

ÇELİK LİFLİ HAFİF BETONUN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Fatih ALTUN

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 38039/Kayseri

Geliş Tarihi : 21.02.2006

ÖZET

Bu çalışmada, 400 dozajlı hafif betona Dramix RC-80/60-BN tipi çelik lifler 10, 20, 30, 40, 50 ve 60 kg/m³ dozajlarında katılmıştır. Numuneler 28 gün sonunda kırılarak birim hacim ağırlıkları, 28 günlük basınç dayanımları, elastisite modülleri ve tokluk değerleri deneysel olarak bulunmuştur. Çalışma sonucunda; çelik lif katkısının sabit çimento dozajlı hafif betonun basınç dayanımı ile elastisite modüllerini değiştirmezken, tokluk değerini artırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Hafif Beton, Çelik lif donatılı beton, tokluk, elastisite modülü.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF LIGHTWEIGHT CONCRETE WITH STEEL-FIBER

ABSTRACT

In this study, Dramix RC-80/60-BN steel fiber was added into lightweight concrete of 400 cement dosage in the amounts of 10, 20, 30, 40, 50 and 60. The specimens were tested 28 days later to find the measured apparent specific gravity, concrete strength, modulus of elasticity and toughness value experimentally. Our study concluded that the addition of steel fiber has not changed the concrete strength and modulus of elasticity while it has increased the toughness of lightweight concrete of fixed cement dosage.

Key Words : Lightweight concrete, Steel fiber reinforced concrete, Toughness, Modulus of elasticity.

1. GİRİŞ

Beton malzemesinin dayanımı ve diğer mekanik özellikleri çeşitli katkı malzemeleri yardımıyla iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Katkı malzemeleri olarak kimyasal maddelerin yanı sıra günümüzde çeşitli boyutlarda çelik lifler de kullanılmaktadır. Çelik lif katkılı betonlar son yıllarda karayollarında, tünel kaplamalarında, beton büz borularında ve betonarme çerçevelerde, beton dayanımına olan olumlu etkileri ve enerji yutma kapasitelerinin fazla olması nedeniyle yaygın olarak uygulama alanı bulmaktadır.

Bulunuşundan günümüze kadar uygulama alanı çok yaygınlaşan normal beton, yüksek dayanım istenilen

yerlerde, bilhassa yük taşıyan yapı elemanlarında kullanılır. Normal betonun birim hacim ağırlığının yüksek olması, betonarme yapı sistemlerinde yapının kendi ağırlığının, taşıdığı yararlı ağırlığa yakın olmasına neden olmaktadır. Bu durum ekonomik olmayıp, deprem ve temel problemlerini zorlaştırmaktadır. Normal betonun bu sakıncası belli bir dayanımı sağlamak kaydıyla, birim hacim ağırlığının düşürülmesini zorunlu hale getirmektedir. Hafif agrega kullanılması ile elde edilen hafif betonlar birim hacim ağırlığı yanında normal betonun yüksek olan ısı geçirgenliğini de düşürmektedir.

Basınç etkisi altında mekanik davranışları elverişli olan yapı malzemelerinin, çekme ve eğilme etkisi altındaki davranışları çoğu zaman yeterli

olmamaktadır. Bu malzemelerin elverişli olmayan mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi yapı mühendisliğinin uğraş alanlarının başında gelmektedir. Günümüzde önemli yapı malzemesi olma özelliğini koruyan betonarme betonunun lif katkılarıyla iyileştirilmesi önemli bir araştırma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Betonarme betonunun özelliklerinin iyileştirilmesi çabaları ile yapı mühendisleri, teknolojik gelişmelere paralel olarak daha avantajlı yapı malzemeleri arama yoluna gitmişlerdir. Diğer bir deyişle hem basınç, hem çekme, hem de eğilme dayanımı yüksek olan, ancak metal yapı malzemelerinden daha ekonomik bir yapı malzemesi oluşturulmasına çalışılmaktadır. Genel olarak yorulma, aşınma, çekme, çatlama sonrası yük taşıma dayanımları ve enerji yutma kapasitesi bakımından zayıf olan hafif betonun bu özelliklerini iyileştirmek amacıyla betona katkı malzemeleri ilave edilebilmektedir. Lifler de bu malzemelerden birisidir. Lifli betonun üretilmesindeki amaç; malzemenin tokluğunun, darbe yüklerine karşı direncinin, eğilme dayanımının ve diğer mekanik özelliklerinin artırılmasıdır.

