



**T.C.**  
**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**POLİPROPİLEN LİF ORANININ BETONUN**  
**EĞİLMEDE ÇEKME ve BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Nejla Rüya PEKDEMİR**

**TEMMUZ 2020**  
**GÜMÜŞHANE**



**T.C.**  
**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**POLİPROPİLEN LİF ORANININ BETONUN**  
**EĞİLMEDE ÇEKME ve BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Nejla Rüya PEKDEMİR**

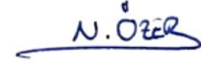
**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**  
**“İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı”**  
**Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06.07.2020**  
**Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 13.07.2020**

**TEMMUZ 2020**

### TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum "Polipropilen Lif Oranının Betonun Eğilmede Çekme ve Basınç Dayanımına Etkisi" isimli tez çalışmada; bütün bilgi ve belgeleri genel akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı bütün bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak hazırlayıp sunduğumu, başka kaynaklardan yararlandığım bilgileri metin ve kaynaklarda eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksi durumda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 06.07.2020

  
Nejla Rüya PEKDEMİR

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### **POLİPROPİLEN LİF ORANININ BETONUN EĞİLMEDE ÇEKME ve BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİ**

Nejla Rüya PEKDEMİR

Gümüşhane Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şükrü YETGİN

2020, 62 sayfa

Bu çalışmada; polipropilen lif katkısının farklı oranlarda ilavesi sonucunda meydana gelen lif karışımlı beton numunelerin eğilmede çekme ve basınç dayanımlarına etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Bir dizi lif katkısız beton numunesi (tanık beton) ve 6 dizi %0,25; %0,50; %0,75; %1,0; %1,25; %1,5 hacim oranlarında lif içeren beton numuneleri üretilmiştir. Bu numuneler uygun laboratuvar koşullarda olgunlaştırılmış olup bunların, taze beton birim kütleleri, 1 ve 28 günlük beton birim kütleleri belirlenip kayıt altına alınmıştır. Üretilen silindir ve kiriş numuneler üzerinde basınç ve eğilmede çekme deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca taze betonun kıvamını belirlemek amacıyla silindir numuneler üretilmiş ve bunların çökme oranları belirlenmiştir.

Sonuç olarak, ilave edilen lif oranı arttıkça basınç dayanımının düştüğü, eğilmede çekme dayanımının ise yükselişe geçtiği görölmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Basınç Dayanımı, Beton, Çatlak, Eğilmede Çekme Dayanımı, Kıvam, Lif, Polipropilen Lif

## **ABSTRACT**

## **MS THESIS**

# **THE EFFECT of POLYPROPYLENE FIBER RATIO on BENDING TENSILE and COMPRESSIVE STRENGTH of CONCRETE**

Nejla Rüya PEKDEMİR

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

Supervisor: Prof. Dr. Şükrü YETGİN

2020, 62 pages

In this study; the effect of fiber-mixed concrete samples, which are formed as a result of adding polypropylene fiber additive in different proportions, on the tensile and compressive strengths in bending has been experimentally investigated. A set of fiber-free concrete samples (witness concrete) and 6 sets of 0.25%; 0.50%; 0.75%; 1.0%; 1.25%; concrete samples containing 1.5% by volume fiber were produced. These samples were matured under appropriate laboratory conditions and their fresh concrete unit mass, 1 and 28 days concrete unit masses were determined and recorded. Tensile tests in compression and bending were applied on the produced cylinder and beam samples. In addition, cylinder samples were produced in order to determine the consistency of fresh concrete and their precipitation rates were determined.

As a result, it was seen that as the added fiber ratio increases, the compressive strength decreases and the tensile strength in bending increases.

**Keywords:** Compressive Strength, Concrete, Crack, Tensile Strength in Bending, Consistency, Fiber, Polypropylene Fiber



## TEŞEKKÜR

Polipropilen lif oranının betonun eğilmede çekme ve basınç dayanımına etkisini konu alan bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez çalışmam sürecinde beni her konuda destekleyen, bilgi ve görüşleri ile çalışmama yardımcı olan başta çok değerli tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Şükrü YETGİN' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarında bana çok büyük desteği olan Doç. Dr. Mustafa ÇULLU' ya, Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali GÜCER' e, Arş. Gör. Yavuz Selim AKSÜT' e ve değerli arkadaşım Osman AKÇAY' a teşekkürlerimi sunarım.

Tez yazımı sürecinde bana yardımcı olan, beni destekleyen kıymetli arkadaşım Elif ALKAN' a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda kullandığım malzemelerin temini konusunda bana yardımcı olan H. İbrahim FERAH' a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince bana anlayış gösterip destek olan değerli kurum müdürüm Sayın İlbeyi AYDIN' a teşekkürlerimi sunarım.

Tüm desteğini ve sevgisini her zaman hissettiğim, hayatımın her alanında olduğu gibi bu aşamasında da emeklerini hiçbir zaman esirgemeyen Anneme, Ablama ve Ağabeyime teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca sabır ve anlayışı ile bana destek olan, yardımını esirgemeyen sevgili Eşime ve canım kızım Melisa'ya teşekkürlerimi sunarım.

Bu başarıya ulaşmamdaki en büyük gücüm olan, varlığını hep yanımda hissettiğim yoldaşım, kıymetli Babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Nejla Rüya PEKDEMİR  
Gümüşhane, 2020

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

### Sayfa No

ÖZET .....	IV
ABSTRACT .....	VI
TEŞEKKÜR .....	VIII
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	X
TABLOLAR DİZİNİ.....	XII
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIII
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Konuya Genel Bakış .....	1
1.2. Lif Çeşitleri .....	3
1.3. Konu Üzerinde Yapılan Araştırmalar .....	13
1.4. Çalışmanın Amacı .....	25
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	27
2.1. Gerekli Malzemelerin Hazırlanması .....	27
2.1.1. Kullanılan Polipropilen Liflerin Özellikleri.....	27
2.1.2. Kullanılan Agrega ve Özellikleri .....	29
2.1.3. Kullanılan Çimento ve Özellikleri .....	34
2.1.4. Karışım ve Karma Suyu .....	36
2.2. Deney Düzeneklerinin Sağlanması .....	37
2.3. Beton Üretimi.....	39
2.4. Beton Karışımı ve Yapılan Deneyler.....	41
3. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ.....	48
3.1. Beton Birim Kütleleri Deney Sonuçları.....	48
3.2. Kıvam Deneyi Sonuçları.....	51
3.3. Basınç Dayanımı ve Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi Sonuçları .....	53
4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....	56
5. KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ	

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1.1. Polipropilenin yer aldığı yapay plastik grubu (Saçak, 2002) .....	10
Şekil 1.2. Liflerin çekme kuvvetlerini bir köprü gibi aktarması (Fırat, 1996). ....	19
Şekil 1.3. Lifli betonun tipik gerilme şekil değiştirme diyagramı (Fırat, 1996).....	20
Şekil 2.1. Deneyde kullanılan polipropilen liflerin toplu görüntüsü .....	28
Şekil 2.2. Deneylerde kullanılan PP liflerin tekil (uzun liften kısaltılmış) görüntüsü.....	28
Şekil 2.3. Taş ocağının uydu görüntüsü (URL-2, 2017).....	29
Şekil 2.4. Gümüşhane Akçakale taş ocağı görüntüsü .....	30
Şekil 2.5. Kristalize kireçtaşı örneğin mikroskopik görünümü (Görüntü çift nikolde alınmıştır.).....	31
Şekil 2.6. Kristalize kireçtaşı örneğin mikroskopik görünümü (Görüntü tek nikolde alınmıştır.).....	32
Şekil 2.7. Biyomikritik kireçtaşı örneğin mikroskopik görünümü (Görüntü çift nikolde alınmıştır.).....	32
Şekil 2.8. Biyomikritik kireçtaşı örneğin mikroskopik görünümü (Görüntü tek nikolde alınmıştır) .....	33
Şekil 2.9. Agreganın tane boyutu dağılımı (granülometri).....	34
Şekil 2.10. Üretilen silindir ve kiriş numuneleri .....	38
Şekil 2.11. a. Polipropilen lifli beton üretimi, b. numunelerin küre konulması .....	38
Şekil 2.12. Polipropilen lif oranının değiştirilmesi ile elde edilen örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesinde izlenen yol.....	39
Şekil 2.13. Deneyde üretilen silindir beton numunesi.....	40
Şekil 2.14. Deneyde üretilen kiriş beton numuneleri .....	41
Şekil 2.15. Uygulanan yük altındaki silindir numune .....	42
Şekil 2.16. Deney numunesini yükleme düzeneği.....	43
Şekil 2.17. Uygulanan yük altında kiriş numunede meydana gelen çatlama .....	44
Şekil 2.18. Kırılan beton kiriş numunesi .....	45
Şekil 2.19. Kıvam deneyinde kullanılan silindir kap.....	46
Şekil 2.20. Sıkılaştırma Yöntemi; a) Sıkıştırılmış (sıkılaştırılmış) taze beton; b) Sıkılaştırma kıvam yönteminin uygulanması .....	47

Şekil 3.1. Silindir beton numunelerin birim kütlelerinin grafiksel gösterimi.....	50
Şekil 3.2. Kiriş beton numunelerin birim kütlelerinin grafiksel gösterimi.....	50
Şekil 3.3. Basınç dayanımı değerlerinin grafiksel gösterimi .....	54
Şekil 3.4. Eğilmede çekme dayanımı değerlerinin grafiksel gösterimi .....	55
Şekil 3.5. Eğilmede çekme sehim değeri değerlerinin grafiksel gösterimi .....	55

## TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Liflerin sınıflandırılması.....	2
Tablo 1.2. Değişik türdeki liflere ait fiziksel özellikler .....	2
Tablo 1.3. Bazı metalik liflerin tipik özellikleri .....	6
Tablo 1.4. Bazı cam liflerin tipik özellikleri.....	7
Tablo 1.5. Polimer liflerin fiziksel özellikleri .....	8
Tablo 1.6. Polipropilenin üstün ve zayıf özellikleri.....	11
Tablo 2.1. Deneyde kullanılan polipropilen liflerin özellikleri .....	27
Tablo 2.2. Deneyde kullanılan agreganın fiziksel özellikleri .....	30
Tablo 2.3. Kireçtaşının petrografik özellikleri.....	31
Tablo 2.4. Agregatane boyutu dağılımı .....	33
Tablo 2.5. Çimentonun genel özellikleri .....	36
Tablo 2.6. Numune kodları ve lif yüzdesi .....	40
Tablo 2.7. Standart kıvam aralıkları .....	40
Tablo 3.1. Beton numuneleri birim kütle değerleri .....	49
Tablo 3.2. Kıvam numunelerine uygulanan deney sonuçları .....	52
Tablo 3.3. Beton numuneleri dayanım deneyi sonuçları .....	54

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

$A_c$	: Numunenin üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı
$Al_2O_3$	: Alüminyum oksit
$\alpha$	: Isıl genleşme katsayısı
C	: Sıkıştırma oranı
$CaCO_3$	: Kalsiyum karbonat
CaO	: Kalsiyum oksit
CEM	: Çimento
$C_2S$	: Dikalsiyum silikat
$C_3S$	: Trikalsiyum silikat
$^{\circ}C$	: Santigrat derece
cm	: Santimetre
$cm^3$	: Santimetreküp
ÇLTB	: Çelik Lif Takviyeli Beton
d1	: Numunenin en kesit boyutu
d2	: Numunenin en kesit boyutu
dk	: Dakika
E	: Elek çapı
EN	: Europeane Norm, Avrupa Standartları
F	: Kırılma anında ulaşılan en büyük yük
$Fe_2O_3$	: Demir oksit
FRC	: Fiber Reinforced Concrete
$f_c$	: Beton basınç dayanımı
$f_{cf}$	: Eğilme dayanımı
G	: Elekten geçen agrega yüzdesi
g	: Kütle birimi, gram
GYFC	: Granüle Yüksek Fırın Cürufu
H	: Silme taze beton doldurulmuş kabın yüksekliği
h	: Sıkıştırılmış taze beton yüksekliği
I	: Mesnet silindirleri arasındaki açıklık
KAK	: Kazan Altı Külü
kg	: Kilogram
kN	: Kilo Newton
KYB	: Kendiliğinden Yerleşen Beton
m	: Metre
$m^3$	: Metreküp
mm	: Milimetre
$mm^3$	: Milimetreküp
MLTB	: Metal Lif Takviyeli Beton
MPa	: Mega Pascal
N	: Newton
N	: Normal
PP	: Polipropilen
PPL	: Polipropilen Lif
$\rho_s$	: Özgül kütle
R	: Gerekli yükleme hızı
R	: Çimentoda yüksek erken dayanım, korelasyon

R <sub>m</sub>	: Çekme dayanımı
s	: Gerilme artış hızı
Si	: Silisyum
SiO <sub>2</sub>	: Silisyum oksit
s/ç	: Su/çimento oranı
T	: Aderans dayanımı
TS	: Türk Standartları
TSEN	: Türk Standartları Avrupa Normları
V	: Lif hacmi
vb	: ve benzeri
vd	: ve diğerleri
ε	: Uzama oranı
%	: Yüzde

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Konuya Genel Bakış

Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde bazı mineral ve/veya kimyasal katkı maddelerinin birlikte karıştırılmaları sonucunda elde edilebilen gevrek bir malzemedir (Erdoğan ve Erdoğan, 2006). Beton yapısı gereği gevrek bir malzeme olduğu için yüzeyinde kılcal çatlamlar kaçınılmaz olarak görülmüştür. Betonun bu zayıf özelliğini iyileştirmek amacıyla çeşitli deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda çok eski bir uygulama olan lif kullanımı çözüm olarak bulunmuştur.

Önceki çağlarda zamanın olumsuz etkilerine karşı yapıları korumak için saman, hayvan kılları vb. doğal lifleri kullanarak mikro donatı tekniğini uygulamışlardır. MÖ 2500 yıllarına ait ülkemizde bulunan Trio kazılarında bu uygulamaya örnekler olduğu saptanmıştır. Burada yaşamlarını sürdüren insanlar pişmiş tuğla ile yapılan örme duvar üzerindeki sıvalarda keçi kılı ve saman çöpü kullanarak mikro donatı teknolojisinin ilk örneklerini gerçekleştirmişlerdir (Gököz, 1978).

Beton aşınma dayanımı, çekme dayanımı, tokluğu ve çatlama sonrası yük dayanımı düşük gevrek bir malzemedir (Nicholl ve Hall, 1976) Betonun bu zayıf özelliklerini iyileştirmek amacıyla mekanik özellikleri yüksek liflerin kullanılması uygun görülmüştür (Erbaş, 2003).

Lif; çeşitli şekil ve boyutlara sahip polimer, çelik, cam ve doğal malzemelerden elde edilen esnekliği, uzunluğu, bükülebilirliği ve dayanıklılığı olan bir malzemedir. Dayanım, tokluk, dayanıklılık ve süneklik gibi özelliklere sahip yapı arayışı, lifli betona olan ilginin artmasına neden olmuştur (Do, Chaal ve Aitcin, 1993; Singh ve Kaushik, 2003). Günümüzde de liflerin kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır (Gököz, 1978).

Lifler doğal ve yapay lifler olmak üzere 2'ye ayrılır. Doğal lifler; hayvan, bitki ve madensel gibi doğal kaynaklardan elde edildiği biçimi ile doğrudan kullanılabilen hammaddelerden elde edilir. Öte yandan yapay lifler beklenen özellikleri karşılamak üzere üretilen ve geliştirilen donatı gereçleridir (Acun, 2000).



Kullanım alanları ve özellikleri açısından farklılık gösteren birçok lif türü vardır. Bu lifleri farklı şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Kaynağına göre bir sınıflandırma örneğinin de olanaklı (Tablo 1.1.) olduğu anlaşılmaktadır (Bunsell, 1988).

Tablo 1.1. Liflerin sınıflandırılması (Bunsell, 1988)

Doğal Lifler			Yapay Lifler	
Bitkisel Lifler	Hayvansal Lifler	Madensel lifler	Cam Lifleri	Polimer Lifler
Akwara Bambu Hindistan cevizi Keten Jüt Sisal Şeker kamışı posası Ahşap (Selüloz)	Yün İpek Kıl	Asbet Metal lifler Karbon	–	Akrilik Aramid Naylon Polyester Polipropilen Poliüretan

Aşağıdaki tabloda (Tablo 1.2) da görüldüğü gibi çelik ve cam lifler çekme dayanımları en yüksek olan lif çeşitleridir. Çelik liflerin özgül kütlelerinin yüksek olması ise dayanıma olan etkisi açısından ayrıca değerlendirilmesi gerekir (Biber, 2001).

Tablo 1.2. Değişik türdeki liflere ait fiziksel özellikler (Biber, 2001)

Lif Cinsi	Çekme Dayanımı (Mpa)	Elastisite Modülü ( $10^3$ Mpa)	Maksimum Uzama (%)	Özgül Kütle ( $\text{g/cm}^3$ )
Akrilik	207-414	2,1	25-45	1,1
Asbestler	552-966	83-138	0,6	3,2
Pamuk	414-690	4,8	3-10	1,5
Cam	1035-3795	69	1,5-3,5	2,5
Naylon	759-828	4,1	16-20	1,1
Polyester	724-863	8,3	11-13	1,4
Polipropilen	690	0,14-0,4	10	0,95
Polietilen	552-759	3,5	25	0,90
Pamuk-Yün	414-621	6,9	10-25	1,5
Mineral yünü	483-759	69-117	0,6	2,7
Çelik	276-2760	200	0,5-35	7,8

## **1.2. Lif Çeşitleri**

### **1. Doğal Lifler**

At kılı ve saman kompozitlere en çok eklenen doğal lif türleridir. Farklı tür bitkilerden daha ekonomik bir şekilde modern teknoloji lifleri üretilmektedir. Örnek olarak çimentolu kompozitlerde kullanılan jüt ve bambu liflerinin üretiminin daha az enerjiye ihtiyaç duyduğu bilinmektedir (Türker ve Balanlı, 1992). Fakat bu liflerin uygulamasında görülen genel sorun, alkali ortamdan etkilenme eğiliminde olmalarıdır. Bu liflerin dayanıklılığını artırmaya yönelik olarak çimentonun alkalitesini düşürecek katkı maddeleri kullanılmıştır. Portland çimentosu ile kullanılan diğer doğal lifler ise; jüt, bambu, sisal, Hindistan cevizi, akwara, flax, şeker kamışı posası ve ahşaptır (Shah ve Balaguru, 1992).

Doğal liflerin özellikleri:

- Su buharını ve sıcaklığı kolay emerler,
- Donma noktasının altında kırılma ve kopma yapmazlar,
- Sıcaklık karşısında yumuşamazlar,
- Yüksek sıcaklıkta boylarında değişim olmaz,
- Güneş ışığına duyarlıdırlar (Türker ve Balanlı, 1992).

#### **a. Bitkisel Lifler**

##### **Akwara**

Doğal liflerden olan akwara ise bitki sapından elde edilir. Dünyada en fazla Nijerya'da yayılım göstermektedir. Akwara lifleri nemli, kuru ve alkali ortamlarda, kalıcılıklarını yitirmezler. Bu liflerin çok düşük elastisite modülüne sahip olmaları, mühendislik açısından olumsuz olarak karşılanmaktadır (Shah B., 1995).

##### **Bambu Lifleri**

Bambu bitkisi subtropikal ve tropikal bölgelerde yetişir ve yükseklikleri 15 m'ye kadar çıkabilmektedir. İçi boş olan sapların çapları 1-10 cm kadar farklılık gösterebilir. Bu liflerin düşük elastisite modülüne sahip olmalarına karşın çekme dayanımları yüksektir (Shah B., 1995).

### **Hindistan Cevizi Lifleri**

Olgunlaşmamış Hindistan cevizinin dışında bulunan sert kabuğun lifleri mekanik işlemler yardımıyla mümkün olduğu gibi suya batırılarak da çıkartılır. Düşük elastisite modülüne sahip olan bu lifler ayrıca değişen nem ve sıcaklık koşullarından etkilenmektedirler (Shah B., 1995).

### **Keten Lifler**

Keten liflerinin elastisite modülleri ve çekme dayanımları yüksektir. Benzer şekilde, betonda güçlendirici bir etkiye sahip olan su sazı ve fil çimi gibi bitkilerden oluşan lifler de kullanılmaktadır. Bitkilerin sap kısımlarında yoğun olarak bulunan lifler buradan el yardımıyla çıkarılmaktadır (Shah B., 1995).

### **Jüt Lifleri**

Jüt liflerinin elde edildiği bitkiler Hindistan, Bangladeş, Tayland ve Çin’de yetişir. Bu bitkilerin uzunlukları 2.4 m’ye, sap çapları ise 25 mm’ye ulaşabilmektedir. Kabukları lifli yapıya sahiptir. Suyu daldırıldığında kabuklar içine su alarak liflerin gevşemesine sebep olur. Bu lifler el yardımıyla ayrılarak kurutulmaya bırakılır. Bu işlem için son dönemlerde mekanik aletler de üretilmiştir. Çekme dayanımı yüksek olan jüt lifleri halat, giysi, çanta, çuval yapımında da kullanılmaktadır (Shah B., 1995).

### **Sisal Lifleri**

İsveç ve Avusturalya’daki araştırmacılardan bazıları çalışmalarında sisal lifleri ile yapılan çimentolu karışımların özelliklerini araştırmışlardır. Sisal lifleri Agave, bitkisinin yapraklarından elde edilir. Lignin, pektin ve hemiselülozdan meydana gelen bu lifler alkali ortamda dayanıklı olmamalarına karşın mekanik anlamda güçlü bir yapıya sahiptirler (Shah B., 1995).

