

## Çelik Tel Katkılı Hafif Betonun Eğilme Tokluğunun İncelenmesi

Fatih ALTUN<sup>1\*</sup>, Bekir AKTAŞ<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Kayseri, Türkiye

**ÖZET:** Bu çalışmada, farklı dayanımlı hafif betonlara çelik teller 0, 30 ve 60 kg/m<sup>3</sup> dozajlarında katılarak prizmatik hafif beton kiriş numuneler imal edilmiştir. Çelik tel katkısız hafif betondan imal kiriş numunelerde kontrol amaçlı üretilmiştir. Prizmatik numuneler 28 gün sonunda kapalı çevrim sehim kontrollü yükleme çerçevesinde ASTM C 1018 standardına uygun olarak eğilme deneyi ile kırılmıştır. Deney ile prizmatik numunelerde yük-sehim eğrileri elde edilmiş, eğilme dayanımları, tokluk indeksi ve eğilme toklukları hesaplanmıştır.

Deney sonucunda, çelik tellerin farklı dayanımlara sahip hafif beton gruplarının eğilme dayanımını, tokluk indeksini ve eğilme tokluğunu önemli derece geliştirdiği, enerji yutma kapasitelerinde ise artış sağladığı görülmüştür. Hafif beton kullanımı ile ölü yüklerin %40 oranında azalması ve çelik tel kullanımı ile sünek davranış sağlanması, davranış için önemli olabilmektedir. Azalan ağırlık ve sağlanan sünek davranış, yapılara etki eden deprem gibi benzeri yüklere karşı daha kararlı davranışların elde edilmesini de sağlayabilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** *Hafif Beton, çelik tel katkılı beton, eğilme dayanımı, eğilme tokluğu.*

## Investigation of Flexural Toughness of Steel Fiber Added Lightweight Concrete

**ABSTRACT:** In this study, steel fibers with dosages of 0, 30, and 60 kg/m<sup>3</sup> were added to those lightweight concrete members having different strength in order to produce prismatic lightweight concrete beam elements. Lightweight prismatic beam members without the addition of steel fiber were also made for control purposes. Prismatic lightweight elements were tested to crush at the end of 28 days in a closed-loop deflection-controlled loading frame in accordance with ASTM C 1018 standard. As a result of experiments, load-displacement curves of prismatic members were obtained, and the values of flexural resistance, toughness index, and flexural toughness were computed.

It was observed through the experiments that the steel fibers have significantly increased the flexural strength, toughness index, and flexural toughness of lightweight concrete groups of different strength. It was seen that steel fibers also caused an increase in the energy absorption capacity of those members. The use of lightweight concrete provides a decrease in dead loads by 40% and the use of steel fibers help improve the ductile behavior. These factors may be important in terms of structural response to external loads such as earthquake forces

**Keywords:** *Lightweight concrete, steel fiber added concrete, flexural capacity, flexural toughness*

## 1. GİRİŞ

Beton yük taşıyan yapı elemanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Normal betonun birim hacim ağırlığının yüksek olması nedeni ile yapıların ölü yükleri artmaktadır. Taşıtılabilecek olan yükler ölü yük karşılaştırıldığında bu değerlerin yakın olduğu görülmektedir. Bu durum yapılarda deprem ve temel yüklerini artırdığı için çözümünü de zorlaştırmaktadır. Normal betonun bu sakıncası belli bir dayanımı sağlamak kaydıyla, birim hacim ağırlığının düşürülmesini gerektirmektedir. Bu amaçla hafif agrega kullanılarak üretilen hafif betonlar, birim hacim ağırlığının düşük olması

yanında normal betonun yüksek olan ısı ve ses geçirgenliğini de önemli oranda düşürmektedir.

