

## Çelik Lifli Betonlar ve Kullanım Alanlarının Araştırılması

Mehmet KOZAK

*Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları 7. Bölge Yol Müdürlüğü, Afyonkarahisar*

**Özet:** Bu çalışmada çelik lifli betonlar ve kullanım alanlarının araştırılması amaçlanmıştır. Bu çalışmanın daha önce yapılmış çalışmalar ve standartlar açısından, literatüre katkısı olacağı düşünülmektedir. Günümüzde betonun değişik alanlarda kullanma ihtiyacının ortaya çıkması, beton teknolojisinde bazı gelişmelerin yaşanmasına neden olmuştur. Bu gelişmelerden birisi de lif katkılı betonların üretilmesidir.

Çatlak gelişimine karşı betonun direncini ve sünekliğini artırmak için betonun liflerle güçlendirilmesi etkili bir yoldur. Betonda yeterli dozajda çelik liflerin varlığı hem dayanım hem de enerji yutma kapasitesini geliştirmekte ayrıca lif miktarı ve lif narinliğinin çelik lifli betonun eğilme dayanımı, kırılma enerjisi ve tokluğu üzerinde önemli bir etkisi vardır. Çelik lifli betonlar; depreme dayanıklı yapıların inşasında, kolon-kiriş birleşim bölgesinde, endüstri yapılarında, şev stabilizesinin sağlanmasında, beton-betonarme borular ve altyapı malzemeleri, fabrika depo ve hangar döşemelerinde, havaalanı kaplamalarında, liman kaplamalarında, yol döşemelerinde, püskürtme beton uygulamalarında, ince kabuk yapılarda, büyük sıcaklık farklarına maruz kalan yapılarda, hidrolik yapılarda, çok yüksek mukavemetli betonlarda, patlamaya karşı dayanıklı yapılarda kullanılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Lif, Çelik Lif Çeşitleri, Çelik Lifli Betonlar, Çelik Lifli Betonun Kullanım Alanları

## Research of Concretes With Steel Fiber and It's Usage

**Abstract:** In this study, researching of concretes with steel fiber and usage sites are aimed. This study is thought to contribute to the literature in respect of studies held before and the standards. Appearing the need to use different areas of concrete at present has caused some developments in concrete technology. One of the developments is production of fiber reinforced concrete.

It is an effective way that the concrete strengthens with fibers in order to increase resistance and flexibility of concrete against split development. Existence of steel fibers sufficiently in concrete improves both resistance and energy absorption capacity. Besides the fiber quantity and slenderness have a significant impact on bending strength and fracture energy and toughness of concrete with steel fiber. Concrete with steel fiber are used at earthquake - resistant buildings, in combinations of column-beam at industrial buildings, at ensuring the stability of slopes, at concrete reinforced concrete pipes, sub - building materials, factory warehouse and hanger floors, at airport covering, seaport covering, at shotcrete applications, at thin skin constructions, at buildings which are exposed to large temperature differences, at hydraulic constructions, at very strength concretes, at explosion - resistant buildings.

**Key Words:** Fiber, Types of Steel Fibers, Concretes with Steel Fiber, Usage Sites of Concretes with Steel Fiber.

### 1. Giriş

Beton sahip olduğu özelliklerinden dolayı en yaygın kullanılan yapı malzemelerinden biridir. Yaşadığımız çevredeki hemen hemen tüm barınma ve alt yapı tesislerinin yapımında kullanılan temel malzeme betondur. Hızla nüfusu artan dünyada önümüzdeki yıllarda da kullanımı, kolay ve basit yapılabilirliğiyle, ekonomikliğiyle ve sahip olduğu teknik özellikleriyle kullanılmaya devam etmektedir (Yazıcı, 2008).

Betonun zayıf özelliklerinin belirgin olarak iyileştirilmesi ve güçlendirilmesi için beton içerisine değişik malzemeler katılarak teknik özellikleri geliştirilebilmektedir (Topçu vd., 2005). Günümüzde betonun değişik alanlarda kullanma ihtiyacının ortaya çıkması, beton teknolojisinde bazı

gelişmelerin yaşanmasına neden olmuştur. Bu gelişmelerden birisi de lif katkılı betonların üretilmesidir.

Beton özelliklerini olumlu yönde değiştirerek iyileştirmek amacıyla taze beton içerisine çeşitli yöntemlerle değişik miktarlarda katılan, belirli boy/çap (narinlik oranı) oranına sahip olan metalik, polimerik, mineral veya tabii yapıdaki malzemelere lif (fiber) denilir. Lifler; çelik, plastik, cam gibi değişik malzemelerden farklı tip ve boyutlarda üretilmektedirler. ACI (Amerikan Beton Enstitüsü) komitesi bir lif tanımlayan en iyi nümerik parametrenin lif boyunun eşdeğer lif çapına bölünmesiyle elde edilen "boy/çap" (aspect ratio) oranı olduğunu kabul eder. Bu orana kısaca "narinlik oranı" da denilmektedir. Eşdeğer lif çapı ise, alanı lifin kesit alanına eşit bir dairenin çapı olarak tanımlanmaktadır. Lifi tanımlayan diğer etkenler ise

lifin geometrik yapısı ve çekme gerilmesidir (Ünal vd., 2007).