### **Şekerkamışı Posası**

Suyu sıkılan şekerkamışından elde edilen posalı lif malzemenin kaynağını oluşturur. Bu posalı lif %50 lif içeriğine sahiptir. Şekerkamışının olgunluğuna, bitkinin değirmende çekilme verimliliğine ve türüne bağlı olarak elde edilen liflerin de fiziksel özellikleri değişmektedir (Shah B., 1995).

### **Ahşap Lifleri (Selüloz)**

Beton endüstrisinde dünyada en çok tercih edilen doğal liflerin başında ahşap lifler gelir. Ahşap lif, Portland çimento kompozit malzeme üretiminde sık olarak kullanılmaktadır. Özellikle asbest liflerin yerini alabilmeleri önemli sayılmaktadır. Göreceli yüksek çekme dayanımına ve elastisite modülüne sahip olmaları yanında kolay bulunabilirlikleri, tercih edilme nedenlerindendir. Alkali ortamda parçalanabilir olması ise en büyük sakıncasıdır. Liflerin parçalanabilir olması, son zamanlardaki gelişmelerle kontrol altına alınabilmektedir (Shah B., 1995).

### **b. Madensel Lifler**

#### **Asbest**

Doğal lif olan asbestin nitelikleri; çekme dayanımı  $400-500 \text{ N/mm}^2$ , basınç dayanımı liflere paralel doğrultuda, çekme dayanımının en az  $1/3$ 'ü kadar olup, geçirimsizlik (su ve gazlar etkisinde) derecesi yüksek, kolay dilimlenebilir olarak ele alınmıştır (Shah B., 1995).

### **Metal Lifleri**

Birçok kullanım alanı olan metal lifler, özellikle mühendislik uygulamalarında tercih edilmektedir. Metaller, fiziksel ve mekanik özelliklerin mükemmel bir bileşimine sahip oldukları gibi olabildiğince uygun fiyata da elde edebilirler. Plastik şekil değiştirebilme özelliği metallerin önemli niteliklerinden bir tanesidir. Böylelikle, çok basit şekillerden başlayarak çok karmaşık şekillerde üretilebilmesine olanak sağlar. Günlük hayatta birçok basit aletlerin yapımında kullanılan metaller ayrıca uçak gövdesinden büyük petrol ve gaz borularına kadar da üretimi ve uygulaması ile çok çeşitli alanlarda karşılaşılmaktadır. Metaller lif biçimi il de uzun yıllardır kullanılmaktadır. Mesela bakır ve alüminyum lifler elektrik uygulamalarında, kablo olarak asma köprülerde, tunç lifler lambalarda, çelik lifler ön gerilmeli yapılarda, süper iletkenlerde ve birçok çeşitli müzik aletlerinin telinde tercih edilmektedir. Bazı önemli metalik liflerin özellikleri Tablo 1.3.'de verilmiştir (Chawla, 1998).

Betona eklenen metalik liflerin en çok tercih edileni çelik liflerdir. Ortaya çıkan ürün de kısaca MLTB (metal lif takviyeli beton) veya ÇLTB (çelik lif takviyeli beton) diye isimlendirilir. Çelik lifler, aynı uzunluktaki polimer ve cam liflere göre daha sert ve daha kalındır. Bu liflerin çapları 0,2 ile 1,0 mm arasındadır. Uzunlukları ise genelde 20 ile 50 mm

arasında farklılık göstermektedir. Amorf yapıda şerit biçiminde veya eritip çekme yöntemi ile üretilen çelik liflerin, üretim yöntemine göre belirlenen farklı şekilleri ve boyutları vardır. Genişlikleri yaklaşık 1,8 mm, kalınlıkları ise 0,025 mm ile 0.100 mm arasında düz kesitli yonga yapıya sahip, 10 ile 60 mm arasında değişen boylarda üretilen çelik lifler de bulunmaktadır.

Çelik liflerin karıştırma esnasında bükülmeye karşı gösterdikleri yüksek dirençleri ve sertlikleri bunların narinliğine bağlı olarak farklılık gösterir. Narinlik oranı lifin boyunun çapına bölünmesiyle ( $l/d$ ) bulunur. Bu nedenle bu liflerin narinlik oranları da 20 ile 250 arasında değişiklik göstermektedir (Bartos, 1992).

Tablo 1.3. Bazı metalik liflerin tipik özellikleri (Chawla, 1998)

Metal	Özgül Kütle( $g/cm^3$ )	Ergime Sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )	Elastisite Modülü (Mpa)	Çekme Dayanımı (Mpa)
Al	2,7	6600	70000	300
Be	1,8	1350	310000	1100
Cu	8,9	1083	125000	450
Mo	10,2	2625	330000	2200
W	19,3	3410	350000	2890(<250 $\mu m$ ) 3150(<125 $\mu m$ ) 3850(<25 $\mu m$ )
0,9 % Karbon çeliği (0,1 mm çapında)	7,9	1300	210000	4000
Paslanmaz çelik (0,05 mm çapında)	7,8	1535	198000	2400

### Karbon Lifler

Portland çimentolu karışımlarda olmak koşuluyla 1980’li yılların ortasına kadar yüksek fiyatlı karbon lifler kullanıma sunulmuştur. Daha sonraki zamanlarda kömür ziftinden ve petrol ürünlerinden daha düşük maliyetli karbon lifler üretilmiştir. Ancak polimer liflerinden maliyeti daha yüksek olmasından dolayı kullanımı yaygınlaşmamıştır. Karbon lifleri özel uygulamalar için (yüksek çekme dayanımı ve E-modülleri gibi) büyük önem taşımaktadır. Bu liflerin elastisite modülü çelik kadar yüksek hatta 2 ya da 3 katı kadar daha güçlü olabilmektedir. Pek çok kimyasal etkiye karşı oldukça dirençli ve hafiftirler. İplik formunda üretilirler (Shah B., 1995).

## 2. Yapay Lifler

Lif üretiminde kullanılacak hammadde sıvı ya da yarı sıvı hale getirilir. Kuru çekme, yaş çekme gibi farklı işlemler ile lifler oluşturulur.

### a. Cam Lifleri

Beton uygulamalarında son zamanlarda cam lifleri kullanımı tercih edilmemektedir. Çünkü betonun alkalitesi bu lifleri zamanla çözmemektedir. Öte yandan zirkon camı gibi dayanıklı türler bu alkaliteye karşı direnç göstermesi için üretilmeye başlanmıştır (Türker ve Balanlı, 1992).

Tablo 1.4. Bazı cam liflerin tipik özellikleri (Türker ve Balanlı, 1992)

Cam Lifi Tipi	Özgül Kütle (g/cm <sup>3</sup> )	Çekme Dayanımı (Mpa)	Elastisite Modülü (Mpa)
E	2,54	1700-3500	69000-72000
S	2,48	2000-4500	85000
C	2,48	1700-2800	70000
Cem-fil	2,70	-	80000

### b. Polimer Lifler

Sentetik polimer lifleri tekstil ve petrokimya endüstrisinde yapılan araştırmalar sonucunda elde edilmiştir. Başlıca polimer liflerin bazıları; akrilik, aramid, naylon, polyester, polietilen ve polipropilendir. Çok yüksek çekme dayanımlarına sahiptirler. Ancak aramid lifi hariç bu liflerin büyük kısmı düşük elastisite modülüne sahiptir. Uzunluk ve çap oranlarına bağlı olarak polimer liflerin nitelikleri değerlendirilebilir. Çapları mikron düzeyindedir. Bu lifler tekil ya da lif hamuru halinde bulunurlar. FRC'de (Fiber Reinforced Concrete=Lif Katkılı Beton) kullanılanların uzunlukları 12-50 mm arasında değişir. Bazı lif tipleri 1-2 mm kadar çok kısa olabildiği gibi çok uzun olanları da vardır. Uygulama yerinin gereksinimine göre tipler çoğaltılabilmektedir (Shah B., 1995).

Tablo 1.5. Polimer liflerin fiziksel özellikleri (Shah B., 1995)

Lif Tipleri	Etkili Çap (10 <sup>-3</sup> mm)	Özgül Kütle (g/cm <sup>3</sup> )	Çekme Dayanımı (Mpa)	Elastisite Modülü (Mpa)	Nihai Uzama (%)
Akrilik	13-104	1,17	207-1000	14600-196000	7,5-50,0
Aramid I	12	1,44	3620	62000	4,4
Aramid II	10	1,44	3620	117000	2,5
Naylon		1,16	965	5170	20,0
Polyester		1,34-1,39	896-1100	17500	
Polietilen	25-100	0,96	200-300	5000	3,0
Polipropilen		0,90-0,91	310-760	3500-4900	15,0

### **Akrilik**

Akrilik lifler, %85 oranında akronilit nitelik gösterirse bunlara akrilik lifler denir. Bu lifler sudan daha yoğundur ve aramid hariç diğer polimer liflere göre daha yüksek elastisite modülüne sahiptirler. Sahip oldukları yüksek elastisite modülü sayesinde FRC (Fiber Reinforced Concrete=Lif Katkılı Beton) mekanik özelliğini artırır. Eğilme ve çekme dayanımı yükselmiş olur. Halat şekline sahip bu lifler diğer liflere kıyasla pahalıdır (Shah B., 1995).

### **Naylon**

Naylon lifler naylondan elde edilirler. Farklı uzunluklarda ve tekil şekilde bulunan bu liflere uygulama alanlarında sıklıkla karşılaşılır. Çok ince olan bu liflerin uzunlukları 20 mm'yi geçmemektedir (Shah B., 1995).

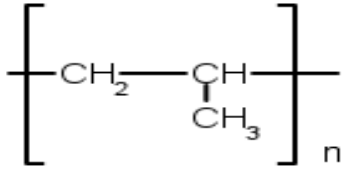
### **Polyester**

Polyester lifler etil asetat monomerlerinden oluşurlar. Üretim tekniklerine bağlı olarak fiziksel ve kimyasal özellikleri farklılık gösterebilmektedir. Yüksek elastisite modülüne sahiptirler. Beton ile etkileşimleri çok iyidir. Bu özellik beton uygulamaları için çok önemlidir (Shah B., 1995).

### **Polipropilen**

PP lifler hem hamur hem de tekil biçiminde bulunurlar. Bu liflerin uzunlukları 3-50 mm arasında değişmektedir. Uzun lifler tekil, kısa lifler ise hamur halde bulunur. Polipropilen hamuru polietilen hamuruna kıyasla daha düşük dayanıma sahiptir (Shah B., 1995).

Polipropilen lifler doğrusal dizilimli alkenler ailesinden olup  $C_nH_{2n}$  temel bileşiminden meydana gelen parçacıkların çoğaltılmasıyla (polimerizasyon) ortaya çıkmaktadır (URL-3). Kendisine yakın özellikler gösteren polietilene göre dayanımı daha yüksektir. Bazı katalizörlerin yardımıyla metilen grubunun ( $CH_3$ ) özdeş sıralı (izotaktik) dizilimi iç yapıda kristalleşme benzeri yapılanmaları sağlamakta ve bu yapılanma da %70 oranına çıkabilmektedir (Karsten, 1992; URL-3). Bu da malzemeye düzensiz (ataktik-gelişigüzel) dizilime göre daha üstün özellikler kazandırmaktadır. Öte yandan tikel kristalleşme düşük oranda da olsa dönüşümlü (sindiyotaktik) dizilimle de kendini göstermektedir (URL-3). Kimyasal olay düşük basınç hatta vakum altında gerçekleştirilirken, temel bileşiğin



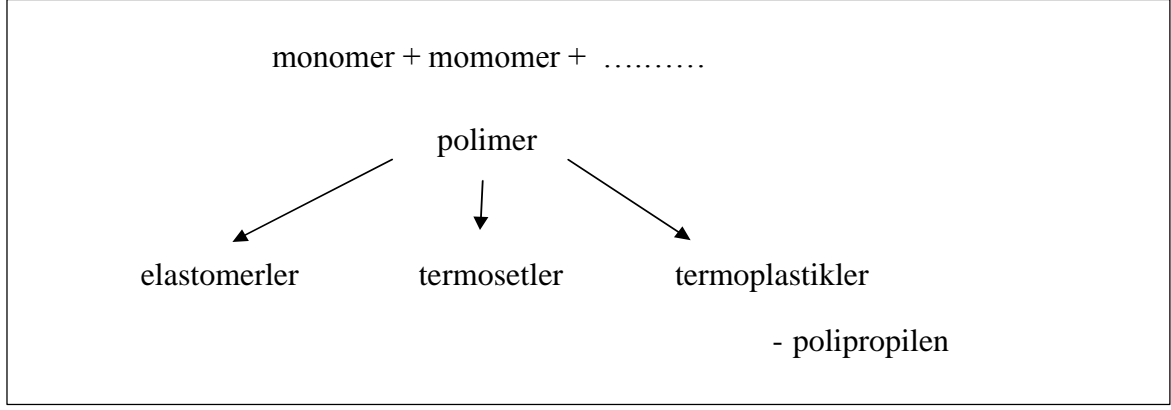
1.1

şeklinde yinelendiği görülmektedir (Karsten, 1992).

Polipropilen, pek çok monomerin birleşerek kimyasal tepkime sonucunda meydana getirdiği, yapay olarak elde edilen bir polimerdir (Saçak, 2002). Polimerler fiziksel olarak üç farklı grupta incelenebilmektedirler. Bunlar elastomerler, termosetler ve termoplastikler olarak gruplandırılırlar. Polipropilen termoplastikler (doğrusal dizilim) içinde yer almaktadır (Şekil 1.1).

Anılan bileşim temelinde PP,  $\theta_g=0$  °C sıcaklık düzeyinde cam özelliği gösterirken  $\theta_m=184$  °C dolayında ergime duruma gelmektedir (URL-3). Öte yandan PP'nin soğuk-viskozite özelliği PE'ye göre daha düşük iken kullanım sıcaklığı en çok 100 °C ya da cam lif katkısıyla 110 °C'ye çıkabilmektedir (Klausen vd., 2013). Özgül kütlesi  $\rho_s=0.91$  g/cm<sup>3</sup> dolayında olan PP'nin  $\alpha=100-200 \cdot 10^{-6}$  K<sup>-1</sup> ısı genleşme katsayısı PE'ye göre daha düşüktür. Öte yandan çarpma dayanımı da PE'ye göre daha düşük olan PP, yüzey sertliği, çekme dayanımı ve rijitlik özellikleriyle PE'ye göre üstünlük göstermektedir (Klausen vd., 2013).





Şekil 1.1. Polipropilenin yer aldığı yapay plastik grubu (Saçak, 2002)

Polipropilenin teknik anlamda ne şekilde elde edildiğine bakılacak olursa saf propilen gazının basınç altında katalizör kullanılarak polimerize edilmesiyle oluştuğu söylenebilir. Böylelikle monomerden bir dizi kimyasal reaksiyon sonucunda polimer elde edilmiş olunur. Günlük yaşantıda kullanılmakta olan polimer malzemelerin, yaklaşık yarısının hammaddesini bu malzeme oluşturur.

Polipropilen hammadde olarak elastiklik ve dayanıklılık beklenen ürünlerin üretiminde kullanıldığı gibi çeşitli oranlarda ve şekillerde başka malzemelerin içerisine katılarak da kullanılmaktadır. Bu malzeme inşaat mühendisliği ve uygulamaları bakımından incelendiğinde gerek polipropilen ürünler olarak gerekse genel mühendislik malzemeleriyle birlikte kullanılmak suretiyle çok geniş bir kullanım alanına sahip olduğu görülmüştür (Bahadır, 2010).

Polipropilenin öne çıkan önemli özellikleri aşağıdaki gibidir (Bilgiç, 1999).

- Çekme payı (uzama oranı) milimetrede 0,006 mm ile 0,02 mm arasında farklılık göstermektedir.
- Çekme dayanımı 450 MPa ile 900 MPa arasında farklılık göstermektedir.
- Ergime noktası sıcaklığı yaklaşık olarak 162 °C'dir.
- Tutuşma noktası sıcaklığı ise 593 °C dolaylarındadır.
- Yoğunluğu 0,90 g/cm<sup>3</sup> civarında değişmektedir.
- Elastisite modülü 3500–4000 MPa arasındadır.

Polipropilenin üstün özelliklerinin yanında zayıf özellikleri de mevcuttur. Bu özelliklerden öne çıkan bazıları aşağıdaki Tablo 1.6.'da verilmiştir.

Tablo 1.6. Polipropilenin üstün ve zayıf özellikleri (Bilgiç, 1999)

Üstün Özellikleri	Zayıf Özellikleri
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektrik iletkenlikleri düşüktür.</li> <li>• Nemlenmedikleri için liflerde statik elektriklenme sorunu vardır.</li> <li>• Yorulma dirençleri çok iyidir.</li> <li>• Uygun fiyata sağlanabilirler.</li> <li>• İyi derecede darbe dayanımına sahiptirler.</li> <li>• Sürtünme katsayıları düşüktür.</li> <li>• Çok iyi elektrik yalıtımı sağlarlar.</li> <li>• Kimyasal dirençleri iyi sayılır.</li> <li>• Mikroorganizmalara karşı dayanıklıdır.</li> <li>• Nem etkisine dayanıklıdır.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• UV ışını karşısında direncinin düşük olması.</li> <li>• Yüksek ısı genleşmesinin olması.</li> <li>• Boyanması ve kaplamasının kolay olmaması.</li> <li>• Dış hava koşullarına karşı direncinin düşük olması.</li> <li>• Yanıcı bir özelliğe sahip olması.</li> <li>• Klorlu çözücülerle reaksiyon göstermesi.</li> </ul>

PP'lerin elektrik yalıtımı, kimyasal etkilere ve çözeltilere karşı dirençleri yeterli düzeyde sayılırken, güçlü asitler ve oksidasyon maddeleri karşısında duyarlı olarak görülmektedir. Öte yandan PP benzin ve benzol etkisinde dirençsiz sayılırken artan sıcaklıkta yanıcı, aşırı soğukta da kırılgan durumdadır. PP için üstün bir özellik gerilme etkisinde erken çatlamaya uğramamasıdır. PP ışık ve UV ışınları etkisinde dirençli sayılmamakla birlikte farklı eklemelerle (additive) direnç kazanabileceği bilinmektedir. Genel olarak sentetik (polimer) liflerin 1/3'ü PP kökenli olup bunlar eriyik durumda dökme-çekme ya da itme-çıkarma yöntemleriyle üretilmektedir (Klausen vd., 2013). PP-lif üretiminde bir diğer yöntemde önceden hazırlanan ince şeritlerin yüksek sıcaklıkta çekilip bükülerek dış yüzey profilli olarak şekillendirilmesidir. PP elektriksel kutup özeliği taşımamaktadır; dolayısıyla kaynak yoluyla birleştirilebilir, ancak yapıştırma yolu ile birleştirme de yeterli güven vermemektedir. Diğer yandan PP'den merdaneleme yöntemi ile inceltirilmiş yüzeysel elamanlar da (membran) üretilmektedir. Bunlar ayrıca çekilip gerdirilerek 20 ile 100 µm kalınlığında ince muşamba elamanlara dönüştürülebilmektedir.

### **Polipropilenin Genel Kullanım Alanları:**

Polipropilen tekstil ve plastik endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir polimerdir. Polipropilen liflerin tercih edilme nedenleri ise; düşük yoğunlukları, kolay işlenebilirlikleri, yüksek mukavemetleri, düşük maliyetleri ve iyi derecede kimyasal dayanıklılıklarıdır. Günümüzde de çok geniş bir kullanım alanı vardır ve bunların en önemli olanları aşağıda sıralanmıştır.

- Tekstil sanayi (halı, döşemecilik, temizlik bezi, çocuk bezi).
- Ambalaj malzemeleri (şeffaf plastik torba, meşrubat şişe kapakları, metalize edilmiş ambalajlar).
- İnşaat sektörü (sıcak su tesisat borusu, yağmur olukları, cam elyafı, yalıtım panelleri).
- Ev gereçleri (saklama kapları, boya kovaları, meşrubat şişeleri).
- Otomotiv sanayi (tampon ve çeşitli iç aksam).
- Tıp sektörü (ameliyat dikiş ipliği).
- Günlük yaşantıda kullanılan birçok malzemenin üretiminde hammadde (jelatin, kauçuk).
- Barajlarda yüksek dayanımlı ve büyük çaplı boruların yerine kullanılması.
- Ayrıca polipropilen, kompozit malzemeler elde etmek gayesiyle lif haline getirilerek inşaat mühendisliği malzemeleri içerisine de eklenmektedir.

PP büyük oranda kimyasal (sentetik) lif üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca çok çeşitli ürünlerin paketlenmesinde, gerek yumuşak gerekse katı durumda görev almaktadır. Makine ve motorlu taşıt üretiminde PP paketlenmesinde gerek yumuşak gerekse katı durumda görev almaktadır. Makine ve motorlu taşıt üretiminde PP çamaşır makinası davlumbazı, ısı kanal sistemleri (termik kanal) vb. elektroteknik alanında kablo, trafo şasesi, kondansatör folyesi vb. yapımında yer almaktadır. İnşaat teknolojisinde ise boru ve bağlantı parçaları, donanım elamanları üretiminde, spor alanları ve yollarının yüzey kaplamasında vb. yerlerde uygulanmaktadır. PP folyeleri iyi derecede yalıtkan olmaları nedeniyle yüksek gerilim hatlarında, bilişim teknolojisi ve elektroteknik uygulamalarında sıkça tercih edilmektedir. Bundan başka etilen disiklopentadiyen ve heksadien gibi yapılarda ortak ağ oluşturan PP yıpranma ve ozon etkisine karşı direnç kazanmaktadır.

