



ÇELİK LİF KATKILI VE KATKISIZ BETONARME KİRİŞLERİN BASİT EĞİLME VE PATLAMA YÜKLEMESİ İLE DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Fatih ALTUN*, Canan YILMAZ, Adem DURMUŞ, Kamuran ARI

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 38039, KAYSERİ

ÖZET

Bu çalışmada, Dramix RC-80/0.60-BN tipi çelik lif katkılı C30 sınıfı silindirik beton numuneler; 0 kg/m³, 30 kg/m³, 60 kg/m³ dozajlarında her gruptan 6 adet olmak üzere toplam 18 adet üretilmiş ve çelik lif katkısının, betonun mekanik özelliklerine olan etkileri incelenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında, 0 kg/m³, 30 kg/m³, 60 kg/m³ dozajlarında çelik lif katılarak 300x300x2000 mm boyutlarında toplam 9 adet betonarme kiriş üretilmiştir. Betonarme kirişlerde basit eğilme oluşacak şekilde deney yapılarak çelik lif katkısının betonarme kiriş mekanik özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır. Üçüncü aşamada ise, ikinci aşamadaki özelliklerde her grup için ikişer adet olmak üzere toplam altı adet betonarme kiriş üretilmiştir. Bu kirişlerde patlama yüklemesi ile deneyler yapılmıştır. Çalışma sonucunda; katkısız ve değişik dozajlarda çelik lif katkılı beton silindirik numunelerin ve betonarme kirişlerin genel mekanik özellikleri belirlenerek, patlama yüklemesi etkilerinin çelik lif katkısı ile betonarme kirişlerdeki değişimi verilmiştir.

Anahtar kelimeler : Beton, Çelik lif, Patlama, Tokluk.

INVESTIGATION OF REINFORCED CONCRETE AND STEEL-FIBER REINFORCED CONCRETE BEAMS UNDER SIMPLE BENDING SUBJECTED TO BLAST LOADING

ABSTRACT

In the first phase of this experimental study, the mechanical properties of steel-fiber concrete are measured on 150x300 mm cylindrical samples taken out of fresh batches of C30 class of concrete having steel fiber dosages of 0 kg/m³, 30 kg/m³, 60 kg/m³, 6 samples for every batch, respectively. Next, a total of nine reinforced concrete (RC) beams of 300x300x2000 mm dimensions are produced using C30 class of concrete with steel fiber dosages of 0 kg/m³, 30 kg/m³, 60 kg/m³, three beams having the same steel fiber dosage, respectively. In the second phase of the study, all of these nine beams are subjected to a simple bending experiment until ultimate failure and their flexural behaviours are recorded. Next, a total of six beams, two pertaining to these three different steel fiber dosages, are produced. In the third phase of the study, all of these six beams are subjected to blast loading by detonating explosive of proportional amounts attached at mid-span section of each beam. The resultant conditions of the beams from three different groups are observed and their reactions to the blast loads are presented in a comparative way in relation to their initial mechanical behaviours against simple bending. Hence, the effects of steel fiber dosages of RC beams on blast-loading resistance is reported.

Keywords: Concrete, Steel fiber, Explosion, Toughness.

*E-posta: faltun@erciyes.edu.tr

1. GİRİŞ

Yapılarda patlama etkisi, yapının normal yüklere ek olarak etkisinde kaldığı olağanüstü bir dinamik yük çeşididir. Büyük şok yüklerine maruz kalan binaların incelenme yöntemleri, bu konularda giderek artan ihtiyaçlara cevap verememekte ve taşıyıcı sistemlerin boyutlandırılmasında ekonomik olmayan sonuçlara götürmektedir. Özellikle patlama ile ilgili deneysel çalışmaların yapılabilmesindeki güçlüklerde bu konudaki çalışmaların sınırlı kalmasına yol açmaktadır.

Betonun dayanımı ve diğer mekanik özellikleri çeşitli katkı maddeleri yardımıyla iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Katkı maddeleri olarak değişik kimyasalların yanı sıra çeşitli türlerde çelik lifler de kullanılmaktadır. Beton basınç dayanımı arttıkça, betonun kırılması sırasında bağıl olarak daha az enerji yuttuğu bilinmektedir. Betona çelik lif katkısı yapıldığında ise, daha yüksek enerji yutma kapasitesine sahip, kırılma anında daha sünek davranış sergileyebilen ve çatlama riski daha düşük olan malzemeler ortaya çıkmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı da çelik lifli betonlara talep giderek artmaktadır.

Çelik lif katkılı betonlar son yıllarda; tünel inşaatlarında, şev stabilitesi çalışmalarında, onarım ve güçlendirme işlerinde, baraj inşaatlarında, liman yapılarının onarım ve güçlendirmesinde, beton büz borularda ve betonarme çerçevelerde, beton dayanımına olan olumlu etkileri ve enerji yutma kapasitelerinin yüksek olması nedeniyle yaygın olarak uygulama alanı bulmaktadır [1].