Beton içerisinde yaygın olarak kullanılan lifler; çelik, polipropilen, karbon ve alkali dirençli cam liflerdir. Lifli betonlarda, bütün lif çeşitlerinde sağlanması gereken en önemli özellik liflerin beton içerisinde homojen olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonra da bozulmamasıdır. Üniform bir şekilde dağılan lifler, beton içerisinde oluşan çatlakları önlemekte ve çatlakların beton

içerisinde ilerlemesini yavaşlatarak betonu daha dayanıklı hale getirdiği bilinmektedir. Bu özelliğinden dolayı lifli betonun çekme ve eğilme dayanımı artıran faktörler darbe etkisine karşı da dayanımı artırır. Bu nedenle betonarme kazık, yol, su boruları, genel olarak büyük fabrika inşaatlarının döşeme betonlarında ve prefabrikte yapı elemanları üretiminde lifli betonların tercih edilmeleri halinde daha iyi sonuçlar alınacağı bilinmektedir (Ünal, 1994). Lif çeşitlerinin tipik özellikleri Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Lif çeşitlerinin tipik özellikleri (Topçu, 2006)

Lif Tipi	Çekme Dayanımı (ksi*)	Young Modülü (10 <sup>3</sup> ksi*)	En Yüksek Uzama (%)	Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )
Akrilik	30-60	0.3	25-45	1.1
Asbest	80-140	12-20	~ 0.6	3.2
Pamuk	60-100	0.7	3-10	1.5
Cam	150-550	10	1.5-3.5	2.5
Naylon	110-120	0.6	16-20	1.1
Polyester	105-125	1.2	11-13	1.4
Polietilen	~ 100	0.02-0.06	~ 10	0.95
Polipropilen	80-110	0.5	~ 25	0.90
Rayon (Suni ipek)	60-90	1.0	10-25	1.5
Taş Yünü	70-110	10-17	~ 0.6	2.7
Çelik	40-400	29	0.5-35	7.8

\* 1 ksi = 6.9 Mpa

Çeşitli malzemelerin liflerle donatılarak çeşitli özelliklerini iyileştirmeye yönelik çalışmaların teorik yönüyle ele alınışının epeyce yeni olmamasına karşın, ilk uygulamaların çok eskilere dayandığı bilinmektedir. Kerpiç malzemesinin bitkisel elyaf ve samanla karıştırılarak kullanılması 4500 yıl öncelere dayanmaktadır.

Betonun özelliklerini geliştirmek için sürekli olmayan çelik güçlendirme malzemelerinin kullanımıyla ilgili deneysel ve patent çalışmaları 1910 yılından bu yana devam etmektedir. Betonun çok düşük çekme dayanımına sahip olması nedeniyle beton elemanlarının tasarımında statik çekme gerilmelerinden kaçınılır. Dinamik yükleme durumlarında çekme gerilmeleri kaçınılmazdır. Çekme gerilmeleri ise bir çatlaktan pek çok çatlağın yayılmasına neden olarak betonda göçmeye neden olur. Bu dağılı çatlaklar ise boyut etkisini doğurur.

Çatlak gelişimine karşı betonun direncini ve sünekliliğini artırmak için betonun liflerle güçlendirilmesi etkili bir yoldur (Topçu, 2006).

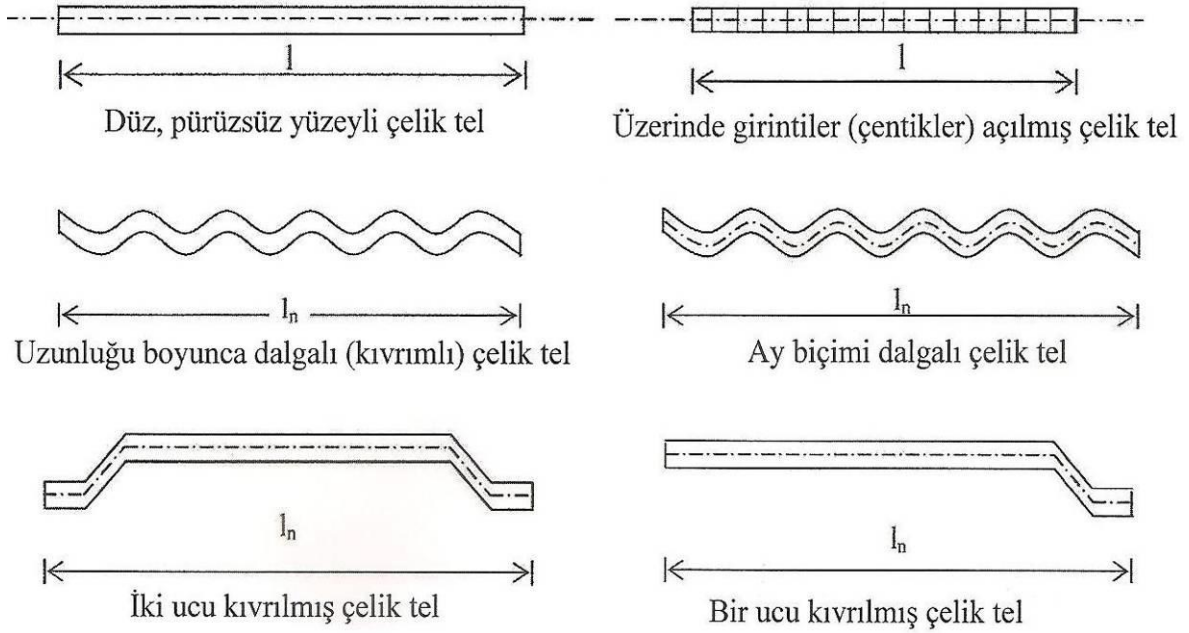
Geleneksel betonda kullanılan cam, sentetik, karbon ve çelik liflerin en önemli etkisi, betonda çatlak gelişimine engel olmasıdır. Bu nedenle, betondaki iç gerilmelere bağlı olarak oluşan mikro çatlakların büyümesi ve ilerlemesi, liflerin gerilme aktarma özelliği ile önlenmektedir. Lifler, şekil ve miktarlarına bağlı olarak çimento matrisinde oluşan bazı gerilmeleri taşımakta ve uygun çimento-matris oranlarında gerilmeleri aktarmaktadır (Bentur vd., 1990).

