



**Uşak Üniversitesi Fen ve Doğa
Bilimleri Dergisi**
Usak University Journal of Science and Natural Sciences

<http://dergipark.gov.tr/usufedbid>
<https://doi.org/10.47137/usufedbid.853757>



Araştırma makalesi

**Farklı Boyutlardaki Poliamid, Poliester ve Jüt Liflerin Betonun
Mekanik Davranışına Etkisi**

Emine Arslan, Hakan Sarıkaya*

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Uşak Üniversitesi, Uşak, Türkiye

Geliş: 4 Ocak 2021

Kabul: 27 Mart 2021 / Received: 4 January 2021

Accepted: 27 March 2021

Abstract

Concrete is a brittle material with very low tensile strength and low tensile deformation capacity. In order to improve these properties of concrete, it is tried to improve the weak properties of concrete as a result of the addition of fibers with high technical properties made of different materials. In this study, the effect of fiber concrete samples produced from polyester, polyamide and jute fiber mixtures used in 0.5, 1, 1.5% ratios on the physical and mechanical properties was investigated by keeping the cement amount constant in the concrete mixtures. Standard cubic samples for concrete compressive strengths and beam samples for flexural-tensile strengths were produced. It was determined that as the fiber ratio increased, the Schmidt hardness and bending strength values increased, the collapse amount, thermal conductivity coefficient and compressive strength values decreased. It is thought that the increase in fiber ratio will contribute to thermal insulation by decreasing the thermal conductivity value.

Keywords: *Polyamide fiber, polyester fiber, jute fiber, fiber concrete.*

Özet

Beton, çekme dayanımı ve çekme birim deformasyon kapasitesi çok düşük olan gevrek yapıdaki bir malzemedir. Betonun bu özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla, beton içerisine değişik malzemelerden üretilmiş ve teknik özellikleri yüksek liflerin katılması sonucu, betonun zayıf özellikleri iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmada, oluşturulan beton karışımlarında çimento miktarı sabit tutularak % 0.5, 1, 1.5 oranlarında kullanılan poliester, poliamid 6,6 ve jüt lifi karışımlarından üretilen lifli beton numunelerinin, fiziksel ve mekanik özelliklerine olan etkisi incelenmiştir. Beton basınç dayanımları için standart küp numuneler ve eğilme-çekme dayanımları için kiriş numuneler üretilmiştir. Lif oranı arttıkça Schmidt sertliği ve eğilme dayanımı değerlerinin arttığı, çökme miktarı, ısıl iletkenlik katsayısı ve basınç dayanımı değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Lif oranının artması ısı iletkenlik değerini azaltarak, ısı yalıtımına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Poliamid lifi, poliester lif, jüt lifi, lifli beton.*

©2021 Usak University all rights reserved.

*Corresponding author: Emine Arslan

E-mail: arslan3632@gmail.com

ORCID ID: 0000-0003-4580-3029

©2021 Usak University all rights reserved.

1.Giriş

Beton, insanlık tarihinin gelişiminde ve eski medeniyetlerin günümüze kadar gelebilen eserlerinde önemli bir yere sahiptir. Piramitlerin yapımında kireç bazlı bağlayıcıları kullanılmış, Pantheon ve Colleseum gibi yapıların doğal hidrolik bağlayıcı olan puzzolanlar ile yapılmış ve Orta Asya ile Anadolu'da Horasan Harcı adı verilen bir bağlayıcının kullanılmış olması beton olarak nitelendirilebilecek malzemelerin tarihinin çok eskilere dayandığını göstermektedir. Çağdaş beton kronolojisinin ise 1800'lü yılların başında Louis Vicat'ın ilk yapay çimentoyu üretmesi ve Joseph Aspdin'in "Portland Çimentosu"nun patentini almasıyla başladığı düşünülmektedir. Betonarme yapı sistemlerinin bulunmasıyla, beton yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. Günümüzde çok geniş bir kullanım alanı olan beton, sudan sonra dünyada en fazla tüketilen malzeme haline gelmiştir. Çok ekonomik, üretimi ve kullanımı kolay, uygun kullanımda güvenli, dayanıklı ve servis gerektirmeyen temel yapı malzemesidir.[1]