Günümüzde çok katlı yapıların yapımı hızlandıkça, hafif beton için uygulamaya yönelik girişimlerde artmıştır. Çünkü yüksek katlı yapılarda ölü yükün artması, maliyet artırıcı taşıyıcı sistem boyutlarını ve temel çözümlerini gündeme getirmiştir. Bu tip yapılarda hafif beton kullanarak ölü yükün azaltılması amaçlanmıştır. Hafif betonarme ve hafif öngerilmeli beton uygulamaları son yıllarda birçok yapıda gittikçe artan bir oranda uygulanmıştır. Omaha'da yapılan 40 katlı ulusal Bank Tower binasında hafif beton sadece döşemelerde kullanılmış ve yapı ölü yükü önemli oranda azaltılmıştır [1].

\*Sorumlu Yazar: Fatih ALTUN, [faltun@erciyes.edu.tr](mailto:faltun@erciyes.edu.tr)

Betonun mekanik özellikleri çeşitli katkı malzemeleri yardımıyla iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Katkı olarak kimyasal maddelerin yanı sıra günümüzde çeşitli boyut ve oranlarda çelik teller (lifler) de kullanılmaktadır. Çelik teller betonlara ilave edilerek betonların yorulma, aşınma, çekme, çatlama sonrası yük taşıma ve enerji yutma kapasiteleri gibi zayıf olan özellikleri üzerinde iyileştirmeler yapmaktadır. Çelik tel katkılı betonlar, karayolları, tünel kaplamaları, döşeme ve saha betonlarında, şev stabilizasyonunda, baraj yapılarında, liman yapılarının yapımında ve onarımında, yangın korumalarında, beton büz borularda ve betonarme çerçevelerde, beton dayanımına olan olumlu etkileri ve enerji yutma kapasitelerini artırması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır.

Boşluklu ve hafif agrega ile yapılmış olan hafif betonların termal genişleme katsayılarının düşük olması nedeniyle yangına karşı dayanım gösterdiği de bilinmektedir. Hafif betonların sıcaklığa maruz kalması durumunda kütlelerinde bir hasar olmamasına karşın, normal ağırlıktaki betonlarda ise 500-600 °C sıcaklıklarda kütlelerinde çöküntüler meydana gelmektedir. Bu nedenle betonarme elemanlarda yangına karşı dayanımda pas payının yüksek seçilmesi ile donatının sıcaktan etkilenmemesi için bir önlem olarak düşünülmektedir [2].

Çelik tellerin ponza agregalı hafif betonların mekanik özelliklerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, doğal agrega yerine % 25, 50, 75 ve 100 oranında ponza kullanılmıştır. Deneylerde farklı oranlarda çelik tel takviyesi yapılmış ve 300 dozaj sabit çimento kullanılmıştır. Çalışma sonucunda çelik tel ilavesi hafif betonun basınç dayanımını % 21.1, çekme dayanımını % 61.2 ve eğilme dayanımını % 120.2 oranında artırdığı sonucuna ulaşılmıştır [3].

Diğer bir çalışmada, hafif agregalı betona çelik tel katılarak yüksek dayanımlı hafif beton üretilmiştir. Çalışma sonucunda, çelik tel kullanılmayan betonların basınç altında çok şiddetli bir biçimde kırıldığı, telli betonlarda ise bu kırılma azaldığı belirtilmiştir [4].

Çelik tel katkılı hafif betonlarla ilgili başka bir çalışmada, su/çimento oranı 0.35 ve en büyük agrega boyutu 19 mm sabit tutularak üretilen 1650 kg/m<sup>3</sup> birim hacim ağırlığındaki hafif beton karışımına çelik teller 90 kg/m<sup>3</sup> miktarına kadar ilave edilebilmiştir. Çalışma sonucunda, çelik tel katkılı hafif betonların basınç dayanımını ve elastisite modülünü yaklaşık % 30, eğilme ve çekme dayanımını ise % 100'den fazla artırdığı bulunmuştur [5].