Günümüzde betonlarda en yaygın olarak kullanılan lifler çelik, polipropilen ve alkali dirençli camlardır. 1960'lı yıllardan bu yana yapılan çalışmalarda beton içerisine konulan lifler betonda oluşan çatlakların ilerleme hızını azaltmıştır. Ayrıca; en büyük yükten sonra lifli betonlarda artan deformasyonlar sonucunda, yükün azalma hızı, normal betona göre çok daha yavaştır. Dolayısıyla lifli betonun tokluğu normal betona göre daha fazladır.

Beton basınç dayanımı arttıkça betonun kırılması sırasında bağıl olarak daha az enerji yuttukları bilinmektedir. Çelik lif donatılı betonlar ise, yüksek enerji yutma kapasitelerine sahip, kırılma anında daha sünek davranış sergileyen malzemelerdir. Bu betonlarda çatlama riski de azalmakta ve üstün dayanıklılık sağlanmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı çelik lif kullanılarak sünekliği artırılmış yüksek performanslı betonlara talep artmaktadır.

Çelik lif katkılı betonlar son yıllarda; tünel yapılarında, döşeme ve saha betonlarında, şev stabilizasyonunda, onarım malzemesi olarak, baraj yapılarında, liman yapılarının yapımında ve onarımında, yangın korumalarında, beton büz borularda ve betonarme çerçevelerde, beton dayanımına olan olumlu etkileri ve enerji yutma kapasitelerinin yüksek olması nedeniyle yaygın olarak uygulama alanı bulmaktadır (Ocean, 1999; Topçu, 2004; 2005).

Çelik lifli betonun özelliklerini etkileyen en önemli faktörler narinlik oranı ve kullanılan lif miktarıdır. Ayrıca beton içerisine katılan çelik tellerin karışımda homojen olarak dağıtılması, beton özellikleri üzerinde iyileştirici bir etki yapmaktadır (Taşdemir, 2000).

Doğal hafif agregalardan ülkemizde en yaygın olanları, volkanik esaslı pomza taşı, volkanik tüf ve cüruftur. Pomza taşının Orta ve Doğu Anadolu'da oldukça büyük rezervleri mevcuttur. Orta Anadolu'da özellikle volkanik bir dağ olan Erciyes Dağı'ndan dolayı Kayseri yöresinde pomza taşı bulunmaktadır. Boşluklu ve hafif agrega ile yapılmış olan hafif betonların termal genleşme katsayılarının düşük olması nedeniyle yangına karşı dayanım gösterdiği de bilinmektedir. Boşluklu ve hafif agrega ile yapılmış hafif betonların sıcaklık artışlarında, kütlelerinde bir hasar olmamasına karşın, normal ağırlıktaki betonlarda 500-600 °C sıcaklıklarda, kütlelerinde çöküntüler meydana gelmektedir. Bu nedenle betonarme elemanlarda yangına karşı dayanımda pas payının yüksek seçilmesi ile donatının sıcaktan etkilenmesi önlenmektedir.

Betonarme yapılarda taşıyıcı hafif beton kullanımının; depreme karşı davranış ve yangın dayanımı ile ağırlıklarının düşük olması yanında esas olan yalıtım özelliği gibi üstünlüğü de vardır. Normal beton kadar yaygın olmamakla beraber, birçok ülkede yüksek dayanımlı hafif beton üretimi ve kullanımı tercih edilmektedir (Floyd, 1986).

Literatürde, hafif betonla yapılmış olan deneysel çalışmalarda C16 betonu su/çimento oranı 0.40 olan 0/8, 8/16 ve 0/16 kaba agrega tane boyutlu serilerde 0.46-0.51 kaba agrega hacim oranı değerlerinde sağlanmaktadır (Topçu, 1988).

Diğer bir çalışmada volkanik cüruf özellikleri Eskişehir yöresi agregaları için araştırılmıştır. Çalışma sonucunda farklı çaplarda hafif agrega kullanılarak C16, C20 ve C25 sınıfında yarı hafif beton üretilebileceği sonucuna ulaşılmıştır (Topçu, 1997).

Hafif agrega ile üretilen yarı hafif betondan dayanım olarak C20 sınıfına giren taşıyıcı hafif beton üretilmiştir. Ancak taşıyıcı hafif beton da elastisite modülü ortalama 10000 MPa değerinde bulunmuştur. Bu durum yapı elemanlarında rijitlik kaybına neden olmaktadır. Elastisite modülü normal ağırlıklı C20 betonu için 28000 MPa mertebelerinde olmaktadır. Bu ve diğer özellikleri taşıyıcı hafif betonda iyileştirebilmek amacıyla çelik lif katkısının hafif beton mekanik özelliklerine etkileri araştırılmak istenmiştir.