Çelik liflerin betonarme kiriş elemanlarda kullanılması ile ilgili bir çalışmada, çelik lif katkısının betonarme kirişlerin çatlak özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Sonuçta; çatlak özelliklerine sağladığı katkı açısından uygun çelik lif dozajının 30 - 40 kg/m³ arasında olduğu verilmiştir [2].

Başka bir çalışmada ise, çelik lif hacimsel oranları % 0.5, 1.0 ve 1.5 olarak seçilen betonarme kirişlerde çatlak özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda, çatlak genişlikleri için çelik lif dozajına bağlı olarak genel bir ifade deney sonuçlarına göre tanımlanmıştır [3].

Diğer bir çalışmada ise, 30 mm boyunda ve 0.5 mm çapındaki çelik liflerin 60 kg/m³ dozajda kullanımı ile üretilen betonarme kirişlerde ısı, düşey yük ve ısı+düşey yük yüklemeleri Swedish Standardlarına göre yapılmıştır. Çalışma sonucunda, verilen çelik lif dozajının statik yük taşıma kapasitesini artırdığı belirlenmiştir [4].

Çelik lif katkılı betonarme kirişler için yapılan diğer bir çalışmada, belirli en kesitlerde toplam 12 adet betonarme kiriş üretilmiştir. Betonarme kirişlerde Dramix RC-65/35-BN çelik lifleri 60 kg/m³ ve 100 kg/m³ dozajlarında kullanılmıştır. Numuneler 28 gün sonunda kırılarak mekanik özellikleri deneysel olarak bulunmuştur. Çalışmada; verilen çelik lif tipi için 60 kg/m³ çelik lif dozajına sahip betonarme kirişlerin deneysel dayanım sonuçlarının teorik dayanım değerlerine oranının, 100 kg/m³ çelik lif dozajlı betonarme kirişlerden daha iyi sonuç verdiği sonucuna ulaşılmıştır [5].

Patlama, büyük miktarda enerjinin çabuk ve ani olarak serbest kalması sonucu oluşan bir olaydır. Trinitrotoluene (TNT) gibi konvansiyonel patlayıcıların enerji oluşumu, atomların tekrar düzenlenmesi ile sağlanır. Patlama yüklemesi ile ilgili araştırmalar, II. Dünya Savaşı sonrasına dayanır. Bu konudaki önemli çalışmalardan biri, 1968 yılında Weibull'un kapalı bir alanda TNT patlamasından doğan en büyük basıncın incelemesidir. Patlamanın yapılar üzerindeki etkisi, önceleri askeri amaçlar için ortaya çıkarken, günümüzde sivil hayatta da karşımıza çıkmaya başlamıştır. Bu konunun kapsama alanına; patlayıcı silah depoları yapımı, çeşitli patlayıcı gaz ve sıvı depolarının yapımı, banka kasası veya askeri stratejik hedefler gibi patlayıcı ile saldırıya uğrayabilecek yapılar girmektedir.

Patlayıcılarla ilgili diğer bir çalışmada, yapının yakınında meydana gelen patlamaların yapıya verdiği basınç etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, patlayıcı ile oluşan basınç değerlerine karşı beton+çelik kompozit perdenin üstünlükleri verilirken, beton perdenin seçilen bir aks için ısı etkilerine karşı olumlu davranışları geliştirilen paket program yardımıyla modellenmiştir [6].

Diğer bir çalışmada, 1995 yılında Oklahoma kentinde bomba patlaması ile hasar gören Murrah federal yapısının incelenmesi yapılmıştır. Çalışma sonucunda; stratejik öneme sahip yapılarda, patlama yüklerinin de elverişsiz yük olarak hesaplarda dikkate alınması ile hasarların azalacağı ve ekonomik olabileceği rapor olarak sunulmuştur [7].

Başka bir çalışmada, çelik liflerin askeri sığınaklarda ve önemli görülen devlet binalarında kullanımı verilmiştir. Çalışmada, Dramix ZC 60/80 çelik lif tipi için 40 ve 60 kg/m³ dozajlı beton karışım oranları verilerek, Belçika telekomünikasyon binası ve uçak sığınak projelerinde kullanımı açıklanmıştır. Çalışma sonucunda, çelik liflerin betonun mekanik özelliklerine sağladığı olumlu etkilerin, patlama yüklerine karşı da sağlayacağı açıklanmıştır [8].