Geçmişten günümüze insanların en temel ihtiyaçlarından biri barınma olmuştur. İlk çağlarda mağaralarla başlayan barınma ihtiyacı günümüzde yerini devasa gökdelenlere bırakmıştır. Bu yüzden yapı sektörü devamlı kendini yenileyen ve devamlı gündemde olan bir sektördür. Yapılardan istediğimiz özellikler gelişen teknolojiyle birlikte her geçen gün değişmekte ve önem kazanmaktadır. Yapı sektöründe en önemli elemanlardan biri de betondur. Ülkemiz deprem kuşağında yer aldığından afetlerde can ve mal kaybı yaşanmaması açısından betonun kalitesi ön plana çıkmaktadır. Ülkemizde betonun; yüksek katlı yapılardan barajlara, nükleer santrallerden beton yollara kadar geniş bir kullanım alanı vardır. Geleneksel beton bazı durumlarda teknik özellikleri bakımından yetersiz kalmaktadır. Geleneksel betonların eksik kaldığı durumlarda betondan istenilen özelliğe ve ihtiyaca bağlı olarak özel betonlar üretilmiştir. Özel betonlar geleneksel betondan malzeme ve karışım oranları, özellikleri ve uygulama açısından farklılık gösterir. Bu betonlardan bazıları; ağır betonlar, püskürtme betonlar, polimer betonlar, prepakt betonlar ve lifli betonlardır. Bu özel betonlardan bazıları uzun zamandır yapı sektöründe kullanılmasına rağmen, bazıları ise beton endüstrisine yeni kazandırılmaktadır. Yapı endüstrisinde ısı ve sese, yüksek ısıya dayanıklı, yüksek basınç dayanımlı, elde edilişi ve kullanımı kolay malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır [2].

Beton; çimento, su, agrega ve gerektiğinde katkı maddelerinin (mineral, kimyasal, fiber vb.) belirli şartlarda ve oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen, başlangıçta şekil verilebilen plastik formda olup, zamanla çimento ve su arasındaki hidrasyonun (hidratasyon) sertleşerek mukavemet kazanan, harç fazı ve agregadan hazırlanan kompozit bir yapı malzemesidir [3]. Betonun zayıf özelliklerinin belirgin olarak iyileştirilmesi ve güçlendirilmesi için beton içerisine değişik malzemeler katılarak teknik özellikleri geliştirilebilmektedir [4]

Özel amaçlar ve kullanımlar için geliştirilmiş olan birçok farklı tip özel betonlar bulunmaktadır. Genelde, portland çimentosu matris fazı ve/veya agrega fazı bir şekilde değişime uğratarak bazı beton özelliklerin değiştirilmesi, iyileştirilmesi ve/veya betona yeni bazı özelliklerin kazandırılması amaçlanmaktadır. Bu özel tip betonların bazıları çok uzun zamanlardan beri inşaat sektöründe kullanılmalarına rağmen, bazıları ise beton endüstrisine yeni kazandırılmaktadır.[5]

Yapı malzemeleri alanında son yıllarda yapılan çalışmaların bir sonucu olarak önemli bir yenilik meydana gelmiştir. Lifli beton teknolojisi adı verilen bu çalışmalar, beton ve çimentolu malzemelerde çeşitli özelliklerde liflerin kullanımı esas almaktadır. Yapı malzemelerinde liflerin kullanılması aslında son yıllarda bulunan yeni bir kavram

