uygulaması sırasında oluşabilecek hataların bir kısmı kapatılabilmekte, servis yükleri altında oluşması beklenen kılcal çatlaklar ise oluşmamaktadır. Literatürde çelik tel kullanımı ile betonun mekanik özelliklerinin değişimi üzerine çok sayıda çalışma olsa da (Taşdemir, 1999; Aktaş, 2007; Ünal vd., 2007) betonarme çerçevelerde global deprem davranışı üzerine bir çalışma yapılmamış olması bu çalışmanın temel motivasyon kaynağıdır.

Bu çalışmada kullanılacak olan çelik teller betonun mekanik özelliklerini belirgin biçimde arttırmasına rağmen maliyetini de arttırmaktadır. Fakat yapı elemanlarının özellikle deprem sonrasında görmüş oldukları hasarlar ve yapıların deprem sonrasında onarım/güçlendirme maliyetleri düşünülecek olursa beton içinde belirli bir oranda kullanılacak olan çelik telin uzun süreli ekonomi getirebileceği düşünülmektedir.

Çalışmada ayrıca beton içinde kullanılacak olan çelik tellerin geri dönüşüm özelliğine sahip olmasının tel malzeme maliyetini azaltması, atık malzeme kullanımının yaygınlaştırılması ve beton gibi yapılarda kullanılan ana taşıyıcı sistem malzemesi içinde geri dönüşümlü malzeme kullanımının yaygınlaştırılması açısından da son derece önemli olduğu da vurgulanmıştır.

Özellikle deprem bölgelerinde inşa edilecek olan gerek konvansiyonel gerekse prefabrikte betonarme yapıların deprem etkisi altında rahat bir şekilde enerji yutmaları bunun içinde deplasman kapasitelerinin yüksek olması istenmektedir. Burada önemli olan özellikle düşük ya da orta şiddetli depremlerde deprem anında oluşan yapısal hasarın yapının hemen kullanımına izin vermesi, çok şiddetli depremlerde oluşan hasarın ise belirli bir ölçekte sınırlanabilmesidir. Bunun sağlanabilmesi için ise betonarmede davranışın en önemli sınırlayıcısı olan betonun özellikle çekme mukavemetinin ve nihai deformasyon kapasitesinin iyileştirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışma neticesinde, beton içine karıştırılacak olan belirli oranda çelik tellerin taşıyıcı sistemin çatlak oluşumunu geciktirip, yapının sünekliği ve yük taşıma kapasitesini bir miktar artırabilirse yapı sahibinin isteği üzerine yeni projelendirilecek olan binalarda çelik tel katkılı beton kullanılabilir.

Literatürde şimdiye kadar beton içinde belirli bir oranda çelik tel kullanımı ile betonarme binaların deprem performansının nasıl değişebileceğine yönelik bir araştırma yapılmamış araştırmalar daha çok çelik tel katkılı betonların mekanik davranışları üzerine yoğunlaşmıştır. Çelik tek katkılı beton davranışının irdelendiği araştırmalarda (Craig vd., 1982; Ramesh vd., 2003) özellikle çelik tel kullanımıyla betonun davranışında ve çatlak gelişiminde değişiklikler gözlemlenmiştir. Çalışmalarda çelik telin betonun çatlak gelişimini durdurduğu yada sınırladığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca çelik telin betonun malzeme sünekliğinde ve basınç dayanımında olumlu etki yaptığı görülmüştür.

Özellikle eksenel yüklü elemanlarda fiberin betonda oluşacak çatlakların sınırlandırılması yönünde yaptığı etki basınç altındaki bir eleman için bir sargı etkisi yaratmaktadır. Oluşan bu etki ile elemanın sünekliği ve dolayısıyla sistemin sünekliğini de arttırmaktadır (Shah ve Rangan,1970).