## 2. Çelik Lif ve Çelik Lifli Betonlar

Çelik lifler, düşük karbonlu çelik C 1008'den üretilirler. En önemli özellikleri, yüksek ve üniform

çekme gerilmesine karşılık düşük uzama özellikleridir. Çekme gerilmeleri ortalama olarak 1200 MPa'nın üzerinde olup elastik limitleri % 0,2'nin altındadır (Topçu, 2006).

TS 10513 göre beton takviyesinde kullanılan, çelik lifler şekillerine göre üç grupta toplanmıştır. Çelik liflerin şekilleri Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Çelik liflerin şekilleri (TS 10513, 1992)

Çelik liflerin beton içerisine karıştırıldığında hangi ölçüde kullanılabileceği, lifin geometrik şekline ve lif ile beton matris arasındaki kenetlenme dağılımına bağlıdır. Bu nedenle birçok değişik geometrik formda çelik lif üretilmekte ve kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalar beton üzerindeki; eğilme dayanımında, basınç gerilmeleri altında ve enerji yutma kapasitelerinde en büyük iyileştirmeyi düz ve ucu hafif kıvrımlı liflerin sağladığını göstermiştir (Topçu, 2006; Bayasi vd., 1991).

Çelik lifli beton, içerisinde homojen dağıtılmış küçük teller bulunan ve ince veya ince-kaba agrega kullanılarak üretilmiş bir kompozit malzemedir (Topçu, 2006). Çelik lif donatılı betonlar, 60'lı yılların başında geliştirildi ve lif tipleri üzerinde yıllar boyu süregelen araştırmalar ve uygulamalar, bu malzemeyi dünya çapında çeşitli uygulamalarda bilinen bir teknoloji haline getirdi. Günümüzde halen, dizayn ve hesap metotları geliştirilmektedir (Yıldırım, 2002).

TS 10514 göre çelik lif takviyeli betonun yapısı ve kalitesi aşağıdaki maddeler halinde tanımlanmaktadır;

- A- Düz, pürüzsüz yüzeyle teller
- B- Bütün uzunluğunca deforme olmuş teller
  - a- Üzerinde girintiler (çentikler) açılmış teller
  - b- Uzunluğu boyunca dalgalı (kıvrımlı) teller
  - c- Ay biçimi dalgalı teller
- C- Sonu kancalı teller
  - a- İki ucu kıvrılmış teller
  - b- Bir ucu kıvrılmış teller

- Çimento miktarı en az 320 kg/m<sup>3</sup> olmalıdır,
- Kum (0 mm – 4 mm) miktarı, toplam agrega kütlelerinin % 40 - % 45 olmalıdır (750 kg/m<sup>3</sup> - 850 kg/m<sup>3</sup>),
- En büyük tane büyüklüğü, doğal agrega için 28 mm, kırma taş için 32 mm olmalıdır. 14 mm'den büyük agrega oranı, % 15 - % 20 ile sınırlanmalıdır,
- Betonun karakteristik basınç mukavemeti en az 20 MPa olmalıdır,
- Su / çimento oranı en çok 0.55 olmalıdır,
- Betona işlerlik sağlaması amacı ile akışkanlık verici katkıları kullanılabilir,
- Betonda bulunması gereken 0.25 mm'den küçük ince malzeme miktarı Tablo 2.'de verilmektedir.

Tablo 2. Betonda bulunması gereken ince malzeme miktarı (TS 10514, 1992)

En Büyük Agregatane Büyüklüğü (mm)	İnce Malzeme Miktarı (< 0,25 mm)	
	kg/m <sup>3</sup>	L/m <sup>3</sup>
8	525	180 – 185
16	450	150 – 155
32	400	130 – 135
Not - (Çimento özgül kütle: 3,1 kg/ℓ) - (Kum yoğunluk: 2,65 kg/ℓ) olarak hesaplara katılacaktır.		

TS 10514 göre betona karıştırılacak en fazla tel miktarı, agreganın en büyük tane çapına ve uzunluk/çap oranına bağlı olarak Tablo 3'deki gibi belirlenmiştir.

Tablo 3. Betona ilave edilebilen maksimum tel miktarı kg/m<sup>3</sup> (TS 10514, 1992)

En Büyük Tane Çapı (mm)	Uzunluk / Çap					
	60		75		100	
	Normal	Pompa	Normal	Pompa	Normal	Pompa
4	160	120	125	95	95	70
8	125	95	100	75	75	55
16	85	65	70	55	55	40
32	50	40	40	30	30	25

Çelik lif donatılı betonlar için ilk uygulama alanlarından biri, elastik zemine oturan beton plaklar oldu. Bugün milyonlarca metrekare çelik lif donatılı zemin betonu dökülmektedir. Mikro çatlaklar arasında köprü görevini gördükleri ve gerilmeleri geniş bir alana transfer ettikleri için çelik lifler, kırılğan beton yapısını esnek ve dayanıklı hale getirmektedir. Sonuçta, gerilmelerin beton içindeki dağılımı değişmekte, yük taşıma kapasitesi belirgin bir şekilde artmaktadır. Tutkallı çelik lifler kolayca betona katılmakta ve homojen dağılmaktadır (Yıldırım, 2002).