Çelik lif katkılı hafif beton ile ilgili diğer bir çalışmada, uçucu kül kökenli hafif agreganın çapları 0.418-0.76 mm ve boyları da 25-50 mm arasında değişmektedir. Bu malzemeler ile üretilen hafif betona farklı geometrilere sahip çelik lifler katılarak üretilmiş ve ağırlık düşürme deney düzeneği kullanılarak betonun darbe etkilerine karşı dayanıklılığını araştırmıştır. Yapılan çalışma sonucunda numunelerin basınç dayanımları arttıkça darbe etkisine karşı dayanıklılığının da arttığı görülmüştür. Çalışmada hafif betonların darbe etkisine karşı dayanıklılığı liflerin geometrisine, lifin uzun veya kısa olmasına ve lif narınlığına bağlı olduğu görülmüştür (Swamy, 1982).

Lifli hafif betonlarla ilgili diğer bir çalışmada, pomza hafif agregası kullanılarak üretilmiş hafif ve yarı hafif betonlarda çelik lif kullanımının betonun özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sonuçta çelik liflerin işlenebilirliği olumsuz yönde etkilemesine rağmen lif oranının hacimce % 1.5'e çıkmasıyla basınç dayanımında % 16-23, çekme dayanımında % 170-175 ve eğilme dayanımında ise % 265-300 oranlarında artış sağlanmıştır. Çalışmada ayrıca hafif ve yarı hafif betonlarda çelik lif kullanılarak normal betonların dayanımına yaklaşıldığı dolayısıyla yapının ağırlığı azaltılarak ekonomik çözümlerin gerçekleştirilebileceği vurgulanmıştır (Yıldırım, 1994).

Çelik lif katkılı hafif betonlarla ilgili başka bir çalışmada, su/çimento oranı 0.35 ve en büyük agregası boyutu 19 mm sabit tutularak üretilen 1650 kg/m³ birim hacim ağırlığındaki hafif betonlar üzerinde yapılan çalışmada çelik liflerin karışıma 90 kg/m³ oranına kadar kolaylıkla ilave edilebileceği belirlenmiştir. Ayrıca bu çelik liflerin hafif betonun birim hacim ağırlığını 100 kg/m³ kadar arttırmasına ve işlenebilirliği olumsuz yönde etkilemesine rağmen basınç dayanımını yaklaşık % 30 oranında, elastisite modülünü % 30 oranında, eğilme ve çekme dayanımında ise % 100'den fazla artış sağladığı, sonuç olarak betona silis dumanı ve akışkanlaştırıcı katkıları da ilave etmek suretiyle çelik lifli hafif betondan 42 MPa değerinde basınç dayanımı ve 6.5 MPa değerinde çekme dayanımı elde edilmesinin mümkün olabileceği belirtilmiştir (Balaguru, 1996).

Gao vd. yaptıkları çalışmada yüksek dayanımlı hafif beton karışımlarına çelik lif ilave edilmesinin betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Bu amaçla en büyük tane çapı 15 mm olan hafif agregası (genleştirilmiş kil) kullanılmıştır. Hafif betona çelik lifler dikdörtgen en kesitli 20, 25 ve 30 mm uzunluğunda ve naftalin kökenli akışkanlaştırıcı katkı katılarak üretilmiştir. Deney sonucunda betona çelik lif ilave edilmesinin basınç dayanımını yaklaşık % 20, çekme dayanımını % 80

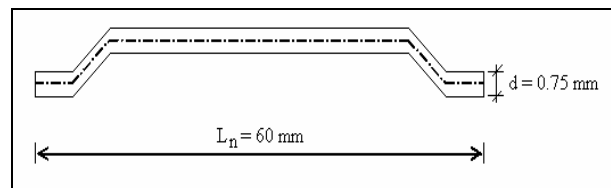
ve eğilme dayanımını ise % 90 oranında artırdığı tespit edilmiştir (Gao, 1997).

Çelik liflerin pomza agregalı hafif betonların mekanik özelliklerine etkisinin araştırıldığı bir diğer çalışmada, doğal agregası yerine % 25, 50, 75 ve 100 oranında pomza kullanılmıştır. % 0.5, 1 ve 1.5 oranlarında çelik lif takviyesi yapılmış ve aynı zamanda 300 dozaj çimento kullanılarak ve 30±5 mm çökme göz önünde bulundurulmuştur. Çalışmaların sonucunda pomza agregasındaki artışın birim hacim ağırlığındaki düşüşün yanı sıra betonun mekanik özelliklerinde azalmalara neden olduğu ve bunun tersine çelik lif ilavesi birim hacim ağırlığını % 8.5 basınç dayanımını % 21.1, çekme dayanımını % 61.2 ve eğilme dayanımını % 120.2 oranında artırdığı sonucuna varılmıştır (Düzgün, 2005).