Genel olarak yapılan çalışmalarda, beton karışımlarında en uygun çelik lif yüzdelerinin hacimsel oranı % 1.0-2.5 olması durumunda sağlandığı belirlenmiştir. Çelik liflerin bu değerden daha az ilave edilmesi durumunda beton özelliklerine olumlu bir katkı sağlanamamaktadır. Daha yüksek oranda ilave edilmesi durumunda ise, betonun basınç dayanımında azalmalar görülmektedir. Yapılan çalışmalarda; beton ve betonarme elemanlar için çelik lif katkısı ile genel mekanik özellikler ortaya konulmuş ancak patlama yüklemeleri durumunda çelik lif katkısının betonarme kirişlerde ekonomik olup olmadığı da kesin olarak belirlenememiştir. Bu durum, patlama yüklemeleri ile ilgili deneysel çalışmaların zorluğundan kaynaklanmaktadır.

Bu çalışmada ise; belirli beton sınıfı için betonda ve betonarme kirişlerde çelik lif katkısının beton dayanım ve sünekliğine olan etkileri araştırılmıştır. Çeşitli oranlarda belirlenmiş patlayıcı maddeler kullanılarak, farklı çelik lif dozajlarına sahip betonarme kirişlerde patlama yüklemesi deneyleri yapılmıştır. Deney sonucunda kiriş hasar seviyelerine göre, çelik lif katkısının sağladığı olumlu etkiler belirlenerek elde edilen sonuçlar bu çalışmada verilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar; katkısız ve çelik lif katkılı silindirik beton numuneler ile betonarme kiriş deneyleri olarak iki aşamada yapılmıştır. Ayrıca, farklı dozajlarda çelik lif katkılı betonarme kirişlerde patlama yüklemesi etkisini belirlemek amacıyla, 500 ve 750 gr olmak üzere iki grup patlayıcı kullanılarak oluşan hasar özellikleri deneysel verilere bağlı olarak ortaya konulmuştur.

2.1 Beton Deneyleri

Çelik lif katkılı beton silindirik numuneler, C30 sınıfında 30 kg/m³, 60 kg/m³ dozajlarında her bir gruptan 6 adet olmak üzere toplam 12 adet imal edilmiştir. Ayrıca 6 adet çelik lif katkısız C30 sınıfında beton silindirik numune de kontrol amaçlı üretilmiştir.

Çalışmada; 60 mm boyunda, 0.75 mm çapında olan Dramix RC 80/0.60 BN tipi çelik lif kullanılmıştır. Kullanılan çelik lif çekme dayanımı minimum 1050 N/mm² dir. Çelik lifler transmikserle 20 kg/dak. hız ile homojen karışım sağlanacak şekilde katılmış ve karışım maksimum hızda 5 dak. çevrilmiştir [9-10].

Silindirik beton numuneler 28 gün sonunda kırılmıştır. Numunelerin 20 kN 'luk yük değerine karşı deplasman değerleri bilgisayar ortamına aktarılmış ve ortalama gerilme-şekil değiştirme eğrileri çizilerek Şekil 1 'de verilmiştir. Polinom türü fonksiyon seçilerek elde edilen eğriler, ortalama gerilme değerlerine ait ortalama şekil değiştirmeler için bulunmuş olan eğrilerdir. Bu nedenle en yüksek gerilme değerleri, şekil değiştirmeler 0.0025 de olması gerekirken Polinom türü fonksiyon olarak eğri uydurulması sebebiyle şekil değiştirme değerleri 0.003-0.004 aralığında meydana gelmiştir. Çelik lif katkılı ve katkısız silindirik beton numuneler için kırılma yükleri belirlenmiş, elastisite modülleri ve tokluk değerleri standarda uygun olarak deney sonuçlarına göre hesaplanmıştır [11].

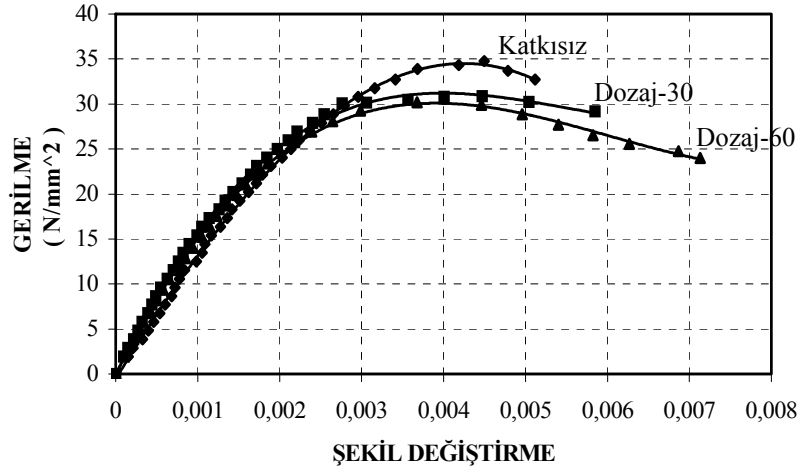
Beton için uygun çelik lif dozajını belirlemede; her bir beton silindirik numune grubunun ortalama kırılma yükü, betonarme kiriş davranışı için önemli olan elastisite modülü, enerji yutma kapasitesi (tokluk) ve çelik lif dozajına bağlı maliyet kriterleri dikkate alınmıştır. Tablo 1 'de özet olarak verilen deney sonuçları incelendiğinde, dayanım ve E-modülü için çelik lif katkısız betonun daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Ancak 30 kg/m³ 'lük dozajın maliyet ölçütü de düşünüldüğün de enerji yutma kapasitesi yönünden daha uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