Çelik liflerin betonda kullanılmasının başlıca altı yararı vardır. Bunlar;

- Yüksek taşıma kapasitesine sahip sünek beton,
- Donatı korozyonunun oluşmadığı düzgün beton yüzeyinin elde edilmesi,
- Etkin çatlak kontrolü,

- Donatı işçiliğinde belirgin azalmalardır (Taşdemir vd., 2004),
- Basınç dayanımını doğrudan etkilediği, % 25 seviyesinde basınç dayanımı artışı görülebileceği gibi bazen de bu düzeyde bir dayanım kaybı ortaya çıkabileceği bilinmektedir. Bu durum beton içerisinde gelişigüzel dağılan liflerin yönelimi ile doğrudan ilgilidir. Yükleme doğrultusuna dik olan lifler betonun basınç gerilmesinde herhangi bir işlev yüklenmezken diğer lifler paralellikleri ölçüsünde basınç gerilmesi artmasına karşı duyarlıdır (Anonim, 1994).
- Beton gibi çimento bileşenli kompozitlerin yarı-gevrek davranışı çeşitli özelliklerde lifler kullanılarak sünek davranışa doğru geliştirilebilir (Yardımcı, 2007).

Betonda çelik lif kullanımı, betonun enerji yutma kapasitesini ve sünekliğini arttırmaktadır. Çelik tellerin betondaki esas etkisi çatlak sonrası davranışta görülmektedir. Eğer uygun bir karışım tasarlanırsa; ilk çatlak oluşuktan sonra matristeki rastgele dağılmış olan kısa çelik teller köprüleme etkisi ile çatlağın ilerlemesini önler. Tellerin betondan sıyrılması sırasında, çatlak genişlemesi geciktirilmiş ve çatlağın ilerlemesi önlenmiş olur. Tellerin matristen sıyrılarak çıkması fazla enerji gerektirdiğinden toklukta belirgin bir artış elde edilir (Yalçın vd., 2007). Çelik lifli betonların performansını etkileyen en önemli faktörler aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Çelik lifin tipi,
- Çelik lifin geometrisi,
- Çelik lifin kullanım oranı (hacimce),
- Çelik lifin narinlik oranı,
- Liflerin beton içerisindeki dağılımı,
- Liflerin beton içerisindeki yönelimi,
- Lifli betonun matris mukavemeti,
- Lifli betonun hazırlanma metodudur (Zeynal, 2008)

Lifli betonlarda lifler ve agregaların birlikte etkileşim içerisinde olduğu bir toklaşma mekanizması vardır. Lifli kompozitte lifler ve agregalar çatlak köprülerler. Çatlak açıldıkça liflerin çatlak köprüleme özelliği daha baskın hale gelir. Böylece, lifler üzerinden gerilmelerin geçtiği bir köprü görevi görürler. Çatlak açıldıkça lifler matristen sıyrılır ve bir miktar enerji sönümlenir.

Uçları kancalı olan liflerde, lif sıyrılırken kancanın plastik deformasyonu ile bir miktar daha enerji sönümlenir ve kompozitin tokluğu artar. Geleneksel sıkıştırma işlemi görmüş çelik lifli betonlarda basınç gerilmeleri altında dayanımın artmasından çok basınç göçmesindeki süneklik gelişir.

Basınç yüklemeleri altında kompozitin enerji yutma kapasitesindeki artış, statik yüklemeler altında ani ve patlama şeklindeki göçmenin önlenmesi ve dinamik yüklemeler altında ise enerjinin sönümlenmesi açısından önemlidir. Çelik lifli betonların çekme gerilmeleri altındaki mekanik performansı basınç gerilmeleri altındaki mekanik performansa göre belirgin bir şekilde daha yüksektir.

Betonda yeterli dozajda çelik liflerin varlığı hem dayanım hem de enerji yutma kapasitesini geliştirir. Lif miktarı ve lif narinliğinin çelik lifli betonun eğilme dayanımı, kırılma enerjisi ve tokluğu üzerinde önemli bir etkisi vardır. Lif miktarı ve narinliğindeki artışla eğilme dayanımı, kırılma enerjisi ve tokluk belirgin artış gösterir. Literatürde çelik lifli betonun sünekliğinin yalın betonun sünekliğinin yaklaşık 50 katı olduğu belirtilmektedir (Yardımcı, 2007).

### 3. Çelik Lifli Betonların Kullanım Alanları

Genellikle, yapısal uygulamalarda çelik lifli beton kırılmayı önlemek için kullanılmaz, aynı zamanda betonun dinamik yükleme veya darbe mukavemetini arttırmak ve malzemenin dökülme, parçalanma ve dağılmasını önlemek için de betona çelik lif ilave edilmektedir.

Kirişlerde, kolonlarda ve kat döşemelerinde olduğu gibi diğer yapı elemanlarında da eğilme veya çekme kuvvetleri meydana gelmektedir. Bu basınç, eğilme ve çekme kuvvetlerinin birlikte oluşturduğu gerilmelerden dolayı yapı elemanlarının asal donatı ile birlikte çelik lifler ile kuvvetlendirilmesi mukavemeti oldukça önemli mertebede arttırılabilir.

Çelik lifli betonun duktilitesi normal betona göre oldukça yüksektir. Bu yüzden çarpma etkisine, titreşimli yük etkisine ve dinamik yük etkisine karşı normal betona göre daha dayanıklıdır. Çelik lif içeren betonlar normal betonlara oranla sağladıkları belirgin avantajlarından dolayı oldukça geniş kullanım alanına sahiptirler (Kozak, 2010). Çelik lifli betonların kullanım alanları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

**Depreme Dayanıklı Yapıların İnşasında:** Çelik lifli betonlarla inşa edilen süneklik düzeyi yüksek betonarme yapıların deprem kuvvetleri altındaki davranışı olumlu yönde değişecektir.