Çalışmada, Kayseri Erciyes dağı Develi yöresinden sağlanmış bims kumu ve agregası üzerinde deneysel çalışmalar yapılarak özellikleri tespit edilmiştir. Bu agregalar yardımı ile taşıyıcı hafif beton özelliklerini iyileştirilebilmek için sabit çimento dozajına farklı dozajlarda çelik lif kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneylerde, hafif beton silindir numunelere tek tip çelik lif 10, 20, 30, 40, 50 ve 60 kg/m³ dozajlarında katılarak üretilmiştir. Ayrıca 6 adet çelik lif katkısız silindir hafif beton numunede yine aynı dozaj için kontrol amaçlı üretilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda; çelik lif katkılı ve katkısız hafif beton numunelerde, birim hacim ağırlığı, basınç dayanımı ve elastisite modülü gibi mekanik özellikleri tayin edilerek çelik lif katkılı hafif betonların betonarmede kullanılabilirlikleri araştırılmıştır.

2. ÇELİK LİF VE ÖZELLİKLERİ

Çelik liflerin fonksiyonu, beton içerisinde yeni adezyon kuvvetleri oluşturmaktır. Çelik lifler betonun içerisinde zayıf bölgelerde küçük köprüler oluşturarak çalışır. Bu nedenle çatlak oluşumu çelik lifli betonda daha düşüktür. Çelik lif sınıflandırması TS 10513'de yapılmıştır (Anon., 1992). Deneylerde kullanılan çelik lif formu Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan çelik lif formu.

Deneysel çalışmalarda, C Sınıfı iki ucu kıvrılmış tel (çelik lif) kullanılmıştır. Beksa A.Ş. firmasının üretimi olan lifler, Dramix RC80/60BN tipinde olup, liflerin uzunluğu 60 mm ve çapı 0.75 mm'dir (Şekil 2).



Şekil 2. Deneysel çalışmalarda kullanılan çelik lifler.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda çelik lif katkılı ve katkısız beton deneyleri yapılarak uygun çelik lif dozajı araştırılmıştır. Bu amaçla beton deneyleri, 10, 20, 30, 40, 50 ve 60 kg/m³ çelik lif dozajlarında her bir gruptan 6 adet olmak üzere toplam 36 adet çelik lif katkılı silindir numune imal edilmiştir. Ayrıca 6 adet çelik lif katkısız hafif beton silindir numune de kontrol amaçlı üretilmiştir.

Agrega granülometrisi, normal betona benzemekle beraber iri ve ince hafif agregaların farklı yoğunluklara sahip olması ve tane biçimlerinin köşeli oluşundan yüzey yapıları pürüzlü olmaktadır. Bu nedenle, hafif beton karışımları normal betonlara oranla daha fazla ince tane oranına gereksinime gösterir. İyi bir işlenebilirlik için hafif beton karışımlarında toplam agreganın hacminin % 40-60'ı oranında ince agregaya gerek duyulur (Neville, 1975).

Betonun birim hacim ağırlığının azaltılması başlıca üç yolla olmaktadır;

- Normal agregaların yerine boşluklu olan doğal veya yapay hafif agregaların kullanılmasıyla üretilen hafif agregalı betonlar,
- Beton içerisinde fiziksel veya kimyasal yolla büyük miktarda boşluk oluşturularak üretilen gaz ve köpük betonlar,
- Betonun ince agregasını çıkarmak yoluyla üretilen kumsuz betonlar.

Bu yöntemler incelendiğinde günümüzde çok kullanılmakta olan hafif betonları üretmek için, beton içinde çeşitli yöntemlerle boşluk oluşturmak genel bir kuraldır. Betonda boşluk oluşturma, ya harç içinde veya iri agreganın daneleri arasında veya agreganın içinde yapılır. Hafif betonlar dayanımlarına göre,

- Düşük dayanımlı ısı ve ses yalıtım betonları,
- Orta dayanımlı betonlar,
- Taşıyıcı betonlar.

olarak üç gruba ayrılmaktadır. Taşıyıcı hafif beton üretiminde en çok başvurulan yöntem, hafif agregalar ile birim ağırlığı istenilen düzeyde tutmaktır. Hafif beton üretiminde kullanılan hafif agregalar altı grupta toplanabilir:

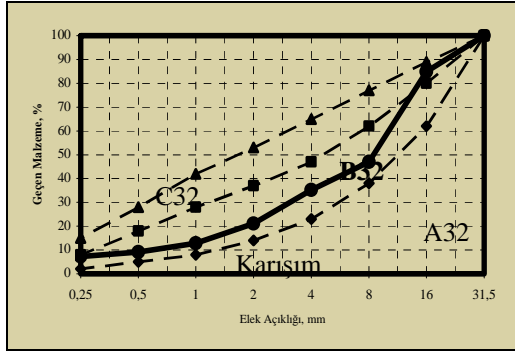
- Doğal hafif agregalar: Pomza taşı, volkanik tüf, volkanik cüruf gibi,
- Doğal malzemelerden üretilen yapay hafif agregalar: Genleştirilmiş kil, şist, arduvaz ve perlit gibi,
- Endüstriyel artıklardan oluşan hafif agregalar: Yüksek fırın cürüfları, uçucu kül gibi,
- Endüstriyel artıkların işlenmesiyle üretilen hafif agregalar: Genleştirilmiş cüruf, kızdırılmış uçucu kül gibi,
- Organik hafif agregalar: Hububat tanecikleri, ağaç parçacıkları gibi malzemeler,
- Polimer kökenli malzemeler: styropor gibi

Hafif betonların sınıflandırılması TS 2511'de, birim hacim ağırlıklarına (BHA) göre (Anon., 1977);

- Hafif betonlar : BHA < 19 kN/m³
- Yarı hafif betonlar : BHA 19-21 kN/m³
- Normal betonlar : BHA 21-24 kN/m³

Çalışmada, Doğanlar Madenciliğinin üretimi pomza kumundan % 50 ve pomza agregasından % 50 oranlarında alınarak sonuç karışım agregasına ait değerler elde edilmiştir. Şekil 3'teki diyagramda kesik çizgili eğriler standart eğriler olup, karışım sonuçları eğrisi ise koyu renkte ve sürekli bir eğri olarak gösterilmiştir.

Hafif agregalarda su emme fazla miktarda olduğundan, emme suyunun karışım yapılmadan önce agregaya mutlaka emdirilmesi gerekir. Aksi halde hidrasyon ve işlenebilirlik için gerekli olan yoğurma suyunun büyük bir bölümünü agregalar hemen emerek, beton bünyesinde ağ şeklinde rötre çatlaklarının oluşmasına neden olmaktadır. Bu çatlaklar betonun ıslak ortamda saklanması durumunda da önlenememektedir (Akman, 1990).



Şekil 3. Karışım agregası granülometri eğrisi.

Su/çimento oranını belirleyecek olan karışım suyu, emme suyundan ayrı olarak kullanılır ki, bu bakımdan karışım suyu iki kısımda düşünülür.

Gerçek Su : Hidratasyon ve işlenebilirliğin Gereksinmesi sağlanması için,
Emme Suyu : Burada emme suyu agregalarda 30 dakikalık su emme deneyi yapılarak % olarak belirlenmiş ve bulunan değerler esas alınmıştır.

Hafif betonun ağırlığının az olması nedeni ile çökme değerleri, aynı bir kıvam için normal betona göre bir miktar daha az çıkmaktadır. Hafif beton bileşiminin ancak uygun deneysel araştırmalar sonucu uygulama amaçlarına göre tayin edilebileceği belirtilmektedir (Taşdemir, 1981). Bu çalışmada üretilen çelik lif katkılı silindir beton numunelerde, su/çimento oranı 0.45 ve çökme değeri beton karışımına % 1 oranında akışkanlaştırıcı katılarak 75 ± 20 mm aralığında sabit tutulmuştur. Deney betonu 400 dozaj çimento ile imal edilmiştir.

Çalışmada üretilen tüm betonlarda 8 mm'nin altında kum kullanılmış olup, kumun kuru halde birim ağırlığı (KHBA) ortalama 1.155 kg/dm^3 , kuru yüzey doygun halde birim ağırlığı (KYDHBA) ise 1.448 kg/dm^3 ve su emme % 26 olarak bulunmuştur. Karışımlarda kullanılan Pomza agregası 7-15 mm aralığında olup ortalama kuru halde birim ağırlığı OKHBA = 0.923 kg/dm^3 , ortalama kuru yüzey doygun halde birim ağırlık OKYDHBA = 1.172 kg/dm^3 ve su emme değeri ise % 27 oranında elde edilmiştir. Tablo 1'de 1 m^3 beton için kullanılan malzemelerin karışım ağırlıkları verilmiştir.