değildir ve birçok tarihi yapıda çeşitli organik liflerin kullanıldığı bilinmektedir. Ancak son yıllarda gelişen teknoloji sonucunda yüksek performanslı lifler ortaya çıkmış ve bu liflerin çimentolu kompozitlerde kullanımı da giderek yaygınlaşmıştır [6]. Beton içerisinde yaygın olarak kullanılan lifler; çelik, polipropilen, karbon ve alkali dirençli cam liflerdir. Lifli betonlarda, bütün lif çeşitlerinde sağlanması gereken en önemli özellik liflerin beton içerisinde homojen olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonra da bozulmamasıdır. Üniform bir şekilde dağılan lifler, beton içerisinde oluşan çatlakları önlemekte ve çatlakların beton içerisinde ilerlemesini yavaşlatarak betonu daha dayanıklı hale getirdiği bilinmektedir. Bu özelliğinden dolayı lifli betonun çekme ve eğilme dayanımı artıran faktörler darbe etkisine karşı da dayanımı artırır. Bu nedenle betonarme kazık, yol, su boruları, genel olarak büyük fabrika inşaatlarının döşeme betonlarında ve prefabrike yapı elemanları üretiminde lifli betonların tercih edilmeleri halinde daha iyi sonuçlar alınacağı bilinmektedir [7].

Bu çalışmada poliester poliamid ve jüt lifleri kullanılmıştır. (Şekil 1) Poliester ve poliamid sentetik liflerdir. Poliamid lifi dünyada üretilen ilk sentetik liftir. İngiltere’de Terylene, Trevira, ABD’de Dacron, Almanya’da Diolen ve Türkiye’de Perilen ticari adları ile üretilen poliester lifleri günümüzde en çok kullanılan sentetik lif konumundadır.

Petrokimya ve tekstil endüstrisinde yapılan araştırmalar ve gelişmeler sonucu sentetik polimer lifleri üretilmiştir. Akrilik, aramid, naylon, polyester ve polietilen ve polipropilen başlıca sentetik liflerdir. Hepsinin de çok yüksek çekme dayanımları vardır. Fakat bu liflerin çoğu aramid hariç düşük elastiklik modülüne sahiptirler. Sentetik liflerin kalitesi çap ve uzunluk oranlarına bağlıdır. Çapları mikron düzeyindedir. Bu lifler tekil ya da lif hamuru halinde bulunurlar. FRC (lif takviyeli beton) de kullanılanların uzunlukları 0,5-2 inç (12-50 mm) arasında değişir. Bazı lif tipleri çok kısa (1-2) mm olabilir, çok uzun olanları da vardır. Uygulanacak yerin ihtiyacına göre tipler artırılır. Petrokimya ve tekstil endüstrisinde yapılan araştırmalar ve gelişmeler sonucu sentetik lifler üretilmiştir.[8]

Doğal bir lif olan jüt ise Bangladeş, Çin, Hindistan ve Tayland’ta yetişir. Bu bitkilerin uzunlukları 2,4 m ve sap çapları 25 mm den az olur. Kabukları liflidir. Bu kabuk suya batırıldığında, içine su alır ve lifleri gevşer, bu lifler el ile ayrılır ve kurutulur. Son zamanlarda bu işlem için mekanik aletler de geliştirilmiştir. Jüt bitkileri çekme gerilmesinde dayanıklıdır. Geleneksel olarak bu lifler halat, çuval, çanta ve giysi yapımında kullanılır.[8]

Binici ve arkadaşları (2008) yapmış oldukları çalışmada beton bir kirişe çelik donatı yerine polyester lifler %0,01 %0,02 % 0,03 oranında katılarak kirişin eğilme ve basınç özellikleri incelemişlerdir. Lif oranı arttıkça eğilme dayanımının arttığı gözlemlenmiştir. Lif katkısı basınç dayanımda lif oranı arttıkça azda olsa bir düşüşe neden olmuştur. Normal betona eklenen polyester lif, betonun eğilme dayanımına ve şekil değiştirme gibi elastik özelliklerine katkı sağlamıştır. Yüksek betonarme yapıların deprem kuvvetleri altında davranışını lifli betonlarla elde edilen süneklik düzeyinin olumlu yönde etkileyeceği düşünülmektedir. Atık bir lif olan polyesterle yapılan bu çalışma sonucunda atık lifin ekonomiye kazandırılabilmesi ve kirişin eğilme dayanımına lifin katkıda bulunabileceğini gözlemlemişlerdir. [9] Güler ve Yavuz (2017) düşük hacimsel oranlarda lif katkılı betonun mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmada çelik ve sentetik liflerin ayrı ayrı ve birlikte kullanılmasıyla oluşturulan karışımların basınç, eğilme ve yarmada çekme dayanımları karşılaştırılmıştır. Sentetik lif olarak poliamid lifi kullanılmıştır. Betonun içerisine % 0,25 % 0,5 % 0,75 hacimsel oranlarında çelik ve sentetik lifler eklenmiştir. Lifler 12 mm ve 54 mm olmak üzere iki farklı uzunlukta kullanılmıştır. 12 mm sentetik lif içeren gruplarda basınç dayanımında artış olmamıştır.