Türkiye deprem kuşağında olduğu göz önüne alındığında gevrek bir malzeme olduğu bilinen betonun bu zayıf yönünü iyileştirmenin önemli olduğu açık bir gerçektir. Bu yapıların dinamik etkilere karşı enerji emme yeteneği geleneksel yapılara göre daha yüksek olduğundan bu tür etkiler sonucu meydana gelebilecek yapısal hasarlar en alt düzeye indirilecektir. Çelik liflerin betonda kullanılmasının önemi karşı karşıya bulunduğumuz depremin, yapılarda meydana getirdiği hasarlar incelendiğinde daha iyi anlaşılacaktır (Düzgün, 2001).

**Yol Döşemelerinde:** Karayolu gibi yol kaplamalarında aşınma ve çekme dayanımının yüksek olmasından dolayı dayanımı ve dayanıklılığı yüksek beton elde edilir. Ayrıca plak kalınlığının daha az olmasına imkân verir (Kutlu, 2007). Şekil 2’de çelik lifli betonların, yol döşemelerinde uygulanması görülmektedir.



Şekil 2. Çelik lifli betonun yol döşemelerinde uygulaması (Bekaert, 2011)

**Kolon - Kiriş Birleşim Bölgesinde:** Şimşek (2004), tarafından yapılan literatür çalışması ile, kolon - kiriş birleşim yerlerinde, etriye yerine lif kullanılması dinamik yükler üzerindeki etkisini araştırmıştır. Kolon kiriş birleşim yerinde ve yüksek kesme etkisinin meydana geldiği yerlerde çelik lif ile gözlem yapılmıştır. Kıyaslama için geleneksel birleşim biçimi, 100 mm aralıklı etriye yerleştirilmesi olarak ayarlanmıştır.

Geleneksel şekilde boyutlandırılmış birleşim yerinde bazı çatlaklar meydana gelirken, çelik lifli birleşim yerinde ise çatlamanın oluşmadığı ortaya konmuştur. Çelik lifli birleşim yeri daha fazla moment taşıma kapasitesi sağlamıştır. Çelik lifli beton kullanılması ile birleşim bölgesinde dayanım, süneklik ve enerji tüketiminde ciddi artışların olduğu ortaya çıkmıştır (Şimşek, 2004).

Hughes (1981), tarafından yapılan araştırma ile gevrek bir malzeme olan betonu duktil bir hale

getirmek için kullanılan liflerin, basınç dayanımına nazaran eğilme dayanımında büyük bir artış sağladığı; darbe tesiri altında kalan kolon kiriş birleşimlerinde ve kirişlerde lif kullanımının çatlak kontrolü açısından önemli olduğunu saptamıştır.

**Büyük Sıcaklık Farklarına Maruz Kalan Yapılarda:** Büyük sıcaklık farklılıkları ile karşı karşıya kalabilecek, termal ve mekanik şok tehlikesi bulunan yapılarda kullanılmaktadır.

**Hidrolik Yapılarda:** Baraj, kanal, dinlendirme havuzu, dolu savak vb. hidrolik yapıların plaklarının yerine kullanılabilir. Ayrıca aşınma direnci yüksek olduğundan kavitasyon hasarlarına karşı kaplama olarak kullanılabilir (Aktaş, 2007).

**Beton, Betonarme Borular ve Altyapı Malzemeleri:** Beton ve betonarme altyapı malzemelerinde sızdırmazlık, tepe basınç dayanımları, kimyasallara karşı dayanıklılık, aranan özelliklerin başında gelmektedir. Beton içerisine lif katılması sayesinde, betonların doluluğu artmaktadır bu da sızdırmazlık değerlerinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Klasik donatılı altyapı elemanlarında, donatının hazırlanması ve uygulamanın yapılması işçilik ve zaman yönünden bazı problemlere yol açmaktadır. Bazı paspayı sorunları ve donatının kalıp içerisinde sabit tutulamaması büyük problemlere yol açmaktadır.

Günümüzde betonarme borularda hasır çelik yerine çelik liflerin kullanılması oldukça yaygındır. Çelik liflerin betonarme borularda kullanılması ile hem işçilik, hem zaman ve hem de maliyet açısından büyük faydalar sağlanmıştır. Çelik lifler, beton altyapı elemanlarında kullanıldıklarında ise, ayrışmayı engellemeleri nedeniyle sızdırmazlık problemlerinin çözümünde büyük katkılar sağlamaktadır. Şekil 3'de çelik lifli betonlar ile yapılan alt yapı beton boruları görülmektedir.



Şekil 3. Altyapı beton boru yapımı (Bekaert, 2011)

**Fabrika Depo ve Hangar Döşemelerinde:** İyi bir döşeme bütün endüstriyel işlerin temeli ve fabrikalar için çok önemli olmaktadır. Güçlendirilme ihtiyacı olan bir fabrika zemin döşeme betonu, hem onarım maliyetini artıracak, hem de onarım süresince iş kaybına neden olacaktır. Ağır yüklemelerin maruz kaldığı döşemeler, üzerine gelen aşırı yükler ve aşırı zorlamalar etkisinde kalmaktadırlar. Özellikle dinamik etkilere karşı döşeme betonunun dayanımının artırılması çözüm olmaktadır. Bunun içindir ki bu betonların yorulma dayanımının, darbe dayanımının ve diğer özelliklerinin iyi olması gerekmektedir.

Liflerle güçlendirilmiş betonlar, bu yükleri karşılayabilecek dayanımlara sahiptirler. Çelik lifler zemin döşemelerinde hasır çelik donatılarıyla birlikte kullanıldıkları gibi esas donatı yerine de kullanılmaktadırlar. Şekil 4'de çelik lifli betonların, fabrika, depo, hangar vb. döşemelerde uygulanması görülmektedir.



