

**POLİPROPİLEN VE ÇELİK LİFLİ BETONLARIN
DARBE DAYANIMI**

Murat CAF

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yrd. Doç. Dr. A. Ferhat BİNGÖL
2012
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**POLİPROPİLEN VE ÇELİK LİFLİ BETONLARIN DARBE
DAYANIMI**

Murat CAF

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2012**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

POLİPROPİLEN VE ÇELİK LİFLİ BETONLARIN DARBE DAYANIMLARI

Yrd. Doç. Dr. A. Ferhat BİNGÖL danışmanlığında, Murat CAF tarafından hazırlanan bu çalışma 11/10/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Y. Lisans tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. A. Cüneyt AYDIN

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. A. Ferhat BİNGÖL

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. S. Yenal VANGÖLÜ

İmza :

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇELİK VE POLİPROPLEN LİFLİ BETONLARIN DARBE DAYANIMI

Murat CAF

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. A. Ferhat BİNGÖL

Betona lif ilave edilmesi; eğilme dayanımını ve darbe etkisine karşı direnci gibi olumlu özellikler sağladığından, lifli betonlar son yıllarda artan miktarda kullanılmaya başlanmıştır.

Lifli beton üretiminde viskozite düşeceğinden akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları ve ince malzeme kullanılmalıdır. Lif içeriği betonda hacimce %0,5-%2 sınırları arasında olmalıdır. Bu sınırlar aşıldığı takdirde beton işlenememekte veya betonun özelliklerine olumlu etki etmemektedir.

Yapılan çalışmada, 350 kg/m³ çimento ve s/ç=0,46 oranlarında sabit tutulmuştur. Lifler ise polipropilen ve çelik lif olmak üzere 2 farklı tipte kullanılmıştır. 1 m³ betonda %0,5, %1, %1,5 ve %2 oranlarında çelik lif ve 300 g, 600 g, 900 g, 1200 g ağırlığında polipropilen lif kullanılmıştır. Üretilen numunelerin taze betonda çökme değerleri, sertleşmiş betonda ise basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve darbe dayanımları belirlenmiştir.

Geleneksel betona çelik lif katılması durumunda basınç dayanımı %1 lif oranına kadar artış göstermiştir. Çelik lif oranı arttıkça basınç dayanımında düşüş gözlenmiştir. En yüksek basınç dayanımı 37,61 MPa olarak, %1 çelik lif katkılı numunelerde belirlenmiştir. Polipropilen liflerde ise en yüksek basınç dayanımı 32,93 MPa olarak 1 m³ te 300 g katılması durumunda elde edilmiştir. Darbe ve eğilme dayanımlarında ise lif ilavesi ile doğru orantılı şekilde artış gözlenmiştir.

2012, 77 sayfa

Anahtar Kelimeler: Lifli beton, çelik lif, polipropilen lif, basınç dayanımı, darbe dayanımı, eğilme dayanımı.

ABSTRACT

MS Thesis

IMPACT STRENGTH OF STEEL AND POLYPROPYLENE FIBER REINFORCED CONCRETE

Murat CAF

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. A. Ferhat BİNGÖL

By adding fiber to concrete, positive characteristics of concrete such as bending and impact strength will increase and because of that using fiber concrete expanded nowadays.

In fiber concrete producing process, because of the low viscosity of the fresh concrete, we have to use superplasticizer and fine aggregates and that should be about 0,5%-2% of concrete volume. If we exceed this limits, probably, the concrete strength or workability will deteriorate.

In this study, 350 kg/m³ cement, w/c = 0,46 and fibers in two types (polypropylene and steel fiber) have been used. In 1 m³ concrete it has been used 0,5%, 1%, 1,5%, 2% of concrete volume steel fiber or 300 g/m³, 600 g/m³, 900 g/m³, 1200g/m³ polypropylene fiber. In the samples, in fresh concrete slump test and in the hardened concrete compressive, bending and impact strength have been determined.

Generally, by adding steel fiber to concrete, the compressive strength increases up to 1% of fiber ratio. By adding more steel fiber, this value decreases and 37,61 MPa compressive strength has been achieved by using 1% steel fiber ratio as a maximum value. But in polypropylene fiber concrete the highest compressive strength is 32,93 MPa which is obtained in the 300 g/m³ ratio of polypropylene fiber. Indeed, using the correct ratio of fibers increases impact and bending strength and gives us good effects.

2012, 77 pages

Keywords: Fiber concrete, steel fiber, polypropylene fiber, compressive strength, impact, bending

TEŞEKKÜR

Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırladığım bu çalışmada, bilgi ve tecrübeleriyle araştırmalarımı yönlendiren danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL'e minnet ve şükranlarımı sunarım.

Malzeme temininde yardımcı olan, Sayın Arş. Gör. Arif Emre SAĞSÖZ'e, Ezurum Beton A.Ş. ye ve Demiroğlu Yapı Denetim'e teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen, Sayın İnş. Müh. Majid ATASHAFRAZEH ve laboratuvar teknisyenimiz Sayın İlhami AYHAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca çalışmalarım süresince, göstermiş oldukları büyük sabır ve özveriyle bana destek olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Murat CAF

Ekim 2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Lifli betonun tanımı	3
2.1.1.Çelik lifli beton	3
2.1.1.a.Çelik liflerin sınıflandırılması	4
2.1.1.b. Çelik liflerin performansları	5
2.1.1.c.Çelik liflerin betona katılığı ve kullanım oranları	6
2.1.1.d. Çelik lifli betonun karışım yöntemleri	7
2.1.1.e.Çelik lifli betonun teknik özellikleri	9
2.1.1.f.Çelik liflerin kullanım alanları	19
2.2.1.Polipropilen lifli beton	21
2.2.1.a. Polipropilen lifli betonun sınıflandırılması	25
3. MATERYAL ve YÖNTEM	27
3.1. Materyal	27
3.1.1. Deneylerde kullanılan malzemeler	27
3.1.1.a. Çimento	27
3.1.1.b. Betonda kullanılan lifler	29
3.1.1.c. Agrega	31
3.1.1.d.Karışım suyu	32
3.1.1.e. Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı	32
3.1.1.f. Diğer malzemeler	34
3.1.2. Deneylerde kullanılan aletler	34

3.1.2.a. Elekler	34
3.1.2.b. Betonyer	34
3.1.2.c. Kalıplar	35
3.1.2.d. Pres, Eğilme	36
3.1.2.e. Su kürü havuzu	36
3.1.2.f. Darbe	37
3.1.2.g. Çökme deney aleti takımı	39
3.2. Yöntem	39
3.2.1. Agrega deneylerinde uygulanan yöntemler	39
3.2.2. Lifli beton karışım hesapları	44
3.2.3. İşlenebilirlik kıvam tayini	46
3.2.4. Basınç dayanımı tayini yöntemi	46
3.2.5. Eğilme dayanımı tayini yöntemi	47
3.2.6. Darbe dayanımı tayini yöntemi	47
3.2.7. Sonuçların değerlendirilmesinde kullanılan yöntem	48
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	49
4.1. Agrega Deneyleri	49
4.1.1. Elek analizi (Granülometri)	49
4.1.2. Birim ağırlık tayini	52
4.1.3. Organik madde tayini	53
4.1.4. İnce madde oranı tayini	54
4.1.5. Tane yoğunluğu ve su emme oranı tayini	55
4.2. Çelik ve polipropilen liflerin sertleşmiş beton özelliklerine etkisi	58
4.2.1. Çelik ve polipropilen liflerin basınç dayanımına etkisi	58
4.2.1.a. Polipropilen liflerin basınç dayanımına etkisi	58
4.2.1.b. Çelik liflerin basınç dayanımına etkisi	60
4.2.2. Çelik ve polipropilen liflerin eğilme dayanımına etkisi	62
4.2.2.a. Polipropilen liflerin eğilme dayanımına etkisi	62
4.2.2.b. Çelik liflerin eğilme dayanımına etkisi	65
4.2.3. Çelik ve polipropilen liflerin darbe dayanımına etkisi	68

4.2.3.a. Polipropilen liflerin darbe dayanımına etkisi	68
4.2.3.b. Çelik liflerin darbe dayanımına etkisi	70
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	78

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1.	Deneyde kullanılan çelik lifler	29
Şekil 3.2.	Betonyer	35
Şekil 3.3.	Kalıplar	36
Şekil 3.4.	Pres	36
Şekil 3.5.	Su kürü havuzu	36
Şekil 3.6.	Darbe deneyi cihazı kesitleri	37
Şekil 3.7.	Darbe deneyi cihazı kesitleri	38
Şekil 3.8.	Darbe deneyi cihazı resmi	38
Şekil 3.9.	Çökme deney aleti	39
Şekil 4.1.	Karışım da kullanılan agrega granülometri eğrisi	51
Şekil 4.2.	Karışım da kullanılan agreganın bünyesinde barındırdığı organik madde	53
Şekil 4.3.	Karışım da kullanılan agreganın bünyesinde barındırdığı ince madde .	55
Şekil 4.4.	Polipropilen lif miktarı ile basınç dayanımı değişimi	60
Şekil 4.5.	Çelik lif miktarı ile basınç dayanımı değişimi	62
Şekil 4.6.	Polipropilen lifli numunelerin eğilme yükü sonrası görüntüsü	63
Şekil 4.7.	Polipropilen lif miktarı ile eğilme dayanımının değişimi	65
Şekil 4.8.	Çelik lif oranı ile eğilme dayanımı değişimi	67
Şekil 4.9.	Polipropilen lif miktarı ile darbe dayanımı arasındaki ilişki	69
Şekil 4.10.	Polipropilen lifli betonun darbe etkisi altında kırılması	69
Şekil 4.11.	Çelik lif miktarı ile darbe dayanımı arasındaki ilişki	72

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1.	Yapı betonlarının bazı özelliklerine ait tipik değerler	1
Çizelge 2.1.	Çelik lifli betonda bulunması gereken ince malzeme miktarı	7
Çizelge 2.2.	Çelik lifli betona ilave edilen maksimum lif miktarı	9
Çizelge 2.3.	Çelik lifli betonun teknik özellikleri	10
Çizelge 2.4.	Polipropilen liflerin teknik özellikleri	26
Çizelge 3.1.	Çimentonun kimyasal analizi	28
Çizelge 3.2.	Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri	29
Çizelge 3.3.	Çelik lifin teknik özellikleri	30
Çizelge 3.4.	Polipropilen lifin teknik özellikleri	30
Çizelge 3.5.	Glenium C303'ün teknik özellikleri	33
Çizelge 3.6.	Lifli betonlar için malzeme miktarları	45
Çizelge 3.7.	Polipropilen lifli betonların çökme deneyi sonuçları	46
Çizelge 4.1.	İri agrega için elek analizi deneyi sonuçları	50
Çizelge 4.2.	İnce agrega için elek analizi deneyi sonuçları	50
Çizelge 4.3.	Karışım da kullanılan agreganın tane dağılımları	51
Çizelge 4.4.	Gevşek birim ağırlık deneyi sonuçları	52
Çizelge 4.5.	Sıkışık birim ağırlık deneyi sonuçları	52
Çizelge 4.6.	İnce agrega için ince madde oranı tayini deney sonuçları	54
Çizelge 4.7.	İri agrega için ince madde oranı tayini deney sonuçları	54
Çizelge 4.8.	İnce agrega tane yoğunluğu ve su emme deneyi için ölçülen değerler.....	56
Çizelge 4.9.	İnce agrega tane yoğunluğu ve su emme deneyi için hesaplanan değerler	56
Çizelge 4.10.	İri agrega tane yoğunluğu ve su emme deneyi için ölçülen değerler	57
Çizelge 4.11.	İnce agrega tane yoğunluğu ve su emme deneyi için hesaplanan değerler	57
Çizelge 4.12.	Polipropilen lifli betonların basınç dayanımı sonuçları	59
Çizelge 4.13.	Çelik lifli betonların basınç dayanımı sonuçları	61

Çizelge 4.14. Polipropilen lifli betonların eğilme dayanımı sonuçları	64
Çizelge 4.15. Çelik lifli betonların eğilme dayanımı sonuçları	66
Çizelge 4.16. Polipropilen lifli betonların darbe dayanımı sonuçları	68
Çizelge 4.17. Çelik lifli betonların darbe dayanımı sonuçları	71

1. GİRİŞ

Beton; agrega, çimento, su ve gerektiğinde bazı katkı maddelerinin birlikte karıştırılmasıyla elde edilen bir yapı malzemesidir. İnsanların yaşam alanlarını oluşturdıkları evler, okullar, yollar (demiryolu, limanlar, karayolları), içme suyu, atık su tesisleri gibi, bir nevi sosyal yaşamın her alanında beton kullanılmaktadır. Yaşamın her alanında bu kadar büyük yere sahip olan yapı malzemesinin özellikleri de iyi derecede irdelenmelidir.

Basınç dayanımı, eğilme dayanımı, çekme dayanımı, tekrarlı yükler altında yorulma dayanımı, gerilme birim deformasyon ilişkisi, elastiklik modülü, Poisson oranı, ısısal genleşme katsayısı, rötre (büzülme), sabit yükler altında sünme ve yoğunluk betonda aranan temel özelliklerdir (Erdoğan 2003).

Çizelge 1.1. Yapı betonlarının bazı özelliklerine ait tipik değerler (Erdoğan 2003)

Özellikler	Tipik Değerler
Basınç Dayanımı	35 Mpa
Eğilme Dayanımı	6 Mpa
Çekme Dayanımı	3 Mpa
Elastiklik Modülü	28000 Mpa
Poisson Oranı	0,2
Kırılmadaki Çekme Birim Def.	0,001
Isısal Genleşme Katsayısı	$10 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
Rötre (büzülme) Birim Def.	%0,05-0,1
Normal Ağırlıklı Beton	2300 kg/m ³
Hafif Beton	1800 kg/m ³

Çizelge1.1. de görüldüğü üzere 28 günlük silindir basınç dayanımı 35 MPa olan bir beton için çekme dayanımının 3 MPa, eğilme dayanımının 6 MPa olması olumsuz

özellikler olarak düşünülebilir. Betonda ilave malzemeler kullanılarak bu olumsuzlukların giderilmesi mümkündür. Lif takviyesi ile beton gevreklikten uzaklaşmakta, eğilme ve çekme yükleri altında daha iyi davranış sergilemektedir.

Lifli beton; geleneksel beton içerisine narinliği yüksek olan (boyuna uzunluğunun çapına oranı) ve beton içerisine üç boyutlu olacak şekilde rastgele ya da yönelmiş şekilde karbon, çelik, aramid, polipropilen vb. katılması ile elde edilen beton çeşididir.

Lifler eski zamanlardan beri yapı elemanlarında daha sünek bir yapı oluşturmak için kullanılmaktadır (ACI 544 1997). İlk çağlardan beri insanlar kırılğan malzemenin içine bitkisel veya hayvansal kaynaklı lifler koyarak, malzemenin kırılğanlık özelliğini gidermeye çalışmışlardır. Balaguru ve diğerlerine göre liflerin yapı malzemesi olarak kullanımı ile ilgi ilk kayıtlar antik Mısır'a dayanmaktadır. Antik Mısır da çamur tuğlaları güçlendirmek amacıyla hayvan tüyleri ve saman kullanılmıştır. Günümüze kadar da Almanya, ABD, İngiltere başta olmak üzere özellikle İkinci Dünya Savaşı ve 1960' lardan sonra betonda lif kullanımına ağırlık verilmiştir.

Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada ise, literatür ışığında betona farklı oranlarda (hacimce %0,5, %1, %1,5, %2) çelik lif ve 1 m³ için 300 g, 600 g, 900 g, 1200 g polipropilen lif katılarak, lif takviyeli betonlar üretilmiştir. Bu numuneler üzerinde taze beton özellikleri ve basınç dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanımı gibi mekanik özelliklere liflerin etkisi araştırılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Lifli Beton

Geleneksel beton içerisine narinliği, (boyuna uzunluğunun çapına oranı ($l/d > 10$)) yüksek olan ve beton içerisine üç boyutlu olacak şekilde rastgele ya da yönelmiş şekilde karbon, çelik, aramid, polipropilen vb. katılması ile elde edilen beton çeşididir.

Yapı mühendisliğinde beton sık olarak kullanılan kompozit bir malzemedir. Agregalar rastgele dağıldıklarından dolayı, oldukça heterojen ve gözenekli bir yapıya sahiptir. İç yapının heterojenliği iç şekil değiştirmelerin dağınık şekilde olmasına sebep olur ve kırılma süreci süresiz olur. Betonda en zayıf yer çimento harcı ile agrega ara yüzeyi arasındaki bölgedir. Beton içinde ara yüzeyinde bulunan kısmi mikro çatlaklar büyük çatlaklara sebep olacak potansiyel çatlak uçlarını belirler. Betonun gevrek özelliğinin geliştirilmesi için değişik güçlendirilmelere ihtiyaç vardır. Günümüzde rastgele dağınık liflerin betona katılmasıyla bu özellik geliştirilmektedir (Aydın vd 1999).

2.1.1. Çelik lifli beton

Genel olarak geleneksel beton yorulma dayanımı, aşınma dayanımı, çekme dayanımı, çatlama sonrası yük taşıma dayanımı ve enerji emme kapasitesi bakımından ele alındığında zayıf bir malzemedir. Betona lif katılmasıyla belirtilen olumsuz özelliklerinin olumlu yönde artırılması mümkündür. Ayrıca betonun farklı alanlarda kullanılması söz konusu oldukça lifli betonlar üzerindeki araştırmalarda da artış gözlenmektedir. Bundan dolayı kompozit malzeme üzerine kurulan teorilerin pratikte yaşanan teknolojik gelişmeler ve yeni malzemelerin betonda kullanılması amaçlanmıştır. Bu malzemelerden biri de beton karışımlarına katılan farklı boyutlardaki ve oranlardaki çelik liflerdir.

Beton içerisine katılan çelik lifler, betonun içyapısını değiştiren ve ona daha az gevrek özellik kazandıran bir malzeme olarak tanımlanabilir. Çelik lifle takviye edilmiş betonun özelliği, plastik davranış ve enerji yutma yeteneğinin gelişmiş olmasıdır (Şimşek 2004).

2.1.1.a. Çelik liflerin sınıflandırılması

TS 10513 (1992)'e göre çelik lifler sınıfları ve tipleri şu şekilde tanımlanmıştır.

A Sınıfı: Düz, pürüzsüz yüzeyle lifler

B Sınıfı: Bütün uzunluğu boyunca deforme olmuş lifler

- Tip 1: Üzerinde girintiler (çentikler) açılmış lifler
- Tip 2: Uzunluğu boyunca dalgalı (kıvrımlı) lifler
- Tip 3: Ay biçimi dalgalı lifler

C Sınıfı: Sonu kancalı lifler

- Tip 1: İki ucu kancalı lifler
- Tip 2: Tek ucu kancalı lifler

Çelik lifler TS 10513' e göre muayene edildiğinde, pas, yağ ve petrolden arınmış ve temiz olmalıdır. Çelik lifler düşük karbonlu çelikten soğuk çekme işlemi ile elde edilmiş olmalıdır. Çekme-kopma gerilmesi ortalaması 345 N/mm^2 , her bir lif ise 310 N/mm^2 den az olmamalıdır.

Boyutlar açısından yapılan değerlendirmede, çelik liflerin çapları 0,13-1,0 mm arasında olup, narinlikleri ise (uzunluk/çap oranı) 30 ile 150 arasında değişmektedir. Lif boyları 13 mm den 70 mm' ye kadar, lif hacmi ise genellikle %0,5 ile %3 arasında değişmektedir.