54 mm sentetik lif içerenlerde ise basınç dayanımı %2 ile %5 arasında artış göstermiştir. Sonuç olarak çelik, sentetik ve karma lif katılan betonda çekme ve eğilme dayanımları artmış; basınç dayanımı ise önemli bir artış göstermemiştir. Yarmada çekme ve eğilme dayanımları lif hacim oranı ve narinlik oranı arttıkça artmıştır. Basınç yarmada çekme ve eğilme dayanımlarının tümü incelendiğinde ayrı ayrı kullanılan çelik ve sentetik liflere göre çelik ve sentetik lifin bir arada kullanıldığı karma lifli kompozitlerde daha çok dayanım artışı gözlemlenmiştir. [10] Susurluk ve diğerleri (2018) yapmış oldukları çalışmada polipropilen lifin betona katılmasıyla betonun mekanik özelliklerinin değişimini incelemiştir. Betonda çimento ağırlığı sabit tutularak çimento ağırlığının %1, %2 ve %3 oranında polipropilen lif kullanılmıştır. Çalışmaların sonucunda polipropilen lifli betonların akıcı kıvamlı betonlarda çökme miktarını azalttığı gözlenmiştir, işlenebilirliği olumsuz yönde etkilediği düşünülse bile bu durum taze betonun kohezyonu açısından önemlidir. Polipropilen lifli numunelerde lif miktarı arttıkça ultrases hızlarında bir artış gözlenmiştir. Lif miktarı arttıkça basınç dayanımı azalmıştır. Eğilme dayanımı ise lif miktarı arttıkça artmıştır. Saha beton uygulamalarında polipropilen lifli betonların kullanılabilmesi bu çalışma ile gözlemlenmiştir. [11] Açıkgeç ve diğerleri (2012) yapmış olduğu çalışmada farklı karışımlara sahip polipropilen lifli betonların mekanik özelliklerini incelemiştir. Betonun en büyük dezavantajı çekme dayanımının düşük olmasıdır. Betonun kullanım yerine ve kullanım amacına göre farklı özellikler beklenmektedir bunun içinde özel betonlar kullanılmaya başlanmıştır, lifli betonda bunlardan biridir. Deneysel çalışmalarda 150 × 150 × 150 mm küp ve 100 × 100 × 500 mm kiriş ve 100 × 100 × 100 mm boyutlarında küp numuneler üretilmiştir. İki farklı lif türü kullanılmıştır. A tipi yumuşak küme halinde B tipi sert plastik olmak üzere iki adettir. Bu çalışmada asıl amaç uygulamada çok kullanılan A tipi lifli betondaki karışımdaki lif oranının beton özellikleri üzerindeki etkisini ölçmektir. Betonda lifler %1 ve %2 kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda polipropilen lifin belirli orana kadar çekme dayanımında artış gösterdiği görülmüştür. Polipropilen lifler işlenebilirlik özelliğinde düşüş göstermiştir. Bunun dışında olumsuz bir sonuç gözlenmemiştir. Betonun mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilemiştir.[12] Literatürde betonda lif kullanılmasıyla ilgili çalışmaları incelediğimizde, lif kullanımının hacimce çok büyük olmadığını görüyoruz lif kullanımı genellikle önceki çalışmalarda genellikle hacimce %2 oranını geçmemiştir