Çalışmada; Dramix RC 80/0.60 BN tipi çelik lif kullanılmıştır. Çelik lif çekme dayanımı en düşük 1050 MPa 'dır. Çelik lifler transmiklere 20 kg/dak . hızla homojen karışım sağlanacak şekilde katılmış ve karışım en yüksek hızda 5 dakika süreyle çevrilmiştir (Anon., 2000a, b). İmal edilen çelik lifli hafif betonun genel görünümü Şekil 4'te verilmiştir.

Tablo 1. 1 m^3 deney betonu birleşenleri

Malzeme	Miktar (kg)
Su	375
Çimento CEM II/B-M 42.5R	400
Pomza kumu	335
Pomza agregası	335
Katkı (akışkanlaştırıcı)	4



Şekil 4. Homojen karıştırılmış çelik lif katkılı beton (SFC).

Beton silindir numuneler eş zamanlı olarak üretilerek silindir çelik kalıplara dökülmüştür. Silindir numuneler uygun kür koşullarında 28 gün bekletilerek basınç dayanımları TS 3114'e uygun olarak belirlenmiştir (Anon., 1990). Tüm silindirlerde aksel yüklemenin başarı ile uygulanabilmesi için kükürt-grafit karışımı başlıklar yapılmıştır. Deney numunelerinin elastisite modüllerinin hesaplanması için, oluşan boy kısaltmalarının belirlenmesi amacı ile numunelere deplasman ölçer takılmıştır. Numunelerin 20 kN 'luk yük değerine karşı deplasman değerleri bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Çelik lif katkılı ve katkisiz silindir hafif beton numuneler için kırılma yükleri belirlenmiş, elastisite modülleri ve tokluk değerleri deney sonuçlarına göre hesaplanmıştır (Anon., 1992) Uygun çelik lif dozajını belirlemede; her bir beton silindir numune grubunun ortalama kırılma yükü, elastisite modülleri ve çelik lifin dozajına bağlı maliyet kriterleri dikkate alınmıştır. Tablo 2'teki deney sonuçları incelendiğinde basınç dayanımı ve elastisite modülü için belirli bir dozajın seçilemeyeceği görülmüştür.

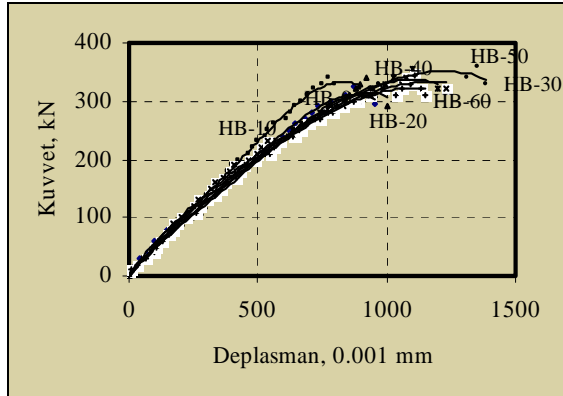
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Beton içerisinde bulunan sürtünme kuvvetleri, malzeme içerisinde bulunan mikro çatlaklar nedeniyle düzensizdir. Çelik lifler betonun içerisinde zayıf bölgelerde küçük köprüler şeklinde çalışır. Bu nedenle çatlak oluşumu çelik lifli hafif betonda daha düzenlidir. Bu özellik çelik liflerin beton içerisinde homojen olarak dağıtılması ile sağlanmaktadır. Çelik

lif katkılı silindir hafif beton numuneler tipik davranış sergileyerek kırılmıştır. Taşıma gücü sonrası yüklemeye devam edilmesine rağmen beton numunelerde aşırı derecede parçalanma ve dağılmanın olmadığı görülmüştür. Deneysel sonucuna göre silindir hafif beton numuneler için kuvvet-deplasman eğrileri Şekil 5'te verilmiştir. Silindir numuneler için kuvvet-deplasman eğrileri altındaki alan hesaplanarak tokluk değerleri bulunmuştur. E-modülleri ise silindir numune gerilme-şekil değiştirme eğrilerinden hesaplanarak sonuç değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Silindir Numune Mekanik Özellikleri.