Lifin boyunun çapına bölünmesi ile bulunan oran aynı zamanda lifin narinliğini ifade etmektedir. Betonlar da ise takviye olarak genellikle daire en kesitli ve dikdörtgen en kesitli çelik lifler kullanılmaktadır. Boyları 30–60 mm, çapları ise 0,5–1,0 mm arasında

değişen çelik liflerin yük etkisiyle kopmadan, matristen sıyrılmalarına rağmen çekme dayanımlarının en az 345 N/mm^2 olması istenmektedir. Yapılan çalışmalarda görülmüştür ki, uçları kancalı üretilen çelik liflerin sıyrılma davranışlarının düz olanlara oranla daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Karbon miktarı düşük olan çelikten üretilen çelik lifler genellikle;

- Soğukta çekilen liflerin kesilmesiyle,
- Çelik plakaların kesilmesiyle,
- Erimiş haldeki çelik potasından çıkarılması ile elde edilmektedir. Sert çekilmiş düşük karbonlu çelik C1008'den üretilen çelik liflerde, yüksek ve üniform çekme gerilmesiyle düşük uzama özelliği birleştirilmiştir. Beton içerisinde bulunan liflerin nihai yükleri kırılma ve kopma olmadan taşımaları gerekir. Çelik lifler 1100 N/mm^2 çekme mukavemeti ile bunu gerçekleştirir. Düşük elastik limitleri ($\%0,2$), yüksek çekme gerilmesiyle birleştirilmiştir.

2.1.1.b. Çelik liflerin performansları

Çelik lif takviyeli beton, çelik liflerin üç boyutta beton kütlesi içine homojen olarak dağıtıldığı lif takviyeli betondur. Çelik lifler betonların çatlama direncini, geçirgenlik ve süneklik gibi özelliklerini artırır. Lif takviyeli beton kalitesi, çelik liflerin narinlik oranı (uzunluk/çap) ve dozaja bağlı olarak değişir. Seçilen deney metoduna bağlı olarak çelik lif donatılı beton performansının seçilmesi gerekir. Bu seçimde en önemli parametre yapı güvenliği ve sünekliktir. Çelik lifler, taze betonda rötre dolayısıyla oluşmaya başlayan mikro çatlaklar arasında köprü görevi görerek, iç gerilmeleri bütün yapı içine yayar ve servis yükleri altında çatlakların yayılmalarını ve büyümelerini engeller. Servis yüklerinden başka ani etkiyen deprem gibi dinamik yüklemelere karşı enerji yutma yeteneklerinden dolayı betonun dağılmasını engellerler (Yerlikaya 2003).

Çelik liflerin teknik açıdan pek çok üstünlüğü vardır. Bunlar ;

- İdeal narinlik,
- Ankrajlı uçlar sayesinde kontrollü sıyrılma,
- Yüksek çekme mukavemeti (min. 1100 N/mm^2),

- Tutkallı demetler ile homojen şekilde yayılma.

Çelik liflerin en önemli özellikleri ise aşağıda belirtilmiştir.

1. Eğilme mukavemeti ve tokluk: Çelik liflerin amaçlarından bir tanesi çatlak sonrası betonun enerji yutma kapasitesini artırmak ve eğilme mukavemetini belirli bir değere çekmektir.
2. Çatlak kontrolü: Çelik lifler çatlakları bir köprü halinde aktararak çatlağın ilerlemesini önler.
3. Şok darbe dayanımı: Çelik lifler homojen dağılmaları sayesinde darbe dayanımını artırır.
4. Yüzey kabarmasının yok edilmesi: Çelik lifli betonda küçük lif çapı, kesintili donatı sistemi ve yüksek yüzey/hacim oranı ile klasik demir donatılarında paslanma sonucu oluşan kabarma olayı görülmez.

2.1.1.c. Çelik liflerin betonda kullanımı ve kullanım oranları

Çelik lifli betonların karışımları için beton yapısı ve kalitesi TS 10514'de (1992) verilmektedir. Buna göre:

- Çimento miktarı en az 320 kg/m^3 olmalıdır,
- Su/çimento oranı en çok 0,55 olmalıdır.
- Kum miktarı, toplam agrega kütlelerinin %40-%45'i olmalıdır (750 kg/m^3 – 850 kg/m^3)
- En büyük tane büyüklüğü, doğal agregalar için 28 mm, kırma taşlar için 32 mm olmalıdır. 14 mm'den büyük agrega oranı, %15-%20 ile sınırlanmalıdır.
- Betonun karakteristik basınç mukavemeti en az 20 N/mm^2 olmalıdır.
- Betona işlenebilirlik sağlaması amacı ile akışkanlık verici katkıları kullanılabilir.
- Betonda bulunması gereken 0.25 mm'den küçük ince malzeme miktarı Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Çelik lifli betonda bulunması gereken ince malzeme miktarı

Maksimum tane büyüklüğü (mm)	İnce malzeme miktarı (<0,25 mm)	
	kg/m ³	L/m ³
8	525	180-185
16	450	150-155
32	400	130-135

2.1.1.d. Çelik lif karışım yöntemleri

Karışıma ilk malzeme olarak liflerle başlanmamalı, çelik lifler kum ve agregalarla beraber ya da hazırlanmış betona ilave edilmelidir. Karışım anında çelik liflerin bir araya gelip topaklanarak karışımı güçleştirmeleri ve karışım sırasında liflerin eğilerek deforme olmaları önlenmelidir. Bunun içinde özellikle lif miktarı aşılmamalı gerekiyorsa bağlayıcı ve ince agrega miktarı artırılarak karışımın kohezyonu artırılmalıdır. İşlenebilirliği arttırmak için de akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları kullanılmalıdır. Demetler halindeki lifler karışımda ayrılınca kadar karışıma devam edilmelidir. Çelik lifli betonların hazırlanmasında belli başlı üç yöntem vardır. Bu yöntemler ve karıştırma kuralları TS 10514’de belirtilmiştir.

1. Beton Santralinde Karışım Yöntemi

- Kum, çakıl ve çelik lifler bir konveyör bant aracılığı ile karıştırma kazanına verilebildiği gibi, beton santralinin tartı kovaasına da konabilir. Her iki durumda da, çelik lifler kum ve çakılın üzerine dökülmelidir.
- Karışıma çimento, su ve gerekli ise uçucu kül ilave edilmelidir.
- Bütün lifler ayrılıp dağılıncaya kadar karıştırılmalıdır. Gerekli süre mikser tipine bağlı olup, bu süre yaklaşık 1–2 dakika olmalıdır.
- Karıştırma kazanı içinde hazırlanan betona lifler en son olarak da ilave edilebilir. Bu durumda karıştırmaya lifler homojen dağılıncaya kadar devam edilmelidir.

2. Transmikserde Karışım Yöntemi

- Agrega ve lifler transmiksere konarak karıştırılmalıdır.
- Çimento ve su ilave edilmelidir.
- 2–4 dakika sonra karışım kontrol edilmelidir. Homojen karışım gözle fark edilmelidir.

3. Transmikserde İlave Yöntemi

- Diğer karıştırma yöntemleri mümkün olmadığında zaman uygulanır.
- Transmiksere konan beton, mikser kapasitesinin %80'ini aşmamalıdır.
- Yüksek su/çimento oranından kaçınmak için akışkanlık verici katkı maddeleri kullanılmalıdır.
- Lifler, mikser 20–30 kg/dak hızı ile konmalı ve bu esnada mikser tamburu en yüksek hız ile çevrilmelidir.
- Karıştırma zamanı mikser tipine bağlıdır. Bütün lifler betona karıştırıldıktan sonra mikser kısa müddet ile durdurulmalı ve lif dağılımı göz ile kontrol edilmelidir. Homojen dağılım elde edilemezse, transmiksere bu karışım yöntemi için uygun olmadığına karar verilmelidir.

Üretilen betonun homojen olması için kritik çelik lif miktarı aşılmamalıdır. Çelik lif teçhizatlı betonun karışımını kolaylaştırmak ve gerekli olduğu lif miktarını artırmayı sağlamak amacıyla ince agregası kullanılmalıdır. Taze betonda; lifin homojen dağılımı, gözle kontrol edilmeli birbirlerine yapışık lifler halinde betona karıştırılan lif demetler veya lifler beton içinde tamamen dağılıp, ayrılncaya kadar beton karışımı devam etmeli ve üniform dağılım göz ile fark edilmelidir. Lif takviyeli beton, döküm yerine kamyon ve transmiksere ile nakledilebilir. Transmikserler kullanıldığında, mikser düşük hızda döndürülmelidir. Betona karıştırılacak en fazla lif miktarı, agreganın en büyük tane çapına ve uzunluk/çap oranına bağlı olarak Çizelge 2.2'de gösterilmiştir (TS 10514 1992).

Çizelge 2.2. Betona ilave edilen maksimum lif miktarı kg/m^3

Tane çapı (mm)	Uzunluk/çap=60		Uzunluk/çap=75		Uzunluk/çap=100	
	Dökme	Pompa	Dökme	Pompa	Dökme	Pompa
32	50	40	40	30	30	25
16	85	65	70	55	55	40
8	125	95	100	75	75	55
4	160	120	125	95	95	70

İyi bir karışım için çelik lif miktarı beton hacmine oranla %0,5 ile %1,5 arasında olup, %2 ve daha fazlasına çıkarmak mümkün olmakla birlikte, %0,5'in altına da düşülmemelidir.

Çakıroğlu vd (2011) tarafından yapılan çalışmada, farklı geometrik şekillerde ki çelik liflerin beton içerisine katılmasıyla betonun dayanımına olan etkisi ve uygulanabilirliği araştırılmıştır. Çelik liflerin geometrik formu ve numuneye katılma oranları deney değişkenleri olarak belirlenmiştir. Dört tip çelik lif kullanılmıştır. Bunlar Tip1 (kancalı), Tip2 (dalgalı), Tip3 (iki ucu çengelli), Tip4 (düz ve kancalı uçlu), TS 10513 e uygun olacak şekilde seçilmişlerdir. Beton sınıfı C16 maksimum agrega çapı 12 mm, s/ç oranı 0,45 ve çimento PÇ42,5 olacak şekilde seçilmiştir. Lif oranları 20 kg/m^3 , 30 kg/m^3 , 40 kg/m^3 olarak eklenmiştir. Sonuç olarak, lifsiz numunelerin basınç dayanımlarının diğer serilerdeki tiplere nazaran düşük olduğu gözlenmiştir.

2.1.1.d. Çelik lifli betonun teknik özellikleri

Geleneksel beton içerisine farklı miktarlarda, tiplerde ve özelliklerde çelik liflerin katılması ile normal betonun zayıf olarak bilinen birçok özelliğini iyileştirerek performanslarını geliştirmektedir. Bu iyileşmeler Çizelge 2.3. de ve aşağıda özetlenmiştir (Uğurlu 1994).

Çizelge 2.3. Çelik lifli betonun teknik özellikleri

Betonun Özelliği	Artış (%)
Tokluk	100-1200
Darbe dayanımı	100-1200
İlk çatlak dayanımı	25-100
Çekme dayanımı	25-100
Nihai eğilme dayanımı	50-100
Yorulma dayanımı	50-100
Deformasyon kapasitesi	50-100
Basınç dayanımı	±25
Kavitasyon dayanımı	300
Elastisite modülü	±25

a.İşlenebilirlik

Geleneksel betonun çelik lifle takviye edilmesiyle işlenebilirlik özelliklerinde bazı değişiklikler oluşur. Şimdiye kadar yapılan tüm çalışmalarda betona katılan çelik lif ilavesinin işlenebilirliği önemli derecede olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Bu azalma üzerindeki en önemli iki faktör, karışımdaki lif hacmi ve narinliktir. Yapılan çalışmalar çelik lif takviyeli betonların işlenebilirliğinin ölçümünde Abrams konisi yönteminin pek uygun olmadığını ancak, en uygun yöntemlerin ters çevrilmiş koni ve Vebe yöntemleri olduğunu göstermiştir. Beton takviyesinde çelik lif miktarının artması ile işlenebilirlikte ciddi azalmalar gözlenmektedir. Ayrıca narinlik oranının artması da yani çelik lif performansının artması ile de işlenebilirlik zorlaşmaktadır. Çelik lif tipi ve geometrik şekli işlenebilirliği olumlu ya da olumsuz etkileyebilmektedir.

Uygunoğlu (2006) tarafından yapılan çalışmada, betona hacimce %0, %0,5, %1,1 oranlarında çelik lif katılarak gerilme şekil değiştirme ilişkileri araştırılmıştır. Maksimum agrega tane çapı 16 mm, narinliği 60 olan kancalı çelik lif, dozajı 350 kg/m³

olarak kullanılmış, s/ç oranı 0,63 alınmıştır. Sonuç olarak, kullanılan çelik liflerin betonun gerilme- şekil değiştirme yeteneğini önemli derecede artırdığı ifade edilmiştir. Lifler betonların basınç dayanımına yönelim ve dağılımlarından dolayı hem olumlu hem de olumsuz yönde etkilemişlerdir. Betona katılan lif miktarının artması tokluğu artırmış ve işlenebilirliği olumsuz etkilemiştir.

b. Enerji yutma kapasitesi (Tokluk)

Tokluk çelik lif takviyeli betonları tanımlarken karakterize eden en önemli özelliklerden biridir. Tokluk, beton içindeki çelik liflerin rolüne (dağılımına boyutuna, narinliğine vb.) bağlıdır ve lifli betonların işlevselliği değerlendirilirken esas alınan bir parametredir. Bu özellik çelik lifli betonun lif miktarı, narinlik oranı, lif boyu, lif geometrisi ile yükleme hızı ve numune boyutları gibi faktörlerden etkilenir. Bu sözünü ettiğimiz, enerji yutma kapasitesinin ölçümü JSCE-SF4 Japon, ASTM 1018 USA, TS 10515 standartlarında belirtilmiş olup yük-deformasyon eğrisi altında kalan alanın hesaplanması ile bulunur. Betondaki lif içeriğinin artması, lif boyunun ve narinlik oranının büyümesi ile betonun tokluğu da artmaktadır.

Eren (1997) tarafından yapılan çalışmada, narinlik oranları 60, 75, 83 olan üç değişik tür çengelli çelik lifler kullanılmıştır. Çelik lifler dört değişik oranda (hacimce %0,5, %1, %1,5, %2) kullanılmıştır. Maksimum agrega tane çapı 25 mm, s/ç oranı 0,35 olarak alınmış, çimento ağırlığının %10 u kadar silis dumanı katılmış, çimento dozajı 550 kg kullanılmıştır. Araştırma sonucunda, lif miktarının artması darbe dayanımının da artmasına sebep olmuştur. %10 silis dumanı ve %2 çelik lif katılan numuneler en fazla darbeye karşı direnç göstermiş ve 91 kat daha fazla vuruş sayısında kırılma olmuştur.

Najatara *et al.* (1999) yaptıkları çalışmada, narinliği 55, olan 2,75 cm uzunluğundaki liflerle takviye ettikleri beton numunelerin darbe direncini incelemişler. Darbe direncini belirlemek için ağırlık düşürme tekniğini kullanmışlardır. Geleneksel betonlar da, gözle

görülebilen ilk çatlak sayısı 71, %0,5 oranının da çelik lif katılmasıyla elde edilen numunelerde gözle görülen ilk çatlak sayısını 103 olarak tespit etmişlerdir.

Banthia *et al.* (2003) yaptıkları çalışmada, çift taraflı konsol kirişlerin, karma liflerle güçlendirilmesi halinde oluşacak çatlak ilerlemesini, lif tipine ve çeşitliğine bağlı olarak incelemişlerdir. Çalışma neticesinde polipropilen ve çelik liflerin çatlak yayılmasına karşı iyi direnç gösterdiklerini tespit etmişlerdir.

Şimşek vd (2005) tarafından yapılan çalışma da %0, %2,5, %2,5, %5 ve %10 oranlarında silis dumanı kullanılmış, s/ç oranı 0,5 ve beton sınıfı C25 olarak seçilmiştir. 100x100x500 mm boyutlarındaki prizma numunelere eğilme deneyi yapılmıştır. Sonuç olarak, çelik lifli betonlara %10 silis dumanı katılması, silis dumansız lifli betona göre eğilme dayanımında 28 günde %23,5, 90 günde %30,8, 120 günde de %18,3 lük artışa sebep olmuş, en yüksek değer %2,5 silis dumanı kullanılan numunelerde görülmüştür.

Tekdemir (2007) tarafından yapılan çalışmada, Dramix RC-80/60-BN tipi çelik lifler, C30 sınıfında üretilen 150x300 mm lik silindir ve 150x300x300 mm lik prizmatik numuneler içerisine hacimce %0,5, %1, %1,5, oranlarında ilave edilmiştir. Üretilen betonun s/ç oranı 0,58 seçilmiştir. Numunelerde sıcaklığın etkisini belirlemek amacıyla 50⁰C, 100⁰C, 150 ⁰C, 200⁰C, 400⁰C, 600⁰C, 800⁰C lik sıcaklık değerleri uygulanmıştır. Sonuç olarak, oda sıcaklığında 7, 28, 90 günlük beton numunelerde, çelik lif miktarına bağlı olarak C30 beton sınıfı için basınç dayanımında artış belirlenmemiştir. Özellikle katkısız betonlara göre, çelik lif oranı %1 olan betonlarda basınç dayanımı %8 artmış, oranı %1,5 olan betonlarda ise %25 azalmıştır. Bu durum, çelik liflerin beton içerisinde homojen dağılmamasının ve artan oran ile birlikte topaklaşma sonucunda betonda boşluk oluşmasının bir sonucu olarak değerlendirilmiştir. Sıcaklıkla ilgili incelemelerde ise oda sıcaklığı ile 200⁰C aralığında, artan sıcaklıkla birlikte lifli ve lifsiz numunelerde basınç dayanımı azalmıştır. 200⁰C ile 400⁰C arasında lifli ve lifsiz numunelerde basınç dayanımı sabit kalmıştır. 400⁰C ile 800⁰C aralığında, artan sıcaklıkla birlikte basınç dayanımı azalma eğilimi göstermiş olup, çelik katkısı %1,5 olan numunelerde lifsiz betonlara göre basınç dayanımı %44 oranında artmıştır. Özellikle 800⁰C sıcaklık

uygulanan bazı lifsiz numunelerde basınç yüklemesi altında dayanım alınamamıştır. Elastiklik modülü üzeride yapılan incelemelerde, 23⁰C ile 200⁰C arasında artan sıcaklıkla birlikte lifli ve lifsiz betonlarda düşüş gözlenmiştir. 200⁰C ile 400⁰C arasında elastiklik modülü sabit kalmıştır. 400⁰C ile 800⁰C arasında elastiklik modülü azalmıştır. Enerji yutma kapasitesi açısından lif kullanılmayan numunelere göre, %0,5 oranında lif kullanılan numunelerde enerji tüketim kapasitesi %10,64 kat, %1 oranında lif kullanılan numunelerde enerji tüketim kapasitesi %19,08 kat, %1,5 oranında lif kullanılan numunelerde ise enerji tüketim kapasitesini %21,6 kat artırdığı tespit edilmiştir.