Bu çalışmada, bims kumu ve agregası, normal beton kumu ve agregası yerine kullanılarak hafif beton üretilmiştir. Deneysel çalışma ile hafif betonun zayıf olan basınç dayanımı, elastisite modülü, eğilmede çekme dayanımı ve enerji yutma kapasitesi

özellikleri, hafif betona çelik tel katılarak araştırılmıştır. Prizmatik beton numunelerde eğilmede çekme dayanımı deneyleri yapılarak hafif betona çelik tel katkısının eğilme tokluğuna etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, çelik tel katkısı ile hafif betonlarda eğilme tokluğu değişimi, farklı lif ve çimento miktarına sahip hafif betonlar için verilmiştir.

## 2.MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Beton Deneyleri

Hafif agregaya beton üretiminden önce bir ön emdirme suyu uygulamakla, taşıma sırasında ufalanmanın azalacağı, agregadaki ayrışmanın önleneyeceği ve beton kıvamının değişmeden kontrol edilebilmektedir. Su/çimento oranını belirleyecek olan karışım suyu, emdirme suyundan farklı olarak belirlenir ve kullanılır.

Hafif beton ağırlığının düşük olması nedeni ile çökme değerleri, aynı kıvam için normal betona göre bir miktar daha az çıkmaktadır. Hafif beton bileşiminin, ön karım betonları sonucunda yapılan deneysel çalışmalar ile uygulama amaçlarına göre tayin edilebileceği belirtilmektedir [6]. Bu çalışmada üretilen çelik lif katkılı hafif beton numunelerde, su/çimento oranı 0.45 ve çökme değeri beton karışımına çimento ağırlığının %1'i oranında akışkanlaştırıcı katılarak 75±20 mm aralığında sabit tutulmuştur.

Çalışmada üretilen tüm betonlarda 8 mm'nin altında ponza kumu kullanılmış olup, kumun kuru halde birim ağırlığı ortalama 1.155 kg/dm<sup>3</sup>, kuru yüzey doymun halde birim ağırlığı ise 1.448 kg/dm<sup>3</sup> ve su emme değeri % 26 olarak bulunmuştur. Ponza agregası 7-15 mm aralığında olup ortalama kuru halde birim ağırlığı 0.923 kg/dm<sup>3</sup>, ortalama kuru yüzey doymun halde birim ağırlık 1.172 kg/dm<sup>3</sup> ve su emme değeri ise % 27 oranında elde edilmiştir. 1 m<sup>3</sup> beton için kullanılan malzemelerin karışım ağırlıkları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Deneysel Betonun Bileşenleri (1 m<sup>3</sup> için)

| Malzeme                  | Miktar (kg) |        |        |
|--------------------------|-------------|--------|--------|
|                          | HB 350      | HB 400 | HB 450 |
| Su                       | 360         | 375    | 370    |
| Çimento CEM II/B-M 42.5R | 350         | 400    | 450    |
| Pomza kumu               | 343         | 335    | 327    |
| Pomza agregası           | 343         | 335    | 327    |
| Akışkanlaştırıcı         | 3,5         | 4      | 4,5    |

## 2.2. Prizmatik Kiriş Deneyleri

Prizmatik hafif beton kiriş numuneleri, silindirik beton numuneler üretilirken aynı hafif betondan 0 kg/m<sup>3</sup>, 30 kg/m<sup>3</sup> ve 60 kg/m<sup>3</sup> çelik tel miktarlarında 3x3x3 adet üretilmiştir. Prizmatik beton numune boyutları kullanılan çelik tel narinliğinden dolayı 150x150x750 mm olarak seçilmiştir.

DeneySEL çalışmalar kullanılan çelik lifler Dramix RC80/60BN tipinde olup, liflerin uzunluğu 60 mm ve çapı 0.75 mm'dir. Çelik liflerin en düşük çekme dayanımı 1050 MPa'dır. Çelik teller mikserle 20 kg/dak. hızda homojen karışım sağlanacak şekilde katılmış ve mikserin karışımı en yüksek devirde 5 dakika süreyle yapılmıştır [7, 8].