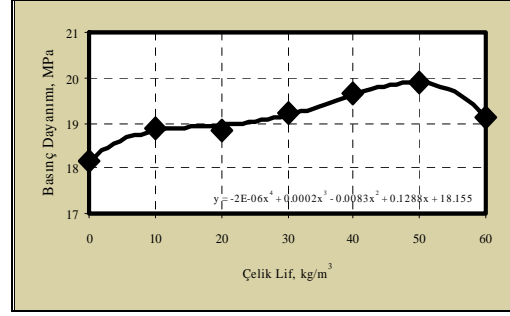
Deneysel Eleman.	Lif kg/m ³	BHA kN/m ³	Basınç Dayanımı MPa	E Modülü MPa	Tokluk Nmm
Katkısız	0	14.31	18.14	12 850	233
LWC-10	10	14.81	18.89	13 000	249
LWC-20	20	14.84	18.85	12 980	258
LWC-30	30	14.87	19.23	12 900	264
LWC-40	40	14.93	19.64	13 000	315
LWC-50	50	15.12	19.87	13 050	283
LWC-60	60	15.88	19.10	13 020	264



Şekil 5. Silindir numuneler için kuvvet-deplasman eğrileri.

Deneysel sonucunda, silindir numune basınç dayanımının çelik lif oranı ile değişimi Şekil 6 da verilmiştir.

Bu değerlere göre hafif betonda basınç dayanımının çelik lif katkısı ile çok fazla değişmediği sadece 30 ila 50 kg/m³ çelik lif dozajı aralığında hafif beton basınç dayanımında artış görülmüştür. Çelik lif dozajının basınç dayanımı ile değişim eğrisi dördüncü dereceden polinom eğrisi olarak şekil üzerinde verilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Silindir numunelerde basınç dayanımının çelik lif dozajı ile değişim eğrisi.

Çelik lif katkısının basınç yükünü çelik lif dozajına bağlı olarak ortalama % 7 artırdığı hesaplanmıştır. Ancak tokluk değerlerinde 30 ila 50 kg/m³ dozajının daha avantajlı olduğu görülmektedir. Beton maliyeti de düşünüldüğünde 30 kg/m³ dozaj seçimi uygun olacaktır. Hafif beton yapımında bu değer kullanılabilir.

Katkısız beton elastisite modülü 12850 MPa, çelik lif katkılı betonların ortalama elastisite modülleri ise 12990 MPa hesaplanarak Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca; betonun enerji yutma kapasitesi incelendiğinde çelik lif katkısının bu değeri 1.50 kat artırdığı görülmektedir. Bu durum beton özelliklerine olumlu bir katkıdır.

Enerji yutma kapasitesi olan tokluk değerlerinin hesabı için şu sıra takip edilmiştir. Her bir grup için altı numune sonuçlarına göre kuvvet-deplasman eğrileri çizilmiştir. Bu eğrilere polinom türü tek bir eğri uydurulmuştur. Eğri fonksiyonu tayin edilerek altında kalan alan bu fonksiyona bağlı olarak matlab paket programı ile hesaplanmıştır. Hesap sonucu tokluk değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Çelik lif katkısının yaklaşık 40 kg/m³ olduğu değerlerde katkısız numuneye göre yaklaşık 1.50 katı kadar sünek davranış göstermiştir. Bunun ideal bir değer olduğu tablo sonuçlarından rahatlıkla görülmektedir.

Silindir numunelere ait okunan birim kısalma değerlerine göre gerilme-birim kısalma eğrileri elde edilmiştir. Eğriler yardımıyla silindir numunelere ait elastisite modülleri sekant yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bulunan sonuç değerleri ise Tablo 2'de verilmiştir. Sonuçlara göre elastisite modülü çelik lif dozajı katkısı ile ancak % 1.50 kadar artmıştır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada; sabit çimento dozajı için belirtilen çelik lif tipi ve dozajının betonun mekanik özelliklerine olan etkilerinin deneysel araştırılması yapılmıştır. Araştırmalar sonucunda;

- Birim hacim ağırlık değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Bu değerler çelik lif katkılı hafif betonların TS2511’e göre hafif beton sınıfında olduğunu göstermektedir.
- Silindir numune basınç dayanımlarının, tel narinliği 80 ve su/çimento oranı 0.45 olan betonda 10, 20, 30, 40, 50 ve 60 kg/m³ lif içeriklerinde çok değişmediği belirlenmiştir. Ancak 30 ila 50 kg/m³ lif içerikli hafif beton basınç dayanımında artış görülmüştür.
- Kullanılan çelik lif katkı dozajlarının ortalama kırılma yükünü belirgin bir şekilde değiştirmedığı, sadece çelik lif katkısız betona göre ortalama kırılma yükünü % 7 civarında artırdığı görülmüştür. Buna rağmen deney sonuçları incelendiğinde çelik lif katkısının belirli beton sınıfını değiştirmedığı sonucuna ulaşılmıştır.
- Enerji yutma kapasitesi, çelik lif katkısı ile katkısız numuneye göre 1.50 kat kadar artmış, sünek davranışı olumlu yönde etkilenmiştir. Çelik lif katkısının yaklaşık 40 kg/m³ olduğu değer verilen hafif beton dozajı için enerji yutma kapasitesi açısından ideal bir değerdir.
- Silindir numune gerilme-birim kısalma eğrilerine göre, çelik lif katkısı ile elastisite modüllerinin incelenen numuneler için kayda değer miktarda değişmediği sonucuna ulaşılmıştır.