2.2 Betonarme Kiriş Deneyleri

Çelik lif dozajları 0 kg/m³, 30 kg/m³ ve 60 kg/m³ olan üçer adet betonarme kirişlerin her biri; 2000 mm boyunda, 300 mm genişliğinde ve 300 mm yüksekliğindedir.

Kesit tesirleri, basit eğilme yüklemeye göre M_u eğilme-taşıma gücü momenti olmak üzere eş değer kırılma yükü 176.40 kN olarak hesaplanmıştır. Betonarme hesaplamalarında C30 betonu ve S420 donatısı için verilen

karakteristik değer kullanılmıştır [RILEM TC162-TDF, 2000]. Betonarme kesitin moment taşıma kapasitesi, çekme kırılması oluşacak şekilde seçilmiş olan $\rho = 0.0045$ donatı yüzdesine göre hesaplanmıştır. Bulunan donatı alanlarına karşı gelen çekme donatıları ($2\Phi 16$) seçilmiştir. Kayma donatıları, betonarme kiriş numunelerin eğilmeye dolay taşıma gücüne ulaşmasına göre hesaplanarak seçilmiştir. Deneylerde kullanılan S420 donatısı için çekme deneyleri yapılarak özeliği tespit edilmiştir. Donatı çekme deneyleri sonucunda akma dayanımının verilen donatı sınıfı için sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Betonarme kirişler, yükleme çerçevesi yardımıyla uygun kür şartlarında 28 gün bekletildikten sonra Şekil 2 'de verilen deney düzeneğinde kırılmıştır.



Şekil 1. Silindir beton numuneler için ortalama gerilme-şekil değiştirme eğrileri.

Tablo 1. Silindir beton numune mekanik özellikleri.

Deney Elemanları	Çelik Lif Dozajı (kg/m ³)	Ortalama Kırılma Yüğü (N)	Karakteristik Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Beton dayanımındaki azalma (%)	Elastisite Modülü (N/mm ²)	Tokluk (Enerji yutma kapasitesi) (kNmm)
Katkısız	0	614 500	34.79	---	32 950	306
Dozaj-30	30	545 400	30.88	12.66	32 200	415
Dozaj-60	60	533 800	30.22	15.12	32 050	462

Kirişlerin orta noktasına kuvvet-deplasman eğrilerini elde etmek amacıyla deplasman ölçer takılmış ve deney esnasında ölçülen değerler bilgisayara aktarılmıştır. Betonarme kiriş deney sonuçları toplu olarak Tablo 2 'de verilmiştir. Bu tabloda teorik kırılma yükü, kirişin geometrisine ve donatısına bağlı olarak hesaplanan toplam teorik taşıma gücü değeridir.



a. Çelik lif katkısız betonarme kiriş yüklemesi

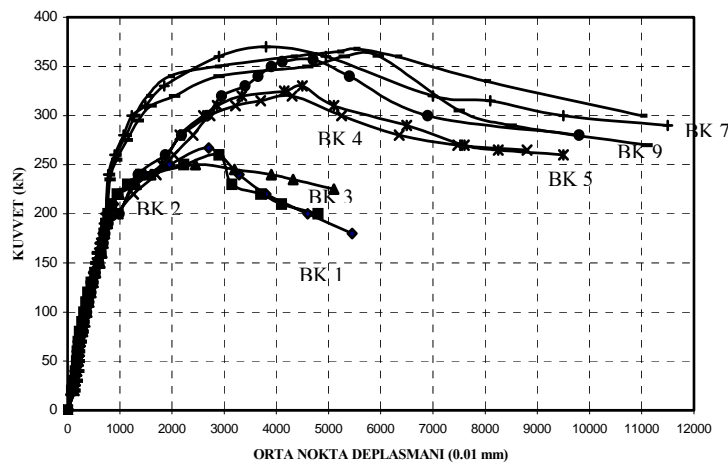
b. 30 kg/m³ dozajlı çelik lif katkılı betonarme kiriş yüklemesic. 60 kg/m³ dozajlı çelik lif katkılı betonarme kiriş yüklemesi

Şekil 2. Yükleme düzeneği.

Tablo 2. Betonarme kiriş deney sonuçları.