Şekil 4. Çelik lifli betonların, fabrika depo ve hangar döşemesi uygulaması (Bekaert, 2011)

**Havaalanı Kaplamalarında:** Havaalanı betonlarında genellikle çelik lifler kullanılmaktadır. Bu lifler kullanıldığında derz açıklıkları büyütülebilmektedir. Havaalanı uygulamalarında kaplama kalınlıkları lifli beton kullanarak azaltılabilmektedir. Liflerle donatılı betonların yüksek eğilme dayanımları nedeniyle kaplama kalınlıkları azaltılabilmekte ve büyük bir maliyet indirimi olmaktadır. Normalde zemin ve yol betonlarında eğilme gerilmeleri 4 – 5 MPa olmaktadır. Bu değerler statik yüklemeler içindir, tekrarlı yükler ve zamanla oluşan yorulmalar sebebiyle bu değerler düşebilmektedir.

**Liman Kaplamalarında:** Liman kaplamaları diğer kaplamalardan farklı olarak ağır yük gemilerinin trafiğini karşılayabilecek şekilde projelendirilmektedir. Liman kaplamalarında yüklemeler boşaltmalar, çarpma etkileri, dalga hareketleri, gel-gitler ve aşırı yüklemeler gibi olasılıklar göz önüne alınmaktadır. Burada da çelik

lifler kullanılarak kaplama kalınlıkları ve derz aralıkları azaltılabilmektedir (Bahadır, 2007). Şekil 5’de çelik lifli betonların, liman kaplamalarında uygulanması görülmektedir.



Şekil 5. Çelik lifli betonların liman kaplamalarında uygulanması (Bekaert, 2011)

**Püskürtme Beton (Shotcrete) Uygulamalarında:** Püskürtme beton karışımları genellikle yüksek çimento yüzdesiyle hazırlanan karışımlardır. Bu da çoğunlukla rötre çatlaklarına neden olmaktadır. Üstelik püskürtme beton uygulaması yapılan eğri yüzeyler çatlamaya çok büyük eğilim gösterirler ve bu tür yüzeylerin kür edilmesi çok zor olmaktadır. İşte çelik lifler hem ıslak hem de kuru püskürtme beton uygulamalarında çatlak kontrolü için ekonomik ve de pratik bir çözüm sunmaktadır. Bu nedenle çelik lifli püskürtme beton uygulaması barajların tamirinde, tünellerde, su kemerlerinde, iskelelerde, kanallarda, dolu savaklarda ve bu tür yapılarda başarıyla kullanılmaktadır. Şekil 6’da çelik lifli betonların, püskürtme beton uygulanması görülmektedir.



Şekil 6. Çelik lifli betonun, püskürtme beton uygulaması (Bekaert, 2011)

**İnce Kabuk Yapılarda:** Lifli betonun üstün nitelikleri kesit kalınlıklarının azaltılmasını mümkün hale getirdiğinden, ince kabuk yapılarda, kubbelerde, katlanmış plaklarda ve çeşitli mimari nedenlerle ince olması gereken yapı elemanlarında kullanılmaktadır (Gençel, 2006).

**Endüstri Yapılarında:** Çelik lifli beton endüstri yapılarında darbe rijitliğini sağlamak, ısısal ve dinamik etkilere karşı dayanıklılığı artırmak için kullanılmaktadır. Tatnall ve Kuitenbrouwer (1992), yaptıkları araştırmada çelik liflerin Avrupa’daki endüstriyel yapı inşaatlarının çoğunda geleneksel donatılmanın yerine başarıyla uygulandığını bildirmişlerdir.

**Şev Stabilizesinin Sağlanmasında:** Karayollarını ve demiryollarını kesen, yer üstündeki kaya veya topraktan oluşan dik şevlerin veya toprak setlerin stabilitesinin sağlanmasında kullanılır (Ünal, 1994). Şekil 7’de çelik lifli betonların, şev stabilitesinin sağlanmasında uygulanması görülmektedir.



Şekil 7. Çelik lifli betonun, şev stabilitesinin sağlanması (Bekaert, 2011)

**Çok Yüksek Mukavemetli Betonlarda:** Günümüzde yüksek mukavemetli betonlara ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu betonların normal mukavemetli olanlara göre olumsuz tarafı göçme sırasında bağıl olarak az enerji yutmalarıdır. Böylece gevrek davranış gösteren yüksek mukavemetli betonların yerini sünekliği artırılmış yüksek performanslı betonların alması söz konusu olmaktadır.

Ultra yüksek mukavemetli çimento esaslı kompozitlerin üretiminde ince agrega ve çimentoya ilave olarak 0.15 mm çapında ve 5 - 10 mm boyunda kısa kesilmiş çelik tel, silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı katkıları kullanılmaktadır. Bu kompozitleri üretmekle betonda en zayıf halka olarak bilinen agrega – çimento hamuru arasındaki boşluklar ve harçtaki kusurlar minimum yapılabilmekte ve gevrek davranışa sahip bu çok

yüksek mukavemetli betona kısa kesilmiş ince çelik tellerle sünek davranış özelliği kazandırılmaktadır (Taşdemir, 1999).

**Patlamaya Karşı Dayanıkl Yapılarda:** Patlamaya karşı dayanıklı olması gereken yapılarda, normal donatı ile birlikte çok uygun bir kullanım arz etmektedir. Uzun yıllardan beri Amerikan askeri tesis yapım şartnamelerinde yer almakta ve yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Aslan vd., 1999).