Bu çalışmada betonun mekanik özelliklerinin iyileştirilerek, betonarme çerçevenin deprem yükleri altında yapacağı deplasmanın ve enerji tüketme miktarının artırılması hedeflenmektedir. Çalışmanın temel amacı çelik tel kullanımının betonarme binalarda oluşturduğu performans değişikliğini gözlemlemek, özellikle yüksek ve düşük oranlardaki çelik tellerin hangisinin daha avantajlı olduğunu irdeleyebilmek ve betonarme yapıların deprem davranışında bu malzemenin ne oranda etki sahibi olabileceğini anlamaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı ve Deprem Laboratuvarında yapılan deneylerde kullanılmak üzere iki katlı tek açıklıklı 1/3 geometrik ölçekli üç adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Çerçevelerde kat yüksekliği 900 mm, çerçeve açıklığı ise dıştan dışa 1500 mm'dir. Kiriş ve kolonların boyutları 150x150 mm'dir. Betonarme çerçeve 500x700x2500 mm boyutlarında bir temel kirişine mesnetlenmiştir. Temel kirişi üst yapıya göre oldukça rijit seçilmiştir. Burada amaç temelin yüklemesi sırasında bir hasar görmesini önlemektir. Tüm deney elemanlarında çerçevelerin geometrik boyutları ve donatı detayları aynıdır. Bu çalışmanın hedefi yapı kitlesi yeni yapılacak olan binalar olduğu için betonarme çerçevelerdeki

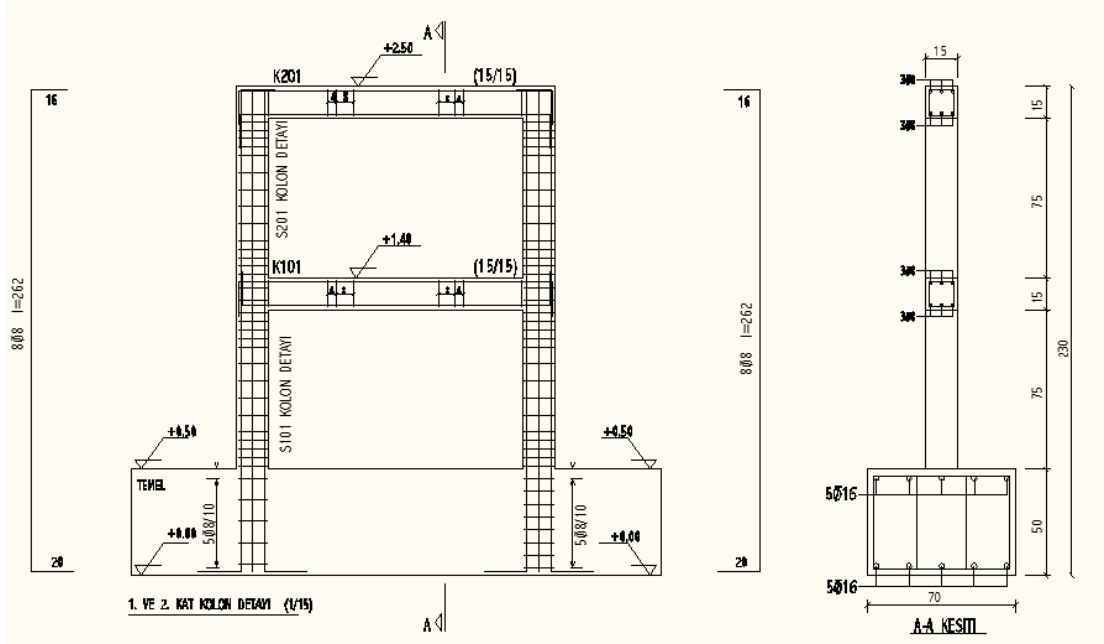
donatı detayları ve düzeni yürürlükte olan standartlara göre ayarlanmıştır (TDY 2007; TS-500, 2000). Dolayısıyla çerçeveler aşağıdaki özelliklere sahiptir.

- Kolonları kirişlerden daha güçlü,
- Elemanlarda ilk önce eğilme hasarı daha sonra ise kesme hasarı oluşacak,
- Bindirme boyları ve kenetlenme açısından birleşim bölgelerinde problem olmayan,
- Etriye sıklaştırma kurallarına uyulmuş,
- Beton ve donatı minimum mekanik özellikleri şartname alt limitini sağlayan.