Bu çalışmada kullanmış olduğumuz poliester, poliamid 6,6 ve jüt lifleri çekme ve aşınma dayanımları yüksek olduğu için tercih edilmiştir. Bu liflerden polyester lifi maliyet açısından uygun olduğu için seçilmiştir. Poliamid lifi ise dayanım olarak poliester lifinden daha yüksek dayanıma sahip yapay bir lif olmasından ötürü tercih edilmiştir. Jüt lifi yaygın olarak üretilen dayanımı çok fazla olan doğal bir lif olduğu için tercih edilmiştir. Bu üç lifin betonun mekanik özelliklerini geliştirmeye katkı sağlayacağı düşünülmektedir.



Şekil 1. Poliamid 6,6 lifi, Poliester lifi, Jüt lifi

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, C 30 betonu için çimento miktarı sabit tutularak çimento ağırlığının % 0,5, % 1 ve % 1,5 oranlarında poliester poliamid 6,6 ve jüt lifi kullanılarak $10 \times 10 \times 10$ cm ebatlarında her seriden 10 adet küp, her seriden $10 \times 10 \times 40$ cm ebatlarında her seriden 4 adet kiriş numuneleri üretilmiştir. Üretilen serilerde lifler ikili olarak kombine edilip lif boyları 3 cm, 4,5 cm ve 6 cm olan liflerden lif boyuna göre ve çimentonun ağırlıkça % 0,5, %1 ve %1,5 oranlarında lifler karıştırılarak karışım yapılmıştır. Bunlara ek olarak C 30 betonundan şahit numuneler üretilmiştir. Kullanılan çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 1’de, çimento, normal agrega ve çimentonun kimyasal özellikleri Tablo 2’de, betonda kullanılan kimyasal katkının fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 3’te, poliamid ve poliester liflerinin fiziksel özellikleri ise Tablo 4 ve jüt lifinin fiziksel özellikleri ise Tablo 5’ te verilmiştir.

Tablo 1. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri [13]

Bileşenler	CEM I 42,5 R (%)
Özgül ağırlık (gr/cm^3)	3,11
Priz Başlangıcı (dk.)	169
Priz Sonu (dk.)	255
Hacim Genleşmesi (mm)	0,77
2 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	34
28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	55,4

Tablo 2. Normal agrega ve çimentonun kimyasal özellikleri [13]

Bileşen	CEM I 42,5 R (%)	Normal Agrega(%)
SiO ₂	19,1	20,9
Fe ₂ O ₃	2,65	0,2
Al ₂ O ₃	5,19	0,4
CaO	63,40	42,8
MgO	1,83	0,4
SO ₃	2,95	-
TiO ₂	-	<0,1
Na ₂ O	0,22	<0,1
K ₂ O	0,94	0,1
Cl-	0,011	-
P ₂ O ₅	-	<0,1
MnO	-	<0,1
Kızdırma Kaybı	3,77	-
HCl' de Çözünmeyen Kalıntı	0,32	-
Serbest Kireç	-	-
Alkali Eşdeğer	0,84	-
Toplam Katkı	-	-

Tablo 3. Kimyasal katkıının fiziksel ve mekanik özellikleri [14]

	Teknik Veriler
Görünüm	Kahverengi Sıvı
Yoğunluk	1,05 ± 0,02 g/cm ³
pH	3-7
Klor içeriği	< 0,1 % (EN 480 - 10' a göre)
Alkali içeriği	<10 (EN 480-12'a göre)
Standartlara uygunluk	TS EN 934-2

Tablo 4. Liflerin %65 bağıl nem ve 20 C sıcaklıkta gerilim özellikleri [15]

Lifler	Mukavemet (N/tex)	Kopma uzaması (%)	Kopma işi (mN/tex)	Başlangıç Modülü (N/tex)
Polyamid (PA) 6,6				
Orta Mukavemet	0,48	20	63	3,0
Yüksek Mukavemet	0,66	16	58	4,4
Stapel Lif	0,37	43	101	1,0
Polyester (PES)				
Orta Mukavemet	0,47	15	53	10,6
Yüksek Mukavemet	0,56	7	22	13,2
Stapel Lif	0,47	37	119	8,8