### 1.3. Konu Üzerinde Yapılan Araştırmalar

Yukarıda da belirtildiği gibi polipropilenin geniş kullanım alanının yanında çeşitli inşaat mühendisliği uygulamalarında lif haline getirilmiş şekilde de kullanımı yaygınlaşmıştır. Günümüzde en çok kullanılan yapı malzemesi olan beton; çimento, agrega, mineral ve kimyasal katkı maddelerinin karışımından meydana gelen kompozit bir malzemedir. Betonun özellikleri çimento, su ve diğer karışım malzemeleri arasında gerçekleşen kimyasal tepkilere bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu maddelerin kullanımlarındaki gaye betonun zayıf özelliklerini iyileştirmek, kullanım amacına uygun yeni nitelikler kazandırmaktır (Bahadır, 2010).

Genel olarak beton teknolojisinde lif uygulamasının amacı betona elastoplastik bir özellik kazandırarak malzemenin sertlik derecesini düşürmek ve sünek davranmasını sağlayarak daha fazla enerji yutma yeteneğini (tokluğunu) artırmaktır. Bunun yanında malzemenin çarpma dayanımının yükseltilmiş olması da ayrıca sünekliğinin iyileştirilmiş olduğunu göstermiş olmaktadır (Klausen vd., 2013).

Polipropilen lifler genel olarak iki farklı yapıda üretilip kullanılmaktadırlar. (Hsie, Tu, ve Song, 2008). Bunlar literatürde “monofilament” ve “staple fiber” olarak sınıflandırılmıştır. Monofilament (çubuk lif) olarak bilinenlerinin ince uzun (çubuk) yapısında olup, boyları 4–8 cm arasında değişmektedir. Bunlar daha sert yapıya sahip olup, beton karışımı içinde bağdaşık olarak rahat bir şekilde dağılabilmektedirler. “Staple fiber” (saçak) olarak bilinen elyafımsı türündeki polipropilen lifler ise beton içerisinde kümelenmiş olarak bulunurlar. Boyları 1-3 cm arasında değişmekte olup bu lif türü betona karışım suyu ile birlikte verilebilir (Bahadır, 2010).

Beton içerisinde çelik teller (Altun, 2006) yapay ipek (poliakrilonitril) lifler, camyünü (fiberglas) lifler (Esen, 2003a) kullanılmaktadır. Bu kullanılan lifler betonun mekanik, fiziksel ve ısı özelliklerine olumlu birçok etki etmektedir. İlaveten liflerin betonun katılma süresi ve işlenebilmesi üzerinde de etkileri vardır. Çelik tellerin kullanımında özellikle yüzeye yakın yerlere yerleşmiş liflerin paslanma tehlikesi olduğundan bu durum diğerlerine göre bir sakınca olarak görülebilir. Beton gibi diğer çimento esaslı malzemeler de çekme dayanımı ve çekme birim şekil değiştirme oranı çok düşük gevrek malzemelerdir. Geleneksel olarak beton yorulma dayanımı, çekme dayanımı, şekil değiştirme sığası, kayma dayanımı, aşınma dayanımı, çatlama sonrası yük taşıma dayanımı ve tokluk açısından düşük başarımlar gösterir. Gerekli görülen yerlerde betona farklı malzemelerden üretilmiş ve teknik

özellikleri yüksek liflerin ilave edilmesi sonucu betonun az önce sözü edilen zayıf özelliklerini iyileştirme yoluna gidilmiştir. Böylelikle betonda başta polipropilen lif, karbon lif, cam lif ve çelik lifler olmak üzere kullanılmaya başlanmıştır. İnşaat Mühendisliği alanında, elde edilen kazanımlar bakımından lifli betonların önemi hızlı bir artışa geçmiştir (Yardımcı, 2007).

Lifli betonlarda, bütün lif çeşitlerinde karşılanması gereken en önemli koşul, liflerin beton içerisinde bağdaşık olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonra da korunabilmesidir. Bağdaşık bir şekilde dağılan lifler, beton içerisinde meydana gelen çatlakları engellemekte ve çatlakların beton içerisinde ilerlemesini yavaşlatarak betonu daha dayanıklı hale getirmekte ve uygulanan azami yükten sonra da artan deformasyonlar neticesinde yükün azalma hızı, normal betona göre çok daha yavaşlamaktadır (Ünal vd., 2006).

Polimer lifler içerisinde, betonla kullanılan ve daha doyurucu sonuçlar veren çeşit PPL'dir. Bu liflerden elde edilen katkılı betonlarda basınç dayanımı ve elastisite modülleri fazla bir değişim göstermemiş olup, yarmada çekme dayanımı yükseliş sergilemiştir. Ayrıca yüksek dayanımlı betonlarda taze betonun özelliklerini iyileştirmek için bu çeşit yapay liflerin kullanımı tercih edilmektedir (Sarı, 2013).

Polipropilen (PP) lifler oldukça yüksek dayanımları, alkali ortamda iyi direnç göstermeleri ve uygun fiyatlarıyla önemli bir donatı malzemesi özelliğini taşımaktadır. Ayrıca, polipropilen donatı malzemesinin, yüzeyinin su itici (hidrofob) özelliği ve çimento bağlayıcılı matris malzemesinin içinde ıslanarak topaklanmaması da öncelikli seçenekler arasında olmasını sağlamaktadır (Ersoy, 2001).

Betonarme yapılar proje esnasında yaklaşık olarak hesaplanmış sabit ve hareketli yükler altında kalacakları düşünülerek boyutlandırılır ve donatıları bu yüklere göre belirlenir. Donatı denince ilk akla gelen TS 708'de belirtilen donatı çelik çubuklarıdır. Ancak son yıllarda betonarmenin donatılması "ana" donatı ve "yan" donatı yöntemleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Ana (aktif) donatı uygulaması yukarıda da belirtilen ve TS 708'de geçen donatı çelikleriyle gerçekleştirilir. Bu ana donatılar bilindiği gibi betonarme elemanlarda çekme meydana gelmesi mümkün bölgelerde, bu gerilmeleri önleyecek şekilde konumlandırılır. Ayrıca basınç gerilmelerine karşı az da olsa yarar sağladıkları düşünülür, ancak genellikle hesaplamalarda çok dikkate alınmaz.

Yan (pasif) donatılar ise cam elyafı, çelik teller, polipropilen lifler ve poliakrilonitril lifler olarak düşünülebilir (Şengül, 2005; Esen Y. 2003b). Yan donatı yöntemi betonarme elemanlarda, beton karışımı içinde bir ağ yapısı oluşturarak hem çekme gerilmelerini önlemede ana donatı çeliklerine katkı sağlarlar, hem de beton içerisindeki üç boyutlu ağ yapılarına sahip olması sebebi ile basınç dayanımının yükseltilmesinde de etkili olurlar. Ayrıca pasif donatının meydana getirdiği bu ağ yapısının betonun sadece mekanik özelliklerine değil fiziksel ve ısısal özelliklerine de etkisi küçümsenemez. Betonun oluşturan agrega, su, çimento gibi malzemelerden iri agrega taneleri, beton dökümü gerçekleşikten sonra yer çekimi nedeniyle aşağıya doğru bir yönelme eğilimi göstermektedir. İri agreganın aşağıya doğru hareket eğilimi, beton karışımı içerisinde bulunan liflerin oluşturduğu ağ yapısı sayesinde engellenir. Ayrıca betonarme elemanlarda ana donatı ve beton yüzeyi arasında pas payı denilen bir beton örtüsü oluşmaktadır ve bu kısım zamanla çatlayıp dökülme tehlikesiyle karşı karşıya kalmaktadır. Ancak kullanılan lifler sayesinde yüzeye yakın bu beton örtü iç kısımlara bir ağla örülüyormuşçasına bağlanır ve bununla birlikte kopma tehlikesinin de önüne geçilmiş olur.

Şu halde beton içerisinde kullanımı tercih edilen polipropilen lifler mikro lifler ve makro lifler olmak üzere iki bölümde ele alınabilir. Mikro lif karışımı 1 m<sup>3</sup> beton içerisine 0.60–0.90 kg arasında lif ilave edilerek elde edilir. Daha çok “staple fiber” olarak bilinen elyafımsı lifler kullanılmak suretiyle uygulamış olur. Makro lifler ise çubuk lif olarak 1 m<sup>3</sup> beton içerisine 1,5–1,8 kg arasında ilave edilerek uygulanır. Bu karışım daha dayanıklı olup daha iyi kenetlenme özelliği gösteren tekil liflerin kullanılmasıyla elde edilir. Beton dökümü gerçekleştirildikten sonra erken dönemde meydana gelen kılcal büzülme çatlaklarını veya daha geç dönemde yapının kullanım süresi boyunca etki altında kalacağı dış koşullardan (donma-çözülme) dolayı oluşması muhtemel çatlakları engellemede mikro lif yapısı önemli bir rol oynar ve bu sebeple beton dayanımının düşmesini önlemiş olur. Lifler ilk günlerde, kalıptan çıkarma işlemi esnasında beton elemanların köşe ve kenarlarından kırılıp dökülmesini engeller. Bunun yanı sıra yukarıda da bahsedildiği üzere taze beton elemanları içerisinde ayrışmanın (boyutlanma) meydana gelmesine de önemli ölçüde engel olur.

Makro liflerin de daha kalın olmaları nedeniyle yapının kullanım süresince karşılaşması olası yüklerden dolayı meydana gelecek çatlakları önlemekte etkili oldukları bilinmektedir. Özetle mikro lifler betonun daha çok fiziksel etkilerden muhafaza ederken,

makro lifler beton elemanın daha çok mekanik yük etkisinde dayanım kaybını engellemiş olur.

PPL'nin pasif donatı olarak kullanılmasının, betonun ısı özelliklerine de önemli katkısı olmaktadır. Lif kullanılan betonların boşlukluları daha az ve homojen bir yapıya sahiptirler; böylelikle ısı geçirgenliğini az da olsa artırmış olurlar. Meydana gelen yangın sırasında polipropilen lifler eriyerek küçük hava boşluklarının oluşmasını ve betonun patlama tehlikesini ortadan kaldırıp yangın güvenliği yükseltmiş olurlar.

Başka bir çalışmada da PP lif sıcaklık yükselirken ( $\theta \geq 165^\circ\text{C}$ ) ergime aşamasına girmekte ve yerinde boşluk oluşturarak sıcaklık artışını yavaşlatabilmekte olduğu sonucuna varılmıştır. Öte yandan lif malzemelerin, özellikle de polimer liflerin E-modüllerinin düşük olması (3500-3700 MPa) nedeniyle yük altında kolayca beton içerisinden sıyrılıp çıktıkları böylece de yeterince aderans sağlanamamış olduğundan çekme gerilmelerine karşı beklenen dayanım artışını vermedikleri kaynaklarda dile getirilmektedir (Klausen vd., 2013).

Şu hâlde PP liflerin sadece ince taneli taze beton özelliklerini (büzülme ve çatlamaya karşı) iyileştirmeden öte sertleşmiş betonun da mekanik özelliklerine belli oranda katkıda bulunabilmesi için yeterince uzunluğa ve yüzey pürüzlüğüne sahip olması gerektiği vurgulamaktadır. Buna göre PP liflerin en azından bir “eşik uzunlukta” olması istenirken, bunun da lif çapına orantılı bulunması gerektiği söylenmektedir (Klausen vd., 2013). Kaynak bu “eşik uzunluğu” kritik uzunluk (critical length) olarak vermekte iken bir diğer kaynak anılan boy ve çap oranını çekme dayanımı ile aderans arasındaki ilişkiyle açıklamaktadır (Scholz, 2007).

Buna göre bağıntı;

$$\frac{l}{d} = \frac{R_m}{2T} \quad \text{şeklinde kurulmaktadır (Scholz, 2007).} \quad 1.2$$

Burada “ $l$ ” lif boyunu (uzunluğu) “ $d$ ” lif çapını “ $R_m$ ” çekme dayanımı ve “ $T$ ” de aderans dayanımını ifade etmektedir. Bu çalışmada bilinçli olarak göreceli kısa PP lifler kullanılmış olup bunların boyları 25 mm, çapları 1 mm kadar olup narinliği  $l/d=25$  değerindedir. Yukarıdaki bağıntıya göre aderans dayanımı

$$T = \frac{d \cdot R_m}{2l} \text{ N/mm}^2 \quad \text{olarak eşitlenmektedir (Scholz, 2007).} \quad 1.3$$

Burada kaynaklar  $R_m = 650-700 \text{ N/mm}^2$  arasında vermektedir; Buna göre

$T = 13-14 \text{ N/mm}^2$  arasında çıkmakta olup bunda göz ardı edilmeyecek bir pay da yüzey pürüzsüzlüğünden kaynaklanmış olsa gerekir. Nitekim elde bulunan PP lifler kıvrımlı-bükümlü bir yapı yerine daha çok boğumlu-düz bir yüzeye sahip görünmektedirler. Bu da üretim aşamasında ince dilim (kuşak, band) durumundaki PP'nin ergime sıcaklığı ( $\theta_m \leq 165^\circ\text{C}$ ) öncesinde var olan üretim koşullarından doğmaktadır. Özdeş yüzey yapısı, yukarıda da anlatıldığı gibi, eriyik durumunda malzemeye itme-çıkarma (ekstrude) yöntemiyle de verilebilmektedir (Bei-Xing vd., 2004).

Polipropilen liflerin pasif donatı olarak daha çok hangi uygulama alanlarında tercih edildiği aşağıda sıralanmaktadır.

- Beton elemanlarda durabilite (dayanıklılık) artışı sağlamak amacıyla,
- Çimento esaslı harçlarda (sıva, tamir, izolasyon vb.) çatlaklara karşı,
- Saksı, kaldırım, bordür taşı, kiremit gibi süs ve dekor işlerinde durabilite artışı sağlamak amacıyla,
- Bütün püskürtme beton uygulamalarında,
- Tüm serpmе sıvalarda,
- Telefon direği, beton su boruları gibi prekast elemanlarda,
- Saha betonlarında,
- Koruma şaplarında,
- Dekoratif beton panellerde,
- Otoyol bariyerlerinde,
- Antibakteriyel beton üretiminde,
- Dış etkenler etkisi altında kalan, kaba ve ince sıva uygulamalarında,
- Dolgu ve tamir harçlarında,
- Ön cephe beton panellerinde, dayanım ve dayanıklılık artışı sağlaması sebebiyle,
- Aşınma, vibrasyon ve rotasyonla karşı karşıya kalacak makine temellerinde,
- Tuzlu su etkisine maruz kalan yüzme havuzları, su depoları, deniz kıyı yapıları gibi beton elemanlarda,



- Havaalanları, endüstriyel zeminler, garajlar ve ince döşemelerde (Ünal, Köksal, ve Eyyubov, 2004),
- Depo ve ambar beton yapılarında,
- Sismik hareketlere karşı tedbir almak nedeniyle yapılan her çeşit beton elemanlarda,
- Diyafram ve kütle betonlarında,
- Kolon, kiriş ve tabliyeler gibi taşıyıcı sistem beton elemanlarında çekme gerilmelerini düşürmek maksadıyla tali donatı ihtiyacı olan yerlerde (Altun, Özcan ve Vekli, 2002),
- Radye temel ve hatıl dolguları üretiminde

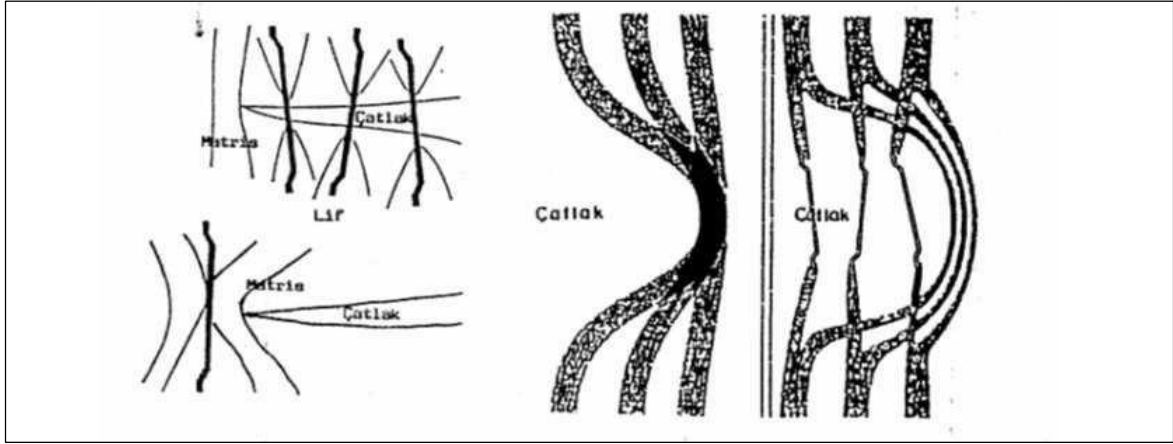
polipropilen lif uygulamasına başvurulur.

Yapı malzemelerinin takviyesinde plastik özellik gösteren liflerin kullanılması tercih edilir bir sebeptir. Betonda ise; saman, PPL, yonga lif, çelik lifler, plastik veya cam bazlı lifler kullanılmaya başlanmıştır. PPL, endüstriyel tesisler, binalar, yüzme havuzları ve beton borular vb. yapılarda aşınma direncini, geçirimsizliği ve çarpma dayanımı artırmaktadır. Bu malzemeler tuz ve alkalilere karşı dayanıklı malzemeler olup, korozyondan etkilenmezler. İç gerilmelere karşı direnç göstererek, mikro çatlakları önlemektedir. Beraberinde, çelik hasır kullanımı ile % 65'e kadar azalış gösteren gerilme çatlakları, PPL kullanımıyla % 72'ye kadar azaldığı görülmektedir (Türker, 2000).

Beton, çimento hamuru ile agreganın birbirine bağlanması sonucu oluşan heterojen bir yapı malzemesidir. Bundan dolayı betonun kırılma süreci süreksizliklerle doludur. Betonun kırılması da öncelikle çimento ile agrega ara yüzeyindeki süreksizliklerden başlamaktadır. Çimento ile agrega ara yüzeyinde meydana gelen gerilmelerden ötürü oluşabilecek çatlaklar, beton karışımına ilave edilecek liflerin eklenmesiyle önemli derecede engellemektedir. Bu sayede başta süneklik olmak üzere, lif katkısının etkisinin betonda diğer mekanik özellikleri de iyileştirerek ani kopmaların önüne geçmesi beklenir.

Yüksek çekme mukavemetine sahip lifli betonlarda kullanılan lifler yardımıyla, betonda meydana gelen çatlakların başlangıcını, ilerlemesini ve birleşmesini engellerler (Sarı, 2013). Lifler yeterli miktarda, amacına uygun olarak kullanıldığında betonda meydana gelebilecek çatlaklardaki gerilmeleri, betonda çatlak oluşması gerçekleşmemiş bölgelere aktarırlar. Çatlak sonlarına yapışık olan lifler, matristeki gerilmelerin üzerlerinden geçmesini ve böylece, daha önce çatlama meydana gelmemiş beton kesitlerinin de

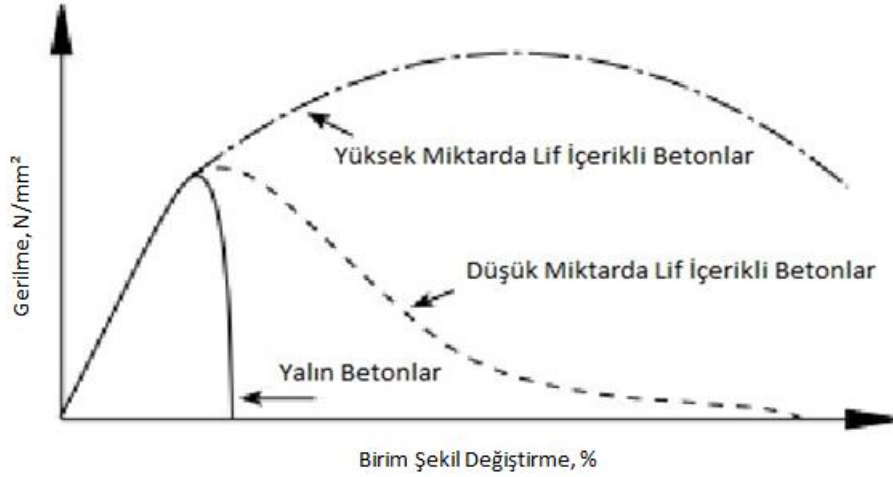
dayanımından faydalanılmasını sağlamaktadırlar (URL-1, 2016). Bu vaziyet Şekil 1.3’ de görülmektedir. Çatlakların meydana geldiği bölgede bu şekilde taşıma gücü artırılarak, mühendislik özellikleri gelişmiş bir malzeme elde edilmektedir. Şekil 1.4’de ise lif etkisinin betonlarda gerilme şekil değiştirme ilişkisi üzerindeki etkisi görülmektedir.



Şekil 1.2. Liflerin çekme kuvvetlerini bir köprü gibi aktarması (Fırat, 1996).

Liflerin betona verdiği katkılar kısaca şu şekilde sıralanabilir;

- Taze betonda büzülme çatlaklarının oluşmasını önlerler,
- Eğilme ve çekme dayanımlarını artırır,
- Tokluğu ve çarpma dayanımını artırır,
- Gevrek kırılmayı önler, sünekliği artırır,
- Durabiliteyi artırır (Hannant, 2003).



Şekil 1.3. Lifli betonun tipik gerilme şekil değiştirme diyagramı (Fırat, 1996).