Numunelerde yatay ve düşey donatılarını tümü nervürlüdür ve donatıların minimum deneysel akma dayanımı 420 MPa'dır. Donatılar için herhangi bir çekme testi yapılmamıştır. Kolonlarda kesit içine simetrik olarak dağılmış 8φ8 kirişlerde ise altta ve üstte toplam 6φ8 boyuna S420 donatısı mevcuttur. Kolon ve kiriş boyutları ile boyuna donatısı seçilirken kolonların kirişlere göre daha kuvvetli olması ilkesinin sağlanması amaçlanmıştır. Kolonlarda boyuna donatı oranı %1.77, kirişlerde mesnet ve açıklıkta çekme donatısı oranı ise %0.75'dir ve TDY-2007 ile TS-500 sınırları içinde kalmaktadır. Kolon ve kirişlerde enine donatı olarak φ4/4/7 donatı seçilmiştir. Sıklaştırma bölgesi ve etriye aralıkları yine yönetmelik şartlarına uygundur. Etriyelerin kancası 135 derece bükümlü olacak şekilde hazırlanmıştır. Başlangıçta referans numunede kullanılacak olan beton C20-C25 aralığında olarak hedeflenmiştir. Betonda maksimum agrega çapı 16 mm olarak belirlenmiştir. Her bir deney elemanı için alınan üç adet küp ve bir adet silindir numunenin 28. günde basınç mukavemetleri bulunmuştur. Tablo 1'de numunelerden elde edilen sonuçlar, Şekil 1'de ise üretilmiş olan çerçevelerin detayları verilmiştir.

Tablo 1. Beton Basınç Dayanımları

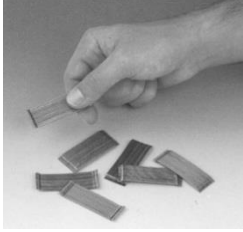
	N-1 (15/15 cm)	N-2 (15/15 cm)	N-3 (15/15 cm)	N-4 (φ15/30 cm)
S ₁	22 MPa	23 MPa	24 MPa	18 MPa
S ₂	25 MPa	25 MPa	22 MPa	19 MPa
S ₃	22MPa	22 MPa	24 MPa	20 MPa



Şekil 1. Üretilmiş Olan Betonarme Çerçeve

Üretilen üç adet çerçevenin üretim aşaması Şekil 2’de verilmiştir. Beton içinde kullanılmış olan çelik teller numuneler 1/3 ölçekli olduğu için bu ölçeğe uygun seçilmiştir. Telin uzunluğu 30 mm çapı ise 0.55 mm olarak seçilmiştir (boy/çap oranı 55). Çelik teller m^3 ’de 30 ve 60 kg olarak kullanılmıştır.

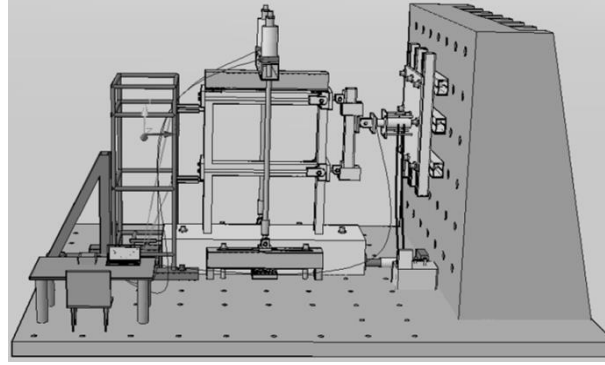
Tablo 2. Numunelerde Kullanılan Olan Çelik Tellerin Özellikleri