Deney Elemanı	Çelik lif miktarı (kg/m ³)	Çekme Donatısı (mm)	Teorik Kırılma Yüğü (kN)	İlk Çatlak Yüğü (kN)	Deneyel Kırılma Yüğü (kN)	Deneyel Yüğü/Teorik Yüğü	Tokluk (kNmm)
BK 1	0	2Φ16	176.40	110.00	262.30	1.48	10782
BK 2				112.40	260.15	1.47	9925
BK 3				106.70	250.90	1.42	10965
BK 4	30	2Φ16	176.40	122.50	320.25	1.81	26382
BK 5				118.90	330.00	1.87	27989
BK 6				119.30	357.20	2.02	29856
BK 7	60	2Φ16	176.40	143.10	370.45	2.10	29979
BK 8				141.90	368.75	2.09	30045
BK 9				144.00	352.95	2.00	29460

Betonarme kirişlerde çelik lif etkisi ile taşıma gücü değerlerinde artış meydana gelmiştir. Kirişlerin orta noktasında okunan deplasman değerlerine göre kuvvet-deplasman eğrileri çizilerek Şekil 3 'de verilmiştir.



Şekil 3. Betonarme kiriş orta nokta kuvvet-deplasman eğrileri.

2.3 Patlama Deneyleri

Patlama yüklemesi deneyleri için çelik lif dozajları 30 kg/m^3 ve 60 kg/m^3 olan ikişer adet C30 sınıfında betonarme kiriş üretilmiştir. Ayrıca; iki adet çelik lif katkısız betonarme kiriş numune de kontrol amaçlı üretilmiştir.

Bir patlayıcı madde veya patlayabilir bir karışım; ısı, darbe, sürtünme veya şokla uyarıldığında çok büyük miktarda ısı ve gaz açığa çıkaran kimyasal bileşiklerin karışımıdır. Kendi kendine yayılan ve ısı açığa çıkaran bu kimyasal reaksiyona patlama adı verilir. Normal sıcaklık ve basınç altındaki patlayıcı madde aniden yüksek sıcaklık veya basınçla uyarıldığında bir şok dalgası oluşturur ve patlayıcı kolonu boyunca kendi kendini destekleyerek ilerler.

Kontakt patlaması yapının direkt olarak üzerindeki veya çok yakınındaki konvansiyonel patlayıcının patlamasıyla oluşan patlama yüklemesidir. Kontakt patlama yüklemesine ek olarak lokal etkiler de düşünülmelidir. Patlayıcının lokal etkileri düşünülerek yapısal elemanın kalınlığı elde edilebilir. Betonarme elemanın dış yüzündeki patlama; basınç gerilmelerinde artışa, ayrıca plastik akmaya ve yüzeyde krater oluşmasına neden olur. Basınç olarak yayılan şok dalgaları, beton içerisinde iç yüzeye doğru hareket eder ve işaret değiştirerek yansır. Bu, basınç gerilmelerinin çekme gerilmelerine dönüşmesi anlamına gelir. Betonun çekme gerilmesinin basınç gerilmesine oranla çok daha düşük olmasından dolayı, betonun iç yüzeyinde çekme etkisinden dolayı parçalanmalar oluşur.