Günümüzde beton teknolojisinin gelişmesiyle birlikte betonun çekme, aşınma, kayma, yorulma dayanımı, çatlama sonrası yük taşıma direnci ve tokluk gibi zayıf özelliklerinin iyileştirilmesi yönünde birçok çalışmalar yapılarak beton gibi malzemelere olan alanın artmasına sebep olmuştur. Günümüzde betonda yapay liflerin kullanımı da oldukça yaygınlaşmış ve kompozit malzemelerin özelliklerini geliştirmek üzere önemli adımlar atılmıştır (Ezeldin ve Shiah, 1995).

Doğal mineral katkılardan uçucu külün, polipropilen ve çelik lif katkılı betonlar üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yapılan bir araştırmada lif eklenmesinin betona daha yüksek başarımlar sağladığının sonucuna varıldığı belirtilmiştir (Topçu ve Canbaz, 2007).

Ayrıca bir çalışmada, çok yüksek silis içeriği ile genellikle camsı, düzgün yüzeyli küresel tanecikler içeren silis dumanı ile polipropilen lif katkılı taze beton karışımının basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve aderans gibi mekanik özellikleri incelenmiştir. Silis dumanı miktarı %5 ve %10, hacimsel lif oranı ise %0,10; %0,30 ve %0,50 olarak seçilmiştir. Sonuçta %0,30 lif oranlı ve %5 silis dumanı içeren karışım işlenebilirlik açısından ve onarım işlerinde, dayanım, aderans, boy değişimi, biçim ve geçirimsizlik yönüyle en uygun karışım tasarımı olduğu belirtilmiştir (Houssam, 1999).

PPL katkılı yarı hafif betonların basınç dayanımı özelliklerinin incelendiği bir çalışmada normal dayanımlı beton ile aynı karışıma çimento kütlelerinin %6'sı oranında polipropilen lif ilave edilerek beton numuneleri üretilmiş, basınç dayanımı deneyi yapılarak 7 ile 28 günlük

süreler sonunda yorumlanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda polipropilen lif katkıların eklenmesi taze betonun işlenebilirliğini büyük oranda etkilediği, normal betonda basınç deneyinde kırılmalar ve parçalanmalar görülmekte iken polipropilen katkılı betonlarda ise yalnızca çatlaklar meydana geldiği gözlemlenmiştir. Çatlaklar oluşmasına karşın ayrıca, betonun halen yük taşımaya devam ettiği görülmüştür (Akkaş vd., 2010).

Yapılan çalışmalar sonucunda çimentolu sistemlerin içine ilave edilen liflerin başlıca rolünün, betonda oluşan çatlakların matris içinde ilerlemelerini yavaşlatması olduğu ortaya konmuştur. Bu sebeple malzemenin maksimum çatlak deformasyonu, lif içermeyen herhangi bir betona göre önemli bir artış göstermiştir. Maksimum yükten sonra, lifli betonlarda, artan deformasyon sonucunda yükün azalma hızı normal betonlara göre daha yavaştır. Dolayısı ile liflerin matristen ayrılması ve uzamaları sebebiyle emilen enerji lifli betonlarda oldukça yüksektir (Durmaz, 2007).

Beton karışımında farklı türde lifler kullanılmaktadır. Kullanılan bu farklı liflerin betonun mekanik özelliklerine etkileri hakkında bir çalışma yapılarak üç farklı oranda polipropilen ve çelik lif içeren beton karışımlar hazırlanmış ve bu karışımların basınç deneyi, eğilme deneyi, çökme deneyi ve ultra ses geçiş süresi deneyi sonucunda elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada hazırlanmış olan özdeş beton karışımları içine uçucu kül de eklenerek taze betonun işlenebilme özelliğinin artırılması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada, farklı oranlarda beton karışımına eklenen polipropilen ve çelik liflerin betonun mekanik özelliklerini (özellikle eğilme dayanımı) önemli derecede arttırdığı, fakat işlenebilme özelliğini ise olumsuz yönde etkilediği sonucuna varılmıştır. Ayrıca lif kullanımından kaynaklanan dayanıklılık ve işlenebilme kayıplarının uçucu kül kullanımıyla en aza indirildiği görülmüştür (Topçu ve Canbaz, 2007).

Beton üretiminde kullanılan lif çeşitlerinin, betona katılma miktarlarının ve boyutlarının belirlenmesi gerekçesiyle yapılan farklı bir çalışmada, küçük boyutlu polipropilen liflerin dinamik yüklerden ötürü meydana gelen küçük çatlakların önlenmesinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Fakat betonun uygulanan yükler altında kırılması, yarılması gibi değişimler meydana geliyorsa uzun polipropilen lifleri veya çelik lifleri kullanmanın daha yararlı olacağı kanısına varılmıştır. Bu amaçla tercih edilen PPL'nin ise beton karışımında daha yoğun miktarda kullanımı gerekmektedir (Qian ve Stroeven, 2000).

Beton üretimi esnasında karışıma ilave edilen lifin boyutu, lif ve uçucu kül miktarı hakkında gerçekleştirilen deneylerde, küçük boyutlu liflerin beton basınç dayanımına önemli bir etki gösterdiği, ancak çekme dayanımının bundan etkilenmediği sonucuna varılmıştır (Qian ve Stroeve, 2000).

Farklı bir çalışmada da PPL ve diğer plastik (naylon) lifler kullanılarak elde edilen beton numuneleri mekanik özelliklerinin incelenmesi ve kıyaslanması ele alınmıştır. Plastik liflerin PPL ile kıyaslanması sonucunda taze betonun çökme değerini daha az etkilediği ve ayrıca beton içerisinde daha iyi dağılım izlediği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca büzülme çatlaklarını engellemede naylon liflerin polipropilen liflere göre daha iyi bir etki sergilediği deneyler sonucunda görülmüştür. Yapılan çalışmalarda naylon ve polipropilen liflerde sabit bir lif oranı kullanılarak ( $0,6 \text{ kg/m}^3$ ) bu oran sabit tutulmuştur (Song vd., 2005).

Polipropilen lifler “monofilament (tekil, çubuk)” ve “staple (elyafımsı, saçak)” olarak iki farklı yapıdan oluşmaktadır. Beton üretiminde tekil lifler çok yoğun miktarda kullanıldıklarında çelik lifler gibi davranış göstermektedirler. Bu iki farklı yapıdaki liflerin beton karışımına belirli oranlarda ilave edilerek en elverişli karışım oranları belirlenmek amacıyla çalışma yapılmıştır. Çalışma sonucunda elyafımsı polipropilen liflerin  $0,6 \text{ kg/m}^3$ , tekil liflerin  $3 \text{ kg/m}^3$ ,  $6 \text{ kg/m}^3$ ,  $9 \text{ kg/m}^3$  gibi yüksek oranlarda beton karışımına katılması uygun görülmüştür. Polipropilen liflerin bu oranlarda kullanılması sonucunda çatlak oluşumunda çok iyi bir başarımla gösterdiği ve çatlak oluşumunu engellediği görülmüştür. Ayrıca tekil liflerin betonun çekme ve eğilme dayanımlarında da %20’lik bir artış sağladıkları sonucuna varılmıştır (Bahadır, 2010).

Polipropilen lifli betonlarla ilgili yapılan başka bir çalışmada, elektron mikroskoplarıyla incelenmede polipropilen liflerin beton içerisinde ağ yapısı oluşturdukları net bir şekilde görülmüştür. Ayrıca polipropilen liflerin betonun boşluk oranını ve  $\text{Ca(OH)}_2$  oluşumunu önemli ölçüde azalttıkları tespit edilmiştir. Yine yapılan mikroskopik incelemeler sonucunda beton içerisine ilave edilecek lif oranının  $0,9-1,0 \text{ kg/m}^3$  değerlerini geçmemesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Yani polipropilen lif kullanımında en elverişli değer  $1 \text{ kg/m}^3$  olduğu anlaşılmıştır. Lifli betonlar basınç, yarmada çekme, eğilmede çekme gibi mekanik deneyler altında incelemelere tabi tutulmuştur ve %20 dolayında dayanım artışları kaydedilmiştir. Polipropilen liflerin beton içerisinde meydana gelecek kılcal çatlakları, segregasyon (boyutlanma), agrega yüzeyi ve çimento hamuru arasında ortaya

çıkacak olası kırılmaları engelledikleri mikroskobik inceleme sonucunda görülmüştür (Sun, ve Xu, 2009).

Yüksek dayanımlı betonlarla ilgili bir çalışmada ise beton numunelerine polipropilen lifler eklenmiş ve bu numuneler 200 °C'ye kadar ısıtılmışlardır. Beton içerisinde bulunan polipropilen liflerin 170 °C'de ergidiği ve beton içerisinde hava kanalcıkları oluşturduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan mikroskobik incelemede ise liflerin ergimesi sonucunda yerinde kalan boşluklar net bir şekilde görülmüştür. Boşluklu yapıya sahip bu numunelerin basınç dayanımları, eğilme dayanımları ve elastisite modüllerinin azaldığı görülmüştür (Noumowe, 2005).

Kendiliğinden yerleşen betonlarla (KYB) ilgili bir çalışmada ise, beton karışımları içerisine, polipropilen, çelik ve çelik+polipropilen lifler belirli oranlarda ilave edilmiştir. Elde edilen karışımlarla çökme hunisi, V hunisi gibi deneyler yapılmış ve akışkanlık parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır. Beton karışımı içerisinde çelik+polipropilen lif kullanımının, liflerin tek tek kullanımı sonucu elde edilen karışımlara göre akışkanlık değerini daha çok azalttığı görülmüştür. Ayrıca elde edilen karışımlarla 15x15x15 cm'lik küp numuneler hazırlanmış ve sadece basınç deneyi yapılmıştır. Polipropilen lifli betonların basınç dayanımları %20, çelik lifli betonların basınç dayanımları %32, polipropilen + çelik lif takviyeli betonların ise basınç dayanımlarının %56 oranında arttığı deney sonucunda görülmüştür (Subaşı vd., 2008).

Yapılan bir çalışmada polipropilen lif katkılı betonların basınç dayanım özellikleri incelediğinde, lif katkısız beton ile çimento kütlesinin %6'sı oranında polipropilen lif içeren betonların basınç dayanımları arasında %20'lere varan bir fark görülmüştür. Bunun yanında polipropilen liflerin betonun işlenebilme özelliğini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Ayrıca polipropilen liflerin basınç deneyi esnasında betonda meydana gelen çatlakları önlediği, numunelerin kırıldığı ancak parçalara ayrılmadığı görülmüştür (Akkaş vd., 2010).

Polipropilen lif katkılı beton içerisine eklenen kimyasal ve mineral katkılı taze betonların basınç etkisi altındaki davranışlarıyla ilgili yapılan bir çalışmada ayrıca tanık beton numunelerinin içerisine bir mineral katkı maddesi olan silis dumanı ve uçucu kül eklenmiş ve bu numunelere belirli oranlarda PP lif ilave edilerek pompalanabilirlik özellikleri incelenmiştir. Sonuç olarak PP liflerin betonun işlenebilirlik özelliğini düşürmesi sebebiyle pompalanabilirlik özelliğini de olumsuz yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Yine

araştırmacı tarafından terleme deney aleti geliştirilip segregasyon eğilimi ölçülmüştür (İnce, 2005).

Morgan (1991) tarafından püskürtme beton uygulamalarıyla ilgili yapılan bir çalışmada şu sonuçlar elde edilmiştir. Püskürtme betona hava sürüklenerek yüksek oranda polipropilen ve çelik lif eklendiğinde büyük ölçüde donma-çözülme dayanıklılığı sağlandığı görülmüştür. Püskürtme betonlarda yapılan bu çalışmada, hava sürüklendiğinde ise hem kuru hem de ıslak karışımlarda dayanıklılığın çok hızlı bir şekilde düştüğü görülmüştür. Hazırlanan karışımlarda sadece polipropilen lif kullanılarak püskürtme beton üretmek neredeyse imkânsız olduğundan bu betonların donma-çözülme özellikleri de yeteri kadar araştırılamamıştır.

Özcan (2006) tarafından polipropilen lif (PPL) içeren saha betonları, endüstriyel atıklar kullanılarak yapılan bir araştırmada, ince agrega ile kazan altı külü (KAK) ve granüle yüksek fırın cürufu (GYFC) belli oranlarda yer değiştirerek uygulanmıştır. İnce agrega ile GYFC ve KAK % 10-50 arasındaki oranlarda, %10'luk adımlarda yer değiştirmiştir. Elde edilen karışımlardan küp numuneler hazır hale getirilerek yarmada çekme ve basınç deneyleri yapılmıştır. Bu yer değiştirmenin tanık numunelerine kıyasla bir üstünlük sağlamadığı sonucuna varılmıştır. Hasarlı deney yöntemlerinin beraberinde beton karışımlarına dayanıklılık özelliklerini belirlemek adına donma-çözülme, aşınma, kılcallık, sülfatlara dayanıklılık, hızlı klor geçirgenliği gibi deneyler de uygulanmıştır. İnce agrega yerine kullanılan bu polipropilen liflerin yapılan çalışma sonucunda betonun dayanıklılık özelliğini olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Deney sonuçlarında %20-30'luk bir yer değiştirme oranının en olumlu sonucu sağladığı belirlenmiştir.

Başka bir çalışmada ise yangın etkisinde kalan betonun mekanik özelliklerinin, yüksek sıcaklığın ve soğutma yöntemlerinin betonun eğilme ve basınç mukavemetleri üzerindeki etkileri incelendiğinde, beton dayanımının azaldığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise çimentonun büzülmesi, agregaların genleşmesi, beton boşluklarındaki ve çimento birleşimindeki suyun yetersiz dehidratasyonu olarak sayılabilir. Ayrıca fiziksel ve kimyasal olaylar sonucu yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonun normal havada soğutulması sonucu elde edilen dayanım azalmalarının, su ortamında soğutulan betonlardan daha küçük olduğu ifade edilmiştir. Bu durum beton numunelerin, su içerisindeyken yeniden hidratasyon yapabilecek ortamı bulması ve bunun sonucunda dayanımının bir kısmını geri kazanması olarak açıklanabilir (Ataman, 1991).

Yüksek dayanımlı betonların mekanik özelliklerinin incelendiği bir diğer deneysel çalışmada ise, normal kütle özelliklerinde kalkerli ve silisli agregaların yanında ayrıca hafif agregalar kullanmıştır. Karışımların bir kısmında normal portland çimentosu ve ayrıca uçucu kül, silis dumanı gibi katkıları ve çelik lif kullanılmıştır. Numuneler yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmış ve yüksek sıcaklık etkisinin yüksek mukavemetli betonların malzeme özelliklerinin normal dayanımlı betonlarındakinden farklı özellik gösterdiği ve bu farklılıkların 25°C ile 400°C arasında daha belirgin olduğu görülmüştür. Yüksek dayanımlı betonlar normal dayanımlı betonlara göre daha hızlı bir mukavemet kaybı göstermiştir. 300°C sıcaklık değeri bütün betonlar için elastisite modülünün daha yüksek hızlarda düşmeye başladığı sınır olarak ön plana çıkmıştır. Hafif agrega kullanılan betonların elastisite modüllerini normal betonlara göre daha iyi korudukları sonucuna varılmıştır (Phan ve Carino, 1998).

Betona uyumlu polipropilen lifler kullanılarak yapılan bir diğer çalışmada karışımlar tanık numuneleri ile kıyaslanmıştır. Beton karışımları içerisine polipropilen lifler %0,2-%1,0 arasında değişen oranlarda ilave edilmiştir. Yapılan eğilme ve basınç deneyleri sonucunda önemli bir dayanım artışı görülmemiştir. Hatta lif miktarı arttıkça basınç dayanımında %7 dolaylarında azalmalar izlenmiştir. Bunun beraberinde numunelerin darbe mukavemetlerinde %200'lere varan artışlar görülmüştür (Şahin, 2007).

Kendinden yerleşen betonlar (KYB) üzerinde üç farklı polipropilen lif ve üç farklı süper akışkanlaştırıcı kullanılarak yapılan deneylerde, 3,5 kg/m<sup>3</sup> lif oranının KYB için en yüksek değer olduğu, bu oranın üzerindeki değerlerin betonun özelliğini bozduğu ve işlenebilmeyi zorlaştırdığı görülmüştür. Bu sonuçlara L kutusu ve U kutusu deneyleri yapılarak varılmıştır. Kullanılan polipropilen lifler, KYB'nin işlenebilirliğini azalttığı için, kullanılması gereken kimyasal katkı miktarında da bir artırımı söz konusu olmuştur. Ayrıca mekanik özellikleri açısından incelendiğinde polipropilen liflerin betonun basınç dayanımına önemli bir etkisinin olmadığı, fakat 7 kg/m<sup>3</sup> lif oranının betonun eğilme dayanımını %20'ye kadar arttırdığı görülmüştür (Sertbaş, 2006).

#### **1.4. Çalışmanın Amacı**

Beton tasarlanırken lif miktarı dışındaki etkenler sabit tutulup sadece lif oranının değiştirilmesiyle beton özelliklerinin nasıl etkileneceğinin görülmesi amaçlanmaktadır. Bu



doğrultuda yapılacak deneyler sonucunda elde edilen verilerin beton üretimi sırasında ideal lif oranının belirlenmesine katkıda bulunulması öngörülmektedir.

Bu çalışmada hacimsel olarak farklı oranlarda (%0,25; 0,50; 0,75; 1,00; 1,25; 1,50) lif içeren ve lifsiz tanık beton TS 802 ve TS 12350 standartlarına göre dökülecektir. Bu numuneler üzerinde eğilmede çekme, basınç, kıvam ve su emme deneyleri yapılacaktır. Çalışmada polipropilen liflerin farklı oranlarda betona ilave edilmesi sonucunda lif karışımı betonların basınç ve eğilmede çekme dayanımları karşılaştırılacaktır. Şu hâlde deneyler sonucunda betonda kullanılan lif oranlarına göre elde edilen mekanik ve fiziksel özelliklerin belirlenmesi, bunlar arasındaki değişimlerin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Gerekli Malzemelerin Hazırlanması

Bu çalışmada; polipropilen lif, agrega, çimento ve su kullanılarak farklı oranlarda lif içeren beton numuneleri üretilmiştir. Bu kullanılan malzemelerin özellikleri aşağıda kısaca tanıtılmaktadır.

#### 2.1.1. Kullanılan Polipropilen Liflerin Özellikleri

Çalışmada kullanılan polipropilen liflere üretimleri sırasında kazandırılan uzunluk 5 cm kadardır. Ancak üretilen beton numunelere bağdaşık bir şekilde karıştırılan liflerin uzunlukları 2,5 cm olup bu lif boyu ilk boyunun yarılanmasıyla, makasla ortasından kesilerek elde edilmiştir (Şekil 2.1.ve 2.2.). Böylece birçok çalışmada yapılandan farklı olarak beton numunelerine göreceli kısa lifler eklenmiş olmaktadır. Kaynaklar polipropilen liflerin çekme dayanımını genel olarak  $R_m=650-700$  MPa arasında, elastisite modülünü ise 3450 MPa civarında verirken toplam uzama oranını da  $\epsilon=\%25$  olarak kaydetmektedir (Bei-xing vd., 2004). Dış yüzeyi düz-boğumlu profilli olan liflerin özgül kütleleri  $\rho_s=0.90$  g/cm<sup>3</sup> ile kanıtlanmış gözükmemektedir (Tablo 2.1.).

Tablo 2.1. Deneyde kullanılan polipropilen liflerin özellikleri (Bei-xing vd., 2004)

	MPa	%	g/cm <sup>3</sup>	cm
Çekme Mukavemeti	650-700			
Elastisite Modülü	3450			
Uzama Oranı		25		
Özgül Kütlesi			0,90	
Uzunluğu				2,5
Çapı				0,1



Şekil 2.1. Deneyde kullanılan polipropilen liflerin toplu görüntüsü



Şekil 2.2. Deneylerde kullanılan PP liflerin tekil (uzun liften kısaltılmış) görüntüsü

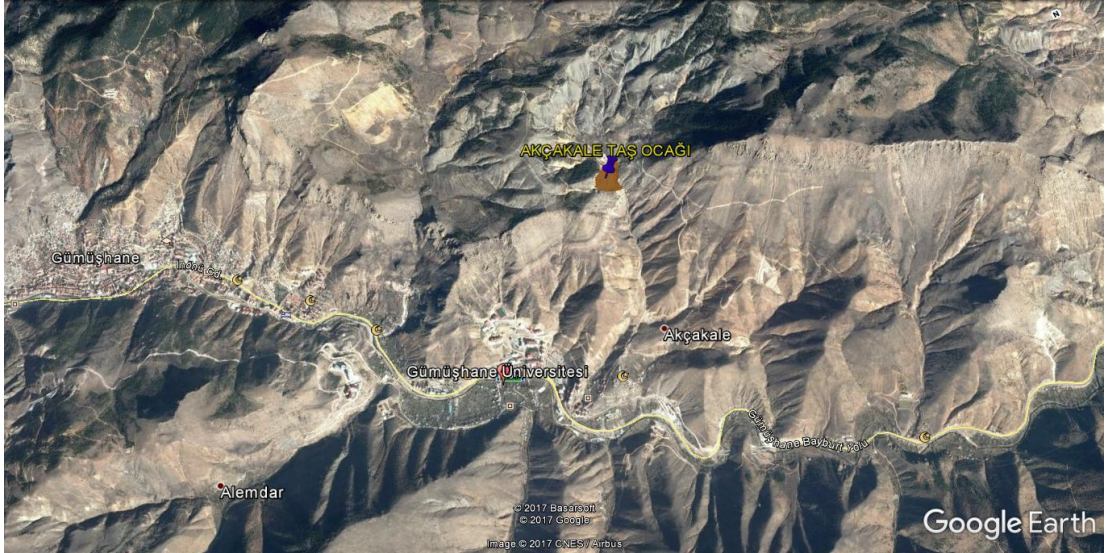
### 2.1.2. Kullanılan Agregat ve Özellikleri

#### Genel:

Betonun özellikleri kullanılan malzemeler tarafından belirlenir. Beton hacminin yaklaşık %75'ini oluşturan agregaların niteliği ve türü betonun dayanımını ve dayanıklılığını büyük ölçüde etkilemektedir. İyi beton bir elde edebilmek için uygun agregat kullanılması gerekmektedir. Agreganın mineralojik ve kimyasal bileşimi, özgül kütlesi, sertliği, petrografik yapısı, dayanımı, fiziksel ve kimyasal kararlılığı, rengi ve boşluk yapısı vb. özellikleri kullanılan kayacın yapısına bağlıdır. Fakat kullanım sırasında genellikle agreganın boyutu, tane şekli, yüzey yapısı ve su emmesi gibi özelliklerine öncelik verilir. Agreganın bahsedilen bu özelliklerinin beton üzerinde önemli etkisi vardır (Şengül vd., 2002).