Prizmatik hafif beton kiriş numuneler uygun kür koşullarında 28 gün bekletilerek eğilme çekme

deneyi yapılmıştır. Prizma deneylerinde kirişlerin orta açıklığındaki sehim ve mesnetlerdeki çökmeler kaydedilmiştir. Kiriş orta açıklık net sehim değeri, mesnet çökmelerinin ortalamasının orta açıklıkta ölçülen sehimden farkı alınarak belirlenmiştir. Eğilme dayanımı yüklemesi 1 mm/dak. hızda yapılmıştır.

Çelik tel katkılı prizmatik hafif beton numuneler açıklığın 1/3 noktalarında yüklenmekte ve elde edilen yük-sehim eğrisi altında kalan alanlar aracılığıyla eğilme dayanımları değerlendirilmektedir. Prizmatik beton numune deneylerinde 250 kN kapasiteli sehim kontrollü-geri beslemeli yükleme çerçevesi kullanılmıştır. Deney düzeneği Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Eğilme deney düzeneği

## 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Deneyler sonucunda; eğilme çekme dayanımı, tokluk indeksi değerleri ve eğilme tokluğu değerleri hesaplanarak farklı çimento ve tel miktarına bağlı

değerleri Çizelge 2 de verilmiştir. Eğilme çekme dayanımlarının, çimento miktarlarına ve değişen tel oranlarına bağlı olarak,

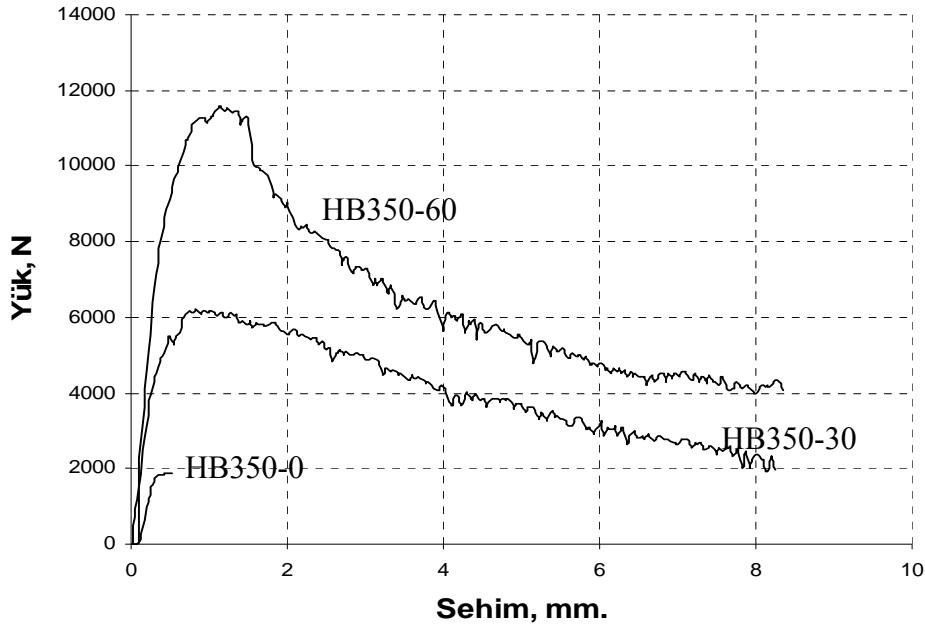
Çizelge 2. Prizmatik Hafif Beton Kiriş Numune Sonuçları

| Numune Adı | Ortalama Kırılma Yüğü (N) | Ortalama Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa) | Tokluk (kNmm) |
|------------|---------------------------|--|---------------|
| HB350-0    | 1883,3                    | 0,38                                   | 0,64          |
| HB350-30   | 6208,0                    | 1,24                                   | 33,33         |
| HB350-60   | 11588,8                   | 2,32                                   | 53,98         |
| HB400-0    | 2642,4                    | 0,53                                   | 0,83          |
| HB400-30   | 5922,4                    | 1,18                                   | 32,77         |
| HB400-60   | 9447,9                    | 1,89                                   | 61,67         |
| HB450-0    | 4131,4                    | 0,83                                   | 0,82          |
| HB450-30   | 7131,6                    | 1,43                                   | 29,40         |
| HB450-60   | 12689,8                   | 2,54                                   | 62,41         |