Zeynal (2008) tarafından yapılan çalışmada, s/ç oranı ve çelik lif kullanım oranlarının üretilen lifli betonların mekanik özellikleriyle darbe direncine etkisi incelenmiştir. Üretilen numunelerde, s/ç oranı 0,4, 0,5, 0,6 olacak şekilde üç farklı sınıfta beton tasarlanmıştır. Bu betonlara hacimce %0,3 mikro oranında çelik lif ve %0,4, %0,8, %1,2 oranlarında çelik lif katılarak beton üretilmiştir. Sonuç olarak, betonda s/ç oranı düştükçe ve çelik lif oranı arttıkça betonun birim hacim ağırlığı artmıştır. Betonda sadece %0,3 oranında mikro çelik lif kullanımı ile ortalama olarak basınç dayanımında %2, yarmada çekme dayanımında %4, eğilme dayanımında %8,6 ve kırılma oluşturan darbe sayısında ise 2 kat ile 3,6 kat arasında artışlar olmuştur. Sadece, hacimce %0,4, %0,8 ve %1,2 oranında uzun çel lif kullanımı ile basınç dayanımlarında %2 ile %10, yarmada çekme dayanımında %13 ile %42, eğilme dayanımında %14 ile %115 ve kırılma oluşturan darbe sayılarında 3,5 kat ile 23,9 kat arasında değişen değerlerde artış elde edilmiştir. Üretilen betonlarda sadece mikro çelik lif, değişik oranlarda sadece çelik lif veya karma lif kullanımlarında s/ç oranı arttıkça basınç, eğilme ve yarmada çekme dayanımları ile darbe direncinin düştüğü görülmektedir.

Yazıcı vd (2008) tarafından yapılan çalışmada, çelik lifli betonun darbe direncine agrega maksimum boyutunun etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir. Çalışmada, maksimum tane boyutu 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm, olan kireç taşı kökenli kırma agrega kullanılarak 8 farklı lifsiz ve çelik lifli beton üretilmiştir. Üretilen numunelerde, s/ç oranı 0,5, çimento dozajı 400g/m³ olarak sabit tutulmuştur. Lifli betonlarda hacimce %1 oranında narinliği 65 olan iki ucu kancalı lif kullanılmıştır. Çalışmada sonucunda,

agrega maksimum tane boyutunun betonun basınç ve yarmada çekme dayanımları ile gözle tespit edilen ilk çatlak ve kırılma oluşturan darbe sayıları üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Sabit tutulan s/ç oranıyla maksimum agrega çapı arttıkça araştırılan mekanik ve darbe özelliklerinin düştüğü görülmüştür. Betonun basınç ve yarmada çekme dayanımında, %1 oranında çelik lif katıldığında olumlu sonuç alınmasına rağmen, ultrases hızını düşürdüğü gözlenmiştir. Çelik lifin %1 oranında kullanılması ve narinliğin 65 olması durumunda maksimum agrega tane çapının 20 mm üzerine çıkılmaması önerilmiştir.

c. Dayanım

Çelik lif takviyeli beton, yüklemede taşıma gücüne eriştiği halde yük taşıma özelliği gösterir. Ayrıca yapılan çalışmalar çelik lifli betonun kesme, burulma ve yorulmaya karşı mukavemetin fazla olduğunu, çatlamalar, dökülme, parçalanma ve dağılmaların az olduğunu ortaya koymuştur (Aslan ve Aydın 1999).

Çelik lifler yüksek çekme dayanımlarına sahip olduklarından dolayı çelik lif takviyeli betonların eğilme dayanımları geleneksel betonlara nazaran %50–100 arasında artış göstermektedir. Çelik lifler, beton içerisindeki çatlak uçlarında yük aktarımı ve dağılımı yapmaktadır. Bundan dolayı lifli betonun maksimum eğilme dayanımı lifsiz betona göre fazla olur. Fakat çelik lif takviyeli betonların basınç dayanımları, çelik liflerin beton içerisinde homojen dağılmasından dolayı her zaman olumlu sonuç vermemektedir. Basınç dayanımlarında artışlar görülebileceği gibi dağılım ve yönelimden kaynaklanan düşüşlerde gözlenebilir. Basınç ve eğilme-çekme gerilmeleri, çelik liflerin rolünden ziyade, beton kalitesiyle de alakalıdır.

Acun (2000) tarafından yapılan çalışmada, 60 mm boyunda 0,75 mm kalınlığında ucu kancalı çelik lif %0,5, %1, %1,5 oranlarında, 20 mm uzunluğunda polipropilen lif ise %0,06, %0,08, %0,09, oranlarında betona katılmıştır. Kimyasal katkı %0,1 oranında kullanılmış, s/ç oranı %0,46 olarak seçilmiştir. Çalışmanın sonucu olarak, polipropilen

liflerin çelik liflere oranla işlenebilirlik özelliklerini daha iyi yönde etkilediği, elastisite modülünün değiştiği, eğilmede çekme dayanımını %1,5 artırdığı bildirilmiştir. Çelik liflerin en fazla yararı eğilmede çekmede tespit edilmiştir. Çelik liflerin belli orana kadar basınç dayanımına iyi, bu orandan sonra olumsuz yönde etki yaptığı belirtilmiştir.

Song and Hawing (2004) tarafından yapılan çalışmada, yüksek dayanımlı betonlar üzerinde çalışılmıştır. Geleneksel betona, yüksek dayanımlı beton özelliği kazandırmak için silis dumanı, agrega olarak bazalt ve süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Narinliği 65 olan, 35 mm uzunluğunda çelik lifler %0,5, %1, %1,5, %2 oranlarında kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, basınç dayanımının %1,5 a kadar çelik lif ile doğru orantılı arttığı, %1,5 oranına sonra düşüşe sebep olduğu belirtilmiştir. Yarmada çekme dayanımının ise %0,5 çelik lif oranında %19, %2 çelik lif oranında %98,3 oranına kadar artışa sebep olduğu tespit edilmiştir.

Ünal vd. (2006) yaptıkları çalışmada, çelik lif katkılı betonlarda farklı lif tipi ve miktarının basınç ve eğilme yükleri altında betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çimento dozajı 325 kg, s/ç oranı 0,6 olarak sabit tutulmuş, basınç dayanımı 30 MPa olarak tasarlanmıştır. Karışımlarda narinlik oranları 60 ve 80 olan iki lif tipi kullanılmıştır. Numunelerde lif miktarları 1 m³ te 0 kg (kontrol), 15 kg, 30 kg, 45 kg, 60 kg olacak şekilde beş farklı oranda kullanılmıştır. Çalışmanın sonucu olarak, betona lif katılmasıyla betonun çökmesinin azaldığı belirtilmiştir. İşlenebilirlik ise lif narinliği arttıkça ters orantılı şekilde azalmıştır. Çelik lifler betonun tokluğunu artırmıştır. Lifin dağılımına göre betonun basınç dayanımında olumlu ve olumsuz yönde etkiler belirlenmiştir. Tokluğun en yüksek çıktığı numuneler narinliği 60 olan çelik lifli numunelerdir. Lifler eğilme dayanımını önemli ölçüde artırmıştır. Eğilme dayanımındaki artışın lif narinliği ile doğru orantılı olduğu bildirilmiştir. Betonun ilk çatlak genişliğinde beton içersindeki lif miktarının artışıyla birlikte azalma görülmüştür. Bu azalma liflerin narinlik oranlarının artışıyla da azalma göstermiştir.

Ateş (2008) tarafından yapılan çalışmada, çelik lifli betonların uygulama özellikleri incelenmiş olup, betonun mekanik özelliklerinin ana kriterleri olan, basınç dayanımı,

eğilme dayanımı, tokluk, yorulma dayanımı, darbe dayanımı, rötire ve durabilite üzerindeki etkileri incelenmiştir. Beton sınıfı C25, s/ç oranı 0,52, çelik lif tipi 60 mm uzunluğunda, 0,8 mm çapında, narinliği 75 olan ve 1 m³ te 35 kg olacak şekilde kullanılmıştır. Sonuç olarak çökme değerinin düştüğü, basınç dayanımının %15 civarında arttığı belirtilmiştir.

Taşdemir vd (2009) çelik lif donatılı betonlarla ilgili yapılan çalışma da, lifsiz ve çelik lifli tüm karışımlarda s/ç oranı 0,55 olarak sabit tutulmuştur. Üretimde 80, 65 ve 55 olmak üzere 3 farklı narinlikteki uçları kancalı çelik lifler kullanılmıştır. Karışımlarda CEM I 42,5R türü çimento, 350 kg/m³, olacak şekilde sabit tutulmuştur. Kimyasal katkı çimento ağırlığının %1,35-%1,65'i arasında değişen oranlarda kullanılmıştır. Numuneler üzerinde basınç dayanımı, elastiklik modülü, yarmada çekme dayanımı ve kiriş eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda, çelik lif hacim oranının artışının beton basınç dayanımına ve elastiklik modülüne etkisinin olmadığı görülmüştür. Çelik lif donatılı betonun yarmada çekme ve eğilme dayanımının arttığı, lif narinliği fazla olan betonlarda bu artışların daha da fazla olduğu belirlenmiştir.

Nili *et al.* (2010) tarafından yapılan çalışmada, 0,46 ve 0,36 s/ç oranlarında silis dumanı, 60 mm uzunluğunda ve 80 narinliğinde çelik lifler eklenerek numunelerin basınç dayanımı ve darbe direnci incelenmiştir. %0, %0,5, %1 olmak üzere üç farklı oranda çelik lif kullanılmıştır. Silis dumanı çimento ağırlığının %8 i olacak şekilde çimento ile yer değiştirilerek katılmıştır. Çalışmanın sonucu olarak, çelik lifin betona ilavesinin betonun basınç dayanımını artırdığı belirtilmiştir. Çift noktalı eğilme deneyinde %1 çelik lif katılan numunelerde %62 ve %29 artış gözlenmiştir. Yapılan çalışma, silis dumanı ve çelik lifin birlikte kullanılmasının, betonun kinetik enerjiyi absorbe etme yeteneğini iyi derecede artırdığını ortaya koymuştur.

d. Dayanıklılık

Donma çözülme olayı beton için fiziksel bir olaydır. Islanarak doygun hale gelen ve donma çözülme etkisi altında kalan tüm betonlar donmanın kümülatif artışından dolayı

kısa sürede hasar oluşmaktadır. Donma çözülme tekrarları karşısında, betondaki iç gerilmelerden dolayı ve beton içerisindeki en zayıf bağın agrega ve çimento arayüzünde olması sebebiyle beton yüzeyindeki agregalar gevşeyip kopmaktadır. Betonun dağılmasına sebep olur. Donma çözülme çevriminin fazla olduğu ortamlarda, en kaliteli betonlarda bile kısa sürede büyük hasarlar oluşturabilmektedir.

Çelik lif takviyeli betonlar donma-çözülme etkisine karşı önemli düzeyde direnç gösterememektedir. Fakat çelik lifler üzerlerine gelen gerilmeyi yaydıklarından dolayı mikro çatlak oluşumunu ve yayılmasının gecikmesine sebep olur. Bundan dolayı donma-çözülme esnasında betonun göçmesi ve dağılmasını yavaşlatır. Dağılmadaki bu iyileşme çelik lifin çatlak köprülenme etkisine ve çatlak ilerlemesine engel olan özelliğine bağlı olmaktadır. Dolayısıyla çelik lif donatılı betonların donma-çözülme etkisinde kütle kaybı normal betonlardakine benzerdir. Çelik liflerin genel olarak betonların aşınma, erozyon ve kavitasyon dirençlerini artırdığı tespit edilmiştir.

Ünal (1994) tarafından yapılan çalışmada, 0 dm/m^3 , $2,50 \text{ dm/m}^3$, 50 dm/m^3 , 80 dm/m^3 , 100 dm/m^3 oranlarında, uzunluğu 30 mm olan çelik lif kullanılmıştır. Dozajı 350 kg ve s/ç oranı da 0,63 olarak alınmıştır. Beton numuneler ısıtılma maruz bırakılmış ve numunelerin basınç dayanımları, eğilme dayanımları ve ultrases hızları ölçülmüştür. Numuneler yapılan deney sonucunda çevrim sıcaklığı arttıkça, 1 günlük numunelerin basınç ve eğilme dayanımlarının, ultrases hızı ve matris ile lif arasındaki aderansın arttığı tespit edilmiştir.

Bedirhanoglu vd (2006) tarafından yapılan çalışmada, sıcak kür uygulamasının, çelik liflerin önceden suda ayrıştırılması, çelik liflerin kısa süre ile nemli ortamda saklanması sonucu korozyona uğramasının ve çelik lif içeriğinin yüksek performanslı çimento esaslı kompozitlerin mekanik özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Monoton artan ve tekrarlı eksenel basınç deneyleri sonucunda gerilme-şekil değiştirme ilişkileri elde edilmiştir. Bu verilerden yararlanılarak numunelerin basınç dayanımları, elastisite modülleri ve süneklikleri sayısal olarak belirlenip deney değişkenlerinin çekme dayanımlarına olan etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda, sıcak kürün

çekme dayanımını önemli derecede artırdığı, karışımda çelik lif oranının %6 ya kadar artmasının, %1 çelik lif karışımı göre süneklikte ortalama %25, çekme dayanımında ise ortalama %145 artış sağladığı, çelik liflerin hafif şekilde korozyona uğramasının ise mekanik özellikleri pratik düzeyde etkilemediği, basınç dayanımının ve elastiklik modülünün çelik lif içeriğinden etkilenmediği gözlemlenmiştir.

Düğenci (2008) tarafından yapılan çalışmada, %0, %0,5, %1 ve %1,5 oranlarında, Dramix RC-80/60-BN tipi çelik lif betona ilave edilmiştir. Üretilen numuneler 1200⁰C ye kadar ısıtılabilen fırında 900⁰C, 1000⁰C, 1100⁰C, 1200⁰C sıcaklıklarına maruz bırakılmıştır. Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmadan 105±5⁰C deki etüvde 6 saat bekletilmiştir. Maksimum tane çapı 25 mm, s/ç oranı 0,6 olarak seçilmiştir. Üretilen silindirik numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyi sonuçlarına göre 7 günlük numunelerde en yüksek basınç dayanım kaybı %0, %0,5 çelik katkılı numunelerde gerçekleşmiştir. En yüksek dayanım kaybı katkısız betonlara gözlenmiştir. 1100⁰C ve 1200⁰C sıcaklıklarda dayanım kayıpları birbirine çok yakın çıkmıştır. Dolayısıyla 1000⁰C den yüksek sıcaklıklarda çelik lifin katkısının etkisi tamamen ortadan kalkmaktadır. 900⁰C ile 1000⁰C sıcaklıklarında en az dayanım kaybı %1 çelik lif katkılı numunelerde gözlenmiştir. Aynı sıcaklıklarda katkısız numunelere oranla 900⁰C için %10, 1000⁰C için %15 lik dayanım katkısı sağladığı gözlemlenmiştir.

Salami (2009) tarafından yapılan çalışmada, çelik liflerin farklı dayanımlara sahip betonların mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Maksimum tane çapı 16 mm seçilmiş, narinlikleri 64, 67, 45 olan 3 tip çelik lif kullanılmıştır. Üretilen betonlarda s/ç oranı 0,65, 0,55, 0,45 olarak seçilmiştir. Çelik lifler hacimce %0,25, %0,75 ve %1,25 oranında katılmışlardır. Sonuç olarak, çalışmada üç farklı narinlikte lif kullanılmış, s/ç oranı 0,65 olan lifli beton, hacimce %0,25, %0,75, %1,25 olan 1.tip lif kullanıldığında, betonun basınç dayanımı lifsiz betonla karşılaştırıldığında sırasıyla %11,11, %10,54, %19 azalmıştır. Çelik lif oranı arttıkça betonun yarmada çekme dayanımı artmaktadır. En yüksek artış çelik oranı % 1,25 olan betonlardan elde edilmiştir. Betonda hacimce %0,25, her üç tip lif kullanıldığında tüm s/ç oranları için

yarmada çekme dayanımları lifsiz betona göre daha az olmuştur. Bu da hacimce %0,25 lik lif oranının yarmada çekme dayanımı üzerinde etkisi olmadığını göstermiştir.

e. Rötire

Betonun büzülmesi çatlak oluşumunun en önemli sebeplerinden biridir. Rötrenin en önemli oluşma nedeni, makro ve mikro boşluklardaki suyun beton bünyesinden uzaklaşmasıdır. Ortamda bulunan suyun uzaklaşmasıyla betonda bir büzülme meydana gelir. Rötrenin iki önemli zararlı etkisi vardır. Bunlardan biri betonda çatlakların oluşması, diğeri de betonarme donatısının parazit gerilmelerin ortaya çıkmasıdır. Bu çatlamların önüne geçmek amacıyla, betona lif takviyesi yapılarak gerilme dağılımı oluşturulabilir. Büyük yapılarda tasarım yapılırken rötire göz önünde bulundurulduğundan dolayı özellikle çelik lifler kullanılmaktadır. Lif miktarının, narinlik oranının ve lif uzunluğunun kritik boyu aşmayacak şekilde artırılmasıyla ile rötrede azalmalar meydana gelmektedir.

2.1.1.f. Çelik liflerin kullanım alanları

Çelik lif takviyeli betonların yüksek tokluk değerlerinden dolayı uygulama alanlarında artış gözlenmiştir.

a. Endüstriyel zeminlerde

Çelik lif takviyeli betonlar, dayanıklılığın ve çarpma rijitliğinin yüksek olduğu ortamlarda (fabrika zemini, dersiz zemin, ağır yüklü stok sahası, süper düzgün zemin, soğuk hava deposu vb.) yapıların inşasına imkân verir. Ayrıca çatlak kontrolü sağlaması, darbe direnci, yüksek tokluğu dinamik ve ani yüklemelere karşı yüksek direnç gösterebildiğinden dolayı endüstriyel yapılarda özellikle zeminlerde kullanılmaktadır.

b. Hidrolik yapılarda

Hidrolik yapılarda aşınmaları engellemek amacıyla, kaplama olarak kullanılmasının yanı sıra, barajlar, kanallar, limanlar veya da dolu savaklarda plak yerine kullanılmaktadır.

c. Tünellerde ve madenlerde

Çelik lif takviyeli beton, şev stabilitesinde kenar ve köşelerde oluşan hasarları en aza indirmek, onarım maliyetini azaltmak üretimde verimlilik için çekme donatısı kullanılmadan yüksek dayanımlı beton elde edebilmek için tünel içi kaplama ve istinat duvarları gibi yapılarda kullanılır.

d. Yapılarda

Geleneksel betonlara nazaran çelik lif takviyeli betonlar dağılmama özelliğine de sahiptirler. Çelik lifler, beton dağılmadan önce yüksek tokluk değerine sahip olmaları nedeniyle küçük çatlakları bir arada tutup büyümesine engel olurlar. Sünekliğin yüksek olmasının istendiği yapılarda, nükleer yapılarda kullanılmaktadır.

e. Dış saha kaplamalarında

Çelik lif takviyeli betonlar yüksek yorulma ve darbe dayanımına sahip olmalarından dolayı, araçlardan kaynaklanan tekrarlı yüklerin ve darbelerin kolayca karşılanmasını sağlar. Ayrıca büyük, çok fonksiyonlu yapılar tasarlanırken, bölgedeki sıcaklık değişimleri, zemin oturmalarından meydana gelebilecek deformasyonlar, derz açıklıkları ve rötre tesirleri göz önüne alınır ve çelik lif kullanımı bu işler için ideal bir malzemedir. Günümüzde de çokça kullanılmaktadır.

2.2.1. Polipropilen lifli beton

Eski yapılarda, dış sıvalarda ve zeminlerde kullanılan harçlarda, çatlamaya karşı saman, hayvan kılı vd. ürünler kullanıldığı bilinmektedir. Polipropilen elyafda günümüzün çatlamaya karşı kullanılan fakat taşıyıcı olmayan lifleri olarak düşünülebilir. Polipropilen lifler;

- Rötire sebebiyle oluşan çatlakları azaltır.
- Taze betonun su tutma kapasitesini yükseltir.
- Betonun geçirimsizliğini artırır.
- Zemin betonunun basınç ve çekme mukavemetini artırır.
- Betona homojen dağılarak, üç boyutlu sekonder donatı görevi görür.
- Beton kalitesini yükseltir (Anonim 2012).