Tip	Şekil	Boy	Kesit	Çap	Boy / Çap
Kancalı		30 mm	Dairesel	0.55	55

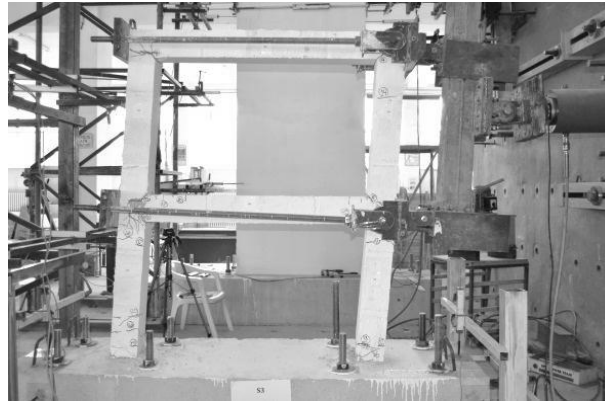


Şekil 2. Numunelerin Üretim Aşaması

Kiriş ve kolonlarda kesme kapasiteleri oldukça yüksektir. Kolon kiriş birleşim bölgeleri ile kolon temel birleşiminde donatının sıyılmaması için kenetlenme boyları minimum şartları yerine getirecek şekilde hesaplanmıştır. Çelik tellerin beton içinde topaklanmaması için ilk önce suda ıslatılması gerçekleştirilmiş, daha sonra su içinden çıkarılan teller betonunu içinde $30 kg/m^3$ ve $60 kg/m^3$ olmak üzere iki farklı oranda karıştırılarak üretim gerçekleştirilmiştir. Kullanılan fiberler Kemeriks firmasından temin edilmiştir. Deney numuneleri yatay olarak üretilmiştir ve 18 mm kalınlığında tek kullanımlık suntalam ile kalıp hazırlanmıştır. Numunelerin üretimi tamamlanıp bakımı yapıldıktan (su kürü uygulaması) 28 gün sonra test işlemlerine başlanmıştır. Şekil 3’de yükleme düzeneği ile ilgili görseller verilmiştir. Deneylerde bilgisayar destekli veri okuma sistemi kullanılarak gerekli yük ve yer değiştirme okumaları yapılmıştır. Şekil 4’de ise göçme bölgesinde bulunan bir numunenin deney sırasındaki durumu görülmektedir.



Şekil 3. Yükleme Düzenegi

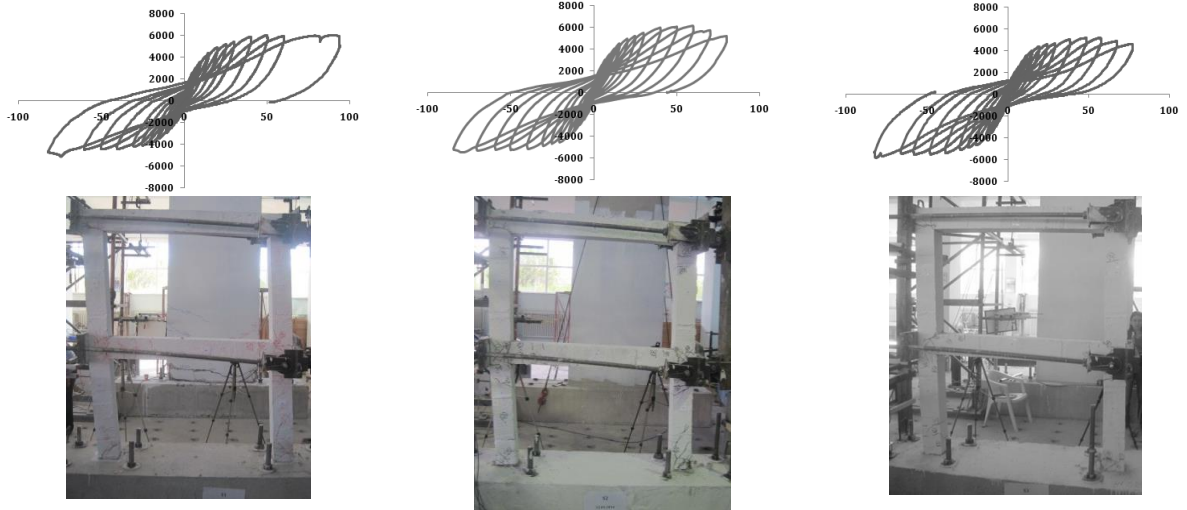


Şekil 4. S₁ numunesinin test aşaması

Deneylere yük kontrollü olarak başlanıp, betonarme sistemin akma yükünden sonra deplasman kontrollü olarak devam ettirilmiştir. Betonarme elemanların akma yükü, yük-deplasman eğrisinin hatırı sayılır oranda değiştiği an olarak deney sırasında gözlemlenmiştir. Numunelere uygulanacak olan yatay yük düzenek sayesinde üst ve alt katlarda farklı seviyelerdedir. Üçgen yük dağılımını temsil etmesi amacıyla üst kata iki birim alt kata ise bir birim kadar bir yatay yük etki ettirilmiştir. Yatay yükün haricinde numunelerde bulunan kolonlara normal kuvvet etki ettirilmemiştir. Dolayısıyla testler eğilme etkisi altında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde deplasman okumalarının yapılabilmesi için beş adet 100 mm kapasiteli LVDT (Linear Vertical Displacement Transducer) adı verilen deplasman ölçer çerçevelere bağlanmıştır. LVDT'lerden elde edilen deplasman değerleri ile deney düzenegine bağlı bulunan yük hücrelerinden yapılan yük okumaları neticesinde üç farklı deney numunesinin (S₁, S₂ ve S₃) yük-deplasman grafikleri çizilmiştir.