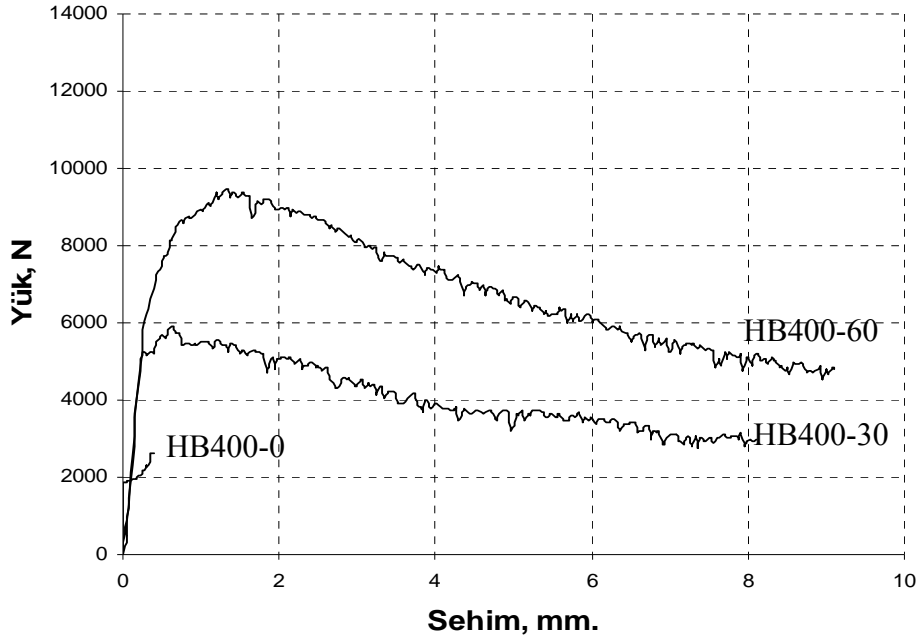
- 350 kg çimento dozajlı hafif betonlarda, 30 kg/m<sup>3</sup> çelik tel katkıli betonların tel katkısız betonlara oranla 3.26 kat, 60 kg/m<sup>3</sup> çelik tel katkıli betonların tel katkısız betonlara oranla 6.11 kat arttığı,
- 400 kg çimento dozajlı hafif betonlarda, 30 kg/m<sup>3</sup> çelik tel katkıli betonların tel katkısız betonlara oranla 2.23 kat, 60 kg/m<sup>3</sup> çelik tel katkıli betonların tel katkısız betonlara oranla 3.57 kat arttığı,
- 450 kg çimento dozajlı hafif betonlarda, 30 kg/m<sup>3</sup> çelik tel katkıli betonların tel katkısız betonlara oranla 1.73 kat, 60 kg/m<sup>3</sup> çelik tel katkıli betonların tel katkısız betonlara oranla 3.06 kat arttığı, hesaplanmıştır.

Eğilmede çekme dayanımlarının tel katkısız betonlarda artan çimento miktarı ile değişimleri, 400 kg/m<sup>3</sup> çimento miktarlı betonlarda 350 kg/m<sup>3</sup> çimento miktarlı betonlara oranla 1.40 kat, 450 kg/m<sup>3</sup> çimento miktarlı betonlarda 350 kg/m<sup>3</sup> çimento miktarlı betonlara oranla 2.18 kat artış hesaplanmıştır.