Tokuy vd (1991) tarafından yapılan çalışmada, polipropilen ve çelik lif ilaveli yüksek dayanımlı betonların basınç ve çekme dayanımları incelemiştir. Polipropilen lif 20 mm uzunluğunda ve 1m^3 ’ te 1kg olacak şekilde kullanılmıştır. Çelik lif ise 30 mm uzunluğunda ve 0,4mm çapında kullanılmıştır. Çelik lif betona, hacimce %1,5 oranında katılmıştır. Çelik lif çekme dayanımını %35, polipropilen lif ise %15 artırmıştır. Basınç dayanımlarına ise pek bir etki göstermediği tespit edilmiştir.

Kutzing (1996) tarafından yapılan çalışmada, %0,5 in altında ve %1,5 oranlarında çelik lif, %0,2 oranında polipropilen lif katılarak yüksek performanslı betonlar üretilmiştir. Yüksek performansı sağlamak için mikro silika kullanılmıştır. Sonuç olarak polipropilen lifli numunelerde basınç dayanımının %40 arttığı, çelik lifin ise %0,5 in altında kullanılması halinde geleneksel betona nazaran fazla bir değişikliğe sebep olmadığı bildirilmiştir. Lifli betonların gevrek kırılmadığı ve özellikle çelik liflerin çatlakları tuttuğu tespit edilmiştir.

Sağlık vd (1998) tarafından yapılan çalışmada, %0, %0,1, %0,3, %0,5 oranlarında polipropilen lif kullanılmıştır. Çimento dozajı 300 kg, s/ç oranı 0,8 olarak sabit

tutulmuştur. Yapılan çekme deneyinde polipropilen lif kullanımında fazla bir etki görülmediği, çökme değerinin azaldığı, çatlak alanında azalma ve kohezyonda artış olduğu belirtilmiştir.

Yıldırım (2002) tarafından yapılan çalışmada polipropilen ve çelik lifle güçlendirilmiş betonların performansları araştırılmıştır. Çelik lif betona, %0,5, %0,75, %1 oranlarında, polipropilen lif ise %0,1 oranında katılmıştır. Elastisite modülü, poisson oranı, eğilme dayanımı, tokluk, darbe dayanımı, yorulma dayanımı, rötre, donma çözülme gibi deneyler yapmıştır. Sonuç olarak betona katılan liflerin beton çökmesini düşürdükleri, çelik lif katılan betonların özgül ağırlıklarının geleneksel betona nazaran daha fazla oldukları, polipropilen lif katkılı betonların ise daha hafif olduğu tespit edilmiştir. Polipropilen lifin artması sonucu dayanımın düştüğü, liflerin betonda homojen dağılmayı engellediği, çelik liflerin eğilmede çok yarar sağladıkları, tokluğu artırdıkları, darbe dayanımını artırdıkları, polipropilen lifin dona çözülmede çelik life nazaran daha iyi davrandığı gözlenmiştir.

Aulia (2002) tarafından yapılan çalışmada, silis dumanlı yüksek dayanımlı, lifli betonların özelliklerinin değişimi irdelenmiştir. Çalışmada 19 mm uzunluğunda %0,2 oranında polipropilen lif kullanılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda, yüksek sıcaklıklarda polipropilenin 160⁰C de erimesi sonucu yangın direncini artırdığı gözlenmiştir. Polipropilen liflerin az da olsa segregasyona sebep olduğu, su emmedikleri için ayrı bir su ilavesine ihtiyaç olmadığı, tespit edilmiştir. Liflerin basınç dayanımını ve elastisite modülünü çok etkilemediği, erken rötre çatlaklarını da azalttığı belirlenmiştir.

Kırca (2003) tarafından yapılan çalışmada, polipropilen liflerin beyaz çimento harcı ve beyaz beton dayanıklılığına etkileri araştırılmıştır. Yapılan deneylerde, ilk aşamada polipropilen lif kullanımının büzülme birim deformasyonuna etkisi incelenmiştir. İkinci aşamada ise polipropilen liflerin donma çözülmesine bakılmıştır. Lifler 1 m³ te 600 g olacak şekilde katılmış maksimum tane çapı 16 mm alınmış, s/ç oranı 0,49 olarak sabit tutulmuş, dozajı 350 kg olacak şekilde beton üretilmiştir. Sonuç olarak polipropilen lif

kullanımı, kontrol numunelerine nazaran büzülme deformasyonlarını 28. gün itibariyle %25 oranında azaltmıştır. Donma zlme etkisinde polipropilen liflerin %15 civarında basınç dayanımını artırdığı belirlenmiştir.

Karahan (2006) tarafından yapılan çalışmada, uçucu kül katkılı betonlar ile polipropilen lif ve elik lif ile güçlendirilmiş normal ve uçucu küllü betonların özellikleri araştırılmıştır. Çimento dozajı 400 kg, s/ oranı 0,35 olarak belirlenmiştir. Uçucu kül imento ile kütlece %15, %20, %25, %30, %45 oranlarında yer değiştirilmiştir. Numunelere 19 mm uzunluğunda, polipropilen lif hacimce %0,05, %0,1 ve %0,2 oranlarında katılmıştır. elik lif ise 35 mm uzunluğunda ve 0,55 mm çapında kullanılmıştır. Betona hacimce %0,25, %0,5, %1 ve %1,5 oranlarında, normal ve %15 ve %30 uçucu kül, katkılı betonlara ilave edilmiştir. Betonlar üzerinde puzolanik aktivite, birim ağırlık, işlenebilme, basınç dayanımı, elastisite modülü, eğilme dayanımı, tokluk, aşınma gibi deneyler yürütülmüştür. Sonuç olarak, polipropilen lif miktarının artışı taze ve sertleşmiş betonda birim ağırlıkta düşüşe sebep olmuştur. elik lif ise aksine birim ağırlıkta çok fazla artışa sebep olmuştur. Polipropilen liflerin elik liflere kıyasla betonun işlenebilirlik özelliklerini daha iyi yönde etkilemekte olduğu görülmüştür. Polipropilen lifler beton kıvamı fazla derecede etkilememiştir. Liflerin beton işlenebilirliğini düşürmesine nazaran uçucu kül tekrar akışkanlığı artırmıştır. Polipropilen liflerin basınç dayanımına pek etkisinin olmadığı hatta %0,05 oranın üzerine çıkıldığında basınç dayanımını düşürdüğü gözlemlenmiştir. elik lif ise belli bir orana kadar basınç dayanımını artırmıştır. Polipropilen lifin %0,05 oranında betona ilavesinin, betonun elastisite modülünü biraz artırdığı, daha fazla oranda polipropilen lif artışının ise betonların elastisite modülünü düşürdüğü tespit edilmiştir. Özellikle %0,2 polipropilen lif oranında betonların elastisite modülleri azalmış, gerilme-birim deformasyon eğrilerinin kuyruk kısımları uzamış ve betonlar sünek davranış kazanmışlardır. Artan elik lif miktarı ile betonların birim deformasyonları artması ve gerilme-birim deformasyon eğrilerinin kırılmadan önceki kısımlarının eğimlerinin azalmasından dolayı elastisite değerlerinin düşüğü belirtilmiştir.

Subaşı (2008) tarafından yapılan çalışmada, farklı oranlarda çelik ve polipropilen lif kullanılan kendiliğinden yerleşen betonlarda işlenebilirlik parametresi ve basınç dayanımı üzerine olan etkileri ile arasındaki ilişki araştırılmıştır. Maksimum tane çapı 20 mm alınmış, narinliği 67 olan 60 mm boyunda çelik lif ve polipropilen lif kullanılmıştır. Beton sınıfı C20 olan numunelere %2 çelik lif, %0,5 polipropilen lif ve %0,5 çelik lif ve polipropilen lif ilave edilmiştir. Sonuç olarak, basınç dayanımının tüm kendiliğinden yerleşen beton karışımlarında farklı olduğu, lif katkısız kendiliğinden yerleşen beton karışımının basınç dayanımının en küçük, çelik lif ve polipropilen lif katkılı betonlarda en büyük değere sahip olduğu gözlenmiştir.

Nili *et al.* (2009) tarafından yapılan çalışmada, 0,36 ve 0,46 s/ç oranlarındaki betonlara polipropilen ve silis dumanı ilavesi ile darbe ve basınç dayanım performansları incelenmiştir. Polipropilen lif 12 mm uzunluğunda ve %0, %0,2, %0,3, %0,5 olacak şekilde 4 farklı oranda kullanılmıştır. Silis dumanı ise çimento ağırlığının % 8 i kadar çimento ile yer değiştirilerek kullanılmıştır. Numuneler 150x300 mm olarak dökülmüş sonra kesilerek 64x150 mm ye çevrilmiştir. Sonuç olarak, karışımdaki polipropilen lif oranı %0,2 den %0,5 e çıktıkça basınç dayanımı da artmıştır. Polipropilen lif katkılı numunelerde darbe sayısı ilk çatlak ve nihai çatlak, lifsiz numunelere nazaran önemli ölçüde artmıştır. %0,2, %0,3, %0,5 oranlarında lif katkılı 0,46 s/ç oranlı numunelerde sırasıyla ilk çatlak oluşumunda darbe sayısında %31, %100, %360 oranlarında artış gözlenmiştir. Nihai çatlama da ise kontrol numunelerine nazaran %42, %107, %376 artış gözlenmiştir. Aynı şekilde s/ç oranı 0,36 olan numunelerde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Silis dumanının lif dağılımını iyileştirdiği tespit edilmiştir.

Can vd (2009) yaptıkları çalışmada aşınmaya maruz kalan lifsiz betonların, çelik ve polipropilen lif katılarak elde edilen betonlara nazaran aşınma dirençlerinin tespiti hedeflenmiştir. Çalışmada 100x200x20 cm ebatlarında numuneler kullanılmış, kontrol, çelik ve polipropilen katkılı olacak şekilde 3 farklı türde beton hazırlanmıştır. Beton sınıfı C30, maksimum agrega çapı 22 mm, s/ç oranı 0,5 olacak şekilde ayarlanmıştır. Araştırma sonucu, en fazla aşınma direncinin çelik lifli betonda sonra polipropilen lifli betonda ve en son da lif katkısız kontrol betonunda olduğunu belirtmiştir.

Akkaş vd (2010) tarafından yapılan çalışmada, polipropilen lifli yarı hafif beton üretilerek basınç dayanımı incelenmiştir. Bu çalışmada normal dayanımlı beton ile aynı karışıma çimento ağırlığının %6 sı oranında polimer ilave edilerek polipropilen lifli yarı hafif beton üretilmiştir. İri agrega olarak % 60 pomza, %40 normal ince agrega kullanılmıştır. Çimento dozajı 500 kg, s/ç oranı 0,375 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, lifsiz betonun basınç dayanımı belirlenirken parçalanma tespit edilmiş, lifli betonda bu parçalanma gözlenmemiştir. Çatlaklar meydana gelse de yük taşıdığı belirlenmiştir.

Bahadır (2010) tarafından yapılan çalışmada, polipropilen liflerin betonun mekanik özelliklerine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmada çimento dozajı 300 kg olarak seçilmiş, s/ç oranı 0,4, 0,5, 0,6 olacak şekilde belirlenmiştir. Hazırlanan karışımlara 0,9 kg/m³ ve 1,8 kg/m³ oralarında 3 farklı polipropilen eklenmiştir. Sonuç olarak, monofilament polipropilen liflerin betonun çekme dayanımını önemli ölçüde artırdığı, elyafımsı polipropilen liflerin ise betonun dayanıklılığına katkıda bulunduğu gözlenmiştir.

2.2.1.a. Polipropilen Liflerin Sınıflandırılması

Polipropilen elyaflar fibrilize, multifilament elyaflar olarak iki çeşit üretilmektedir. Fibrilize elyaflar kısaca F, multifilament elyaflar kısaca M ile gösterilmektedir. Multifilament elyaflar çok ince olup yüzeyde gözükmedikleri için şap kullanımlarında uygundur. Fibrilize lifler ise endüstriyel zeminlerde, tokluk aranan betonlarda ağır hizmet zeminlerinde kullanılması daha uygundur. Polipropilen lif tipleri ve teknik özellikleri Çizelge 2.4'te gösterilmiştir (Karahan 2006).

Çizelge 2.4. Polipropilen liflerin teknik özellikleri (Karahana 2006)

Tip	Fibrilize	Multiflament	Fibrilize
Polipropilen (%)	100	100	92
Ürün Tipi	Standart F	Standart M	Paint
Yoğunluk (kg/l)	0,91	0,91	0,1
Kesit	Karesel	Yuvarlak	Karesel
Kalınlık	36	18	-
Renk	Transparent	Transparent	Renkli
Görünüm	Visible	İnvisible	Visible
Gerilme dayanımı(N/mm ²)	500	700	500
Uzama (%)	Maks 10	Maks 100	
Uzunluk (mm)	3-6-9-12-15-19-25-31-37-46-51		

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada farklı oranlarda çelik lif (hacimce %0,5, %1, %1,5, %2) ve polipropilen lif (300 g/m^3 , 600 g/m^3 , 900 g/m^3 , 1200 g/m^3) kullanılarak lif takviyeli beton üretilmiş ve basınç dayanımlarına, eğilme dayanımlarına ve darbe dayanımlarına etkileri incelenmiştir.

Çalışma için yapılan deneyler Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi ve Tatbiki Mekanik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

3.1. Materyal

Çalışmanın bu bölümünde, lif takviyeli beton üretiminde kullanılan agrega, çimento, çelik lif, polipropilen lif, su azaltıcı yeni nesil hiperakışkanlaştırıcı katkı malzemeleri ile deneylerde kullanılan alet ve cihazların genel özellikleri açıklanacaktır.

3.1.1. Deneylerde kullanılan malzemeler

3.1.1.a. Çimento

Çimento, bileşenleri kalker ve kil olan mineral parçalarını (kum, çakıl, tuğla, biriket vb.) yapıştırmada kullanılan bir malzemedir. Çimentonun yapıştırıcı özelliğini yerine getirebilmesi için suya ihtiyaç vardır. Çimento birçok beton karışımında hacimce minimum yeri işgal eden bileşendir; ancak beton bileşenleri içinde vazgeçilmezdir (Gündeşli 2008). Kalkerli ve killi hammaddelerin yüksek sıcaklıkta pişirilmesi sonucunda elde edilen klinkere alçı taşı ilave edilip, öğütülmesiyle elde edilen çimentonun ana bileşenlerini kalsiyum silikatlar (C_3S , C_2S) ve kalsiyum alüminatlar (C_3A , C_4AF) oluşturur.

TS 10514 (1992)'e göre, çelik lif takviyeli betonda çimento dozajının belirlenmesindeki temel kriter dayanım sınıfıdır. Dayanım ve dayanıklılık açısından çimento dozajının 320 kg üstünde seçilmesinin uygun olacağı belirtilmiştir. Dozajın 500 kg'ın üzerinde olması ise rötreyi artıracığı için önerilmemektedir.

Bu çalışmada TS EN 197–1 standartlarına uygun, Aşkale Çimento Fabrikasında üretilen CEM I 42.5 R çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal analizi Çizelge 3.1'de, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çimentonun kimyasal analizi

Kimyasal Analizler %	
SiO ₂	18,73
Al ₂ O ₃	4,56
Fe ₂ O ₃	3,07
CaO	63,91
MgO	2,08
SO ₃	2,90
Kızdırma kaybı	3,36
K ₂ O	0,62
Na ₂ O	0,29
(Na ₂ O); Na ₂ O+0,658* K ₂ O	0,70
Cl	0,0185
Ölçülemeyen	0,46
Toplam	100
CaO (sebest kireç)	0,56
Çözünmeyen kalıntı	0,85

Çizelge 3.2. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel ve mekanik testler	
İncelik 45 ^u m elek üstü %	8,98
Özgöl ağırlık (g/cm ³)	3,14
Özgöl yüzey (cm ² /g)	3807
Piriz başı (Saat-dakika)	2 sa-21 dk
Piriz sonu (Saat-dakika)	2 sa-55 dk
Hacim genleşmesi (mm)	1
Basınç dayanımı 2 Gün (MPa)	27,7
Basınç dayanımı 28 Gün (MPa)	57,2
Su ihtiyacı (%)	28,6

3.1.1.b. Betonda kullanılan lifler**1-Çelik lif**

Beksa Çelik Tel ve Kord San. ve Tic. Anonim Şirketinden temin edilen RC 80/60 BN tipi iki ucu kancalı, kaplamasız ve düşük karbonlu çelik lif kullanılmıştır. Kullanılan çelik lifle ilgili teknik özellikler Çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

**Şekil 3.1.** Deneyde kullanılan çelik lifler

Çizelge 3.3. Çelik lifin teknik özellikleri

Lif Tipi	RC 80/60 BN
Boy (mm)	60
Çap (mm)	0,75
Narinlik (l/d)	80
Performans sınıfı	80
Min.Çekme Day. (N/mm ²)	1050
Birim Adet (lif/kg)	4600

2-Polipropilen lif

Deneysel çalışmada, kullanılan polipropilen lif BASF'den temin edilmiştir. Üretilen karışımlarda, 19 mm uzunluğundaki polipropilen lif 1 m³ te 300 g, 600 g, 900 g ve 1200 g olacak şekilde kullanılmıştır.

Çizelge 3.4. Polipropilen lifin teknik özellikleri

Lif Tipi	Meyco Fiber SP540
Boy (mm)	40
Çap (mm)	0,9
Narinlik (l/d)	44
Şekil	dairesel
Min.Çekme Day. (N/mm ²)	295
Birim Adet (lif/kg)	4600

3.1.1.c. Agregalar

Betonun ana iskeletini oluşturan, toplam hacmin yaklaşık % 60-80 oranlarında yer işgal eden mineral kökenli, taneli malzeme, agregalar olarak isimlendirilir. Agregalar elde edilmesine göre doğal ve yapay agregalar olarak ikiye ayrılır. Agregalar; suyun etkisi altında yumuşamamalı, dağılmamalı, çimentonun bileşenleri ile birlikte zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir.

Yıldız (2006), agregalarda aranan en önemli özellikleri aşağıdaki şekilde belirtmiştir:

- Sert, dayanıklı ve boşluksuz olmalı,
- Zayıf taneler içermemeli (deniz kabuğu, odun, kömür vb.)
- Basınca ve aşınmaya mukavemetli olmalı,
- Toz, toprak ve betona zarar verebilecek maddeler içermemeli,
- Yassı ve uzun taneler içermemeli,
- Çimentoyla zararlı reaksiyona girmemeli.
- Agregada silt ve kil olmamalıdır.

Diğer taraftan agregalar tane çapının (D_{max}) büyük olması, genel olarak betonda iri tanelerin fazla bulunduğunu gösterir. Bu durum agregalar için gerekli su miktarının azalmasına neden olur. Tane çapı büyük olan agregalar kullanılarak üretilen betonların kompaktitesi büyük olur ve ayrıca bunlar az miktarda su ihtiyacı gösterirler. Böylece agregalar tane çapı büyük olan betonların mukavemetinde önemli bir artış sağlanabilir. Yalnız mukavemetin yüksek olmasını sağlamak için agregalar çapının artırılması yönünde fazla ilerlemek, bu karakteristiğin işlenebilirlik özelliğini azaltması bakımından elverişli değildir (Postacıoğlu 1987).

TS 10514 (1992), çelik lif takviyeli betonlarda, kum (0 mm -4 mm) miktarı, toplam agregalar kütlelerinin %40- %45'i olmalıdır. (750 kg/m^3 – 850 kg/m^3). En büyük tane çapı,

doğal agrega için, 28 mm, kırma taş için 32 mm olmalıdır. 14 mm'den büyük agrega oranı %15-%20 ile sınırlanmalıdır.