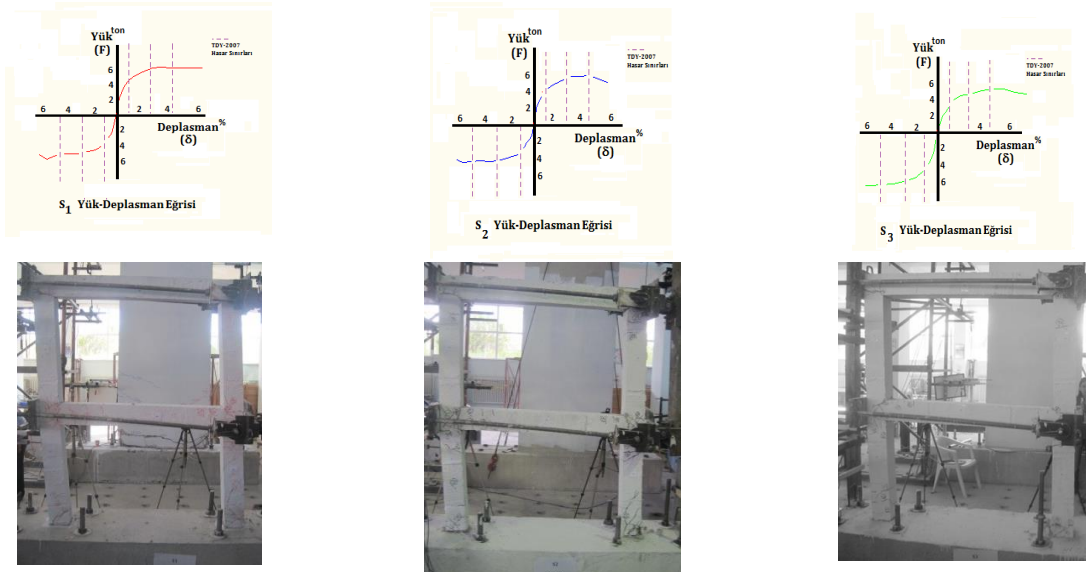
3. DENEY SONUÇLARI

Üretilen betonarme çerçevelerin Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Laboratuvarında depremi temsil eden tersinir tekrarlanır yatay yükler altında test edilmesi sonucunda bilgisayar destekli veri okuma sistemi kullanılarak, gerekli yük ve yer değiştirme okumaları yapılmıştır ve üç farklı deney numunesinin (S₁, S₂ ve S₃) yük-deplasman grafikleri Şekil 5'de verilmiştir. Aynı şekillerde numunelerden deney sonunda alınan görüntüler de mevcuttur.



Şekil 5. Numunelerin (S_1 , S_2 ve S_3) yük deplasman grafikleri ve deney sonu görüntüleri

Grafiklerde yatay eksen mm cinsinden deplasman düşey eksen ise kg cinsinden yatay kuvvettir. Üç farklı deney numunesinin (S_1 , S_2 ve S_3) yük-deplasman grafikleri zarf eğrisi şekline dönüştürülmüş ve TDY-2007’de verilen bina hasar sınırları da işaretlenerek Şekil 6’da verilmiştir. Şekil 6’da düşey eksen ton yatay eksen ise % deplasman oranı olarak verilmiştir.



Şekil 6. Numunelerin (S_1 , S_2 ve S_3) kapasite eğrileri ve deney sonu görüntüleri

4. SONUÇLAR, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Çalışma sonunda, beton içinde belirli oranda çelik tel kullanımının betonarme çerçevelerin deprem yükü etkisi altındaki davranışına olan etkisi gözlemlenmiş ve aşağıda özetlenen sonuçlara ulaşılmıştır;