#### Kaynağı ve Fiziksel Özellikleri:

Deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılan agregat Gümüşhane İli, Akçakale mevkiinde bulunan Akçakale taş ocağından temin edilmiştir (Şekil 2.3. ve 2.4.).



Şekil 2.3. Taş ocağının uydu görüntüsü (URL-2, 2017)





Şekil 2.4. Gümüşhane Akçakale taş ocağı görüntüsü

Gümüşhane ili, Akçakale mevkiinde bulunan Akçakale taş ocağından alınmış olan agreganın fiziksel özellikleri aşağıdaki Tablo 2.2.'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Deneyde kullanılan agreganın fiziksel özellikleri

	g/cm <sup>3</sup>	% m
Özgül Kütle	2,78	
Tane Birim Kütle (Doygun)	2,71	
Tane Birim Kütle (Kuru)	2,68	
Su Emme		1,42

#### **Petrografik Özelliği ve Tane Boyutu Dağılımı:**

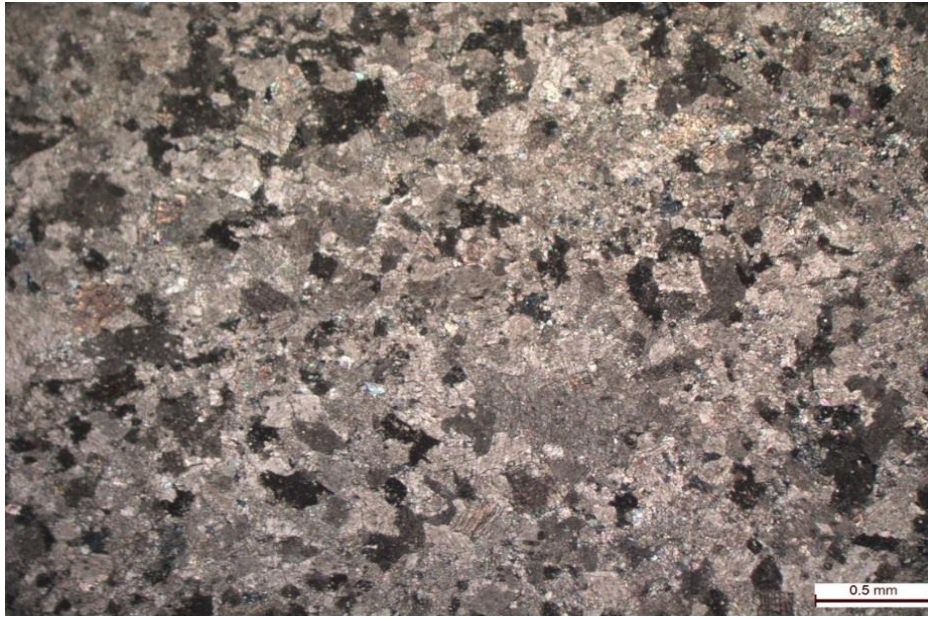
Taş ocağından alınmış olan agreganın, Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Laboratuvarında yapılan petrografik incelemeler sonucunda türünün kireçtaşı olduğu belirlenmiştir.

Alınan Kireçtaşı numunesinin üzerinde yapılan petrografik incelemeden elde edilen veriler sonuç raporu olarak aşağıda açıklanmaktadır (Tablo 2.3.).

Tablo 2.3. Kireçtaşı'nın petrografik özellikleri

Kayaç Adı	Mikritik Kireçtaşı ve Kristalize Kireçtaşı
Renk Doku Minerolojik Bileşim	Gri Mikrit (Mikroksitalen Kalsit) %80-90 CaCO <sub>3</sub> (Kalsiyum Karbonat). Yer yer mikrofossil ve stilolit içermektedir.

Agrega kesitlerinin petrografik inceleme sonucunda mikroskobik görüntüsü alınmıştır. Bu görüntülere göre (Şekil 2.5.; 2.6.; 2.7.; 2.8.) kullanılan agreganın kireçtaşı olduğunu ayrıca kanıtlamış olmaktadır.

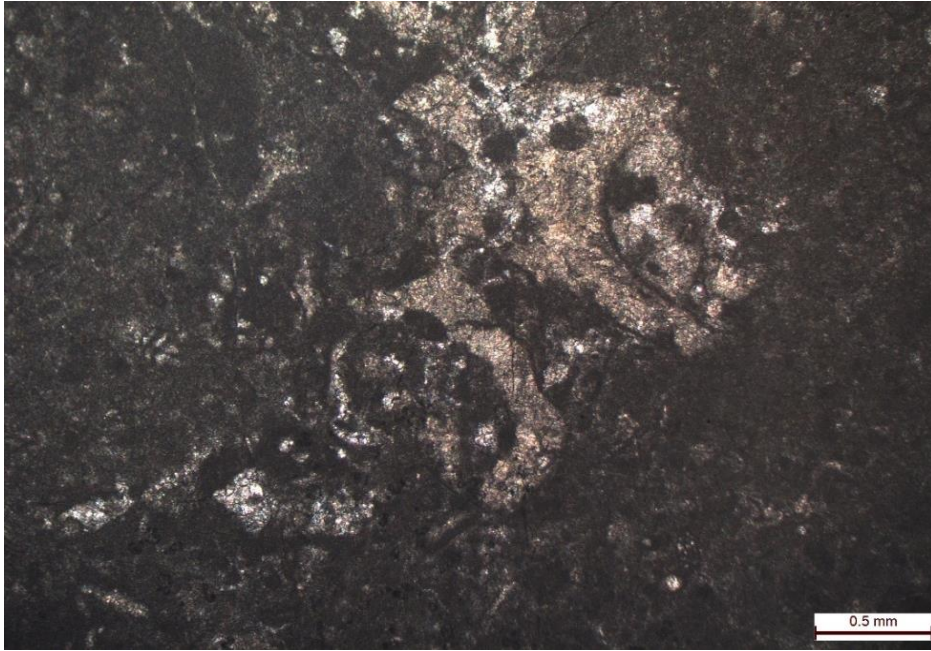


Şekil 2.5. Kristalize kireçtaşı örneğin mikroskobik görünümü (Görüntü çift nikolde alınmıştır.)

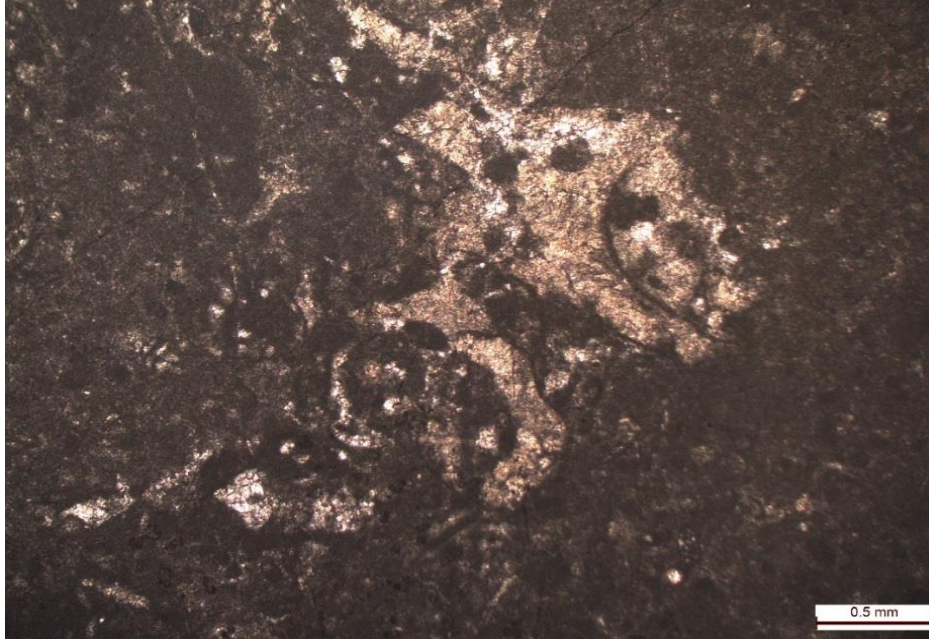




Şekil 2.6. Kristalize kireçtaşı örneğın mikroskobık görünümü (Görüntü tek nikolde alınmıştır.)



Şekil 2.7. Biyomikritik kireçtaşı örneğın mikroskobık görünümü (Görüntü çift nikolde alınmıştır.)



Şekil 2.8. Biyomikritik kireçtaşı örneğin mikroskobik görünümü (Görüntü tek nikolde alınmıştır)

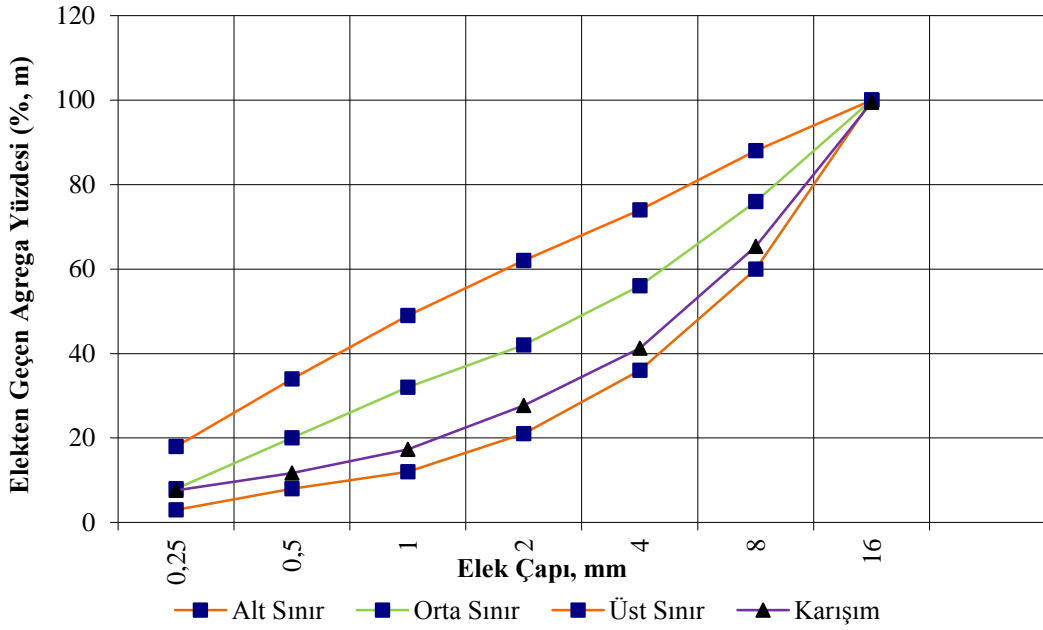
Deneyde kullanılan agreganın tane boyutu dağılımı Tablo 2.4’de verilmiş olup bu dağılımı ayrıca grafiksel olarak da görülmektedir (Şekil 2.9).

Tablo 2.4. Agregatane boyutu dağılımı

Tane Boyutu Dağılımı													
E, <sup>1</sup> (mm)	0,063	0,125	0,25	0,50	1	2	4	8	12,5	16	19	22,4	31,5
G, <sup>2</sup> (%)	3,6	5,3	7,6	11,7	17,3	27,7	41,3	65,4	99,5	99,5	100	100	100
<sup>1</sup> ) Elek Çapı, <sup>2</sup> ) Elekten Geçen Agregat Yüzdesi (%)													

Yapılan eleme deneyi (elek analizi) sonucuna göre mevcut kırmataş olarak elde edilen tane karışımının 0 ile 16 mm çap ölçüleri arasında kum ve çakıldan meydana geldiği anlaşılmaktadır. Bu durumda tane boyutu dağılımının, üst tane büyüklüğüne göre ince olarak değerlendirilirse de kendi içerisinde göreceli iri taneli bir karışım olduğu (Şekil 2.9) görülmektedir.





Şekil 2.9. Agreganın tane boyutu dağılımı (granülometri)

### 2.1.3. Kullanılan Çimento ve Özellikleri

#### Genel:

Çimento, su ile karıştırıldığında, hidrasyon reaksiyonları sonucu katılaşır ve sertleşen bir yapı oluşturarak, dayanımını ve kararlılığını koruyan ince öğütülmüş inorganik hidrolik bağlayıcıdır (TS EN 197-1).

Çimento; temel olarak  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  oksitlerini içerir. Çimentonun sahip olduğu kimyasal bileşikler, üretiminde kullanılacak hammaddelerin uygunluk dereceleri ile doğrudan bağlantılıdır. Mesela, üretime verilecek hammadde karışımı içerisinde  $\text{CaCO}_3$  içeriğinin, kullanılan  $\text{CaO}$  kaynağına bağlı olarak, %65-80 arasında olması istenilir.  $\text{CaCO}_3$  içeriğindeki küçük bir değişiklik, klinkerdeki dikalsiyum silikat ( $\text{C}_2\text{S}$ ) ile trikalsiyum silikat ( $\text{C}_3\text{S}$ ) yüzdelерinin değişmesine ve çimento mukavemetinin önemli derecede sapmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle her bir hammadde için tanımlanmış modüller takip edilerek üretim yapılır (Atar, 2006).

Tercihen kullanılan çimento tipi koyu gri renktedir. Hammaddelerin özellikleri, içerdiği katkı türleri veya alternatif enerji kaynağı olarak kullanılan atıklar çimento renginin farklı tonlarda olmasına sebep olabilmektedir. Yaygın kullanılan çimento tipleri 6 µm ile 90

µm aralığında taneciklere sahiptir. Yoğunluğu çimento tipine göre değişmekte olup 2,90 ile 3,15 g/cm<sup>3</sup> arasında olup 1 gram çimento taneciklerinin özgül yüzeyi ise 3500 ile 5000 cm<sup>2</sup>/g aralığında değişmektedir.

Çimento bileşiminin yaklaşık %90'ı kalsiyum alüminatlar ve kalsiyum silikatlar vd. olarak bilinen dört tür oksitten oluşmaktadır. Çimentonun hidrolik sertleşmesi öncelikle kalsiyum silikatların hidratasyonu sonucu gerçekleşmektedir. Alüminatlar gibi diğer kimyasal bileşenler de sertleşme işlemine dahil olmaktadır. CEM çimentosu (TS EN 197-1 standardına uygun olarak üretilen) içeriğinde, TS EN 196-2'ye göre, reaktif kalsiyum oksit (CaO) ve reaktif silisyum dioksitin (SiO<sub>2</sub>), oranlarının toplamı kütlece en az %50 olmalıdır (TSE, 2013).

Uygun maliyetli bir yapı malzemesi olan çimento, kullanım amacına göre farklı tiplerde üretilebilmektedir. Beton veya farklı biçimlerde kullanılan portland çimentosu; genel olarak, her türlü betonarme yapı, beton yollar, köprüler, briket üretimi, prefabrik betonarme elemanlar, su depoları ve tünel kalıp uygulamaları olmak üzere farklı alanlarda yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bazı çimento türlerinin kullanım alanları aşağıda verilmiştir (Bolu Çimento A.Ş., 2019).

- Portland çimento, genel amaçlı kullanılmaktadır.
- Portland kompoze çimento, menfez boruları, özel proje betonları üretiminde kullanılmaktadır.
- Sülfata dayanıklı çimento, baraj, köprü ve liman temeli inşaatlarında, istinat duvarlarında, atık su arıtma tesislerinde kullanılmaktadır.
- Puzzolanik çimento, yol kaplama betonları, sıva ve duvar harcı, yapı kimyasalları ve su kanaletlerinde kullanılmaktadır.
- Kuyu çimentosu, petrol sondaj kuyularında kullanılmaktadır.

#### **Kullanılan Çimento:**

Beton üretiminde bağlayıcı madde olarak, Gümüşhane'de işletimde olan Aşkale Çimento Fabrikası tarafından üretilen portland çimentosu CEM I 42,5 R, TS EN 197-1'e göre üretilmiş, yüksek erken dayanımlı 42,5 dayanım sınıfındaki katkısız bir çimento

türüdür. Kullanılan çimentonun genel özellikleri Tablo 2.5’de verilmiştir. Çimentonun basınç dayanımı ve fiziksel özellikleri deney sonuçları üretici firmadan elde edilmiştir.

Tablo 2.5. Çimentonun genel özellikleri

	g/cm <sup>3</sup>	cm <sup>2</sup> /g	mm	N/mm <sup>2</sup>	dk
Özgül Kütle	3,09				
Özgül Yüzey		3921			
Genleşme			1		
Basınç Dayanımı (1 günlük)				28,2	
Basınç Dayanımı (28 günlük)				55,4	
Katılşma Başlama Süresi					176

Anılan tablodan da görüleceği gibi kullanılan çimento 28 günlük basınç dayanımı (55,4 N/mm<sup>2</sup>) ile sınıfını temsil etmektedir. Öte yandan üretici firmanın sağladığı verilere göre katılşma başlangıç süresinin 176 dk olduğu ve bu özelliklerde anılan çimentonun erken yüksek dayanımlı çimento sınıfına girdiği anlaşılmıştır.

#### 2.1.4. Karışım ve Karma Suyu

Beton bileşimi 1 metreküp taze beton esas alınarak belirlenmiş olup, bu kapsamda 350 kg çimento, s/ç=0,54 üzerinden 189 litre karma suyu ve 1852 kg’da dış yüzeyi kuru doymun agrega olarak belirlenmiştir. Devamında deney dizileri için gerekli olan 25 litrelik taze beton bileşenleri 40/1000 oranında düşürülerek hesaplanmıştır. Lif katkıları için ise bunların hacim oranlarına tekabül eden ince agrega miktarı kütle cinsinden eksiltilerek taze beton bileşimi oluşturulmuştur.

Deneyisel çalışmaların tamamında TS EN 1008’e uygun Gümüşhane İli şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Karma suları herhangi bir depoda bekletilmeden, içme suyu şebekesinden alındığı anda kullanılmıştır.

## 2.2. Deney Düzeneklerinin Sağlanması

Çalışma kapsamında, polipropilen lif, imento, agrega ve su kullanılarak beton üretimi yapılmıştır.

Tez çalışmasında deney örnekleri (numuneler) Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölüm laboratuvarında üretilmiştir.

Beton numuneleri dökümü gerçekleştirilirken lifsiz tanık beton ve farklı hacim oranlarında polipropilen (PP) (%0,25; 0,50; 0,75; 1,00; 1,25; 1,50) lifler kullanılarak üretilmiş ve çeşitlendirilmiştir.

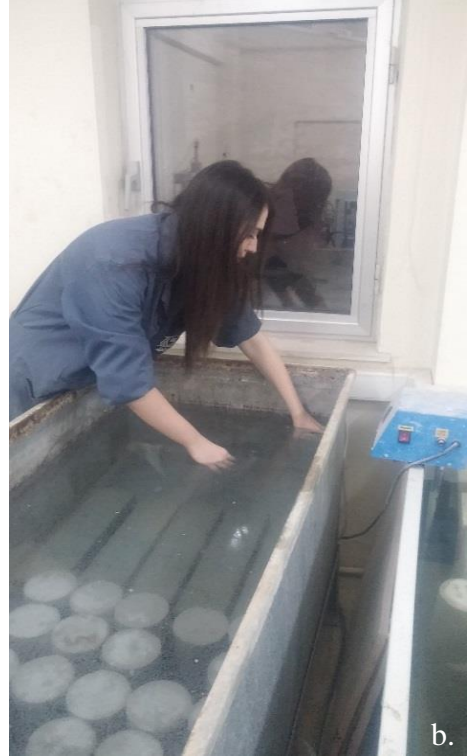
Deney düzenekleri öncelikle kıvam deneyi için 2’şer adet silindir numune, eğilmede çekme dayanımı deneyi için 3’er adet kiriş numune ve basınç dayanımı deneyleri için ise 3’er adet silindir numune için taze beton üretimi hazırlanmıştır. Her deney dizisi için bu işlemeler tekrarlanmış olup bu numuneler TS 802 ve TS EN 12350’de belirlenen kurallara uygun olarak (toplam 56 beton numunesi) dökülmüştür (şekil 2.10).

şu hâlde beton karışımı belirlenirken, her zaman yapıldığı gibi bir metreküp (1 m<sup>3</sup>) hacim temel alınmış ve buradan hareketle her deney dizisi için gerekli olan taze beton miktarı bileşenlerine ayrılmış ve bunlarında kütle miktarları belirlenerek karışım oluşturulmuştur. Buna göre bir dizi, taze beton karışımı için örnek olarak imento 8,75 kg; su 5,25 kg ve agrega 46,30 kg olarak uygun laboratuvar şartlarında tanık beton ve hacimsel olarak yukarıda anılan oranlarda lif içeren betonların, kalıpların darası alındıktan sonra dökümü gerçekleştirilmiştir. Bu betonların birim kütleleri ölçülmüş ve kayıt altına alınmıştır.