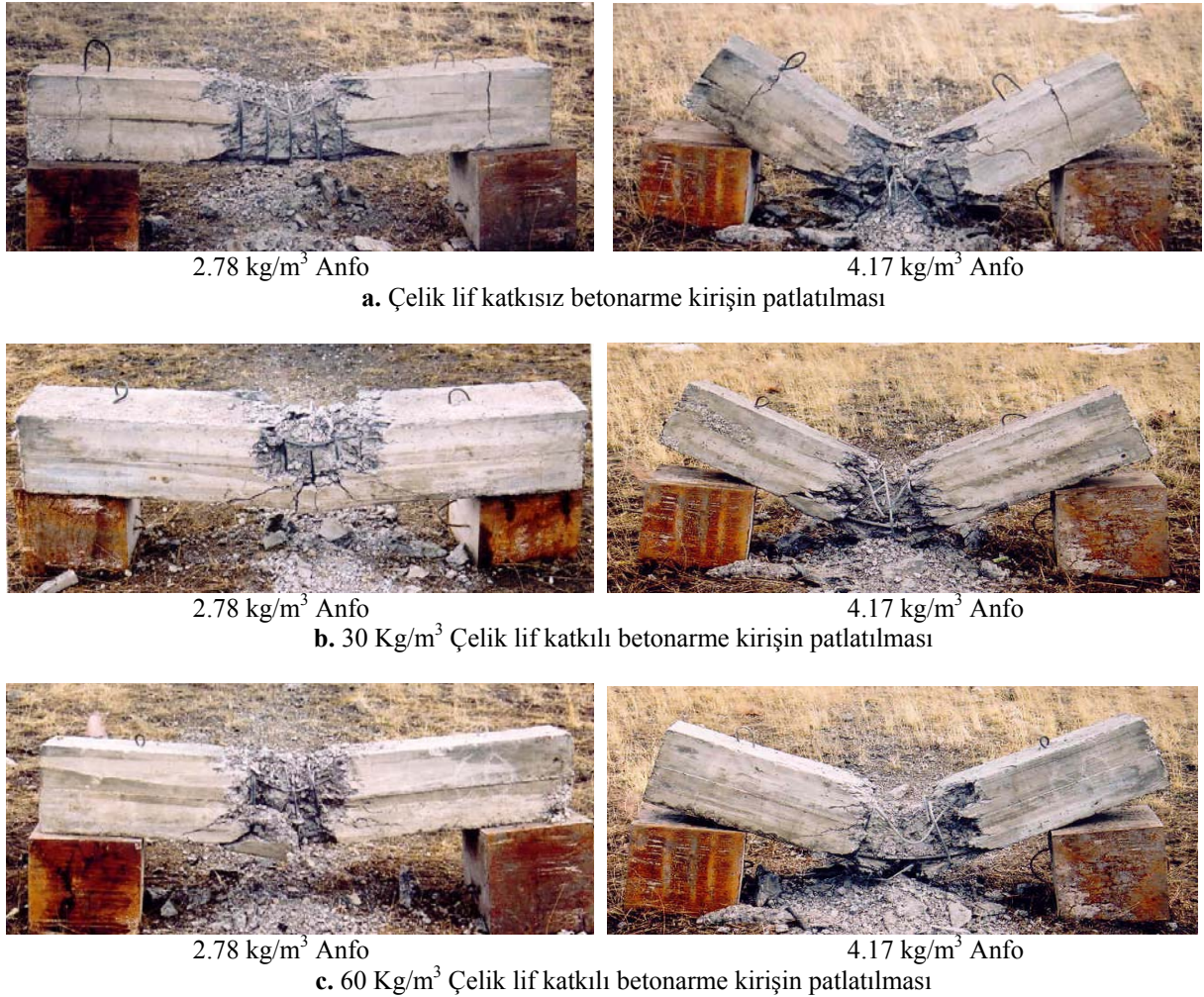
Patlayıcı maddelerin etkinliği kısaca şu şekilde açıklanabilir. Öncelikle yapı veya yapı elemanlarını belirli bir boyutta kırabilmek ve belirli bir mesafeye öteleyebilmek için belirli bir enerjiye gereksinim vardır. İşte bu enerjiyi tanımlayan patlama parametresine “özümlü şarj” denir. Diğer bir deyişle; özümlü şarj, betonarme yapının metre küpü başına tüketilen patlayıcı madde miktarıdır. En gerçekçi tanımıyla patlayıcı maddelerin enerjisi, “betonarme yapıları kırabilme yeteneğidir” şeklinde açıklanabilir. Patlayıcılar, betonu kırmak için yüzeye veya hedef üzerinde açılan deliklere uygun şekilde yerleştirilir. Sıkıca paketlenmiş kum, kil, balçık veya diğer yoğun maddelere sıkıca sarılmak suretiyle sıkılır. Sıkılama maddeleri serbest olarak veya kum torbaları içerisinde bulunabilirler.

Patlayıcı madde ile yapılan patlama yüklemesi, çelik lif katkılı ve katkısız betonarme kirişler için Şekil 4 ‘de verildiği gibi uygulanmıştır. Patlayıcı (Anfo) olarak, fitil ile ateşlenebilir dinamit kullanılmıştır. Patlayıcıların her tarafına özel olarak imal edilmiş kum torbaları konularak 10 cm sıkılama yapılmıştır. Sıkılama patlayıcının etkisini artırmaktadır. Patlayıcının elektrikle ateşlenebilir kapsülle bağlantısı yapılmıştır. Bu kapsüller manyetolarla ateşlenmektedir. Normal elektrikli kapsüllerin ateşlenebilmesi için en az 3 mws/ohm enerji gerekmektedir. Manyetolarla yapılan ateşleme sonucunda anfo patlatılmıştır. Deneylerde patlayıcı madde miktarı 750 gr yani 4.17 kg/m^3 ve 500 gr yani 2.78 kg/m^3 olarak seçilmiştir.



Şekil 4. Betonarme kiriş patlatma deney düzeneği.

30 kg/m^3 ve 60 kg/m^3 dozajlarında çelik lif katkılı ve katkısız betonarme kirişlerde patlama yükü deneylerinde hasar seviyelerini gözlemleyebilmek amacıyla deneyler iki farklı patlayıcı miktarı için yapılarak sonuçlar Şekil 5 ‘de verilmiştir.



Şekil 5. Betonarme kiriş patlama deneyleri.

3. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Çelik lif katkılı silindirik beton numunelerde 0.50 olarak sabit alınan su/çimento oranı için 30 kg/m³ ve 60 kg/m³ dozajlarında beton basınç dayanımlarının katkısız betona göre azalma değerleri Tablo 1' de görülmektedir. 30 kg/m³ ile 60 kg/m³ çelik lif dozajları karşılaştırıldığında azalma yüzdelerinin birbirine çok yakın olduğu, E-modüllerinde ise 30 kg/m³ dozajın daha avantajlı olduğu görülmektedir. Beton maliyeti de düşünüldüğünde dozaj için 30 kg/m³ değerinin uygun olduğu söylenebilir. Beton ve betonarme kiriş yapımında bu dozaj değeri kullanılabilir.

Çelik lif katkısız betonun elastisite modülü 32950 N/mm², çelik lif katkılı betonların ortalama elastisite modülü 30 kg/m³ dozajda 32200 N/mm² ve 60 kg/m³ dozajda 32050 N/mm² değerinde hesaplanarak Tablo 1 'de verilmiştir. Ayrıca; betonun enerji yutma kapasitesi (tokluk) incelendiğinde çelik lif katkısının bu değeri 1.35 ile 1.50 kat artırdığı görülmektedir. Bu durum beton mekanik özelliklerine olumlu bir katkıdır.

Çelik lif katkısız betonarme kirişler ile 30 kg/m³ ve 60 kg/m³ dozajlarında çelik lif katkılı betonarme kirişler için basit eğilme yüklemesi sonucu elde edilen deney sonuçları Tablo 2 'de verilmiştir. Katkısız betonarme kirişlerde deneysel ve teorik göçme yükleri arasındaki oran ortalama 1.45, 30 kg/m³ dozajlı betonarme kirişlerde oran ortalama 1.90 ve 60 kg/m³ dozajlı betonarme kirişlerde oran ortalama 2.06 olarak hesaplanmıştır. Bu oranların yüksek olmasının nedenleri,

- Teorik hesaplarda beton ve donatı karakteristik değerlerinin alınması,
- Yükleme düzeneğinde kuvvetlerin numuneye tek nokta yerine, belirli bir genişliğe sahip profiller yardımıyla aktarılmış olması,

sonucunda teorik taşıma gücü değeri daha küçük hesaplanmaktadır. Bu nedenle deneysel yükün teorik yüke oranı yüksek çıkmıştır.

Betonarme kirişlerde açıklık orta noktası deplasmanlarına göre kuvvet–deplasman eğrileri çizilerek Şekil 3 'de verilmiştir. Eğrilerden katkısız ve çelik lif katkılı betonarme kirişlerin ortalama enerji yutma kapasiteleri hesaplanarak Tablo 2 'de verilmiştir (ASTMC 1018). Bulunan değerler; katkısız betonarme kirişlerde ortalama 10557 kN.mm, 30 kg/m³ dozajlı betonarme kirişlerde ortalama 28076 kN.mm ve 60 kg/m³ dozajlı betonarme kirişlerde ortalama 29828 kN.mm dir. Çelik lif katkılı kirişlerin enerji yutma kapasiteleri, çelik lif katkılı kirişlerin enerji yutma kapasitelerine oranlandığında, çelik lif katkısının denenen betonarme kiriş elemanlarda sünekliği 30 kg/m³ dozajlıda 2.66 kat ve 60 kg/m³ dozajlıda 2.83 kat artırdığı görülmektedir. Çelik lif dozajında %100 değerindeki bir artış, enerji yutma kapasitesini ancak % 7 değerinde arttırabilmiştir.

Patlama yüklemeleri 2.78 kg/m³ ve 4.17 kg/m³ dozajları için yapılmıştır. Birinci dozaj olan 2.78 kg/m³ Anfo kullanılarak yapılan patlama yüklemelerinde katkısız, 30 kg/m³ ve 60 kg/m³ çelik lif katkılı betonarme kirişlerin ağır hasara uğradığı ancak çelik lif katkılı betonarme kirişlerde parçalanmaların daha az olduğu görülmüştür. İkinci dozaj olan 4.17 kg/m³ Anfo ile patlama yüklemelerinde tüm dozajlar için kiriş orta noktasından tamamen parçalanmış ve mafsallaşma oluşmuştur. Bu nedenle çelik lifin katkısı 4.17 kg/m³ 'lük Anfo dozajı için gözlenememiştir. Ayrıca, katkısız betonarme kirişlerde 2.78 kg/m³ ve 4.17 kg/m³ patlayıcı dozajları için mesnet bölgesinde önemli sayılabilecek kesme çatlakları meydana gelmiştir. Çelik lif katkılı betonarme kirişlerde ise hasarın, sadece patlayıcının olduğu orta bölgede meydana geldiği ve mesnet bölgesinde 30 kg/m³ ve 60 kg/m³ çelik lif dozajlarında kesme çatlaklarının oluşmadığı görülmüştür.