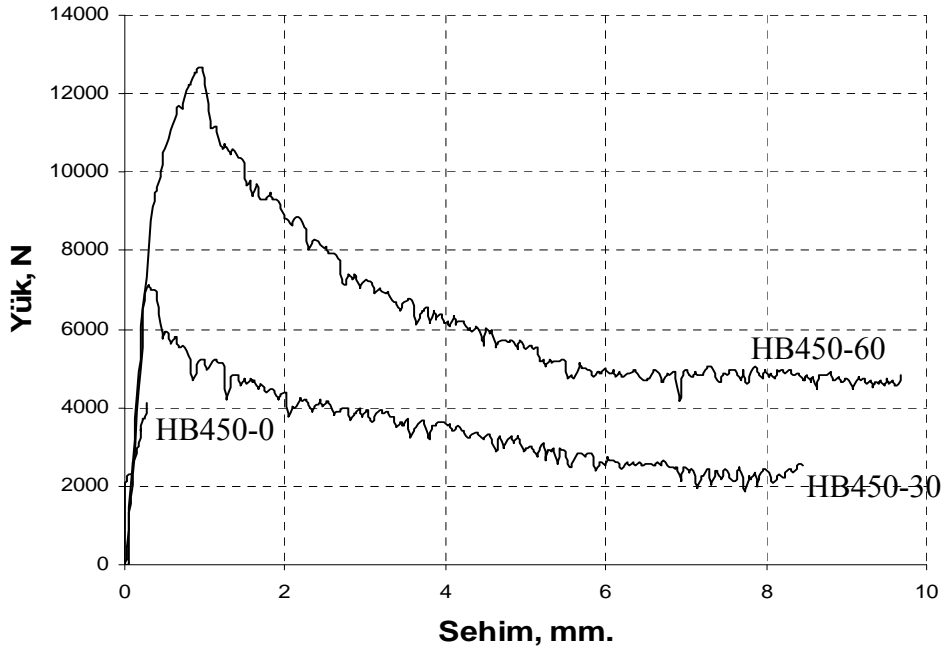
Prizmatik beton hafif kiriş numuneler üzerinde üçte bir noktadan yapılan yükleme deneyi sonucunda yük-sehim eğrileri 350 kg, 400 kg ve 450 kg çimento miktarları ve 0, 30, 60 kg/m<sup>3</sup> çelik tel dozajları için elde edilerek bu eğriler Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4 de verilmiştir.



Şekil 2. 350 çimento dozajlı prizmatik numuneler için yük – sehim eğrisi



Şekil 3. 400 çimento dozajlı prizmatik numuneler için yük – sehım eğrisi



Şekil 4. 450 çimento dozajlı prizmatik numuneler için yük – sehım eğrisi

Prizmatik hafif beton kiriş numunelerinin yük-sehım eğrisi üzerinde ilk çatlağın meydana geldiği sehım değeri, ilk çatlak sehimi olarak adlandırılır. Çelik tellerle donatılı betonlarda elastik şekil değıştirme, "indeksleri" aracılığıyla değerlendirilmektedir. Elastik şekil değıştirme indeksleri, "belirtilen sehime kadar olan eğri altında kalan alanın, ilk çatlağa kadar olan alana bölünmesi ile elde edilen sayısal değerlerdir" şeklinde açıklanmaktadır. I5, I10 ve I20 'ye ait olan 5, 10 ve

20 değerleri, birinci çatlağa kadar lineer elastik malzeme hareketine, daha sonra mükemmel plastik davranışa karşılık düşmektedir [9, 10].

Prizmatik hafif kiriş numunelerinde yük-sehım eğrilerine göre TS 10515 ve ASTM C 1018 de verilen sınır değerler ile deneylerin yapıldığı çelik tel katkılı prizmatik numuneler için hesaplanan I5, I10 ve I20 tokluk indeksleri Çizelge 3 de verilmiştir.