Bu çalışmada, Erzurum ili sınırları içerisindeki Horasan mevkiinden temin edilen doğal kum ve çakıl kullanılmıştır. Kullanılan agrega dere malzemesi olup max. agrega tane çapı 16 mm dir. Yıkanmış olarak temin edilen malzeme üzerinde yapılan agrega deneylerinin sonuçları ve hazırlanan karışımın granülometri eğrisi Araştırma Bulguları bölümünde verilmiştir.

3.1.1.d. Karışım suyu

Beton karışımında kullanılan çimentonun bağlayıcılık özelliği, büyük ölçüde çimentonun kalsiyum silikat bileşenleri ile karışım suyu arasındaki kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan kalsiyum silika hidrat (C-S-H) jel ürünlerinin oluşumuna dayanmaktadır. Karışımında kullanılacak suyun içerisinde fazla miktarda bulunabilecek yabancı maddeler hidratasyon ürünlerinin oluşum hızını ve miktarını etkileyebileceğinden, çimento hamurunun katılaşma süresini ve bağlayıcılık özelliğini de etkileyeceklerdir (Erdoğan 1995).

İçilebilir nitelikteki suyun beton üretiminde kullanımının uygun olduğu kabul edildiğinden, çalışmada Atatürk Üniversitesi içme suyu şebekesinden alınan su kullanılmıştır.

3.1.1.e. Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı

Kimya alanındaki gelişmeler ve polimer teknolojisinin ilerlemesi, 1980'li yılların ortalarından itibaren çok etkili akışkanlaştırıcıların keşfine sebep olmuştur. Yüksek oranda su kesme yeteneğine sahip bu akışkanlaştırıcılar aynı zamanda taze betonun işlenebilirliğini de arttırmaktadır. Yeni nesil akışkanlaştırıcıların sağladığı bu etki, bilim adamlarını taze betonun yerleştirilmesi sırasında gereken sıkıştırma işlemini ortadan

kaldırmak için araştırma yapmaya yöneltmiştir. Böylece kendiliğinden yerleşen beton kavramı ortaya çıkmıştır (Felekoğlu 2003).

Geleneksel süperakışkanlaştırıcılar, sülfone naftalin formaldehit veya sülfone melamin formaldehit esaslı iken, yeni kuşak süperakışkanlaştırıcılar ana zincirinde karboksilik grubunun bulunduğu ve polietilen glikol grubunun yan zincir olarak bağlandığı kopolimerlerdir (Houst *et al* 1999; Sağlam ve Özkul 2006).

Gürol (1999), polikarboksilat bazlı katkıların çimentoya etkisini şöyle açıklamaktadır; Katkı, dispersiyon etkisi ile topaklaşmayı önler, hidrasyona giren çimento miktarı artar, topaklar arasına hapsolma potansiyeli olan su molekülleri serbest kalarak işlenebilirliği artırır ve hidrasyona katılır.

Çimento miktarı arttıkça plastik viskozite ve eşik kayma gerilmesi artacağından yüksek çimento dozajlarında akışkanlaştırıcı katkı ihtiyacı artar (Roshavelov, 2002).

Bu çalışmada lif takviyeli beton ve ASTM C 494 standartlarına uygun polikarboksilik eter esaslı klor içermeyen yüksek oranda su azaltıcı özelliğine sahip yeni nesil süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi Glenium C303 kullanılmıştır. Kullanılan kimyasal katkının üretici firma tarafından beyan edilen (+20°C, %50 bağıl nem koşullarında) teknik özellikleri Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Glenium C303’ün teknik özellikleri

Malzemenin yapısı	Polikarboksilik eter esaslı
Renk	Açık yeşil
Yoğunluk	1,023-1,063 kg/litre
Klor içeriği % (EN 480-10)	< 0,1
Alkali içeriği % (EN 480-12)	< 3

3.1.1.f. Diğer malzemeler

Beton numunelerinin kuru için kirece doymun su ortamının sağlanmasında sndrlmş torba kireç ve numunelerin kalıplardan kolayca çıkmasını sağlamak için kalıplarda ince motor yağı kullanılmıştır.

3.1.2. Deneylerde kullanılan aletler

Çalışmanın bu bölümünde deneylerde kullanılan aletler ve bu aletlerin özellikleri tanıtılacaktır.

3.1.2.a. Elekler

Deneylerde TS1227 ISO 3310-1 (2007)'ye uygun toplama kabı ile TS1226 ISO 3310-2 (2009)'ya uygun 0,25 mm, 0,50 mm, 1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm ve 16 mm göz açıklıklı kare delikli tel elekler kullanılmıştır.

3.1.2.b. Betonyer

Deneyisel çalışmalardaki numune betonlarının karılması işleminde, ELE firmasının ürettiği 135⁰ açı ile manevra yapabilen 60 dm³ kapasiteli, 25 devir/dakika karıştırma hızına sahip, düşey eksenli laboratuvar tipi betonyer kullanılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.2. Betonyer

3.1.2.c. Kalıplar

Deneysel çalışmalar kapsamında sertleştirilmiş plastikten imal edilmiş, 15X15X15 cm boyutlarında küp kalıplar, 7X7X28 cm boyutlarında prizmatik kalıplar, 10X20 cm lik silindir kalıplar, kullanılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.3. Kalıplar

3.1.2.d. Pres

Sertleşmiş beton numunelerinin basınç dayanımını belirlemek amacıyla, kapasitesi 300 ton olan, ELE marka AUTOTEST 3000 modeli hidrolik pres kullanılmıştır (Şekil 3.3).



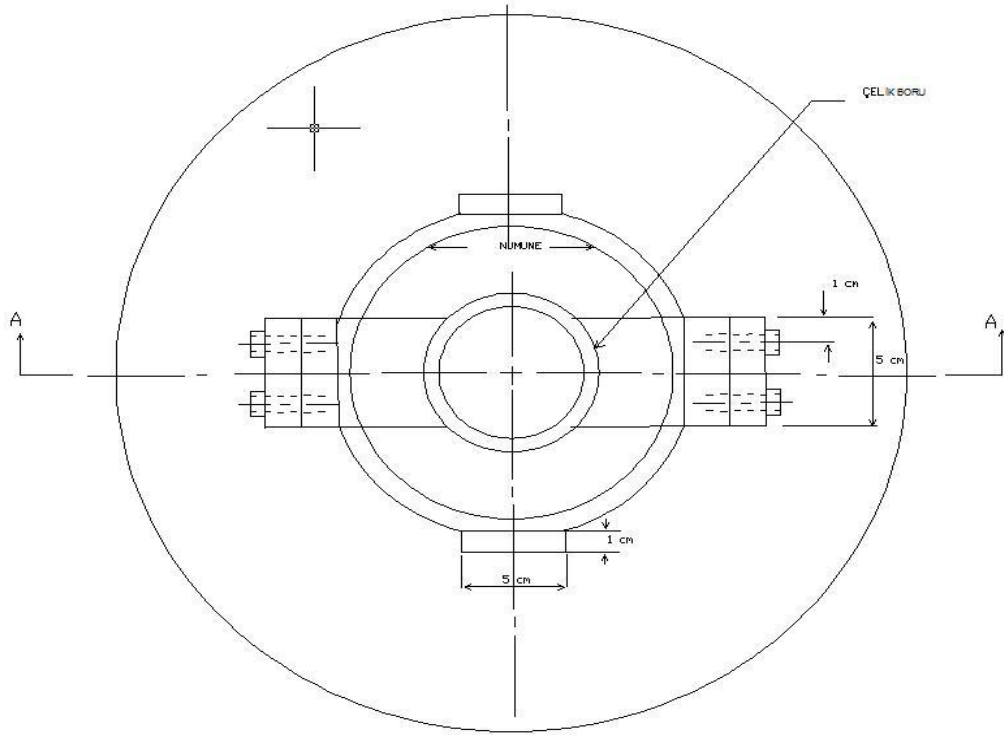
Şekil 3.4. Pres

3.1.2.e. Su kürü havuzu

Yapılan deneysel çalışmalarda kirece doymun durumdaki suyu $23\pm2^{\circ}\text{C}$ 'de sabit tutulabilen, çevrim pompalı tam dijital su kürü havuzu kullanılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.5. Su kürü havuz



Şekil 3.7. Darbe deneyi cihazı kesitleri (Natajara *et al.* 2005)



Şekil 3.8. Darbe deneyi cihazı resmi

3.1.2.g. Çökme deneyi aleti

Yapılan deneysel çalışmalarda, çelikten yapılmış, 800 x 800 mm boyutlarında bir tabla ve Abrams hunisi kullanılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Çökme deney aleti

3.2. Yöntem

Bu bölümde, agrega özelliklerinin belirlenmesinde uygulanan yöntemler, lifli beton üretiminde karışım seçeneklerinin belirlenmesi, beton numunelerine uygulanan deney yöntemleri açıklanmıştır.

3.2.1. Agrega deneylerinde uygulanan yöntemler

Deneylerde kullanılmak üzere Erzurum Beton A.Ş. den temin edilerek laboratuara getirilen yıkanmış ve elenmiş dere agregaları üzerinde yapılacak agrega deneyleri için numune alınması işleminde, TS EN 1097-3 (1999)'da belirtilen dörde bölerek küçültme (çeyrekleme) metodu kullanılmıştır. Bu metot gereği, laboratuardaki malzemenin tümünü temsil etmesi için yığının her tarafından alınan örnekler düz bir zemin üzerine her tarafı eşit ve çapı yüksekliğinin dört katı olan bir daire oluşturacak şekilde serilmiştir. Daha sonra bu dairesel yığın kürekle dörde bölünmüş, karşılıklı iki parçası

atılıp, deneyler için yeterli miktarda örnek kalıncaya kadar çeyreklemeye işlemine devam edilmiştir.

Her bir deney için, numuneler üzerinde üçer defa agrega deneyleri yapılmış ve sonuçların aritmetik ortalamaları alınmıştır.

Agreganın tane büyüklüğü dağılımı, TS 3530 EN933-1/A1 (2007)'ye uygun olarak belirlenmiştir. Bu standarda göre yapılan deneyde yıkanmış ve kurutulmuş malzeme elek takımına dökülmüştür. Elek takımı, TS EN 1227 ISO 3310-1 (2007) ve TS EN 1227 ISO 3310-2 (2009)'ye uygun toplama kabı, 0.25 mm, 0.5 mm, 1 mm, 2 mm 4 mm, 8 mm, 16 mm göz açıklıklı kare delikli düzenlenmiş elekler, tava ve kapaktan ibarettir.

Elek takımı düzenlenirken yukarıdan aşağıya elek göz açıklıkları düzenli bir biçimde azalacak şekilde birbirine geçirilmiştir. Tüm ince tanelerin yıkama ile uzaklaştırılmadığı bilindiğinden, 63 μ m göz açıklıklı deney eleği de elek takımına ilave edilmiştir. Malzeme kaybına meydan vermemek için elek takımı tava ve kapak kullanılarak makine ile sarsılmıştır. Daha sonra sırayla büyük göz açıklıklı elekten başlamak üzere altına tava ve üzerine kapak konularak her bir elek takımdan ayrılarak, elle tek tek eleme işlemine devam edilmiştir. Her elekten geçen malzeme elek setinde bulunan bir sonraki elek üzerine konularak işleme devam edilmiştir. Standarda göre eleme işlemi esnasında, bir dakika süre içerisinde elek üstü malzemede kütlece %1'den daha fazla değişiklik olmuyorsa eleme işleminin tamamlandığı kabul edilebilir. En büyük göz açıklığına sahip elek üzerinde kalan kısım tartılıp, kütlesi %1 hassasiyette R_1 olarak kayıt edilmiştir. Altındaki elekte kalan kısım için aynı işleme devam edilmiş ve kütlesi R_2 olarak kayıt edilmiştir. Elek takımındaki bütün eleklerde aynı işleme devam edilerek her bir elek üzerinde kalan numunelerin kütlesi $R_3, R_4 \dots R_i$ kayıt altına alınarak tartma işlemine devam edilmiştir. Tavada kalan malzemede tartılıp kütlesi P olarak kayıt edilmiştir. Her bir elek fraksiyonunun kütlesi (R_i), orijinal kuru kütlenin (M_1) yüzdesi olarak hesaplanmıştır. 63 μ m kadar her bir elekten geçen orijinal kuru kütlenin kümülatif yüzdesi hesaplanmıştır.

Yukarıda anlatıldığı şekilde standarda uygun olarak iki farklı tane sınıfına ayrılmış olan agregalar üzerinde yapılan elek analizi deneylerinin sonuçları Araştırma Bulguları Bölümü'nde verilmiştir.

Birim ağırlık deneyleri TS 3529 (1980)'a göre yapılmıştır. Standartta belirtildiği üzere maksimum agreg aapına bağılı olarak, iç apı ile yüksekliğı 155 mm ve hacmi yaklaşık 3 dm³ olan standart birim ağırlık kabı kullanılmıştır. Sıkışık birim hacim ağırlık tayininde bu kaba yaklaşık üç eşit tabaka halinde doldurulan agregaların her bir tabakası 25 defa şişlenmiştir. Gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık deney sonuçları Araştırma Bulguları Bölümü'nde verilmiştir.

Deneylerde her bir agreg aane sınıfı için TS EN1097-6/A1 (2007)'ye uygun olarak tane yoğunluğı ve su emme deneyleri yapılmıştır. Bu standart gereğince ince ve iri agregaların tane yoğunlukları ve su emmeleri farklı yöntemlerle belirlenir. Uygulanan yöntemler aşağıda kısaca özetlenmiştir:

a) İnce agreg a için tane yoğunluğı ve su emme miktarlarının belirlenmesi:

Hazırlanan deney numunesi, piknometrede bulunan, (22±3)⁰C sıcaklıktaki suya daldırılmış ve hapsolmuş hava uzaklaştırılmıştır. Piknometre, su banyosu içerisinde düşey hale getirilmiş ve deney numunesi, (22±3)⁰C'de, (24±0,5) saat süreyle bekletilmiştir. Islatma süresinin sonunda, piknometre su banyosundan çıkarılmıştır. Daha sonra piknometreye, su ilâve edilerek tamamen doldurulmuş ve kap içerisinde hiç hava kalmayacak şekilde kapak kapatılmıştır. Piknometrenin dış kısmı silinerek kurutulduktan sonra tartılmış ve tartım değeri kaydedilmiştir (M₂). Deney numunesi kısmını kaplayan su süzülerek, piknometre bir tepsiye boşaltılmıştır. Piknometre, tekrar su ile doldurularak, kapak tekrar kapatılmıştır. Yine piknometrenin dış kısmı silinerek kurutulmuş ve tartılarak değeri kaydedilmiştir (M₃). Islak deney numunesi, tepsinin tabanına üniform bir tabaka hâlinde yayılarak, yüzey rutubetini buharlaştırmak amacıyla, agreg a taneleri, hafif bir sıcak hava akımına maruz bırakılmıştır. Agreg a taneleri, üniform bir kurumanın elde edilmesi amacıyla, hiçbir yüzey nemi görülmeyinceye ve taneler artık birbirlerine yapışmayıncaya kadar, sık aralıklarla karıştırılmıştır. Yüzey kuruluşunun sağlanıp sağlanmadığının tespiti için, metal koni

kalıbı, tepsinin tabanına gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Koni kalıbı, bir miktar kuru deney numunesi kısmıyla gevşek olarak doldurulmuş ve kalıbın üst kısmındaki delikten geçirilen bir sıkıştırıcıyla agrega yüzeyine hafifçe vurularak sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma işleminden sonra, metal koni kalıbı numune üzerinden dikkatlice kaldırılmıştır. Elde edilen agrega konisinde çökme olayı meydana gelene kadar, kurutmaya devam edilerek koni deneyi tekrarlanmıştır.

Doygun ve yüzeyi kurutulmuş deney numunesi de tartılarak, tartım değeri kaydedilmiştir (M_1). Daha sonra numune kısmı, hava dolaşımli etüvde, $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ 'de 24 saat kurutularak tartılıp değeri kaydedilmiştir (M_4). Kaydedilen bu değerler yardımıyla standartta verilen eşitliklerden tane yoğunlukları (ρ_a , ρ_{rd} ve ρ_{ssd}), hesaplanmıştır. Hesaplanan tane yoğunlukları değerleri detaylı şekilde Araştırma Bulguları Bölümü'nde verilmiştir.

b) İri agrega için tane yoğunluğu ve su emme miktarlarının belirlenmesi:

Hazırlanan deney numunesi kısmı, tel sepete yerleştirilerek ve tel sepet suya daldırılarak, $(22 \pm 3)^{\circ}\text{C}$ deneye başlanmıştır. Daldırmadan hemen sonra sepet su içerisinde birkaç kez tabana düşürölüp hapsedilmiş hava deney numunesi kısmından uzaklaştırılmıştır. Sepet ve agrega, $(24 \pm 0,5)$ saat süreyle $(22 \pm 3)^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki suda bekletilmiştir. Sepet ve deney numunesi kısmı $(22 \pm 3)^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki suda tartılarak değeri kaydedilmiştir (M_2). Sepet ve agrega, sudan çıkarılıp, suyun suyun süzölmesi için birkaç dakika bekletilmiştir. Daha sonra agrega, kuru bir bez üzerine boşaltılarak üzerleri doygun kuru yüzey haline getirilinceye kadar silinmiştir. Agregalar ikinci bir bez üzerine yayılarak görölabilir bütün su filmleri uzaklaştırılana kadar, güneş ışığının ve herhangi bir ısı kaynağın bulunmadığı bir noktada atmosfere maruz bırakılmıştır. Agrega taneleri tartılarak elde edilen değeri kaydedilmiştir (M_1). Tartılan agregalar, bir tepsiye aktararak etüvde, $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta, 24 saat bekletilmiştir. Kuruyan numuneler etüvden çıkarılarak tartılmış ve tartıdan elde edilen değeri kaydedilmiştir (M_4). Bu arada agregaların çıkarıldığı boş sepet, tekrar suya daldırılarak, su içinde tartılmış ve tartımdan elde edilen değeri kaydedilmiştir (M_3). Kaydedilen bu değerler yardımıyla standartta verilen eşitliklerden tane yoğunlukları (ρ_a , ρ_{rd} ve ρ_{ssd}),

hesaplanmıştır. Hesaplanan tane yoğunlukları değerleri detaylı şekilde Araştırma Bulguları Bölümü'nde verilmiştir.

Organik madde tayini deneyi TS EN 1744-1 (2011)'e göre yapılmıştır. Bu deneyde 8 mm göz açıklıklı kare gözlü tel elekten elenen malzeme %3'lük NaOH (Sodyum hidroksit) çözeltisi içinde 24 saat bekletilerek gözlem yapılmıştır.

Standart, içinde bekletilen numuneden kaynaklı sıvının renk değişiminin gözlemini kapsamaktadır. Bekletilen süre sonunda sıvının renksiz veya açık sarı olması malzeme içerisinde beton üretimi için zararlı oranda organik madde bulunmadığına, koyu sarı, kahverengi veya kırmızımsı bir renk alması durumunda ise beton üretimi için zararlı organik madde bulunduğunu belirtmektedir. Yapılan deney sonucundaki gözlem Araştırma Bulguları Bölümü'nde verilmiştir.