- S_2 numunesinin yatay yük taşıma kapasitesinin S_1 ve S_3 'e göre %3-%10 oranında daha fazla olduğu görülmüştür. Fakat deneysel bir çalışma için ve tek bir numune baz alındığı zaman bu sonuç çok etkileyici değildir.
- S_2 numunesinin başlangıç rijitlik değerinin S_1 ve S_3 'e göre daha iyi olduğu görülmektedir. Fakat ilk çatlama ile beraber rijitlik değerleri tüm numunelerde birbirlerine çok yaklaşmıştır.
- S_3 numunesinin yatay yük taşıma kapasitesinin S_2 'ye ve S_1 'e göre daha kötü olması, çelik tel miktarının artmasının yapının davranışına her zaman olumlu etki yapmadığı da sonucunda ulaştırmaktadır. Beton elemanlar ve basit kiriş deneyleri üzerinde yapılan literatürdeki diğer çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir.
- S_2 ve S_3 numunelerinde özellikle kirişlerde oluşan hasarlar S_1 'e göre oldukça sınırlı miktarlarda kalmıştır. Bu durum çelik telin çatlak oluşumunu geciktirdiği sonucunu ortaya çıkarmaktadır.
- Çelik tel kullanılsın yada kullanılsın tüm deney numuneleri TDY-2007'nin istemiş olduğu global performans seviyesine ulaşmıştır. Bu durum TDY-2007 ilkelerine göre tasarlanan bir yapının deprem performansının yeterli olacağını göstermektedir. Dolayısıyla çelik tel kullanımını ancak özel yapılar için daha anlamlı olacağı sonucunda ulaşılmıştır.
- Çelik tellerin optimum bir değerinin olması gerektiği yapılan bu üç deneyden gözlemlenmektedir. Optimum değer için ise çok sayıda farklı oranlarda deney yapmak gerektiği ise açıktır. Bu araştırmadan yapılacak deneylerde fiber için üst limitin 60 kg/m^3 seçilmesi gerektiği görülmüştür.
- Deneylerde özellikle kolonlarda plastik mafsal boylarının çelik tel kullanımı ile kısaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum TDY-2007'de yer alan plastik mafsal boyu kabulünün özel üretilmiş bu tarz betonlar için geçerli olmayacağını göstermektedir. Gerekirse sadece plastik mafsal oluşum mekanizmasını irdelemek ve mafsal boyunu tartışmak üzere ilave kolon-kiriş deneyleri yapılabilir.
- Beton basınç dayanımını çok fazla etkilememiş olan çelik tellerin çerçeve davranışında pozitif bir etkiye sahip olması, çelik tel kullanımı ile çatlamış kesit eğilme rijitliklerindeki azalmanın klasik betonarmeden farklı olduğunu, elemanlarda çatlama ile beraber 0.4-0.6 oranında olması beklenen eğilme rijitliği kaybının daha az gerçekleştiğini göstermektedir.
- Çelik tel kullanılarak üretilen betonların davranışına yönelik literatürde çok sayıda çalışma olmakla beraber, bu çalışmada test edilen çerçeve deneyleri ile deprem performansının değişiminin irdelenmesi gibi bir çalışmanın henüz gerçekleştirilmemiş olması ve elde edilen sonuçlar, çalışmanın devamı açısından da son derece önemlidir.

TEŞEKKÜR VE BİLGİLENDİRME

Bu çalışma Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi tarafından 2014 yılında organize edilen SUMOPP (1. Öğrenci Bitirme Projesi Pazarı)'nda çevre tematik alanında 3. olmuştur. Yazarlar çalışmada emeği geçen son sınıf öğrencileri, tekniker Yüksek ÇİFTÇİ ve deneylerde kullanılan beton ve çelik teli temin eden KONYA ÇİMENTO ve KEMERİKS firmasına teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Aktaş, B., 2007. Çelik Lifli Hafif Beton İle İmal Edilmiş Betonarme Kirişlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri
- Craig, R. J., Patel, C., Behavior of joints using reinforced fibrous concrete In: Fiber Reinforced Concrete International Symposium, American Concrete Institute, Detroit
- Ramesh, K., Seshu, D.R., Prabhakar, M., 2003, Constitutive behavior of confined fiber reinforced concrete under axial compression, Cement & Concrete Composites 25, 343-350
- Shah, S., P., Rangan, B., V., 1970, Effects of reinforcements on ductility of concrete Proc ASCE ;96(576):1167-84
- Sheikh, A., S., 1982. A comparative study of confinement models ACI J Mater , 79 (04): 296-306

- Taşdemir, M. A., 1999. Çelik Tel Takviyeli Yüksek Dayanımlı Betonların Mekanik Davranışı, Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu, İstanbul.
- TS-500-2000 Betonarme Binaların Yapım yönetmeliği (Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları)
- Türk Deprem Yönetmeliği, 2007 (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik)
- Ünal, O.,Uygunoğlu, T., Gençel, O., 2007. Çelik Liflerin Beton Basınç ve Eğilme Özelliklerine Etkisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 13, Sayı 1, Sayfa 23-30