Tartma işlemleri bittikten sonra tüm numunelerin üzeri nemli bir örtüyle kapatılıp 1 gün bu şekilde bekletilmiştir. Ertesi gün birim kütleleri tekrar ölçülüp kayıt edildikten sonra numuneler su havuzuna yerleştirip 28 gün bekletilmiş (şekil 2.11.a;b) olup sonra birim kütleleri tekrar kayıt edilerek 28 günlük basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanım deneyleri gerçekleştirilmiştir. Diğer yandan ıslak ve kuru kütle şartları üzerinden numunelerin su emme yeteneği hakkında fikir edinilmeye çalışılmıştır. Kıvam deneyi ise TS EN 1250-4’e göre sıkılaştırma yöntemine göre belirlenmiştir.

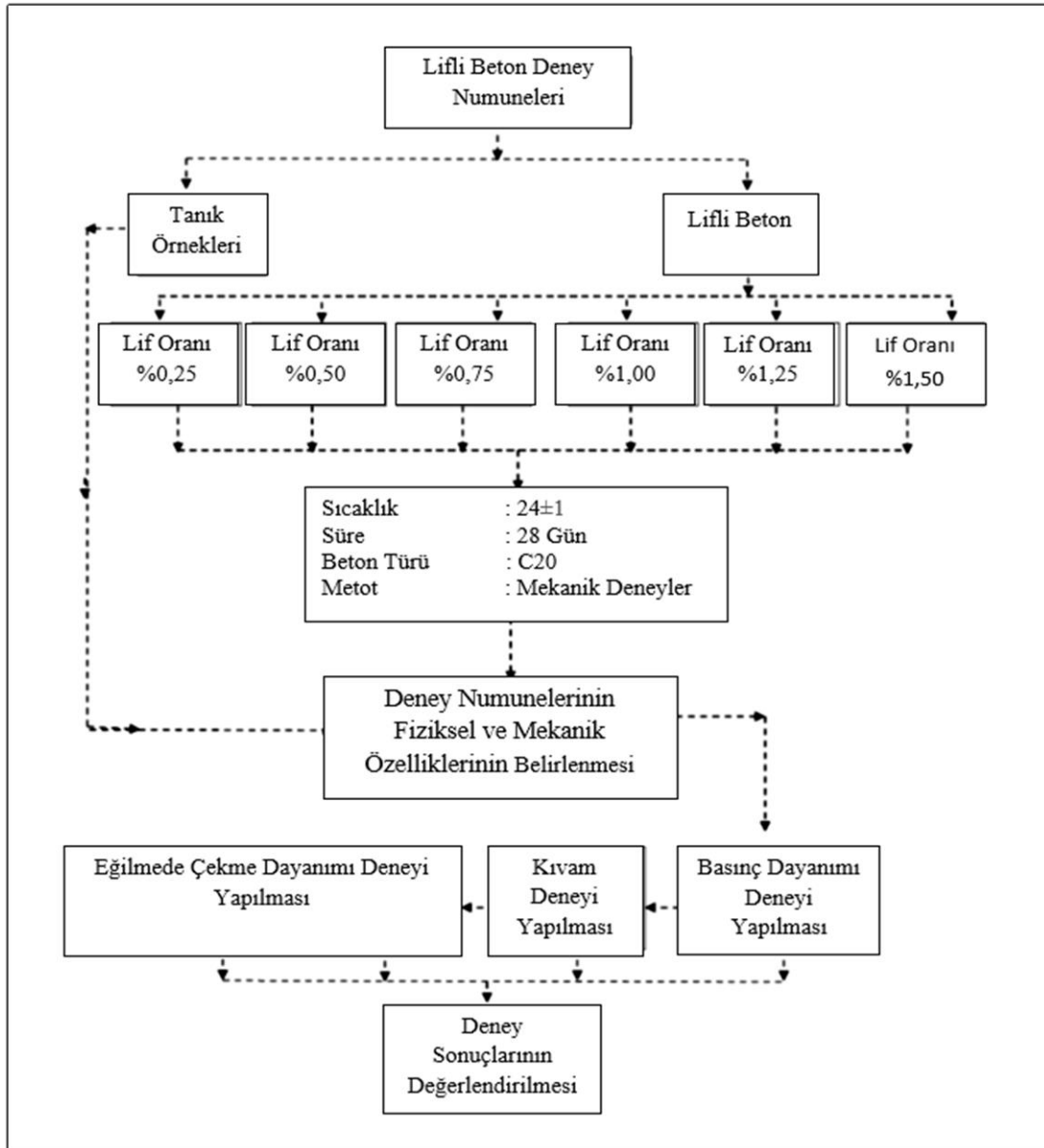


Şekil 2.10. Üretilen silindir ve kiriş numuneleri



Şekil 2.11. a. Polipropilen lifli beton üretimi, b. numunelerin küre konulması

Polipropilen lif oranının değiştirilmesi ile elde edilen örneklerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesinde izlenen yol Şekil 2.12.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Polipropilen lif oranının değiştirilmesi ile elde edilen örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesinde izlenen yol

### 2.3. Beton Üretimi

#### Numune Dizilerinin Belirlenmesi:

Bu çalışmada, polipropilen lif içeriği değiştirilerek 7 farklı PP lif katkılı beton diğer bir deyişle polipropilen lifli beton üretilmiştir. Numune dizileri belirlenirken yukarıda

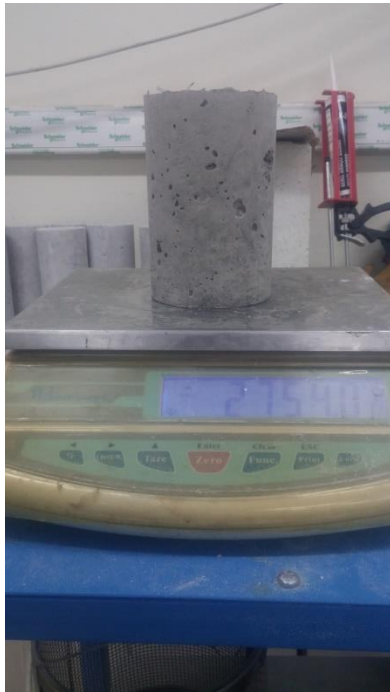
anlatıldığı gibi liflerin oranları esas alınmıştır. Üretilen numunelerin sırası ve karışımlardaki lif oranları aşağıdaki Tablo 2.6’ da sabit su/çimento ( $s/ç=0,54$ ) kütle oranlarıyla görülmektedir.

Tablo 2.6. Numune dizileri; lif ve su/çimento oranları

Numune Dizisi	Lif Oranı (% V)	Su/Çimento ( $s/ç$ , %m)
1. Dizi	0	0,54
2. Dizi	0,25	0,54
3. Dizi	0,50	0,54
4. Dizi	0,75	0,54
5. Dizi	1,00	0,54
6. Dizi	1,25	0,54
7. Dizi	1,50	0,54

#### Numune Boyutları ve Şekilleri:

Her bir dizide beton karışımı için basınç dayanımı ve kıvam deneyinde kullanılan silindirik beton numuneleri çapı 10 cm yüksekliği 20 cm boyutlarında olup üretilen beton numunesi şekil 2.13’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Deneyde üretilen silindirik beton numunesi



Aynı şekilde tüm dizilerde eğilmede çekme dayanımı için kullanılan kiriş numuneleri boyutları 10x10x40 cm olup üretilen beton numunesinin görseli Şekil 2.14’de verilmiştir.



Şekil 2.14. Deneyde üretilen kiriş beton numuneleri

## 2.4. Beton Karışımı ve Yapılan Deneyler

### Basınç Dayanımı Deneyi:

Basınç deneyi EN 12390-1’de verilen boyutlara göre üretilen silindir numuneleri üzerinde yapıldı.

Deney makinesi yükleme başlıklarının yüzeyleri silinerek temizlendi. Numunelerin yüzeyindeki fazla su kurulanıp, yükleme yüzeyindeki mevcut olan pürüzlülük zımparalanarak deney makinesine yerleştirildi.

Silindir numuneleri, yükün uygulama yönü betonun döküm yönüne dik olacak şekilde, makinenin alt yükleme başlığı üzerine merkezlenecek şekilde yerleştirildi. Silindir numuneleri belirtilmiş çapının  $\pm 1$  doğrulukla merkeze yerleştirildi. Yerleştirilen numunelerin mastarlanmış yüzeyi kolona bakacak şekilde ayarlandı.

$(0,6 \pm 0,2)$  MPa/s ( $N/mm^2.s$ ) sınırları içerisinde kalmak üzere sabit bir yükleme hızı seçildi. Kırılma yükünün yaklaşık olarak %30’unu aşamayacak şekilde uygulanan başlangıç yükünden sonra yük, darbe etkisi oluşturulmadan, seçilen hız  $\pm \%10$  sapma sınırları arasında



ayarlanarak, numuneler kırılıncaya kadar, sabit hızda arttırılmak suretiyle uygulandı. Göstergeden okunan en büyük yük kN olarak kaydedildi.

Basınç dayanımı, aşağıda verilen bağıntı kullanılarak hesaplandı:

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad 2.1$$

Burada;

- $f_c$  Basınç dayanımı, MPa (N/mm<sup>2</sup>),
- F Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N,
- $A_c$  Numunenin, üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı, mm<sup>2</sup>'dir.
- Bu alan, numunenin belirtilen ölçüleri kullanılarak (EN 12390-3) hesaplandı.

Basınç dayanımı, en yakın 0,1 MPa (N/mm<sup>2</sup>) yuvarlatılarak kayıt edildi.



Şekil 2.15. Uygulanan yük altındaki silindir numune

### **Eğilmede Çekme Deneyi:**

Deneyler EN 12390-4 standardına uygun deney makinası kullanılarak yapıldı.

Aşağıda yük uygulama düzeneği verilmektedir:

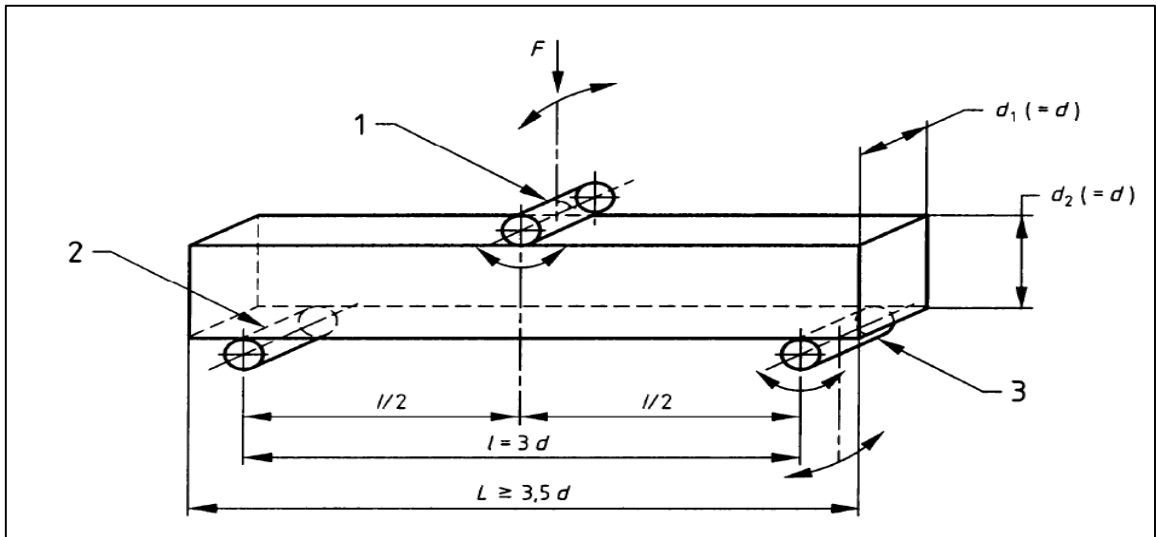
- İki adet mesnet silindiri,
- Bir adet yükleme (üst) silindiri. Üst silindir, makina tarafından uygulanan yükün silindirler arasında eşit paylaştırılmasını sağlayan mafsallı kirişe bağlanmıştır.

Toplamda üç adet bulunan silindir, eksenleri etrafında serbestçe dönebilir olup, deney numunesi eksenine dik yönde, eğilebilir şekildedir. Dışta bulunan silindirler (mesnetler) arasındaki açıklık  $1,3d$ 'ye eşit olmalıdır. Burada  $d$ , numune (çapı) genişliğidir.

Deney numuneleri, EN 12390-1'e uygun prizma şekilli olup, kalıplara dökülerek EN 12350-1 ve EN 12390-2 standartlarına uygun şekilde hazırlandı ve numune üzerine beton yerleştirilme yönü (döküm yönü) işaretlendi.

Deney makinesinin tüm yükleme yüzeyleri silinip temizlenerek deney numunesinin, silindirlerin temas edeceği yüzeyler pürüzsüz bir hale getirildi. Su içerisine bırakılıp bekletilen deney numuneleri, sudan çıkarılarak yüzeyindeki fazla su kurulanıp temizlendikten sonra deney makinesine yerleştirildi. Deney numunesi, makinenin tam merkez kısmına gelecek şekilde yerleştirildi. Numune eksen, üst ve alt yükleme silindirleri eksenine dik açı teşkil edecek şekilde konumlandırıldı.

Referans yükleme doğrultusunun, numunenin beton yerleştirme yönüne dik olacak şekilde ayarlandı (Şekil 2.16.).



Şekil 2.16. Deney numunesini yükleme düzeneği

Açıklama;

- 1 : Yükleme silindiri (dönebilen ve yana eğilebilen)
- 2 : Mesnet silindiri
- 3 : Mesnet silindiri (dönebilen ve yana eğilebilen)

Anlatıldığı şekilde hazırlanan kiriş numuneler, uygulanan yüklemeden sonra, önce yükleme doğrultusunda çatlak oluşturarak, daha sonra da tamamen iki parçaya ayrılarak kırılmıştır. Kırılma yüzeyleri düzgün olmayıp, yer yer kaba agregaların ara yüzeylerinden sıyrılıp çıktığı ve karşı yüzeyde boş yuva bıraktığı izlenmiştir (Şekil 2.17. ve 2.18.).

Deneyde yükleme hızı standartta verilen bağıntıya (2.2) göre belirlenirken, eğilmede çekme dayanım sonuçları 2.3’de (EN 12390-5) görülen bağıntıya göre hesaplanmıştır.



Şekil 2.17. Uygulanan yük altında kiriş numunede meydana gelen çatlama



Şekil 2.18. Kırılan beton kiriş numunesi

$$R = \frac{2 \times d_1 \times d_2^2 \times s}{3 \times I} \quad 2.2$$

Burada;

- R : Gerekli yükleme hızı, N/s,
- s : Gerilme artış hızı, MPa/s (N/mm<sup>2</sup>.s),
- d<sub>1</sub> : Numunenin en kesit boyutu mm (Şekil 2.16.)
- d<sub>2</sub> : Numunenin en kesit boyutu mm (Şekil 2.16.) (h)
- I : Mesnet silindirleri arasındaki açıklık, mm'dir.

Eğilme dayanımı, aşağıda verilen formül kullanılarak hesaplandı:

$$f_{cf} = \frac{3 \times F \times I}{2 \times d_1 \times d_2^2} \quad 2.3$$

Burada;

- $f_{cf}$  : Eğilme dayanımı, MPa (N/mm<sup>2</sup>),
- F : En büyük yük, N,
- I : Mesnet silindirleri arasındaki açıklık, mm
- d<sub>1</sub> : Numunenin en kesit boyutu mm'dir.
- d<sub>2</sub> : Numunenin en kesit boyutu, mm'dir. (h)

Eğilme dayanımı, en yakın 0,1 MPa'a (N/mm<sup>2</sup>) yuvarlatılarak yazılmıştır.

Eğilmede çekme sehimi, 1/100 mm duyarlılığında kompratör aracıyla ölçülmüştür.

### **Kıvam Belirleme Deneyi:**

Taze betonun kıvamını belirleyebilmek için bilinçli olarak sıkılaştırma (sıkıştırma) yöntemine başvurulmuştur. TS EN 12350-4'e göre bu yöntemde normal olarak 40 cm yüksekliğinde ve 20x20 cm taban ölçülerinde, sacdan yapılmış kare prizma şeklinde bir kap esas alınmakta ve sıkıştırma etkisinde, taze beton dolu kap yüksekliğinin, alçalan taze beton yüksekliğine oranı kıvam göstergesi sayılmaktadır. Anılan standart, ince taneli (harç) betonlarda 20 cm yüksekliğinde kap yüksekliğine de izin vermektedir. Buradan hareketle ve olanaklar çerçevesinde bu deney için de 20 cm yüksekliğinde ve 10 cm çapında silindir kap kullanılmıştır (Şekil 2.19).



Şekil 2.19. Kıvam deneyinde kullanılan silindir kap

Buna göre sıkıştırma oranı, aynı zamanda işlenebilme kıvamının da bir göstergesi olmakta ve

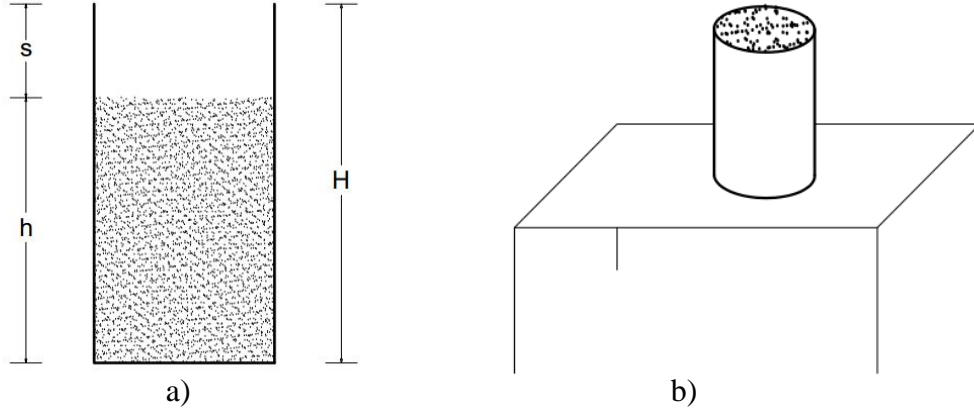
$$C = \frac{H}{h} \quad 2.4$$

şeklinde kurgulanmakta ve deney, sonuçlarıyla birlikte 3.2'de açıklanmaktadır.

Burada;

H : Silme taze beton doldurulmuş kabın yüksekliği, 20 cm.

h : Genelde titreşim tablasında sıkıştırılmış, kab içerisindeki taze beton yüksekliği, cm.



Şekil 2.20. Sıkılaştırma Yöntemi; a) Sıkıştırılmış (sıkılaştırılmış) taze beton;  
b) Sıkılaştırma kıvam yönteminin uygulanması

Yönteme göre temel alınan sıkıştırılabilirlik etkisidir; bu da nispeten daha düşük s/ç oranında gerçekleşmektedir. Bu özelliğiyle sıkıştırma yöntemi, serbest çökme ve yayılma yöntemlerinden ayrılmaktadır. Anılan yöntemlerde ise temel amaç sıkıştırma etkisi değil, taze betonun akışkanlığıdır (Tablo 2.7.).

Tablo 2.7. Standart kıvam aralıkları (TS EN 206: 2013+A1, 2017)

Sıkıştırma yöntemi	
C	mm/mm
C0	$\geq 1,46$
C1	1,45-1,26
C2	1,25-1,11
C3	1,10-1,04
C4	$< 1,04$

### **3. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ**

#### **3.1. Beton Birim Kütleleri Deney Sonuçları**

Beton numunelerinin birim (hacim) kütleleri, özellikle taze sıkıştırılmış olarak ve deney öncesinde sertleşmiş beton için büyük önem taşımaktadır; birincisinde beton bileşimi sorgulanmış, ikincisinde de doluluk oranıyla dayanım arasındaki ilişki belirlenmiş olmaktadır. Böylece tasarım ilişkileri elde edilen sonuçlarla kanıtlanma olanağına kavuşmuş olmaktadır.