Tablo 5. Jüt lifinin fiziksel özellikleri [16]

Fiziksel Özellikler	Jüt Lifi
Yoğunluk(g/cm³)	1,48
Gerilme Direnci (kN/mm²)	410-780
Sertlik (kN/mm)	10-30
Kopma Uzaması (%)	1,9
Nem Emilimi (%)	12
Ham Elyaf Fiyatları(Rs./kg)	40-50

Beton numunelerin üretimi ve fiziksel mekanik özelliklerinin tespiti için yapılan deneyler Uşak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Isıl iletkenlik katsayısı deneyi için Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği Mekanik laboratuvarında test yapılmıştır. Bu çalışmada toplamda lifli numune ve ayrıca kıyas yapılabilmesi amacıyla normal beton numunesi üretilmiştir. Üretilen numunelerin karışım oranları Tablo 6' da verilmiştir. Numuneler üretilirken küp ve eğilme numunesi olmak üzere iki farklı şekilde üretilmiştir. Küp numuneler 100 × 100 × 100 mm boyutundaki küplere öncelikle küpler yağlanmış daha sonra sarsma tablası üzerine konmuş ve beton karışım harcı 3 aşamada her aşamada 10 saniye sarsma tablası ile sarsılarak doldurulmuştur. Sarma işlemi betonun içinde boşluk kalmaması homojen şekilde dağılması ve yerleşmesi için yapılmıştır. Küp numunelerde her seri için 10 adet üretilmiştir. Kiriş numuneler 100 × 100 × 400 mm boyutunda sıkıştırmalı demir kalıplara aynı yöntemle yerleştirilmiştir. Kiriş numunelerinde her seriden 4 adet üretilmiştir. Üretilen numunelerin kodlamasında poliester lifi PES, poliamid 6,6 PA ve jüt lifi J olarak kodlanmıştır. Tüm numuneler 24 saat korunaklı bir alanda bekletilmiş lastik takozlar yardımı ile düzgün bir şekilde kalıplardan çıkarılmıştır. Numuneler deneyin yapılacağı güne kadar 20±2 °C derece kür havuzunda bekletilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Numunelerin yerleştirilmesi, kalıptan çıkartılması, kür havuzuna yerleştirilmesi

Tablo 6. Üretilen Numuneler

Kodu	Lif Boyu	Çimento	Lif
	(cm)	Ağırlığı(%)	Oranları(%)
NB	-	100	-
PA-PES-0,5-3	3	99,5	0,5
PA-PES-1-3	3	99	1
PA-PES-1,5-3	3	98,5	1,5
PA-PES-0,5-4,5	4,5	99,5	0,5
PA-PES-1-4,5	4,5	99	1
PA-PES-1,5-4,5	4,5	98,5	1,5
PA-PES-0,5-6	6	99,5	0,5
PA-PES-1-6	6	99	1
PA-PES-1,5-6	6	98,5	1,5
PA-J-0,5-3	3	99,5	0,5
PA-J-1-3	3	99	1
PA-J-1,5-3	3	98,5	1,5
PA-J-0,5-4,5	4,5	99,5	0,5
PA-J-1-4,5	4,5	99	1
PA-J-1,5-4,5	4,5	98,5	1,5
PA-J-0,5-6	6	99,5	0,5
PA-J-1-6	6	99	1
PA-J-1,5-6	6	98,5	1,5
PES-J-0,5-3	3	99,5	0,5
PES-J-1-3	3	99	1
PES-J-1,5-3	3	98,5	1,5
PES-J-0,5-4,5	4,5	99,5	0,5
PES-J-1-4,5	4,5	99	1
PES-J-1,5-4,5	4,5	98,5	1,5
PES-J-0,5-6	6	99,5	0,5
PES-J-1-6	6	99	1
PES-J-1,5-6	6	98,5	1,5