4. SONUÇLAR

Çalışmada; C30 beton sınıfı için betonda ve betonarme kirişlerde kullanılabilir uygun çelik lif dozajı belirlenerek, farklı çelik lif dozajlarında üretilen betonarme kirişlerde basit eğilme ve patlama yüklemeleri yapılarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Patlayıcılar, 2.78 kg/m³ ve 4.17 kg/m³ dozajlarında betonarme kirişlere uygulanmış ve betonarme kirişlere ağır hasar verilmiştir. Beton dayanımı çelik lif dozajının artmasına bağlı olarak azalsa dahi, patlama etkilerine karşı betonarme elemanlarda deney sonuçlarına göre 60 kg/m³ 'ün üzerinde dozaj değerleri seçilmelidir. Çünkü seçilen 30 kg/m³ ve 60 kg/m³ dozajları betonarme kirişlerin patlama yüklemesi ile kırılma gelişimlerini önleyememiştir. Sadece mesnet bölgesi kesme çatlakları 30 kg/m³ ve 60 kg/m³ çelik lif katkısı ile engellenmiştir (Şekil 5).

Genel olarak deneysel çalışma sonuçları değerlendirildiğinde; betonda dayanımın çelik lif katkısına bağlı olarak azaldığı ancak; çelik lif katkılı betonarme kirişlerde ise, kirişin taşıma gücünün arttığı Tablo 2 de verilmiştir. Bu özellik, çelik lif katkısının betonarme kirişlerde çekme bölgesindeki beton çatlak oluşumunu azaltmasının veya geciktirmesinin bir sonucu olarak açıklanmıştır. Çünkü Şekil 2 'de verilen kiriş yükleme deneyine ait resimler incelendiğinde, çelik lif dozajına bağlı olarak çatlakların daha az sayıda ve düzenli olarak meydana geldiği görülmektedir. Deney sonuçlarına göre, 30 kg/m³ çelik lif katkısı verilen beton sınıfı için betonarme kirişin taşıma gücünde önemli bir artış sağlamak ve sünekliği de arttırmaktadır.

Patlama yüklemesinde ise, verilen patlayıcı miktarlarına göre çelik lif katkısı betonarme kirişlerde yeterli bir dayanım sağlayamamıştır. Ancak, patlama yüklemesi sonrası çatlak gelişimi 30 kg/m³ ve 60 kg/m³ çelik lif dozajlarında daha da azalmıştır. Bu nedenle, patlama yüklemesi deneylerinde daha yüksek beton sınıfı ve çelik lif dozajı seçilmesi önerilmektedir.

REFERANSLAR

1. Ocean Concrete Products, Ocean Heidelberg Cement Group, Steel Fibre Reinforcement, Working Together to Build Our Communities Report, 1999, USA.
2. Dupont, D., Vandewalle, L., Bending Capacity of Steel Fibre Reinforced Concrete (SFRC) Beams, International

- Congress on Challenges of Concrete Construction, Dundee, pp. 81-90, 2002.
3. Ganesan, N., Shivananda, K. P., Spacing and Width of Cracks in Polymer Modified Steel Fibre Reinforced Concrete Flexural Members, International Congress on Challenges of Concrete Construction, Dundee, pp. 244-253, 2002.
 4. Alavizadeh-Farhang, A., Plain and Steel Fibre Reinforced Concrete Beams Subjected to Combined Mechanical and Thermal Loading, Thesis, Department of Structural Engineering, Royal Institute of Technology, Bulletin No. 38, Stockholm, Sweden, 1998.
 5. Hartman, T., Steel Fiber Reinforced Concrete, Thesis, Department of Structural Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1999.
 6. Abolhassan A. A., Casey H., Qihong Z., Analysis of Car-Bomb Effects on Buildings using MSC-Dytran Software and Protective Measures, Proceedings of The MSC Software Virtual Product Development Conference, Dearborn, Michigan, pp. 1-10, October 13-15, 2003
 7. Corley W. G., Applicability of Seismic Design in Mitigating Progressive Collapse, Construction Technology Laboratories Report, Inc., Skokie, Illinois, Nist workshop, 2002.
 8. Vandenberghe M., B. Zwevegem., Steelfibres for the Construction of military shelters, IV. International Dramix Conference, Belgien, November 7-8, 1990.
 9. RILEM TC162-TDF, Test and design methods for steel fibre reinforced concrete: Bending test, Materials and structures, 2000, Vol. 33, January-February, p 3-5.
 10. RILEM TC162-TDF, Test and design methods for steel fibre reinforced concrete: σ - ε design method, Materials and structures, 2000, Vol. 33, March, p 75-81.
 11. ASTM C1018-92, Standart Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fibre-Reinforced Concrete , American Society for Testing and Materials, May 7p., 1992