Çok ince malzeme miktarı tayini TS706 EN12620 (2009) ve TS3530 EN933-1/A1 (2007)'e uygun olarak yapılmıştır. TS 706 EN 12620+A1'de çok ince malzeme muhtevası 63 µm göz açıklıklı elekten geçen agrega tane sınıfı olarak tanımlanmaktadır. Bu standarda göre çok ince malzeme, aşağıda belirtilen dört durumdan birinin söz konusu olması halinde zararsız olarak kabul edilmelidir:

- İnce agreganın toplam çok ince malzeme muhtevasının, %3'ten veya agreganın kullanıldığı yerde geçerli olan mevzuata göre belirtilmiş olan başka bir değerden daha az olması.
- EN933-8'e uygun olarak deneye tabi tutulduğunda, kum eş değerinin (SE), belirtilen alt sınırı aşması.
- EN933-9'a uygun olarak deneye tabi tutulduğunda, metilen mavisi deneyinin (MB), belirtilen alt sınır değerinden daha küçük bir değer vermesi.
- Bilinen bir performans yeterliliğine sahip agreganın kine eşit performansın elde edilmesi veya herhangi bir problemle karşılaşılmadan kullanım performans yeterliliğinin kanıtlanması.

Standarda uygun olarak yapılan deneyde bir miktar malzeme etüve atılarak, $(110\pm5)^{\circ}\text{C}$ 'de 24 saat beklenmiş ve malzemelerin kuruması sağlanmıştır. Etüvden çıkarılan malzemelerden, iri agregadan 5000 g, ince agregadan da 2000 g malzeme alınarak bu malzemeler 63 μm göz açıklıklı deney eleği üzerinde yıkanmış elek üzerinde kalan malzemeler tekrar etüve atılarak, $(110\pm5)^{\circ}\text{C}$ 'de 24 saat beklenmiş ve malzemelerin kuruması sağlanmıştır. Etüvden çıkarılan malzemelerin tartımı yapılarak değerler kaydedilmiş ve çok ince malzemenin ince malzemeye oranı belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen değerler Araştırma Bulguları Bölümü'nde verilmiştir.

3.2.2. Lifli beton karışım hesapları

Lifli betonlar için yapılacak karışım hesapları için belirlenmiş TS 10513-10514-10515 standartları bulunmaktadır. Yapılan bu çalışmada, karışıma girecek agrega (İri-ince), çimento ve akışkanlaştırıcı kimyasal katkıların seçimi ile karışımında kullanılacak bu malzemelerden hangi oranda kullanılması gerektiğinin tespiti için bu standartlardan ve lifli betonlar üzerinde yapılan çalışmalardan yararlanılmıştır.

Çalışmada, Erzurum ili Horasan ilçesi civarından temin edilen doğal dere agregası, Aşkale çimento fabrikasından temin edilen CEM I 42,5 R tipi çimento, ve BASF Firmasınca üretilmiş olan polikarboksilik eter esaslı klor içermeyen yüksek oranda su azaltıcı özelliğine sahip yeni nesil süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi Glenium C303 kullanılmıştır.

Agrega tane sınıflarının oranları belirlenirken ayarlanmış granülometri eğrisi kullanılmış, 0-4 tane sınıfı ince agregadan %52 ve 4-16 tane sınıfı iri agregadan %48 oranlarında malzeme, karışıma katılmıştır.

Çelik lif takviyeli olarak hazırlanan karışımlarda, çimento dozajı 350 kg, su/bağlayıcı oranı ise 0,46 olarak sabit tutulmuştur.

Çelik lif hacimce %0,5, %1, %1,5 ve %2 oranlarında, polipropilen lif ise 1 m³ te 300 g, 600 g, 900 g, 1200 g oranlarında hazırlanan taze beton karışımlarına eklenmiştir. Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı başlangıçta tüm seriler için %1 oranında sabit tutulmuştur.

Belirlenmiş olan sabit dozaj ve su/çimento oranından yola çıkılarak karışım suyu miktarı 1 m³ 160 kg olarak hesaplanmıştır. Su miktarlarına, bağlayıcı hacmi ve bütün karışımlar için seçilen %10 hava hacmi eklenmiş ve 1000 dm³'den çıkarılarak 1 m³ betondaki toplam agrega hacmi hesaplanmıştır. Elde edilen agrega hacmi ince ve iri tane sınıflarına ayrılmıştır.

Tüm seriler için karışıma giren malzeme miktarları hesaplanmış ve karışımlar hazırlanmıştır. Karışıma giren malzeme miktarları Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Lifli betonlar için malzeme miktarları (1 m³ beton için)

Malz Grup	Çimento (kg)	İnce Agr. (kg)	İri Agr. (kg)	Su (kg)	Akış. Katkı (kg)	Lif miktarı (kg)
KNT	350	930	858	160	2,8	0
%0,5 Ç.L.	350	930	858	160	2,8	7,5
%1 Ç.L.	350	930	858	160	2,8	15
%1,5 Ç.L.	350	930	858	160	2,8	22,5
%2 Ç.L.	350	930	858	160	2,8	30
300 gr P.P.	350	930	858	160	2,8	0,3
600 gr P.P.	350	930	858	160	2,8	0,6
900 gr P.P.	350	930	858	160	2,8	0,9
1200gr P.P.	350	930	858	160	2,8	1,2

Karışımındaki malzeme miktarları, karışıma ağırlık olarak konularak deney numuneleri üretilmiştir. Bu işlem sırasında malzeme kayıpları göz önünde bulundurularak gerekli miktarlar %10 oranında artırılmıştır. 9 seri grup için toplam 81 numune dökülmüş ve bu

numuneler üzerinde deneyler yapılmıştır. Betonyer kapasitesi dikkate alınarak bir seferde yaklaşık 23 dm³ beton üretilmiştir.

3.2.3. Lifli taze betonda çökme deneyi

Polipropilen, çelik lifli ve kontrol numunelerinde çökme deneyi yapılmış ve sonuçları aşağıda Çizelge 3.7. de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. Polipropilen lifli numunelerin çökme deneyi sonuçları

BETON ÇEŞİDİ	ÖLÇÜM SONUCU (mm)		
KONTROL	17	18	16
300 g P.P.	16	15,5	15
600 g P.P.	17,5	18	17
900 g P.P.	17,5	19	20
1200 g P.P.	17	15	16,5
% 0,5 Ç.L.	12,5	11	13,5
%1Ç.L.	9,5	8,5	8
%1,5 Ç.L.	7	6	8
% 2 Ç.L.	4,5	5	4

3.2.4. Basınç dayanımı tayini yöntemi

Basınç dayanımları tüm numunelerde su kürü sonrası 28. günde belirlenmiştir. Beton zamana bağlı olarak şekil değiştirme gösteren bir malzeme olduğundan, yükleme hızı, betonun basınç mukavemeti üzerinde etkili bir parametredir (Baradan 1991). Bu

nedenle tüm numuneler sabit bir yükleme hızı altında deneye tabi tutulmuşlardır. TS EN 12390-3 (2010)'e bu değer 0,2 MPa/s ile 1,0 MPa/s arasında olmalıdır. Beton numunelerin kırılması işlemi, yükleme hızı 0,4 MPa/s seçilerek yapılmıştır.

Farklı lif oranlarında çelik lif ve polipropilen lif içeren numunelerde, liflerin basınç dayanımına etkileri incelenmiştir.

3.2.4. Eğilme dayanımı tayini yöntemi

Betonun eğilme dayanımı tayini TS EN 12390-5 (2002) ve TS 10515 (1992) standartlarına göre bu deney metodunda açıklığın orta noktasından yüklenmiş lifli ve lifsiz beton numunelerde basit kiriş metodu ile yapılmıştır. Eğilme dayanımları tayini için 70x70x280 mm'lik kiriş numuneleri üretilmiştir. Eğilme dayanımı, aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$F=3PL/2bd^2$$

F: Eğilme dayanımı, MPa

P: En büyük yük, N

L: Mesnetler arası açıklık, mm

b,d: Numunenin en kesiti, mm

3.2.5. Darbe dayanımı tayini yöntemi

ACI standardına uygun darbe deneyi cihazı kullanılarak yapılan deneydir. Deneylerde kullanılmak üzere 28 gün edildikten sonra hazır hale gelen 150x300 mm olan silindir boyutundaki numuneler taş kesme makinesi ile kesilerek 150x64 mm boyutuna

çevrilmiştir. Darbe deneyinde aranan kırılma tokluğu ise aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır.

$$1/9,81.Nk.P.H=R.V$$

Bu bağıntı da;

Nk: kırılma oluşturan darbe sayısı

P: darbe deneyinde kullanılan tokmak ağırlığı (kg)

H: darbe deneyinde tokmağın düşme yüksekliği (mm)

R: darbede kırılma tokluğu (Nmm/mm³)

V: darbe deneyinde kullanılan 150 mm çapında ve 64 mm yüksekliğinde ki, numunenin hacmi (mm³)

3.2.6. Sonuçlar değerlendirilmesinde kullanılan yöntem

Bu çalışmada kontrol numuneleri ve ağırlıkça çelik lif, %0,5, %1, %1,5, %2 polipropilen lifin ise, 300 g, 600 g, 900 g, 1200 g, oranlarında üretilen 9 seri lifsiz ve lifli beton numunesi üzerinde basınç dayanımı tespiti yapılmıştır.

Liflerin farklı oranları için, darbe dayanımı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımına etkilerinin incelendiği araştırmada, deneylerden elde edilen sonuçlar en güvenilir metotlardan birisi olan karşılaştırma metodu ile değerlendirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde, agrega ve beton deneylerinden (taze ve sertleşmiş) elde edilen sonuçlar verilmiş, çizelge ve şekillerle desteklenerek teknik literatür ışığında yorumlanmıştır.

Karşılaştırma, farklı oranlarda lif katılarak, lifli beton numuneleri ile kontrol numuneleri arasında yapılmıştır. Yapılan çalışmada, çelik lif ve polipropilen lifli beton numunelerinin basınç dayanımına, eğilme dayanımına, darbe dayanımına etkileri incelenmiştir.

4.1. Agrega Deneyleri

4.1.1. Elek analizi (Granülometri)

Standart kare açıklıklı eleklerle, etüv kurusu durumundaki numuneler üzerinde yapılan elek analizi deneyi sonucunda, iri (4–16 mm) ve ince (0–4 mm) agregalar için ayrı ayrı elde edilen tane dağılımlarına ait değerler yığışimli ağırlık yüzdesi olarak Çizelge 4.1 ve 4.2’de verilmiştir.

Lifli beton numunelerinin üretimi için, iri agregadan %52, ince agregadan %48 oranında malzeme alınarak karışıma katılmıştır. Oluşturulan yeni agrega karışımının tane dağılımına ait değerler yığışimli ağırlık yüzdesi olarak Çizelge 4.3’de, granülometri eğrisi ise TS 802 (1985)’de verilen standart eğrilerle birlikte Şekil 4.1’de verilmiştir.

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi lifli numunelerinin üretimi için %52 iri agrega, %48 ince agrega oranlarıyla hazırlanan karışımının granülometri eğrisi A16 ve B16 eğrileri arasında kalmıştır. Lifli beton üretiminde karışıma girecek agregalar için kullanılan bu oranın uygun olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.1. İri agrega için elek analizi deneyi sonuçları

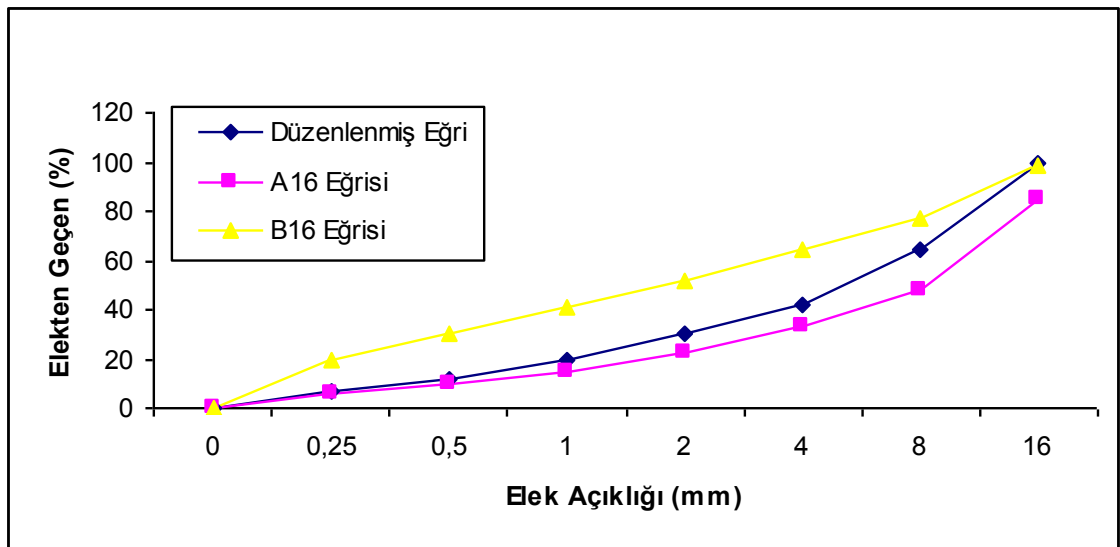
Elek açıklığı (mm)	Elek üzerinde kalan (g)	Kümülatif toplam (g)	% Kalan	% Geçen
16	0	0	0	100
8	1718	1718	68,72	31,28
4	744	2462	98,48	1,52
2	24	2486	99,44	0,56
1	3	2489	99,56	0,44
0,50	2	2491	99,64	0,36
0,25	2	2493	99,72	0,28
Elek altı	7	2500	100	0

Çizelge 4.2. İnce agrega için elek analizi deneyi sonuçları

Elek açıklığı (mm)	Elek üzerinde kalan (g)	Kümülatif toplam (g)	% Kalan	% Geçen
16	0	0	0	100
8	0	0	0	100
4	203	203	13,53	86,47
2	361	564	37,6	62,4
1	344	908	60,53	39,47
0,50	351	1259	83,93	16,07
0,25	180	1439	95,93	4,03
Elek altı	61	1500	100	0

Çizelge 4.3. Karışımında kullanılan agreganın tane dağılımları

Elek açıklığı (mm)	İri agrega % Geçen	İnce agrega % Geçen	Karışım oranları (%52+%48)
16	100	100	100
8	31,28	100	60,83
4	1,52	86,47	38,05
2	0,56	62,4	27,15
1	0,44	39,47	17,22
0,50	0,36	16,07	7,12
0,25	0,28	4,03	1,89
Tava	0	0	0

**Şekil.4.1.** Karışımında kullanılan agreganın granülometri eğrisi

4.1.2. Birim ağırlık

Standart birim ağırlık kabının kullanıldığı bu deneyde, ince ve iri agregaların, birim ağırlık değerleri ayrı ayrı bulunmuştur. Birim ağırlık deneyleri hava kurusu durumunda bulunan agregalar üzerinde yapılmıştır. Agregada deneylerinden elde edilen gevşek birim ağırlık değerlerinin ortalaması Çizelge 4.4'te, sıkışık birim ağırlık değerlerinin ortalaması ise, Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Gevşek birim ağırlık deneyi sonuçları

Agrega sınıfı		
Ölçülen değer	İnce (0 – 4 mm)	İri (4 – 16 mm)
Ölçü kabı boş ağırlığı (w_1), g	6705	6705
Ölçü kabı hacmi (v), cm^3	2148	2148
Kap + Numune ağırlığı (w_2), g	9756	9863
Numune ağırlığı ($w_2 - w_1$), g	3051	3158
G. Birim ağır. ($w_2 - w_1$)/ v , kg/m^3	1420	1470

Çizelge 4.5. Sıkışık birim ağırlık deneyi sonuçları

Agrega sınıfı		
Ölçülen değer	İnce (0 – 4 mm)	İri (4–16 mm)
Ölçü kabı boş ağırlığı (w_1), g	6705	6705
Ölçü kabı hacmi (v), cm^3	2148	2148
Kap + Numune ağırlığı (w_2), g	10335	10099
Numune ağırlığı ($w_2 - w_1$), g	3630	3394
S. Birim ağır. ($w_2 - w_1$)/ v , kg/m^3	1690	1580

4.1.3. Organik madde tayini

İnce agregadan alınan malzeme üzerinde yapılan organik madde tayini deneyinde ölçü silindirlerindeki malzeme üzerinde kalan sıvıda herhangi bir renk değişimi gözlenmemiştir. Yani sıvı renksizdir. TS EN 1744-1 (2011)'e göre bekletilen süre sonunda sıvının renksiz veya açık sarı olması malzeme içerisinde beton üretimi için zararlı oranda organik madde bulunmadığını, koyu sarı, kahve rengi veya kırmızımsı bir renk alması durumunda ise beton üretimi için zararlı organik madde bulunduğunu belirtmektedir.



Şekil.4.2. Karışımda kullanılan agreganın bünyesinde barındırdığı organik madde

Yapılan gözlemsel değerlendirmeye göre kullanılan agregaların beton üretimi için uygun olduğu belirlenmiştir.

4.1.4. İnce madde oranı tayini

Bu deney kullanılan agreganın ince ve iri kısımları için ayrı ayrı yapılmış ve elde edilen ortalama sonuçlar; ince agrega için Çizelge 4.6, iri agrega için Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.6. İnce agrega için ince madde oranı tayini deney sonuçları

Numunenin etüv kuru ağırlığı (w), g	Yıkandıktan sonra 0,063 mm elek üstünde kalan numunenin etüv kuru ağırlığı (w ₁), g	İnce malzeme oranı w-w ₁ /w (%)
2000	1962	1,9
TS706 EN 12620 'ye göre beton agregalarında ince madde oranı ince agregada için %3'ten küçük olmalıdır		

Çizelge 4.7. İri agregada için ince madde oranı tayini deney sonuçları

Numunenin etüv kuru ağırlığı (w), g	Yıkandıktan sonra 0,063 mm elek üstünde kalan numunenin etüv kuru ağırlığı (w ₁), g	İnce malzeme oranı w-w ₁ /w (%)
5000	4957	0,86
TS706 EN 12620 'ye göre beton agregalarında ince madde oranı ince agregada için %3'ten küçük olmalıdır		

Beton agregalarında ince maddelerin (kil-silt) fazla miktarda olması, agregada taneleri ile çimento hamuru arasındaki aderansın zayıflamasına ve çimentonun prizini geciktirmesine neden olduğundan istenmeyen bir durumdur (Postacıoğlu 1987; Bingöl 2002). Deneylerden elde edilen sonuçlar ilgili standartlar ile karşılaştırıldığında kullanılan agregalarda betona zarar verecek oranda ince taneli malzeme bulunmadığı belirlenmiştir. Bu sebeple agregaların beton üretimin için kullanılabilir olduğuna karar verilmiştir.



Şekil.4.3. Karışımında kullanılan agreganın bünyesinde barındırdığı ince madde

4.1.5. Tane yoğunluğu ve su emme oranı tayini

Agregaların tane yoğunluğu ve su emme oranının belirlendiği bu deneyde kuru özgül ağırlık, doymun kuru yüzey özgül ağırlık, görünen özgül ağırlık ve 24 saatlik su emme oranları tayini iri ve ince agregaya için ayrı ayrı yapılmıştır. TS EN1097-6/A1 (2007)'ye göre yapılan bu deneyde ince agregaya için ölçülen değerler Çizelge 4.8'de, hesaplanan tane yoğunluğu ve su emme oranları Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Tane yoğunlukları (ρ_a , ρ_{rd} ve ρ_{ssd}), aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır:

Görünür tane yoğunluğu: $\rho_a = M_4 / (M_4 - (M_2 - M_3))$

Etüvde kurutulmuş esasta tane yoğunluğu: $\rho_{rd} = M_4 / (M_1 - (M_2 - M_3))$

Doymun ve yüzeyi kurutulmuş esasta tane yoğunluğu: $\rho_{ssd} = M_1 / (M_1 - (M_2 - M_3))$

Su emme oranı: $WA_{24} = 100 \times (M_1 - M_4) / M_4$

Burada;

M_1 : Doygun ve havada yüzeyi kurutulmuş agreganın kütlesi (g),

M_2 : Doygun agrega numunesini ihtiva eden piknometrenin kütlesi (g),

M_3 : Sadece su ile doldurulmuş piknometrenin kütlesi (g),

M_4 : Etüvde kurutulmuş deney numunesi kısmının kütlesi (g)'dir.