**Çizelge 3.** Hesap Edilen Tokluk İndeksleri ve Standart Sınır Değerleri

| Numune Adı | I <sub>5</sub> | I <sub>10</sub> | I <sub>20</sub> | Standart sınır değerler |                 |                 |
|------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-----------------|
|            |                |                 |                 | I <sub>5</sub>          | I <sub>10</sub> | I <sub>20</sub> |
| HB350-0    | 1              | 1               | 1               | 1                       | 1               | 1               |
| HB350-30   | 4,93           | 6,59            | 11,40           | 1 – 6                   | 1 – 12          | 1 – 25          |
| HB350-60   | 4,14           | 6,34            | 10,53           | 1 – 6                   | 1 – 12          | 1 – 25          |
| HB400-0    | 1              | 1               | 1               | 1                       | 1               | 1               |
| HB400-30   | 4,60           | 7,91            | 16,28           | 1                       | 1 – 12          | 1 – 25          |
| HB400-60   | 4,04           | 6,75            | 12,40           | 1 – 6                   | 1 – 12          | 1 – 25          |
| HB450-0    | 1              | 1               | 1               | 1                       | 1               | 1               |
| HB450-30   | 3,85           | 6,27            | 11,68           | 1 – 6                   | 1 – 12          | 1 – 25          |
| HB450-60   | 3,69           | 5,61            | 9,37            | 1- 6                    | 1 - 12          | 1 - 25          |

Prizmatik hafif beton kirişlerde eğilme tokluğu değerleri yük-sehim eğrisi altındaki alanlar hesaplanarak değerlendirilmiştir. Enerji tüketim kapasitesinin ölçüsü olan bu tokluk değeri için alanların hesabında, 0 ila 8 mm sehim aralığında kalan eğri altındaki alan esas alınmıştır. Eğilme tokluğu değerleri hesaplanarak Çizelge 2 de verilmiştir. Eğilme tokluğu değerlerinin farklı çimento miktarlarına göre artan tel oranına bağlı olarak değişimleri,

- 350 kg çimento dozajlı hafif betonlarda, 30 kg/m<sup>3</sup> çelik tel katkılı betonların tel katkısız betonlara oranı 52.08 kat, 60 kg/m<sup>3</sup> çelik tel katkılı betonların tel katkısız betonlara oranı 84.34 kat artmıştır,
- 400 kg çimento dozajlı hafif betonlarda, 30 kg/m<sup>3</sup> çelik tel katkılı betonların tel katkısız betonlara oranı 39.48 kat, 60 kg/m<sup>3</sup> çelik tel katkılı betonların tel katkısız betonlara oranı 74.30 kat artmıştır,
- 450 kg çimento dozajlı hafif betonlarda, 30 kg/m<sup>3</sup> çelik tel katkılı betonların tel katkısız betonlara oranı 35.85 kat, 60 kg/m<sup>3</sup> çelik tel katkılı betonların tel katkısız betonlara oranı 76.11 kat artış hesaplanmıştır.

Deney sonucu hesaplanan eğilme tokluğu değerleri incelendiğinde, çelik lif katkılı betonlarda çelik lifin artmasıyla eğilme tokluğu oranında çok önemli artışlar hesaplanmıştır.

#### 4. SONUÇLAR

Prizmatik kiriş hafif beton numunelerde eğilmede çekme dayanımları, farklı çimento miktarlarındaki hafif betonlara çelik tel katılması sonucunda önemli artış göstermiştir. Ancak en etkin artış oranının 350 kg çimento miktarlı betonlarda lifsiz betonlara oranla; 30 kg/m<sup>3</sup> çelik tel katkılı da

3.26 kat, 60 kg/m<sup>3</sup> çelik tel katkılı da 6.11 kat olduğu hesaplanmıştır.

Prizmatik hafif beton kiriş numunelerde I<sub>5</sub>, I<sub>10</sub> ve I<sub>20</sub> tokluk indeksleri için yapılan değerlendirmelerde numuneler birinci çatlağa kadar lineer elastik malzeme hareketine, daha sonra mükemmel plastik davranışa karşılık düşmektedir. Prizmatik hafif beton numunelerde hesaplanan tokluk indeksleri standartta verilen sınır değerleri sağlamıştır.