#### 4. Sonuçlar

Çelik liflerin beton içerisine karıştırıldığında hangi ölçüde kullanılabileceği, lifin geometrik şekline ve lif ile beton matris arasındaki kenetlenme dağılımına bağlıdır. Bu nedenle birçok değişik geometrik formda çelik lif üretilmekte ve kullanılmaktadır.

Bayasi, Z. ve Soroushian P., (1994), Kützing, L. ve König, G. (1999) tarafından yapılan araştırmalar beton üzerindeki; eğilme dayanımında, basınç gerilmeleri altında ve enerji yutma kapasitelerinde en büyük iyileştirmeyi düz ve ucu hafif kıvrımlı liflerin sağladığını göstermiştir.

Çelik lifli betonların performansını etkileyen en önemli faktörler; lifin tipi, lifin geometrisi, lifin kullanım oranı (hacimce), lifin narinlik oranı, liflerin beton içerisindeki dağılımı, liflerin beton içerisindeki yönelimi, lifli betonun matris mukavemeti, lifli betondaki maksimum agrega boyutu olarak sıralanabilir.

Betonun, basınç dayanımının % 9-10 oranında çekme dayanımına sahip olması nedeniyle beton elemanlarının tasarımında statik çekme gerilmelerinden kaçınılır. Ancak dinamik yüklenme durumlarında çekme gerilmelerinden kaçınılamaz. Çekme gerilmeleri ise bir çatlaktan pek çok çatlağın yayılmasına neden olarak betonda göçmeye neden olur. Bu dağılı çatlaklar ise boyut etkisini doğurur. Çatak gelişimine karşı betonun direncini ve sünekliğini artırmak için betonun liflerle güçlendirilmesi etkili bir yoldur. Çelik liflerin betonda kullanılmasının başlıca altı yararı vardır. Bunlar;

- Yüksek taşıma kapasitesine sahip sünek beton,
- Donatı korozyonunun oluşmadığı düzgün beton yüzeyinin elde edilmesi,
- Etkin çatlak kontrolü,
- Dayanıklılık,
- Donatı iççiliğinde belirgin azalmalardır.

- Beton gibi çimento bileşenli kompozitlerin yarı-gevrek davranışı çeşitli özelliklerde lifler kullanılarak sünek davranışa doğru geliştirilebilir

Arslan (1997), tarafından yapılan araştırma ile, yapılan yaklaşık ekonomik analizde erken yaştaki dayanımı artırabilmek için prefabrik betonarme yapı elemanlarında liflerin kullanılması ısıll işleme ve priz hızlandırıcı kullanılmasına göre daha avantajlı olduğunu; çelik lifler, çatlak genişliklerini, çatlak sayısını ve kiriş deplasmanını önemi ölçüde azalttığını; çelik lifler, erken yaştaki betonarme kirişte yük tekrar kaldırıldığında çatlak genişliklerinin kapanma oranının arttığını belirlemiştir.

Robins ve Calderwood (1978), tarafından yapılan araştırma ile çelik ve polipropilen lifli olarak imal edilen döşemeler üzerinde patlayıcı deneyleri yapılmış ve liflerin, daha çok çatlak önlemede ve çatlak gelişiminde etkin oldukları gözlenmiştir.

Hughes (1981), tarafından yapılan araştırma ile gevrek bir malzeme olan betonu düktil bir hale getirmek için kullanılan liflerin, basınç dayanımına nazaran eğilme dayanımında büyük bir artış sağladığı; darbe tesiri altında kalan kolon kiriş birleşimlerinde ve kirişlerde lif kullanımının çatlak kontrolü açısından önemli olduğunu saptamıştır (Arslan vd. 1999).

Suaris ve Shah (1982), tarafında yapılan araştırma ile çelik lifli numunelerin lifsiz numunelere nazaran 20-100 kat daha fazla darbe dayanımı gösterdiği; lif ile matris arasındaki şekil değiştirme derecesinden hemen hemen bağımsız olduğu gözlenmiştir.

Arslan (1995), tarafından yapılan araştırma ile lifli betonların çarpma etkisi altında statik yüklemeye göre çok daha yüksek bir performans gösterdiğini ortaya koymuştur.

Kozak (2010) tarafından beton travers üretiminde çelik lifin kullanılabilirliği hakkında yapılan yüksek lisans tez çalışması ile çelik lifin, basınç dayanımı açısından olumlu bir etki yapmadığı gözlenmiştir. Ancak donma çözünme deneyi sonucunda çelik lif miktarı arttıkça numunelerin kütle, basınç ve ultrases hız kaybının azaldığı gözlenmiştir. Aynı zamanda lifsiz numunelerin donma çözünme deneyi sonrasında yapılan basınç deneyi ile parçalandığı fakat lifli numunelerin ise parçalanmadığı; lif miktarının artmasıyla beton travers eğilme dayanımında belirgin bir şekilde artış olduğu gözlenmiştir.

Çelik lifin, beton travers üretiminde kullanılmasıyla, beton traverse etki eden darbe etkisini sündüreceği; beton traversin yük taşıma kapasitesinin ve



yorulmaya karşı olan direncinin artacağı düşüncesi öne çıkmıştır.

Ülkemizin yaklaşık % 90'ının deprem bölgesinde bulunduğu da düşünülürse çelik lifli betonun yüksek kırılma enerjisi özelliğinden faydalanmak üzere bu bölgelerde, hiç olmazsa birinci derecedeki önemli yapılarda yapı malzemesi olarak kullanılması teşvik edilmelidir. Literatürde bu konuda yapılmış yeterince çalışma mevcuttur.