Taze beton numunelerinin kütsel özellikleri sırasıyla, 1 günlük beton birim kütlesi (silindir), 1 günlük beton birim kütlesi (kiriş), 28 günlük beton birim kütlesi (silindir), 28 günlük beton birim kütlesi (kiriş) deney sonuçlarına ilişkin değerler Tablo 3.1.'de ve yine bu sonuçların grafiksel gösterimi ise, 1 günlük beton birim kütlesi (silindir), 28 günlük beton birim kütlesi (silindir) Şekil 3.1'de, 1 günlük beton birim kütlesi (kiriş), 28 günlük beton birim kütlesi (kiriş) ise Şekil 3.2'de verilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda, 1 günlük beton birim kütleleri, taze beton birim kütlesine (silindir-kiriş) göre değer kaybetmiş olup, 28 günlük birim kütle değerlerinde ise az miktarda bir yükseliş meydana gelmiştir. Bunun da nedeni, kalıpta sıkıştırılmış taze betonun, bir gün sonra tartılan aynı numuneden daha fazla su içermesidir. Her ne kadar kalıptaki numune ıslak örtülerle kapalı tutulmuş olsa da sadece bir günlük süreden sonra dahi buharlaşma yoluyla kütle kaybına uğramış olmaktadır. Öte yandan 28 günün sonunda, deney uygulaması öncesinde gerçekleştirilen tartı yoklamasında silindir numunelerin bir günlük numunelere göre az bir kütle fazlalığı gösterirken, kiriş numunelerde görülen kütle artışının, numune kütlesini taze beton kütlesine yaklaştırdığı ve hatta bir kısım numune dizisinde ise, lif oranının yükselişine bağlı olarak taze beton numune kütlesini aştığı (Şekil 3.2.) görülmektedir. Bunun da nedeni numunelerin uzunca bir süre su havuzunda (kür) beklemiş ve “doygunluk” derecesinde su emmiş olmasıdır. Sırasıyla açıklanacak olursa; beton numunelerindeki lif hacmi (%0,25; 0,50; 0,75; 1,00; 1,25; 1,50) olan; silindir numunelerin taze beton birim kütlesi en yüksek değeri 2. dizide  $2,42 \text{ kg/dm}^3$ , en düşük değeri ise 6. dizide (%1,25 Lif Katkılı Beton)  $2,36 \text{ kg/dm}^3$  olarak bulmuştur. 1 Günlük silindir numunenin beton birim kütlesi en yüksek değeri 2. dizide (%0,25 Lif Katkılı Beton)  $2,41 \text{ kg/dm}^3$  olarak almış olup en düşük değerinin ise 6. dizi (%1,25 Lif Katkılı Beton) ve 7. dizide (%1,50 Lif Katkılı

Beton) 2,35 kg/dm<sup>3</sup> olduğu görülmüştür. Yine silindir numunelerin 28 günlük beton birim kütlesi incelendiğinde en yüksek değerin 2. dizide (%0,25 Lif Katkılı Beton) 2,43 kg/dm<sup>3</sup> olduğu, en düşük değerin ise 7. dizide (%1,50 Lif Katkılı Beton) 2,38 kg/dm<sup>3</sup> olduğu kayıt altına alınmıştır. Buna göre silindir numunelerin taze beton birim kütlesi, 1 günlük beton birim kütlesi ve 28 günlük beton birim kütlesi; tanık beton (1. dizi) numunelerine göre düşüş gözlemlenmiştir. Yine farklı lif oranlarına sahip kiriş numunelerin taze beton birim kütlesi 2. dizide (%0,25 Lif Katkılı Beton) 2,46 kg/dm<sup>3</sup>'de en yüksek değerini alıp, en düşük değeri ise 5. dizide (%1,0 Lif Katkılı Beton) 2,39 kg/dm<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir. Kiriş numunelerin 1 günlük beton birim kütlesinin en yüksek değeri 2. dizide (%0,25 Lif Katkılı Beton) 2,42 kg/dm<sup>3</sup> değerinde olup, en düşük değeri 3. dizi (%0,50 Lif Katkılı Beton), 5. dizi (%1,0 Lif Katkılı Beton) ve 6. dizide (%1,25 Lif Katkılı Beton) 2,37 kg/dm<sup>3</sup> olarak bulunmuştur.

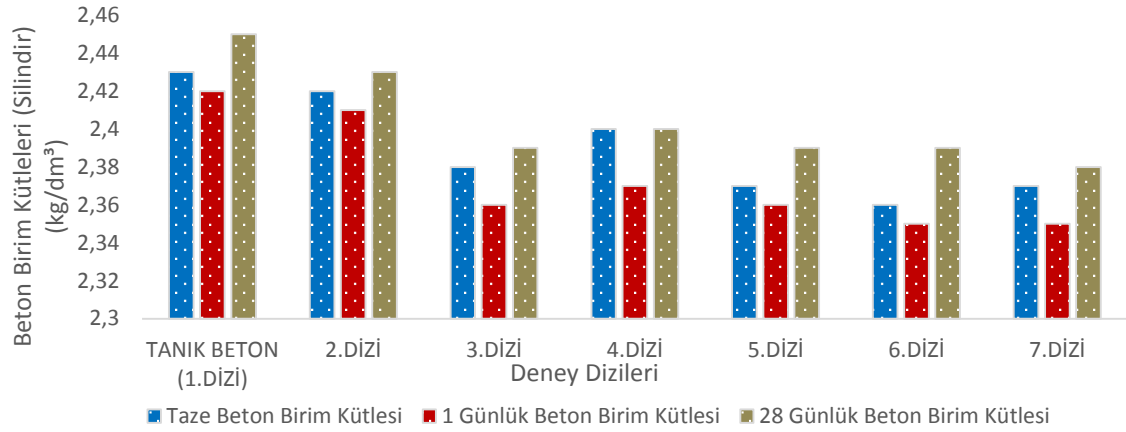
Son olarak 28 günlük beton birim kütlesi değerleri incelendiğinde 2. dizide (%0,25 Lif Katkılı Beton) en yüksek değeri 2,44 kg/dm<sup>3</sup> olarak kayıt edilmiş olup, en düşük değerini ise 5. dizide (%1,0 Lif Katkılı Beton) 2,40 kg/dm<sup>3</sup> olarak almıştır. Buna göre kiriş numunelerin taze beton birim kütlesi, 1 günlük beton birim kütlesi ve 28 günlük beton birim kütlesi; 2. dizide (%0,25 Lif Katkılı Beton), 1. dizi (tanık beton) numunelerine göre yakın düzeyde veriler bulunmuştur ve diğer dizilerde ise tanık betona kıyasla genel olarak düşüş gözlemlenmiştir (Tablo 3.1.).

Tablo 3.1. Beton numuneleri birim kütle değerleri

Deney Dizileri	Taze Beton Birim Kütlesi (kg/dm <sup>3</sup> ) (Silindir)	Taze Beton Birim Kütlesi (kg/dm <sup>3</sup> ) (Kiriş)	1 Günlük Beton Birim Kütlesi (kg/dm <sup>3</sup> ) (Silindir)	1 Günlük Beton Birim Kütlesi (kg/dm <sup>3</sup> ) (Kiriş)	28 Günlük Beton Birim Kütlesi (kg/dm <sup>3</sup> ) (Silindir)	28 Günlük Beton Birim Kütlesi (kg/dm <sup>3</sup> ) (Kiriş)
1.Dizi <sup>1</sup>	2,43	2,45	2,42	2,42	2,45	2,44
2.Dizi <sup>2</sup>	2,42	2,46	2,41	2,42	2,43	2,44
3.Dizi <sup>3</sup>	2,38	2,41	2,36	2,37	2,39	2,41
4.Dizi <sup>4</sup>	2,40	2,41	2,37	2,39	2,40	2,42
5.Dizi <sup>5</sup>	2,37	2,39	2,36	2,37	2,39	2,40
6.Dizi <sup>6</sup>	2,36	2,40	2,35	2,37	2,39	2,41
7.Dizi <sup>7</sup>	2,37	2,40	2,35	2,38	2,38	2,41

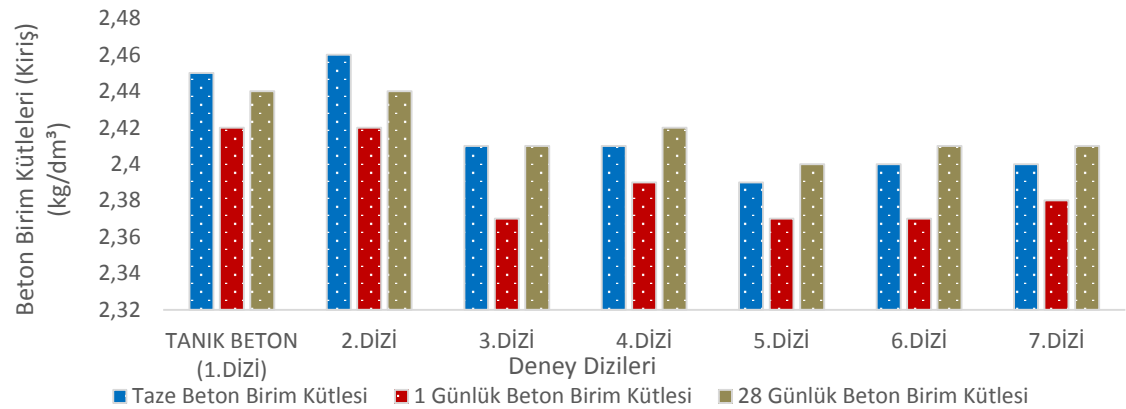
<sup>1</sup>Tanık Beton, <sup>2</sup>% 0,25 Lif Katkılı Beton, <sup>3</sup>% 0,50 Lif Katkılı Beton, <sup>4</sup>% 0,75 Lif Katkılı Beton, <sup>5</sup>% 1,0 Lif Katkılı Beton, <sup>6</sup>% 1,25 Lif Katkılı Beton, <sup>7</sup>% 1,50 Lif Katkılı Beton





Şekil 3.1. Silindir beton numunelerin birim kütlelerinin grafiksel gösterimi

Tanık betonla (1. dizi) tüm dizilerin birim (hacim) kütleleri mukayese edildiğinde düşüş gözlemlenmiş olup, sonuç olarak birim kütleleri karşılaştırıldığında 28 günlük beton birim kütlelerinin en yüksek değerde olduğu, 1 günlük beton birim kütlesi ise taze beton birim kütlesine göre daha düşük olduğu görülmüştür (Şekil 3.1).



Şekil 3.2. Kiriş beton numunelerin birim kütlelerinin grafiksel gösterimi

Tanık betonla (1. dizi) tüm dizilerin birim (hacim) kütleleri mukayese edildiğinde 2. dizi hariç diğer dizilerde lif oranındaki artışa bağlı olarak düşüş gözlemlenmiş olup, sonuç olarak birim kütleleri karşılaştırıldığında taze beton birim kütlelerinin 2. dizi’de en yüksek değerde olduğu diğer dizilerde düşüş gösterdiği, 1 günlük beton birim kütlesi ise 28 günlük

beton birim kütlesine göre yukarıda açıklandığı gibi daha düşük olduğu görülmüştür (Şekil 3.2.).

### 3.2. Kıvam Deneyi Sonuçları

Kıvam numunelerinde belirlenen; taze beton birim kütlesi, sıkıştırma yüksekliği, sıkıştırma oranı, 1 günlük beton birim kütlesi, 28 günlük beton birim kütlesi ve 105°C kuru birim kütlesi deney sonuçlarına ilişkin değerler Tablo 3.2.'de verilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda taze beton birim kütlesinde, lif oranının artışına bağlı olarak genel bir düşüş gözlemlenmiş olup, sadece 3. dizide (%0,50 Lif Katkılı Beton) ve 6. dizide (%1,25 Lif Katkılı Beton) bir artış görülüp, bunun da 3. Dizide  $2,38 \text{ kg/dm}^3$ , 6. dizide ise  $2,36 \text{ kg/dm}^3$  düzeyine çıktığı, en düşük değer ise 5. dizide (%1,0 Lif Katkılı Beton)  $2,31 \text{ kg/dm}^3$  olduğu tespit edilmiştir. Sıkıştırılmış beton yüksekliği (mm) deney sonuçları, en yüksek değeri 3. dizide (%0,50 Lif Katkılı Beton) 16,42 mm olarak ölçülmüş olup, en düşük değeri ise 5. dizide (%1,0 Lif Katkılı Beton) 14,77 mm olduğu tespit edilmiştir. Sıkıştırma oranı deney sonuçları tanık betona (1. dizi) göre incelendiğinde en yüksek değeri 5. dizide (%1,0 Lif Katkılı Beton) 1,35 olarak kayıt edilmiş, en düşük değeri ise 3. dizide (%0,50 Lif Katkılı Beton) 1,22 olduğu görülmüştür. 1 Günlük beton birim kütlesi ( $\text{kg/dm}^3$ ) tüm dizilerde tanık betonla mukayese edildiğinde en yüksek 2. dizide (%0,25 Lif Katkılı Beton)  $2,37 \text{ kg/dm}^3$  değerini aldığı, en düşük değeri ise 5. dizide (%1,0 Lif Katkılı Beton)  $2,30 \text{ kg/dm}^3$  düzeyinde olduğu tespit edilmiştir. 28 Günlük beton birim kütlesi ( $\text{kg/dm}^3$ ) deney sonuçları her dizi için tanık betonla kıyaslandığında en yüksek değeri 3. dizide (%0,50 Lif Katkılı Beton)  $2,40 \text{ kg/dm}^3$ , en düşük değeri ise 7. dizide (%1,50 Lif Katkılı Beton)  $2,34 \text{ kg/dm}^3$  olduğu tespit edilmiştir. 105°C kuru birim kütlesi ( $\text{kg/dm}^3$ ) deney dizileri tanık betonla mukayese edildiğinde en yüksek değeri 2. dizide (%0,25 Lif Katkılı Beton)  $2,38 \text{ kg/dm}^3$ , en düşük değeri ise 4. dizide (%0,75 Lif Katkılı Beton)  $2,22 \text{ kg/dm}^3$  olduğu sonucuna varılmıştır (Tablo 3.2.).

Tablo 3.2. Kıvam Numunelerine Uygulanan Deney Sonuçları

Deney Dizileri	Taze Beton Birim Kütlesi (kg/dm <sup>3</sup> )	Sıkıştırılmış Beton Yüksekliği h=20-s (cm)	Sıkıştırma Oranı C=20/h	1 Günlük Beton Birim Kütlesi (kg/dm <sup>3</sup> )	28 Günlük Beton Birim Kütlesi (kg/dm <sup>3</sup> )	105°C Kuru Birim Kütlesi (kg/dm <sup>3</sup> )
1.Dizi <sup>1</sup>	2,45	15,55	1,29	2,38	2,44	2,40
2.Dizi <sup>2</sup>	2,37	16,10	1,24	2,37	2,39	2,38
3.Dizi <sup>3</sup>	2,38	16,42	1,22	2,36	2,40	2,24
4.Dizi <sup>4</sup>	2,35	15,87	1,26	2,34	2,37	2,22
5.Dizi <sup>5</sup>	2,31	14,77	1,35	2,30	2,38	2,23
6.Dizi <sup>6</sup>	2,36	15,35	1,30	2,34	2,37	2,27
7.Dizi <sup>7</sup>	2,33	15,25	1,31	2,31	2,34	2,32
<sup>1)</sup> Tanık Beton, <sup>2)</sup> % 0,25 Lif Katkılı Beton, <sup>3)</sup> % 0,50 Lif Katkılı Beton, <sup>4)</sup> % 0,75 Lif Katkılı Beton, <sup>5)</sup> % 1,0 Lif Katkılı Beton, <sup>6)</sup> % 1,25 Lif Katkılı Beton, <sup>7)</sup> % 1,50 Lif Katkılı Beton						

Yöntemin ruhu gereği, sıkıştırmanın göstergesi kuşkusuz birim kütle olmaktadır. Bu açıdan öncelikle sıkıştırılmış taze betonun ele alınması gerekmektedir. Burada da sarsma etkisinde taze beton içerisindeki tanelerin adezyon kuvvetlerine karşı, yerçekimi etkisinden yeniden konumlanma eğilimi etkili olmaktadır. Gerekli olan kayganlığın sağlanması ise çok su muhtevası ile değil, az karma suyu ile başka bir söyleyişle orta-koyu kıvamda bir taze betonla gerçekleşmektedir. Bunun da nedeni çok sulu taze beton karışımlarında boşluklar su ile dolu olduğundan etkili bir sıkışma gerçekleşmemektedir.

Agrega tane yapısı açısından bakıldığında, öncelikle kırmataş agregaların kalıp içerisinde sıkıştırılma gerekliliği böyle bir yöntemi de (sıkılaştırma yöntemi) ayrıcasız zorunlu kılmaktadır.

Nitekim deney sürecinde elde edilen sonuçlara yakından bakıldığında, sıkıştırma oranlarının 1,22 ile 1,35 (Tablo 3.2.) arasında gerçekleştiği görülmektedir. Standart (TS EN 206: 2013+A1, 2017) bu oranları C1 ile C2 arasında (Tablo 2.7.) göstermektedir. Bu da orta-koyu bir kıvamı işaret etmektedir.

Deney sonuçları (Tablo 3.2.) taze beton birim kütlelerini 2,45 ile 2,31 kg/dm<sup>3</sup> arasında gösterirken, bunları tam olarak lif oranına bağlı bir izlem (seyir) şeklinde vermemektedir. Bununla birlikte lif oranındaki artışa bağlı olarak genel bir azalmadan da bahsetmek mümkündür. Benzer şekilde kuru birim kütlelerde de lif oranına bağlı olarak genel bir azalış izlemek olanaklı gözükmemektedir. Sıkıştırma oranlarına gelince, bunların da lif oranına bağlı

olarak çok açık bir düşüş ya da yükseliş göstermedikleri görülmektedir. Bununla birlikte 5. deney dizisinden başlamak üzere sıkıştırma oranının 1,30'un üzerine çıktığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak lif oranındaki artışa bağlı olarak az da olsa sıkıştırma oranında bir yükseliş, taze beton birim kütlede ise ortalama yaklaşık %4 oranında bir düşüş olduğunu görmek olanaklıdır. Bu da artan lif oranının, sıkıştırma etkinliğine rağmen birim kütledeki azalışa da neden olduğunu göstermektedir.

### **3.3. Basınç Dayanımı ve Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi Sonuçları**

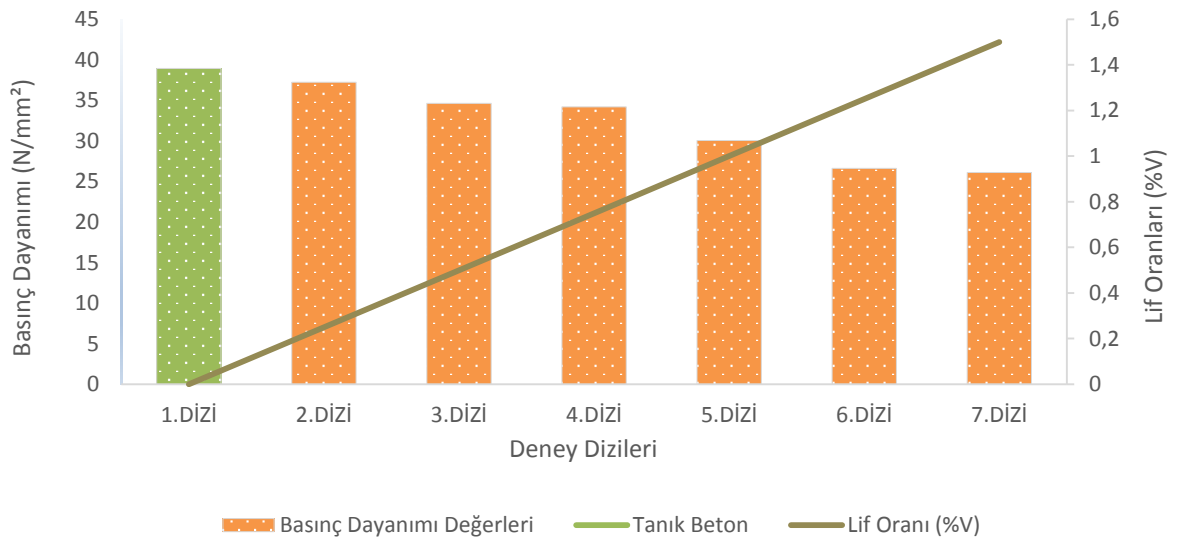
Basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı, sehimi, 28 günlük basınç numunelerinin kuru kütleleri, 28 günlük eğilmede çekme numunelerinin kuru kütleleri, Tablo 3.3.'de ve sonuçların grafiksel gösterimi ise, basınç dayanımı Şekil 3.3., eğilmede çekme dayanımı Şekil 3.4., eğilmede çekme sehimi Şekil 3.5.'de gösterilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda, beton numunelerindeki lif hacim oranı (%0,25; 0,50; 0,75; 1,00; 1,25; 1,50) arttıkça beton basınç dayanımında sürekli bir düşüş izlenmiştir. Tanık beton numuneleri ile kıyaslandığında en yüksek basınç dayanım değeri 2. dizide (%0,25 lif katkılı beton) 37,25 N/mm<sup>2</sup> olup, en düşük değeri ise 7. dizide (%1,50 Lif Katkılı Beton) 26,10 N/mm<sup>2</sup>'dir. Eğilmede çekme dayanımı deney analizi sonucunda ise tanık betona göre lif hacmi arttıkça dayanım artmaya devam etmiş olup, en yüksek değeri 7. dizide (%1,50 Lif Katkılı Beton) 8,16 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiş, yine en düşük değeri ise 2. dizide (%0,25 lif katkılı beton) 7,56 N/mm<sup>2</sup> olarak göstermiştir. Eğilmede çekme sehimi; 2. dizide (%0,25 Lif Katkılı Beton) en yüksek 1,45 mm, en düşük 7. dizide (%1,50 Lif Katkılı Beton) 1,09 mm değerinde olup beton içerisindeki lif hacmi arttıkça düşüşe geçmiştir (Tablo 3.3.). 28 Günlük basınç numunelerinin birim kütleleri kıyaslandığında lif hacmi beton karışımı içerisinde arttıkça, az miktarda da olsa genel bir azalma gözlemlenmiştir. Birim kütle en yüksek değerini 2. dizide (%0,25 Lif Katkılı Beton) 2,43 kg/dm<sup>3</sup> olarak almıştır. 28 Günlük eğilmede çekme numunelerinin birim kütleleri karşılaştırıldığında lif hacmi arttıkça kuru kütlede genel bir azalma gözlemlenmiştir. En yüksek değerini 2. dizide (%0,25 Lif Katkılı Beton) 2,44 g/cm<sup>3</sup> olarak almış olup, en düşük değerini ise 2,40 kg/dm<sup>3</sup> 5. dizide (%1,0 Lif Katkılı Beton) göstermiştir (Tablo 3.1.).