Prizmatik hafif beton kirişlerde eğilme tokluğu değerleri 0 ila 8 mm sehim aralığında yük-sehim eğrisi altındaki alanlar hesaplanarak değerlendirilmiştir. Enerji tüketim kapasitesinin ölçüsü olan bu tokluk değeri için alanların hesabı sonucunda hafif betona çelik tel katılması eğilme tokluklarını önemli ölçüde artırmıştır. Ancak eğilme tokluğunda en etkin artış yine 350 kg çimento miktarlı hafif betonlarda olmuştur. Bu değer tel katkısız betonlara oranla, 30 kg/m<sup>3</sup> çelik tel katkılı betonlarda 52.08 kat, 60 kg/m<sup>3</sup> çelik tel katkılı betonlarda 84.34 kat olarak hesaplanmıştır.

Genel olarak bu çalışma kapsamında elde edilen deney sonuçları değerlendirildiğinde, hafif beton kullanımı ile ölü yükler %40 oranında azalmıştır. Hafif betonlara çelik tel ilavesi ile eğilme tokluğundaki ve enerji yutma kapasitesindeki artış dikkat çekicidir. Kullanılan liflerin uçlarının kancalı oluşu, yutulan enerjideki artmanın bir başka olumlu nedenidir. Özellikle çelik lif katkısı tepe sonrası davranışı geliştirerek süneklilikte artırıcı bir sonuç ortaya koymuştur. Deneylerde liflerin kopmadığı gözlenmiştir. Dolayısıyla liflerin beton dayanımına katkısı aderans dayanımları kadar olmuştur. Sonuç olarak, hafif beton kullanımı ile azalan ağırlık ve sağlanan sünek davranış, yapılarda daha kararlı davranışların elde edilebilmesini sağlayabilecektir.

**Teşekkür:** Yazarlar, çalışmada kullanılan çelik tel malzemesini temin eden Beksa A.Ş.'ye ve ponza malzemesini temin eden Doğanlar Madencilik Garden Ponza A.Ş. firmalarına teşekkür ederler.

## REFERANSLAR

- [1] Jorgensen,S., “Omaha’s First National Bank Tower Using Structural Lightweight Concrete to Build a Landmark”, Featured Project. 02-2003 Buildex, Project No: 2000/323, Expanded Shale, Clay and Slate Institute, Utah, 2003.
- [2] Akman,M.S., “Yapı Malzemeleri”, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1990.
- [3] Düzgün,O.A., “Çelik Liflerin Hafif Betonların Dayanımları Üzerindeki Etkisi”, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s.112, Erzurum, 2005.
- [4] Boratav,S.S., ve Yeğinobalı,A., “Lif takviyeli yüksek dayanımlı hafif beton”, İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler, III. Teknik Kongre, Bildiriler Kitabı, O.D.T.Ü., 255-256, Ankara 1997.
- [5] Balaguru, P., Foden, A., “Properties of Fiber Reinforced Structural Lightweight Concrete”, American Concrete Institute, Structural Journal, Vol. 93, pp. 1-12, 1996.
- [6] Taşdemir, M.A., “Taşıyıcı Hafif Agregalı Betonların Elastik ve Elastik olmayan Davranışları”, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, Doktora Tezi, s. 159, İstanbul, 1982.
- [7] RILEM TC162-TDF, “Test and design methods for steel fibre reinforced concrete:  $\sigma$ - $\epsilon$  design method”, Materials and Structures, Vol. 33, March, pp. 75-81, 2000.
- [8] RILEM TC162-TDF, “Test and design methods for steel fibre reinforced concrete: Bending test”, Materials and Structures, Vol. 33, January-February, pp. 3-5, 2000.
- [9] Türk Standartları Enstitüsü, “TSE 10515 Beton - Çelik Tel Takviyeli-Eğilme Mukavemeti Deney Metodu”, Ankara, 1992.
- [10] ASTM C1018-92, “Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fibre-Reinforced Concrete”, American Society for Testing and Materials, USA, 1992.
- [11] TS 10515, “Beton – Çelik Tel Takviyeli- Eğilme Mukavemeti Deney Metodu”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Aralık 1992.