Depreme dayanıklı yapıların inşasında, kolon-kiriş birleşim bölgesinde, endüstri yapılarında, şev stabilitesinin sağlanmasında, beton-betonarme borular ve altyapı malzemeleri, fabrika depo ve hangar döşemelerinde, havaalanı kaplamalarında, liman kaplamalarında, yol döşemelerinde, püskürtme beton (shotcrete) uygulamalarında, ince kabuk yapılarda, büyük sıcaklık farklarına maruz kalan yapılarda, hidrolik yapılarda, çok yüksek mukavemetli betonlarda, patlamaya karşı dayanıklı yapılarda çelik lifli betonlar kullanılmaktadır.

## 5. Kaynaklar

- [1] Aktaş, B., 2007, “Çelik Lifli Hafif Beton İle İmal Edilmiş Betonarme Kirişlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [2] Anonim, 1994, “Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton”, 1994, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- [3] Arslan, A., 1995, “Mixed Mode Fracture Performance of Fiber Reinforced Concrete Under Impact Loading”, *Materials and Structures*, 28, 473-478.
- [4] Arslan, A., Aydın, A. C., 1999, “Lifli Betonların Darbe Etkisi Altında Genel Özellikleri”, Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu, Sabancı Center, İstanbul.
- [5] Aslan, A., Aydın A. C., 1999, “Lifli Betonların Genel Özellikleri” *Hazır Beton Dergisi*, Cilt 6, Sayı 36, Sayfa 67-75
- [6] Bahadır, B., 2007, “Liflerin Beton Kırılma Tokluğuna Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [7] Bayasi, Z. and Soroushian P., 1991, “Fiber Type Effects on the Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete”, *ACI Materials Journal*, Volume 88, Pages 129-134.
- [8] Bekaert, 2011, <http://213.153.169.41/beksawebe ng/Contents.aspx?Ctype=Cnt&ID=149>, 25/05/2011
- [9] Bentur, A., Mindess S., 1990, “Fiber Reinforced Cementitious Composites”, Elsevier Applied Science, London.
- [10] Düzgün, O. A., 2001, “Çelik Lifler ile Üretilen Hafif Betonların Bazı Özelliklerinin Araştırılması”,

Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

- [11] Gençel, O., 2006, “Farklı Çelik Lif Tipi ve Miktarının Beton Özelliklerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- [12] Hughes, B. P., 1981, “Desing of Prestressed Fiber Reinforced concrete Beams For Impact”, *ACI Journal*, 276-281.
- [13] Kozak, M., 2010, “Beton Travers Üretiminde Agregada Türü (Bazalt-Kalker) ve Çelik Lifin Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- [14] Kutlu, E., 2007, “Elastik Zemine Oturan Çelik Lif Donatılı Beton Plakların Deneysel Analizi ve Genel Bir Değerlendirme”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] Kützing, L. and König, G., 1999, “Desing Principals for Steel Fibre Reinforced Concrete”, *A Fracture Mechanics Approach*, University of Leipzig.
- [16] Robins, P. J. and Calderwood, R. W., 1978, “Explosive Testing of Fiber Reinforced Concrete”, *Concrete*, 26-28.
- [17] Suaris, W. and Shah, S. P., 1982, “Strain Rate Effects in Fiber Reinforced Concrete Subjected to Impact and Impulsive Loading”, *Composites*, 153-159.
- [18] Şimşek, O., 2004, “Beton ve Beton Teknolojisi”, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- [19] Taşdemir, M. A., 1999, “Çelik Tel Takviyeli Yüksek Dayanımlı Betonların Mekanik Davranışı”, Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu, İstanbul.
- [20] Taşdemir, M.A., Bayramov, F., Kocatürk A. N. ve Yerlikaya M., 2004, “Betonun Performansa Göre Tasarımında Yeni Gelişmeler”, Hazır Beton Kongresi, 10 Haziran, İstanbul, Sayfa 24-57
- [21] Topçu, İ. B., Boğa, A. R., 2005, “Uçucu Kül ve Çelik Liflerin Beton ve Beton Borularda Kullanımı”, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Dergisi*, Cilt XVIII, Sayı 2
- [22] Topçu, İ. B., 2006, “Beton Teknolojisi”, Uğur Ofset A.Ş., Eskişehir.
- [23] TS 10513, 1992, “Çelik Teller – Beton Takviyesinde Kullanılan”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- [24] TS 10514, 1992, “Beton – Çelik Tel Takviyeli – Çelik Telleri Betona Karıştırma Ve Kontrol Kuralları”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- [25] Ünal, O., 1994, “Isıl İşlem Uygulamasının Lifli Beton Özelliklerine Etkisi”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [26] 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

- [27] Yalçın, M., Taşdemir, C., Gökalp İ., Ekim, H., Yerlikaya, M., 2007, “Çelik Tel Donatılı Betonların Kullanılabilirlik ve Taşıma Gücü Sınır Durumlarına Göre Tasarımı”, 7. Ulusal Beton Kongresi, Beton Teknolojisinde Gelişmeler ve Uygulamalar, 28-29-30 Kasım, Bildiri 31, İstanbul, Sayfa 353-362
- [28] Yardımcı, M. Y., 2007, “Çelik Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik, Mekanik, Kırılma Parametrelerinin Araştırılması ve Optimum Tasarımı”, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [29] Yazıcı, Ş., İnan Sezer, G., 2008, “Çelik Lifli Betonların Darbe Direncine Agreganın Maksimum Boyutunun Etkisi”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 14, Sayı 3, Sayfa 237-245
- [30] Yıldırım, S. T., 2002, “Lif Takviyeli Betonların Performans Özelliklerinin Araştırılması”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Elazığ.
- [31] Zeynal, E., 2008, “Çelik Lif ve S/Ç Oranlarının Çelik Lifli Betonların Darbe Mukavemetine ve Mekanik Özelliklerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İzmir.