Çizelge 4.8. İnce agrega tane yoğunluğu ve su emme deneyi için ölçülen değerler

Ölçülen değerler	Ağırlık (g)
Su + piknometre (M_3)	1520
Su + piknometre + Numune (M_2)	1878
DKY numune (M_1)	599
Etüv kurusu numune (M_4)	579

Çizelge 4.9. İnce agrega tane yoğunluğu ve su emme deneyi için hesaplanan değerler

Hesaplanan değerler	Yoğunluk (g/cm^3)
Görünür tane yoğunluğu (ρ_a)	2,62
Etüvde kurutulmuş tane yoğunluğu (ρ_{rd})	2,40
Doygun ve yüzeyi kurutulmuş tane yoğunluğu (ρ_{ssd})	2,49
Su emme oranı (WA_{24})	3,45

TS EN1097-6/A1 (2007)'e göre yapılan bu deneyde iri agrega için ölçülen değerler Çizelge 4.10'da, hesaplanan tane yoğunluğu ve su emme oranları Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Tane yoğunlukları (ρ_a , ρ_{rd} ve ρ_{ssd}), aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır:

$$\text{Görünür tane yoğunluğu: } \rho_a = M_4 / (M_4 - (M_2 - M_3))$$

Etüvde kurutulmuş esasta tane yoğunluğu: $\rho_{rd} = M_4 / (M_1 - (M_2 - M_3))$

Doygun ve yüzeyi kurutulmuş esasta tane yoğunluğu: $\rho_{ssd} = M_1 / (M_1 - (M_2 - M_3))$

Su emme oranı: $WA_{24} = 100 \times (M_1 - M_4) / M_4$

Burada;

M_1 : Doygun ve havada yüzeyi kurutulmuş agreganın kütlesi (g),

M_2 : Doygun agrega numunesini ihtiva eden sepetin sudaki görünür kütlesi (g),

M_3 : Boş sepetin sudaki görünür kütlesi (g),

M_4 : Etüvde kurutulmuş deney numunesi kısmının kütlesi (g)'dir.

Çizelge 4.10. İri agrega tane yoğunluğu ve su emme deneyi için ölçülen değerler

Ölçülen değerler	Ağırlık (g)
Boş sepet (M_3)	434
Sepet + Numune (M_2)	1405
DKY numune (M_1)	1550
Etüv kurusu numune (M_4)	1522

Çizelge 4.11. İnce agrega tane yoğunluğu ve su emme deneyi için hesaplanan değerler

Hesaplanan değerler	Yoğunluk (g/cm^3)
Görünür tane yoğunluğu (ρ_a)	2,76
Etüvde kurutulmuş tane yoğunluğu (ρ_{rd})	2,63
Doygun ve yüzeyi kurutulmuş tane yoğunluğu (ρ_{ssd})	2,68
Su emme oranı (WA_{24})	1,84

4.2. Çelik ve Polipropilen Liflerin Sertleşmiş Beton Özelliklerine Etkisi

4.2.1. Çelik ve Polipropilen Liflerin Basınç Dayanımına Etkisi

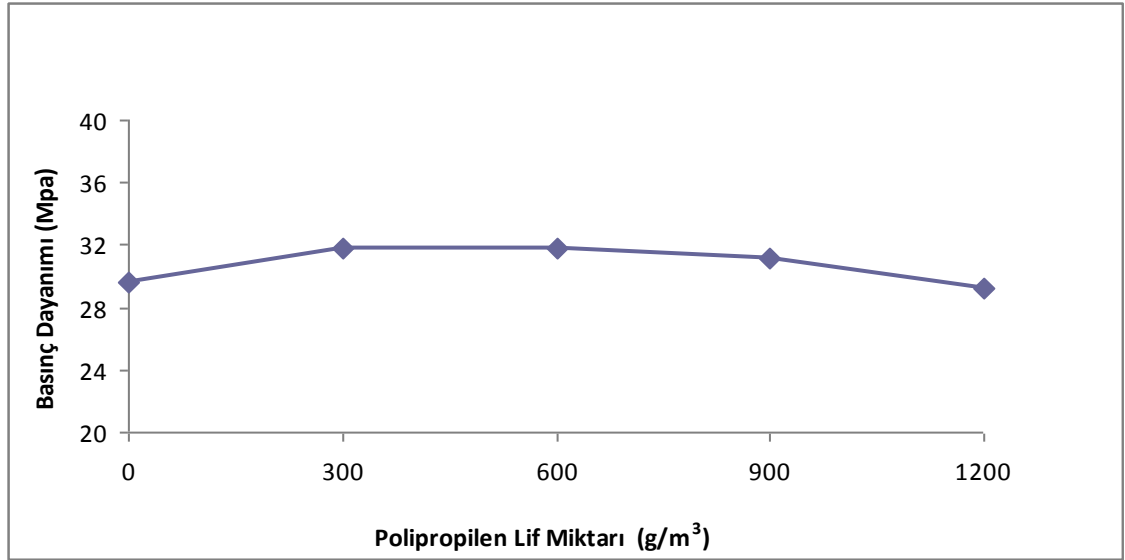
Yöntem kısmında anlatıldığı şekilde standartlara uygun olarak yapılan basınç deneyi ile sonuçlar belirlenmiştir.

4.2.1.a. Polipropilen liflerin basınç dayanımına etkisi

Kontrol grubu ve farklı oranlarda lif kullanılarak üretilen lifli beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı sonuçları Çizelge 4.12 de sunulmuş ve Şekil 4.4 de grafik üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. Polipropilen lifli betonların basınç dayanımı sonuçları

	Yük (kgf)	Dayanım (Mpa)
Kontrol		
1	65370	29,05
2	67050	29,80
3	67190	29,86
300 g Polipropilen		
1	74080	32,93
2	66810	29,69
3	73950	32,87
600 g Polipropilen		
1	73480	32,66
2	67270	29,91
3	73770	32,79
900 g Polipropilen		
1	71760	31,89
2	67610	30,05
3	70570	31,36
1200 g Polipropilen		
1	64470	28,65
2	63870	28,39
3	69010	30,67



Şekil 4.4. Polipropilen lif miktarı ile basınç dayanımı değişimi

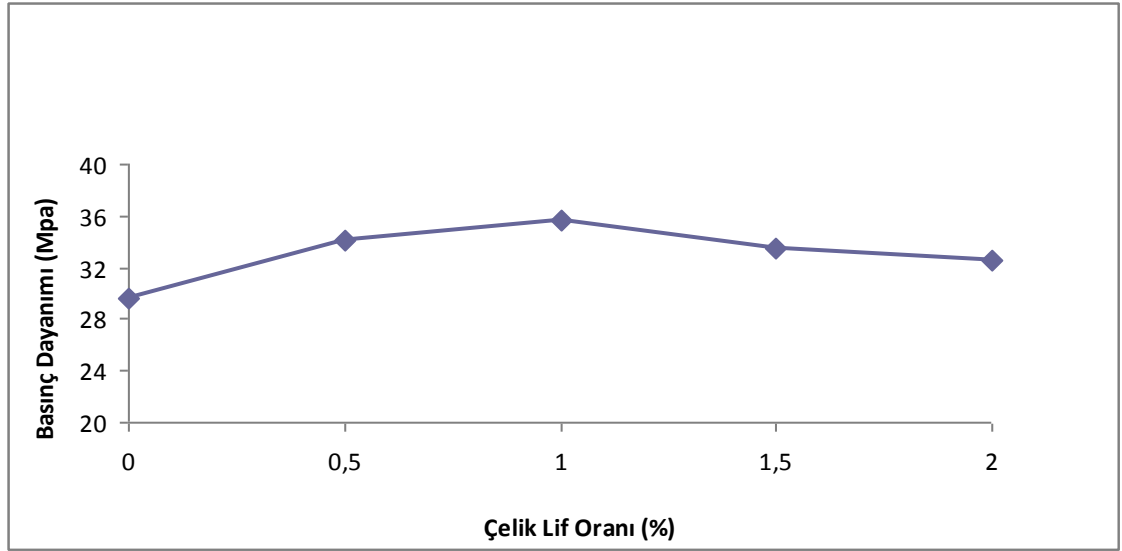
Çizelge 4.12 de polipropilen katkılı betonların (300 g, 600 g, 900 g, 1200 g) 28 günlük silindirik basınç dayanımı değerleri gösterilmiştir. Polipropilen lif miktarı 300g a kadar basınç dayanımı üzerinde olumlu etki yapıp maksimum basınç dayanımına ulaşmıştır. Bu değer 32,93 Mpa olarak tespit edilmiştir. Lif miktarı arttıkça 600 g ve 1200 g oranlarında daha düşük sonuçlar elde edilmiştir (Uygunoğlu 2006). En düşük değer 28,39 Mpa ile 1200 g ilaveli liflerde gözlenmiştir.

4.2.1.b. Çelik Liflerin Basınç Dayanımına Etkisi

Kontrol grubu ve farklı oranlarda çelik lif kullanılarak üretilen betonların basınç dayanımı deney sonuçları Çizelge 4.13 de topluca gösterilmiş ve Şekil 4.5. de grafik olarak sunulmuştur.

Çizelge 4.13. Çelik lifli betonların basınç dayanımı sonuçları

	Yük (kgf)	Dayanım (Mpa)
Kontrol		
1	65370	29,05
2	67050	29,80
3	67190	29,86
% 0,5 Ç.L.		
1	75350	33,48
2	72540	32,24
3	81960	36,43
%1 Ç.L.		
1	84630	37,61
2	78420	34,85
3	77630	34,50
% 1,5 Ç.L.		
1	71310	31,69
2	78380	34,83
3	76850	34,15
% 2 Ç.L.		
1	73580	32,70
2	75240	33,44
3	70850	31,49



Şekil 4.5. Çelik lif miktarı ile basınç dayanımı değişimi

Çizelge 4.13 ve Şekil 4.5. incelendiğinde lif miktarının %1 olması durumunda en yüksek basınç dayanımı değerinin elde edildiği görülmektedir. Bu değer 37,61 MPa olarak tespit edilmiştir. En düşük değer ise kontrol numunelerinde gözlenmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde lif oranının %1 e kadar olması durumunda basınç dayanımında artış tespit edilirken %1 den sonraki oranlarda basınç dayanımının azalmaya başladığı belirlenmiştir (Zeynal 2008). Fakat lifli numunelerin en düşük basınç dayanımlarının kontrol numunelerine göre %0,8 daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

4.2.2. Polipropilen ve Çelik Liflerin Eğilme Dayanımına Etkisi

4.2.2.a. Polipropilen liflerin eğilme dayanımına etkisi

Kontrol grubu ve farklı oranlarda polipropilen kullanılarak üretilen betonların eğilme dayanımı deney sonuçları Çizelge 4.14 de topluca gösterilmiş ve şekil 4.7. de grafik olarak sunulmuştur.

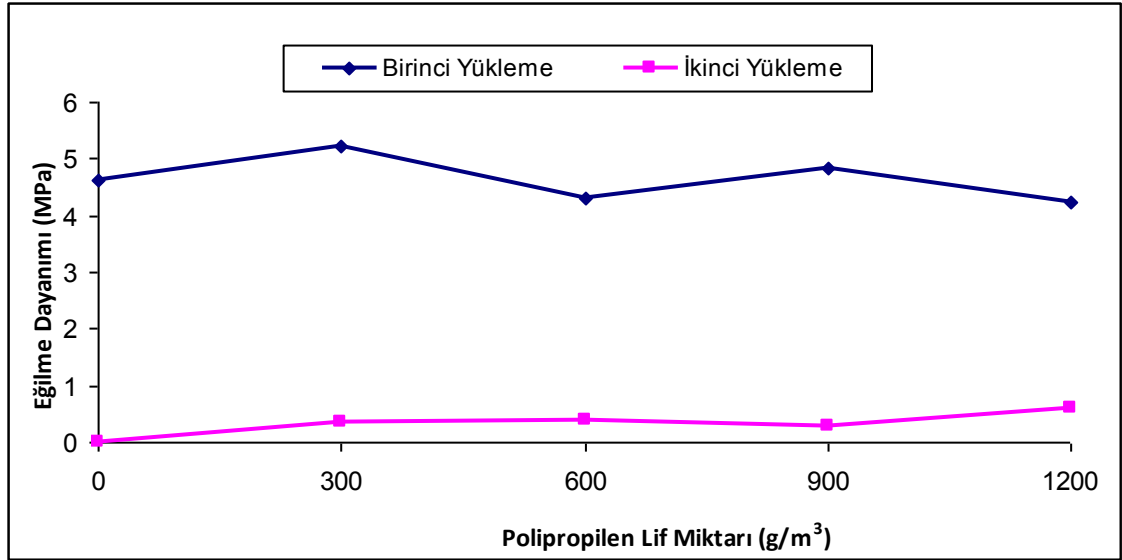


Şekil 4.6. Polipropilen lifli numunelerin eğilme yükü sonrası görünümü

Şekil 4.6. da eğilme yükü etkisinde kırılmış 7x7x28 cm boyutlarındaki prizmatik polipropilen katkılı numune gösterilmiştir. İlk yüklemde kırılma gerçekleştikten sonra polipropilen lifler gevrek kırılmayı engelleyip numunenin parçalanmamasını sağlamıştır. İkinci yüklemde ise lifler sıyrılarak şekildeki görüntüyü almıştır.

Çizelge 4.14. Polipropilen lifli betonların eğilme dayanımı sonuçları

	Birinci yükleme (MPa)	İkinci yükleme(MPa)
Kontrol		
1	4,34	-
2	4,91	-
3	4,58	-
300 gr Polipropilen		
1	5,66	0,40
2	4,38	0,27
3	5,59	0,37
600 gr Polipropilen		
1	3,89	0,33
2	5,03	0,45
3	4,01	0,37
900 gr Polipropilen		
1	4,78	0,21
2	5,41	0,16
3	4,35	0,46
1200 gr Polipropilen		
1	3,44	0,80
2	4,32	0,33
3	4,96	0,62



Şekil 4.7. Polipropilen lif miktarı ile eğilme dayanımının değişimi

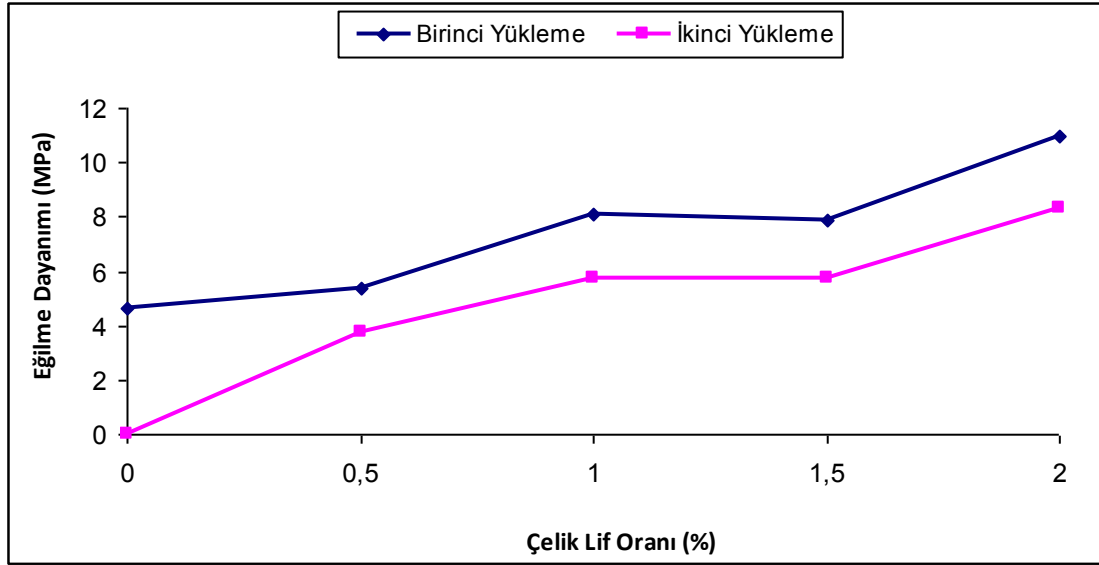
Çizelge 4.14 te verilen polipropilen katkılı beton numunelerinin 1. ve 2. yüklemeleri kıstas alınarak eğilme dayanımı hakkında bilgi elde edilmiştir. Yapılan deneyler sonucu, 1. yüklemede eğilmeye karşı gösterilen en yüksek direnç 5,66 MPa olarak 300 g lif katkılı numunelerde kaydedilmiştir (Ünal 2006). İkinci yüklemede ise maksimum dayanım 1 m³ te 1200 g lif katılmasıyla elde edilen numunelerde 0,8 MPa olarak gözlenmiştir. En düşük değerler ise 1. yüklemede 3,44 MPa ile 1200 g katkılı numunelerde, ikinci yüklemede ise 900 g katkılı numunelerde 0,16 MPa olarak belirlenmiştir.

4.2.2.b. Çelik liflerin eğilme dayanımına etkisi

Kontrol grubu ve farklı oranlarda çelik kullanılarak üretilen betonların eğilme dayanımı deney sonuçları Çizelge 4.15 de topluca gösterilmiş ve Şekil 4.8. de grafik olarak sunulmuştur.

Çizelge 4.15. Çelik lifli betonların eğilme dayanımı deney sonuçları

	Birinci Yükleme (MPa)	İkinci yükleme (MPa)
Kontrol		
1	4,34	-
2	4,91	-
3	4,58	-
% 0,5 Ç.L.		
1	5,53	3,59
2	5,36	3,75
3	5,25	3,91
%1 Ç.L.		
1	7,05	5,55
2	9,96	6,44
3	7,40	5,32
% 1,5 Ç.L.		
1	10,05	7,25
2	7,32	5,34
3	6,24	4,71
% 2 Ç.L.		
1	9,23	7,23
2	13,27	9,95
3	10,45	7,78



Şekil 4.8. Çelik lif oranı ile eğilme dayanımı değişimi

Çizelge 4.15 te çelik lifli betonların 3 noktalı eğilme deneyi ile taşıdıkları yükler belirlenmiştir. Deneyler sonucun da en yüksek dayanım %2 çelik lif katkılı numunelerde tespit edilmiştir. Bu değer 13,27 MPa olduğu belirlenmiştir. İkinci yüklemede ise maksimum değer 9,95 MPa olarak belirlenmiştir. En düşük değer 4,34 MPa olarak lif takviyesiz numunelerde, 2. yüklemede ise 3,59 MPa olarak %0,5 oranında çelik lif takviyeli numunelerde gözlenmiştir (Zeynal 2008). Çelik lifli numuneler kontrol numunelerine göre yaklaşık 3 kat daha fazla eğilmeye karşı direnç göstermiştir.