Genel olarak bu araştırma kapsamında elde edilen deney sonuçları değerlendirildiğinde; çelik lif katkısının ortalama kırılma yükünü % 7 civarında artırdığı ve hafif beton basınç dayanımını değiştirmedığı görülmüştür. Ortalama kırılma yükü, enerji yutma kapasitesi ve elastisite modülü değerleri göz önüne alındığında 30-40 kg/m³ çelik lif dozajının verilen dozajdaki hafif beton için uygun olduğu söylenebilir.

6. KAYNAKLAR

Anonim, 1977. TS 2511. Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesapları, Ankara, TSE.

Anonim, 1992. TS 10513, Çelik Teller- Beton Takviyesinde Kullanılan, Ankara, TSE.

Anonim, 1990. TSE 3114. Beton Basınç Mukavemeti Tayini, TSE.

Anonymous, 1992. ASTM C1018-92. Standart Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fibre-Reinforced Concrete, American Society for Testing and Materials, May.

Anonymous, 2000a. RILEM TC162-TDF. Test and Design Methods For Steel Fibre Reinforced Concrete: σ - ϵ Design Method, Materials and Structures, Vol. 33, March, pp. 75-81.

Anonymous, 2000b. RILEM TC162-TDF. Test and Design Methods For Steel Fibre Reinforced Concrete: Bending Test, Materials and Structures, Vol. 33, January-February, pp. 3-5.

Akman, M. S. 1990. Yapı Malzemeleri, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

Balaguru, P. and Foden, A. 1996. Properties of Fiber Reinforced Structural Lightweight Concrete, American Concrete Institute, Structural Journal, Vol. 93, pp. 1-12.

Düzgün, O. A., Gül, R. and Aydın, A. C. 2005. Effect of Steel Fibers On The Mechanical Properties of Natural Lightweight Aggregate Concrete, Materials Letters, in press.

Floyd, O. A., Nilson S. H. and Salvador, M. 1986. Mechanical Properties of High-Strength Lightweight Concrete, ACI Journal, pp. 606-613.

Gao, J., Sun, W. and Morino, K. 1997. Mechanical Properties of Steel Fiber-Reinforced, High Strength, Lightweight Concrete, Cement and Concrete Composites, Vol. 19, pp. 307-313.

Neville, A. M. 1975. Properties of Concrete, Pitmann Publishing, London.

Ocean Concrete Products, Ocean Heidelberg Cement Group. 1999. Steel Fibre Reinforcement, Working Together to Build Our Communities Report”.

Swamy R.N. and Jojagha, A.H. 1982. “Lightweight Concrete Impact Resistance of Steel Fibre Reinforced Lightweight Concrete”, International Journal of Cement Composites, Vol. 4, Issue 4, pp. 209-220.

Taşdemir, M. A. 1981. Taşıyıcı Hafif Agregalı Betonların Elastik ve Elastik olmayan Davranışları, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, Doktora Tezi, İstanbul.

Taşdemir, M. A. 2000. Teknik Rapor 1-Beksa Çelik Kord Sanayi ve Ticaret A.Ş. Tarafından Getirilen Dramix Çelik Tel Donatılı Beton Plaklar Üzerinde Yapılan Deneyler, Proje No: 2000/323, İTÜ.

Topçu, İ. B. 1988. Hafif Beton Özelliklerinin Kompozit Malzeme Olarak İncelenmesi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.

Topçu, İ. B. 1997. Semi Lightweight Concretes Produced by Volcanic Slags, Cement and Concrete Research, Vol. 27, No. 1, pp. 15-21.

Topçu, İ. B, Boğa, A.R. 2004. Prefabrik Beton Borularda Çelik Lif Kullanımı, Beton Prefabrikasyon Dergisi, Sayı 73, 13-20.

Topçu, İ. B, Boğa, A.R. 2005. Uçucu Kül ve Çelik Liflerin Beton Borularda Kullanımı, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 18, Sayı 2. (basımda).

Yıldırım, M.A. 1994. Hafif ve Yarı Hafif Betonlarda Çelik Lif Kullanılmasının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1994.