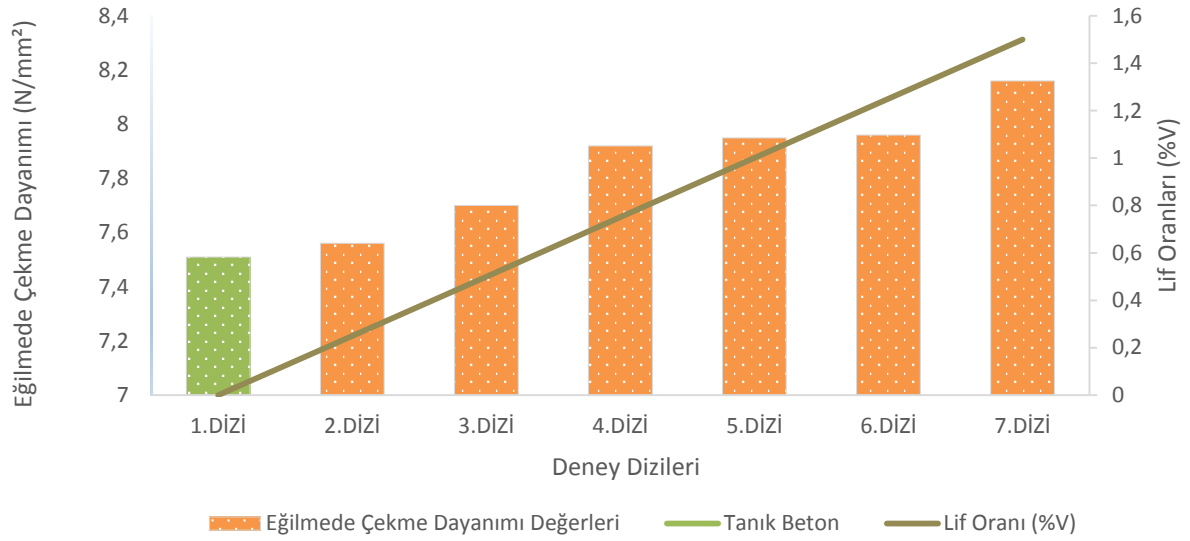
Tablo 3.3. Beton numuneleri dayanım deneyi sonuçları

Deney Dizileri	Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Eğilmede Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Eğilmede Çekme Sehimi (mm)
1.Dizi <sup>1</sup>	38,94	7,51	1,18
2.Dizi <sup>2</sup>	37,25	7,56	1,45
3.Dizi <sup>3</sup>	34,63	7,70	1,25
4.Dizi <sup>4</sup>	34,21	7,92	1,20
5.Dizi <sup>5</sup>	30,05	7,95	1,19
6.Dizi <sup>6</sup>	26,61	7,96	1,15
7.Dizi <sup>7</sup>	26,10	8,16	1,09

<sup>1</sup>Tanık Beton, <sup>2</sup>% 0,25 Lif Katkılı Beton, <sup>3</sup>% 0,50 Lif Katkılı Beton, <sup>4</sup>% 0,75 Lif Katkılı Beton, <sup>5</sup>% 1,0 Lif Katkılı Beton, <sup>6</sup>% 1,25 Lif Katkılı Beton, <sup>7</sup>% 1,50 Lif Katkılı Beton

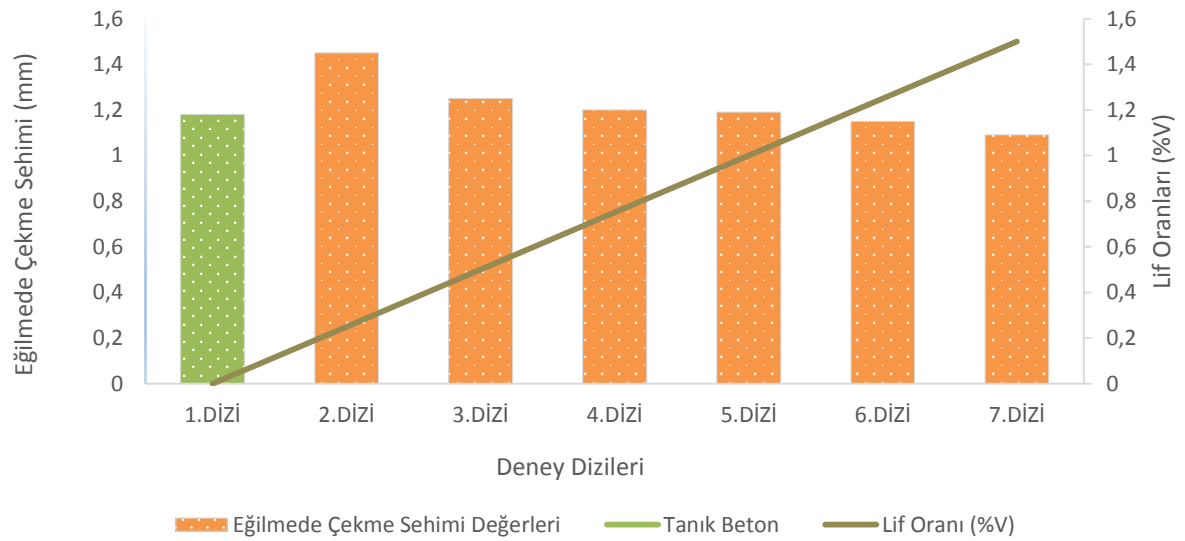


Şekil 3.3. Basınç dayanımı değerlerinin grafiksel gösterimi



Şekil 3.4. Eğilmede çekme dayanımı değerlerinin grafiksel gösterimi

Eğilmede çekme deneylerinde kullanılan deney numunelerinden elde edilen sehim sonuçları aşağıdaki grafikte gösterilmiştir (Şekil 3.5.). Lif oranları değiştirilerek elde edilen numunelerin sehim değerlerinde (mm) kararlı bir izlem kaydedilememiştir. Tanık betona göre 2. dizi (%0,25 lif katkılı beton) en yüksek değerde olup, beton içerisindeki lif oranı arttıkça tanık betona (1. dizi) göre eğilmede çekme sehimini 5. diziye kadar az da olsa artmış olup 6. dizi ve 7. dizi değerlerinde ise düşüş gözlemlenmiştir (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. Eğilmede çekme sehim değeri değerlerinin grafiksel gösterimi

#### 4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan çalışmada üretilen lif katkılı beton silindir numunelerin basınç dayanımları ve kare kesitli kiriş numunelerin eğilmede çekme dayanımları belirlenerek karşılaştırması yapılmıştır. Ayrıca lif katkısız tanık numuneler yanında polipropilen lif katkısının %0,25; %0,50; %0,75; %1,00; %1,25 ve %1,50 hacim oranlarında arttırılarak üretilen numunelerin, taze beton özelliklerinden kıvamına olan etkisi üzerinde durulmuş ve elde edilen sonuçlar özetle aşağıda sıralanmıştır.

- 1) Silindir ve Kiriş numunelerin kütsel özelliklerine bakıldığında gerek taze beton gerekse bir ve 28 günlük numunelerin lif oranına bağlı olarak birim kütle azalışı, en düşük ve en yüksek değerler arasında ancak %2 ile %3 arasında görülmüştür.
- 2) Sıkılaştırma (kapalı çökme; sıkıştırma) yöntemine göre yapılan kıvam deneyinden elde edilen sonuçlara göre, taze beton silindir numuneler arasında, artan lif oranına göre ortalama yaklaşık %4 oranında birim kütle düşüşü izlenmiş olup, kuru birim kütleleri arasında ise bu düşüşün %5 civarında olduğu görülmüştür.
- 3) Kıvamın belirleyicisi olan sıkıştırma oranlarına gelince, ortalama değerin 1,28 olduğu, buna göre lif oranındaki artışa bağlı olarak bu değerin, 1,31'e de çıktığı görülmektedir. Bu oranlar C1 ile C2 arasında, orta-koyu kıvam özelliklerine daha çok uyan bir sonucu göstermektedir.
- 4) Lif oranı arttıkça basınç dayanımında, tanık numuneye göre %33, en düşük lif içerikli numuneye göre de %30'a varan bir azalma olduğu, bu azalmanın da bir süreklilik seyrinde sonuçlandığı görülmüştür.
- 5) Eğilmede çekme dayanımları, lif artışına bağlı olarak sürekli bir artış göstererek %8'e varan bir yükselişe erişmekte, ancak bu yükselişi azalan ya da artan bir sehim ölçüsü (mm) ile ilişkilendirmek olanaklı gözükmemektedir.

Sonuç olarak, düşük oranlarda ve kısa uzunlukta PP lif katkısının taze beton kıvamına belirgin bir etkisi izlenememiştir, basınç dayanımında ortaya çıkan düşüşün ve eğilmede çekme dayanımındaki artışın ise beklenildiği gibi sınırlı kaldığı görülmüştür. Bundan sonraki yapılacak olan çalışmalarda lif boyunun "eşik uzunluktan" çok kısa seçilmemesi, agrega tane boyutu dağılımının ise da ha ince bir bölgede (B/C) olması gerektiği anlaşılmaktadır. Böylece daha sünek bir beton davranışı için lif oranlarının daha yüksek

tutulmasının ve numune sayılarının arttırılmasının daha elverişli sonuçlara götüreceği düşünölmektedir.



## 5. KAYNAKLAR

- Acun, S., 2000. Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Dizayn Parametresi Olarak Lifsel Katkıların İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 153s.
- Akkaş, A., Alparslan, L., Arabacı, S. ve Başyigit, C., 2010. Polipropilen Lif Katkılı Yarı Hafif Betonların Basınç Dayanımı Özellikleri, SDU International Technologic Science, 2, 1, 9-14.
- Altun, F., Özcan, D.M., Haktanır, T. ve Vekli, M., 2002. Çelik Lif Katkılı Betonarme Kirişlerin Taşıma Gücünün Deneysel İncelenmesi, ECAS2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, s.205-212.
- Altun, F., Özcan, M., Vekli, M. ve Karahan, O., 2004. Çelik Lif Katkılı C20 Betonun Mekanik Özelliklerinin Deneysel Araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 4, 1-2, 31-40.
- Altun, F., 2006. Şubat 21, Çelik Lifli Hafif Betonun Deneysel Araştırılması, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12, 3, 333-339.
- Ataman, R., 1991. Beton Yapıların Yangın Dayanımlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 176s.
- Atar, N., 2006. Suda Çözünen Polimerlerin Çimento ve Beton Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 89s.
- Bahadır, F., 2010. Polipropilen Lifli Betonların Mekanik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 78s.
- Bartos, P., 1992. Fresh Concrete-Workability and Tests, Elsevier Science, Amsterdam, the Netherlands.
- Bei-xing, L., Ming-xian, C., Fang, C. ve Lu-ping, L., September 2004. The Mechanical Properties of Polypropylene Reinforced Concrete, Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed., 19, 3, 68-71.
- Biber, S.A., 2001. Karmaşık Çelik Tel Takviyeli Betonların Mekanik Davranışı, Bitirme Ödevi, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Bilgiç, T., 1999. Polimerler I, Pagev Yayınları, 2. Baskı, İstanbul.
- Bingöl, A.F. ve Gül, R., 2004. Compressive Strenght of Lightweight Aggregate Concrete Exposed to High Tempetures, India Journal of Engineering and Materials Sciences, 11, 1, 68-72.

- Bolu Çimento A.Ş. 2019. Çimento Kullanım Alanları, <http://www.bolucimento.com.tr/tr/faaliyet-alanlari/cimento>.
- Bunsell, A.R., 1988. Fiber Reinforcement for Composite Materials, Elsevier Science Publishers, ISBN 0-444-42801-1, Amsterdam, Volume 2, p.537.
- Chawla, K.K., 1998. Fibrous Materials, Cambridge University Press, ISBN 9780511525209, Cambridge.
- Do, M.T., Chaal, O. ve Aitcin, P.C., 1993. Fatigue Behavior of High-Performance Concrete, Journal of Materials in Civil Engineering, 5, 1, 96–111.
- Durmaz, B., 2007. Bölgesel Basınca Maruz Lifli Betonlarda Yatak Mukavemeti. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 62s.
- Erbaş, M., 2003. Polipropilen Lifler ve Betonun Durabilitesine Etkisi, 5. Ulusal Beton Kongresi, Kongre Sempozyum Bildirimler Kitabı, İstanbul, s.593-603.
- Erdoğan, S.Y. ve Erdoğan, T.Y., 2006. Soru ve Yanıtlarıyla Beton, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul, 256s.
- Ersoy, H., 2001. Kompozit Malzeme, Literatür Yayınları, İstanbul, s.121-122.
- Esen, Y., 2003a. Poliakrilonitril Liflerle Güçlendirilen Betonların Fiziksel Özelliklerinin Deneysel Olarak Araştırılması, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15, 1, 29-36.
- Esen, Y., 2003b. Poliakrilonitril Lifi Takviyeli Betonlarda Süneklik ve Rötire Özelliklerinin Deneysel Olarak Araştırılması, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırma ve Uygulama Merkezi, 1, 3, 108-112.
- Ezeldin, A.S. ve Shiah, T.W., 1995. Analytical Immediate and Long-Term Deflections of Fiber-Reinforced Concrete Beams, Journal of Structural Engineering, 121, 727-737.
- Fırat, M.T., 1996. Silis Dumanı İçeren Yüksek Mukavemetli Betonların Enerji Tutma Kapasitelerinin Arttırılmasında Çelik Lif Kullanımının Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 75s.
- Gököz, N.Ü., 1978. Ön Yorulmanın Yalın ve İnce Tellerle Donatılı Betonların Özelliklerine Etkisi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 128s.
- Hannant, D., 2003. Advanced Concrete Technology, Elsevier Ltd., ISBN 978-0-7506-5686-3, İngiltere, p.1920.
- Houssam, A.T., 1999. Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Silica Fume Expansive-Cement Concrete, Construction and Building Materials, 13, 171-177.
- Hsie, M., Tu, C. ve Song, P.S., 2008. Mechanical Properties of Polypropylene Hybrid Fiber-Reinforced Concrete, Materials Science and Engineering, 494, 153 – 157.

- İnce, H.H., 2005. Mineral, Kimyasal Katkılı ve Polipropilen Fiber Takviyeli Taze Betonun Basınç Altındaki Davranışının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 71s.
- Karsten, R., 1992. Bauchemie: Handbuch für Studium und Praxis, Karlsruhe Müller Verlag, ISBN-13: 9783788074388, Germany, p.425.
- Klausen, D., Hoscheid, R. ve Lieblang, P., 2013. Technologie der Baustoffe. Handbuch für Studium und Praxis. 15., neu bearb.u. erw. Aufl. VDE-Verlag, Berlin, Offenbach.
- Morgan, D.R., 1991, Freeze Thaw Durability of Steel and Polypropylene Reinforced Shotcretes: a Review, Durability of Concrete, Second International Conference, 4-9 August, Canada, 2, 901-918.
- Nicholl, R. ve Hall, P. 1976. Composite Construction Materials Handbook, Englewood Cliffs, pp.259-262.
- Noumowe, A., 2005. Mechanical Properties and Microstructure of High Strength Concrete Containing Polypropylene Fibres Exposed to Temperatures up to 200°C, Cement and Concrete Research, 35, 2192-2198.
- Özcan, A., 2006. Endüstriyel Atıklar ve Polipropilen Lif İçeren Saha Betonlarının Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 68s.
- Phan, L. ve Carino, N.J., 1998. Review of Mechanical Properties of HSC at Elevated Temperatures, Journal of Materials in Civil Engineering, 10, 58-64.
- Qian, C.X. ve Stroeven, P., 2000. Development of Hybrid Polypropylene-Steel Fibre-reinforced Concrete, Cement and Concrete Research, 30, 63-69.
- Saçak, M., 2002. Lif ve Elyaf Kimyası, Gazi Kitabevi Yayınları, Ankara, 111s.
- Saçak, M., 2004. Polimer Kimyası-2.Baskı, Gazi Kitabevi Yayınları, Ankara, 524s.
- Sarı, M., 2013. Farklı Tipteki Liflerin Betonun Mekanik Davranışına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 43s.
- Sava, A., Manita, P. ve Sideris, K.K., 2005. Influence of Elevated Temperatures on the Mechanical Properties of Blended Cement Concretes Prepared with Limestone and Siliceous Aggregates, Cement and Composites, 27, 239-248.
- Scholz, W., Knoblauch, H., 2007. Baustoffkenntnis, 16. Auflage. Köln: Werner Verlag.
- Sertbaş, B., 2006. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Polipropilen Lif Kullanımının İşlenebilirliğe Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 66s.
- Shah, B., 1995. Fiber-Reinforced Composites, American Concrete Institute, Detroit U.S.A.
- Shah, S.P. ve Balaguru, P., 1992. Fiber-Reinforced Cement Composites.

- Singh, S.P. ve Kaushik, S.K., 2003. Fatigue Strength of Steel Fibre Reinforced Concrete in Flexure, Cement and Concrete Composites, 25, 779-786.
- Song, P.S. ve Hwang, S., 2004. Mechanical Properties of High-Strength Steel Fiber Reinforced Concrete, Construction and Building Materials, 18, 669-673.
- Song, P.S., Hwang, S. ve Sheu, B.C., 2005. Strength Properties of Nylon and Polypropylene-Fiber-Reinforced Concretes, Cement and Concrete Research, 35 1546-1550.
- Subaşı, S., Özgan, E., Uzunoğlu, M.M. ve Çullu, M., (2008). Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Çelik ve Polipropilen Lif Kullanımının Akışkanlık Parametreleri ve Basınç Dayanımına Etkisi, Uluslar Arası Hazır Beton Kongresi, 19-21 Haziran, İstanbul, s.331-344.
- Sun, Z. ve Xu, Q., 2009. December 15, Microscopic, Physical and Mechanical Analysis of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete, Materials Science and Engineering A: Structural Materials: Properties, Microstructure and Processing, China, 527, 1-2, 198-204.
- Şahin, M., 2007. Betonla Uyumlu Polipropilen Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Üretimi ve Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 145s.
- Şengül, C., 2005. Kendiliğinden Yerleşen Çelik Lif Donatılı Betonların Mekanik Davranışlarına Su/İnce Malzeme Oranı ve Lif Dayanımının Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 80s.
- Şengül, Ö., Taşdemir, C. ve Taşdemir, M.A., 2002 . Influence of Aggregate Type on the Mechanical Behavior of Normal and High Strength Concretes, ACI Materials Journal, 99, 6, 528-533.
- Topçu, İ. B. ve Canbaz, M., 2007. Effect of Different Fibers on the Mechanical Properties of Concrete Containing Fly Ash, Construction and Building Materials, 21, 1486–1491.
- TS EN 196-2, 2013. Çimento Deney Metotları-Bölüm 2: Çimentonun Kimyasal Analizi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 197-1, 2012. Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 206: 2013+A1, 2017. Beton – Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1008, 2003. Beton- Koruma Suyu Numune Alma Deneyleri ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su da Dahil Olmak Üzere Suyun Beton Koruma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-1, 2019. Beton-Taze Beton Deneyleri - Bölüm 1: Numune Alma ve Yaygın Kullanılan Aygıtlar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- TS EN 12350-4, 2019. Beton - Taze Beton Deneyleri - Bölüm 4: Sıkıştırılabilirlik Derecesi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-1, 2013. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 1: Deney Numunesi ve Kalıplarının Şekil, Boyut ve Diğer Özellikleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-2, 2019. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Küre Tabi Tutulması, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-3, 2019. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-4, 2019. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 4: Basınç Dayanımı - Deney Makinelerinin Özellikleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-5, 2019. Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 708, 2016. Çelik - Betonarme İçin Donatı Çeliği, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 802, 2016. Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türker, T., 2000. Betonarmede Oluşan İç Gerilmelere Karşı Gerçek Önlem İnşaat ve Malzeme, 150, s.24-25.
- Türker, S. ve Balanlı, A., 1992. Yapı Malzemeleri, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, s.45-72.
- URL-1, <http://e-egitim.teknolojikarastirmalar.com/yapimalzemesi/beton/6.htm>. 21 Aralık 2016.
- URL-2, google earth. <https://earth.google.com>. 6 Aralık 2017.
- URL-3, de.wikipedia.polypropylen. 18 Aralık 2019.
- Ünal, O., Uygunoğlu, T. ve Gençel, O., 2006. Lif Tipinin Betonun Tokluğu Üzerindeki Etkisinin Araştırılması, V. GAP Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı Cilt 2, 26-28 Nisan 2006, Şanlıurfa, s. 941-942.
- Ünal, B., Köksal, F. ve Eyyubov, C., 2004, Polipropilen ve Çelik Liflerin Yol Kaplama Betonlarının Mekanik ve Durabilite Özelliklerine Etkisi, Türkiye İnşaat Mühendisliği 17. Teknik Kongre ve Sergisi, 15-17 Nisan 2004, İstanbul, s.455-456.
- Vydra, V., Vodak, F., Kapickova, O. ve Hoskova, S., 2001. Effect of Temperatures on Porosity of Concrete for Nuclear-Safety Structures, Cement and Concrete Research, 31, 1023-1026.
- Yardımcı, M.Y., 2007. Çelik Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik, Mekanik, Kırılma Parametrelerinin Araştırılması ve Optimum Tasarımı. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 391s.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Nejla Rüya PEKDEMİR, 1992 yılında Trabzon'da doğdu. Gümüşhane'de, 2004 yılında Gazipaşa İlkokulu'ndan, 2007 yılında Gazipaşa Ortaokulu'ndan, 2011 yılında Gümüşhane Lisesi'nden mezun oldu. Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümüne 2011 yılında kayıt yaptırdı. Bu bölümden 2015 yılında mezun oldu. 2015 yılında Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde İnşaat Mühendisliği Yüksek Lisans bölümüne kayıt yaptırdı. 2016 yılında Gümüşhane Doğa Koruma ve Milli Parklar Şube Müdürlüğü'nde göreve başladı. Halen Gümüşhane Doğa Koruma ve Milli Parklar Şube Müdürlüğü'nde çalışmaktadır. Nejla Rüya Pekdemir, evli ve bir çocuk annesidir.