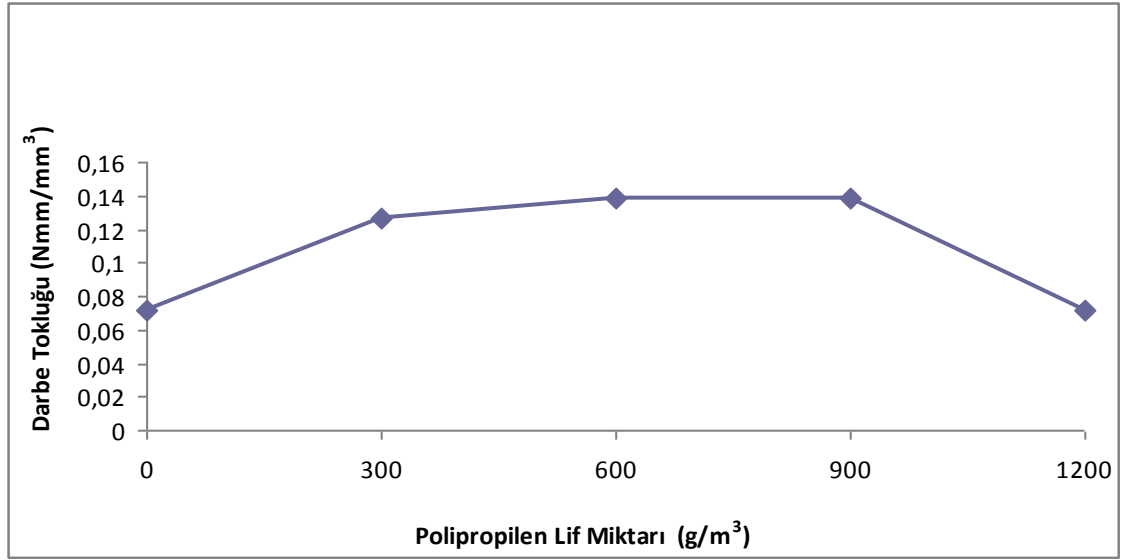
4.2.3. Polipropilen ve Çelik Liflerin Darbe Dayanımına Etkisi

4.2.3.a. Polipropilen liflerin darbe dayanımına etkisi

Kontrol grubu ve farklı oranlarda polipropilen kullanılarak üretilen betonların darbe dayanımı deney sonuçları Çizelge 4.16 de topluca gösterilmiş ve Şekil 4.9. da grafik olarak sunulmuştur.

Çizelge 4.16. Polipropilen lifli betonların darbe dayanımı sonuçları

	Gözle görülebilir ilk çatlak	Gözle görülebilir nihai çatlak	Kırılma Tokluğu (Nmm/mm³)
Kontrol			
1	229	233	0,0432
2	108	109	0,0202
3	44	45	0,0083
300 g Polipropilen			
1	200	215	0,0398
2	270	278	0,0515
3	180	189	0,0351
600 g Polipropilen			
1	279	286	0,0530
2	106	117	0,0217
3	332	345	0,0639
900 g Polipropilen			
1	267	303	0,0561
2	246	268	0,0497
3	149	174	0,0323
1200 g Polipropilen			
1	148	169	0,0313
2	124	141	0,0261
3	73	80	0,0148



Şekil 4.9. Polipropilen lif miktarı ile darbe dayanımı arasındaki ilişki



Şekil 4.10. Polipropilen lifli betonun darbe etkisi altında kırılması

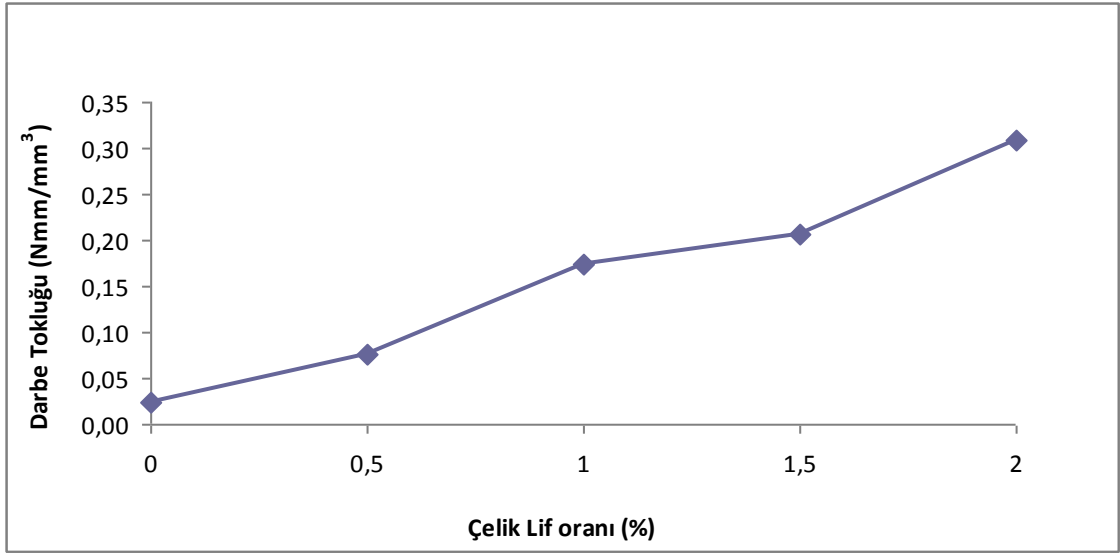
Çizelge 4.16 da polipropilen lif takviyeli betonun gözle görülebilen ilk ve nihai çatlak vuruş sayıları verilmiştir. Gözle tespit edilen ilk çatlak sayısındaki maksimum değer 279 vuruş olarak 600 g polipropilen takviyeli numunelerde tespit edilmiştir. Gözle görülebilir nihai vuruş sayısı ise 900 g lif takviyesi yapılmış numunelerde 303 vuruş olarak tespit edilmiştir. Minimum değerler ise kontrol numunesinde 44 vuruşla ilk çatlak, 45 vuruşla nihai çatlak gözlenmiştir. Polipropilen lifli numuneler kontrol numunelerine göre 4-6 kat arasında daha fazla darbe etkisine karşı direnç göstermiştir. İlk vuruş ile nihai vuruş sayılarında ise 20-40 kat arasında bir artış gözlenmiştir.

4.2.3.b. Çelik liflerin darbe dayanımına etkisi

Kontrol grubu ve farklı oranlarda çelik kullanılarak üretilen betonların darbe dayanımı deney sonuçları Çizelge 4.17 de topluca gösterilmiş ve Şekil 4.11. de grafik olarak sunulmuştur.

Çizelge 4.17. Çelik lifli betonların darbe dayanımı sonuçları

	Gözle görülebilien ilk çatlak	Gözle görülebilien nihai çatlak	Kırılma Tokluğu (Nmm/mm³)
Kontrol			
1	229	233	0,0432
2	108	109	0,0202
3	44	45	0,0083
% 0,5 Ç.L.			
1	196	347	0,064
2	331	422	0,078
3	405	469	0,0869
%1 Ç.L.			
1	894	1520	0,282
2	577	656	0,122
3	534	621	0,115
% 1,5 Ç.L.			
1	1117	1460	0,271
2	669	756	0,140
3	616	1124	0,208
% 2 Ç.L.			
1	814	1082	0,201
2	1560	2234	0,414
3	1658	1187	0,308



Şekil 4.11. Çelik lif miktarı ile darbe dayanımı arasındaki ilişki

Çizelge 4.17 de çelik lif takviyeli betonların gözle görülebilir ilk ve nihai çatlak sayıları verilmiştir. Gözle tespit edilen ilk çatlak sayılarındaki maksimum değer 1658 vuruşla %2 çelik lif oranında, nihai çatlak ise 2234 vuruş olarak belirlenmiştir. Minimum değerler ise gözle görülebilir ilk çatlak oluşuran 44 vuruş ile kontrol numunesinde, 45 vuruş ile de nihai çatlak gözlenmiştir. Çelik lifli numuneler kontrol numunelerine göre ilk çatlak oluşumunda yaklaşık 12 kat daha iyi performans göstermiştir (Nili 2010). İlk çatlak ile nihai vuruş sayıları arasındaki fark kıstas alınırsa yaklaşık 100-200 oranında daha olumlu sonuç verdiği tespit edilmiştir (Eren 2007).

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan çalışmanın asıl amacı, farklı oranlarda katılan polipropilen ve çelik lif katkılı betonların, bazı taze beton özellikleri ve mekanik (darbe) özelliklerinin incelenmesidir. Bu nedenle, sırasıyla betonlara belli oranlarda lif katılarak üzerinde çalışma yapılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

1. Polipropilen lif takviyeli betonlarda, birim ağırlıkların az da olsa azaldığı gözlenmiştir. Bunun sebebi olarak, polipropilenin birim ağırlığının geleneksel beton birim ağırlığından az olması düşünülmektedir.
2. Çelik lif katılmış betonlarda, birim ağırlığın arttığı gözlenmiştir. Bu artış ise polipropilene nazaran çok fazla olmuştur. Bunun gerekçesi, çelik lif ile beton arasındaki birim ağırlık farkının polipropilen lif ile geleneksel beton arasındaki birim ağırlık farkından çok fazla olması ve karışımdaki lif miktarının fazla olması ile açıklanabilir.
3. Polipropilen lifin işlenebilmeyi fazla etkilemediği yapılan çökme deneyleri sonucunda elde edilmiştir. Bu sonuca göre polipropilen lifin pompa betonun da kullanılmasının uygun olabileceği düşünülmektedir.
4. Çelik lif ve lif oranının artmasıyla işlenebilmenin olumsuz yönde olacak şekilde çok fazla etkilendiği, özellikle %1,5 oranından sonra betonun işlenebilirliğinin çok azaldığı tespit edilmiştir.
5. Polipropilen liflerin basınç dayanımını çok fazla etkilemediği, bununla birlikte 1 m³ te 1200 g dan fazla polipropilen kullanılması durumunda basınç mukavemetinin azaldığı gözlenmiştir. Çelik liflerin basınç dayanımını, %1 oranına kadar olumlu etkilediği, %1 den sonra lifin ara yüzeyi artırmasından ve işlenebilmenin zorlaşmasından dolayı olumsuz etkilendiği belirlenmiştir. Fakat bu olumsuzluğun kontrol numunelerin basınç dayanımı değerlerinin altına düşmeyecek seviyede olduğu tespit edilmiştir. Lif hacmine göre basınç dayanımı değişiklik göstermiştir. En fazla

basınç dayanımı artışı %20 oranında, %1 çelik lif içeren numunelerde ise, en az artış %10 oranında, %2 çelik lif içeren numunelerde tespit edilmiştir.

6. Polipropilen lifli betonlarda en yüksek basınç dayanımı değeri 1 m³ te 300 g lif kullanılması durumunda elde edilmiştir. Bu grup için dayanım artışı %7 olarak belirlenmiştir.

7 Polipropilen lifin eğilme dayanımının da çok fazla etki etmediği düzenli bir artış veya azalış oluşturmadığı, genellikle lif yönelimine göre farklı sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir. 300 g ağırlığında polipropilen lif ilavesi durumunda %10 artış gözlenirken, 600g ilave edilmesi durumun da, %7 oranın da bir azalma, 900 g ilave edilidiğinde %5 artış varken, 1200 g kullanılması durumunda da %9 azalma tespit edilmiştir. Dolayısıyla polipropilen lif ile eğilme dayanımı arasında bir ilişki kurulamamıştır.

8. Çelik lif oranı ile eğilme dayanımı arasında doğrusal bir artış gözlenmiştir. Bu doğrusallıkta %1 çelik lif ilavesinden sonra sapma görülse de genel anlamda bir artış tespit edilmiştir. En fazla artış çelik lifin %2 oranın da kullanılmasıyla elde edilmiş bu orandaki numunelerin eğilme dayanımlarına kontrol grubundan yaklaşık 4 kat fazla olduğu belirlenmiştir.

9. Çelik lifler darbe dayanımına karşı doğrusal bir artış sağlamışlardır. Maksimum artış çelik lifin %2 oranında katılması durumunda nihai kırılma için, 12 kat daha fazla olarak tespit edilmiş. İlk çatlak için ise 9 kat artış gözlenmiştir.

10. Darbe dayanımında polipropilen lifler 900 g a kadar ideal bir artış gözlenmiş ve 1200 g dan sonra düşüş gözlenmiştir. Literatür ışığında yapılan araştırmalara göre 1200 g katkılı betonun düşük çıkmasının sebebi lif yönelmesi (yüke paralel yönde) ve lif miktarının artması sonucu, ara yüzeyin artması ve çatlak oluşumuna sebebiyet vermesidir.

KAYNAKLAR

- ACI COMMITTEE 544.4R-88, 1988. Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete. ACI Structural Journal, Committee Report, USA.
- Acun, S., 2000. Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Dizayn Parametresi Olarak Lifsel Katkıların İrdelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 153s.
- Akkaş, A., Alpaslan, L., Arabacı, S., Başyigit, C., 2010. Polipropilen Lif Katkılı Yarı Hafif Betonların Basınç Dayanım Özellikleri,
- Anonim, 2007, <http://www.polyfibers.com.tr> (10.09.2012)
- Arslan, A., Aydın, A., 1999. Lifli Betonların Darbe Etkisi Altında Genel Özellikleri. Beksa Lifli Beton Semineri, Sabancı Center, İstanbul.
- Ateş, A., 2008, Çelik Lif Donatılı Betonlar, Kırıkkale Fen Bşlşmlerş Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi, Kırıkkale
- Aulia, T.B., 2002. Effects of Polypropylene Fibers on the Properties of High-Strength Concretes. Lacer No.7:43-59.
- Bahadır, F., 2010. Polipropilen Lifli Betonların Mekanik Özellikleri, Eskişehir, Y. Lisans Tezi
- Banthia, N., Nandakumar, N., 2003, Crack Groth Resistance of Hybrid Fiber Reinforced Cement Composites. Cement and Concrete Composites
- Bedirhanoglu, İ., İlki, A., Candan, Y., Taşdemir, M., A., Çelik Lif İçeriği, Sıcak Kür ve Lif Korozyonunun Çimento Esaslı Yüksek Performanslı Kompozitlerin Mekanik Davranışına Etkisi
- Bingöl, A.F., 2002. Pomza İle Üretilen Hafif Betonların Yangına Karşı Dayanımı. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Can, Ö., Durmuş, G., Subaşı, S., Yıldız, K., Arslan, M., Lif Katkılı Betonların Aşınma Direnci Üzerindeki Etkileri, 2009, Karabük
- Çakıroğlu, M. A., Kasap, S., Erenoğlu, E., 2011, Betona Değişik Geometrik Formlarda Çelik Lif Eklenmesinin Basınç Dayanımına Etkisi, Elazığ
- Düğenci, O., 2008 Çelik Lifli Betonların Bazı Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklık Etkisinin Deneysel Araştırılması, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, Yüksek Lisans Tezi
- Erdoğan, T.Y., 1995. Beton Karışım ve Beton Suları. Türkiye Hazır Beton Birliği, S 1,3,9,12, İstanbul.
- Erdoğan, T.Y., 2003. Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş., Ankara, 741s.
- Eren, Ö., Çelik, T., 1997. Effect of Silica Fume and Steel Fibers on Some Properties of High-Strength Concrete. Construction and Building Materials, 11:373-382.
- Felekoğlu, B., 2003. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Gündeşli, U., 2008. Uçucu Kül, Silis Dumanı ve Yüksek Fırın Cürufunun Beton ve Çimento Katkısı Olarak Kullanımı Üzerine Bir Kaynak Taraması. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.

- Gürol G., (1999). “Ekonomik beton için beton bileşenleri çimento/su/ince ve kaba agrega/kimyasal ve mineral katkıları”, *Dizayn ve Konstrüksiyon Dergisi*, 164
- Houst, Y.F., Maeder, U., Flatt, R.J., Widmer, J., Bowen P., Hoffmann, H., Sulser, U. and Buerge, T.A., 1999. New Superplasticizers From Research to Application, Creating With Concrete, International Conf. on Modern Concrete Materials Binders, additives and admixtures, 445-456, Scotland.
- Karahan, O., 2006, *Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu küllü Betonların Özellikleri*, Adana, Doktora Tezi
- Kutzing, L., 1996. Influence of Fibres on the Improving of Ductility of High Performance Concrete (HPC). LACER No.1.
- Postacıoğlu, B., 1987. Beton, (Bağlayıcı Maddeler, Agregalar ve Beton). 177-402, İstanbul.
- Kırca, Ö., Şahin, M., 2003. Polipropilen Lif Kullanımının Beyaz Beton Dayanıklılığına Etkisi. 5. Ulusal Beton Kongresi, Betonun Dayanıklılığı, İstanbul, s.375-382.
- Natajara, M.C., Dhang, N., Gupta, A.P., 1999, Variations in Impact Resistance of Steel Reinforced Concrete Subjected to Drop Weight. *Cement and Concrete Research* 989-995
- Nili, M., Afroughsabet, V., 2010, The Effects of Silica Fume and Polypropylene Fibers on the Impact Resistance and Mechanical Properties of Concrete. *Construction and Building Materials*, 927-933
- Nili, M., Afroughsabet, V., 2010, Combined Effect of Silica Fume and Steel Fibers on the Impact Resistance and Mechanical Properties of Concrete. *International Journal of Impact Engineering*, 879-886
- Postacıoğlu, B., 1987. Beton, (Bağlayıcı Maddeler, Agregalar ve Beton). 177-402, İstanbul.
- Roshavelov, T., 2002. Concrete Mixture Proportioning Based on Rheological Approach, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete.
- Sağlık, A., Kocabeyler, M.F., 1998. Polipropilen Lifle Güçlendirilmiş Betonların Performans Özellikleri. Beton-Çimento ve Boya Sempozyumu, Ankara, s.133-148.
- Song, P.S., Hwang, S., 2004. Mechanical Properties of High-Strength Steel Fiber-Reinforced Concrete. *Construction and Building Materials*, 18:669- 673.
- Subaşı, S. ve Emiroğlu, M., 2008. Lif Kullanılan Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda İşlenebilirlik ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki Analizi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bil. Dergisi*, 20(3), 527-539, Elazığ.
- Şimşek, O., 2004. Beton ve Beton Teknolojisi. Seçkin Yayıncılık, Ankara, 247s.
- Tokuyay, M., Ramyar, K., Turanlı, L., 1991. Polipropilen ve Çelik Lifli Yüksek Dayanımlı Betonların Basınç ve Çekme Yükleri Altındaki Davranışları. 2. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, s.303-311.
- TS 3529, 1980. Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS 10513, 1992. Çelik Teller-Beton Takviyesinde Kullanılan. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS 10514, 1992. Beton-Çelik Tel Takviyeli-Çelik Telleri Betona Karıştırma ve Kontrol Kuralları. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

- TS 10515, 1992. Beton-Çelik Tel Takviyeli-Eğilme Mukavemeti Deney Metodu. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-6, 2002. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler -. Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-3, 2003. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS 706 EN 12620, 2003. Beton Agregaları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Uğurlu, A., 1994. Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton. DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Dairesi Başkanlığı, Yayın No: MLZ-878, Ankara, 175s.
- Uygunoğlu T., Ünal, O., Gençel, O., 2006, Çelik Liflerin Beton Basınç ve Eğilme Özelliklerine Etkisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, s.23-30
- Ünal. O., 1994. Isıl İşlem Uygulamasının Lifli Beton Özelliklerine Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 129s.
- Yazıcı, Ş., Sezer, G., İ., 2008, Çelik Lifli Betonların Darbe Direncine Agreganın Maksimum Boyutunun Etkisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, s 237-
- Yerlikaya, M., 2003. Çelik Tel Donatılı Betonların Deprem Etkisi Altında Davranışları. Kocaeli Deprem Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s.302-304.
- Yıldırım, S.T., 2002. Lif Takviyeli Betonların Performans Özelliklerinin Araştırılması. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ, 193s.
- Yıldız, E., 2006. Farklı Tipteki Puzolanların Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Zeynal, E., 2008, Çelik lif ve s/ç oranlarının Çelik Lifli Betonların Darbe Mukavemetine Mekanik Özelliklerine etkisi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Iğdır ili Merkez ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Iğdır'da tamamladı. 2006 yılında yüksek öğrenimine başladığı Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Programını 2010 yılında tamamladı.

2010 yılından beri Demiroğlu Yapı Denetim Ltd. Şti. de kontrol mühendisi olarak görevini devam ettirmektedir.