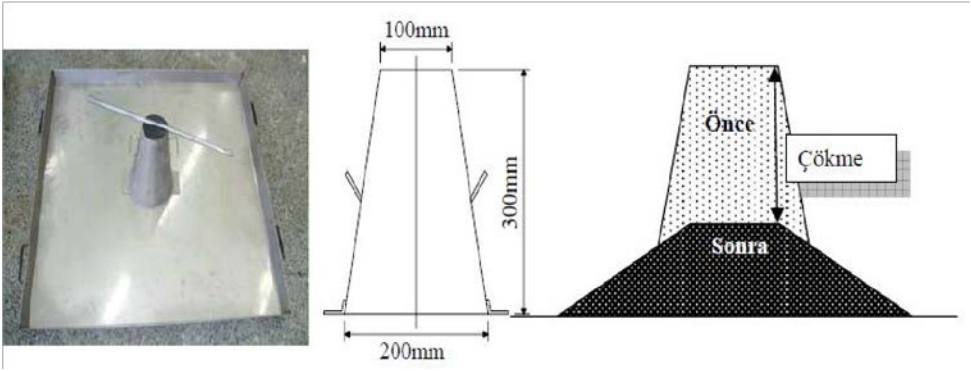
3. Deneyler ve Sonuçlar

Bu çalışmada su emme deneyi, tek eksenli basınç deneyi, üç eksenli eğilme deneyi, schmit sertlik çekici deneyi, ultrases deneyi ve ısı iletkenlik katsayısı deneyi yapılmıştır.

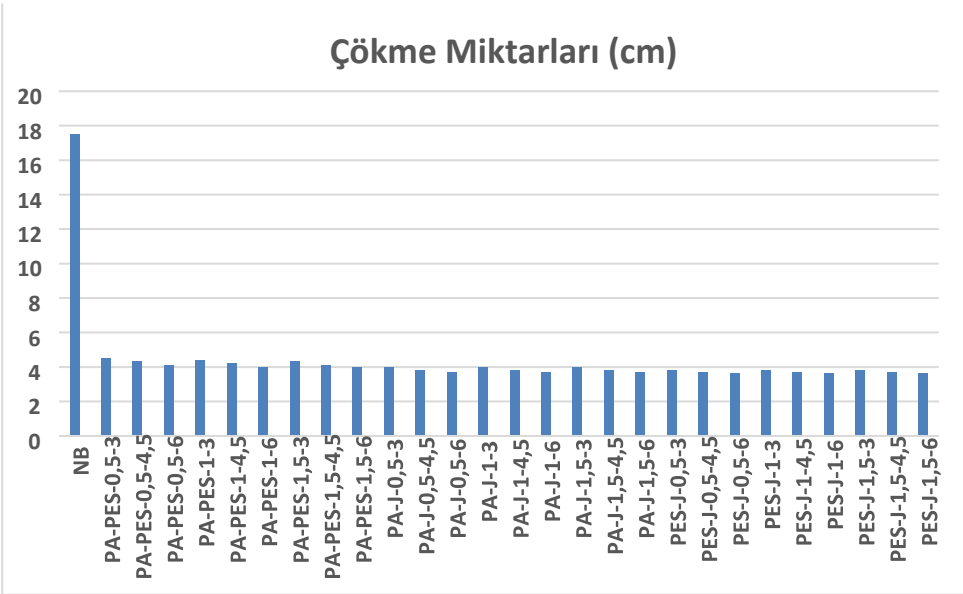
3.1. Çökme (Slamp) deneyi

ASTM C143 (2000), TS EN 12350-2 (2002) ve birçok ülkede standart olarak da kabul edilmiştir. Abrams konisi olarak da isimlendirilen bu deneyde, Şekil 3'te görülen üst çapı 100 mm, alt çapı 200 mm ve yüksekliği 300 mm olan tepesi kesik koni şeklindeki metal kalıp içine üç eşit tabaka halinde ve her tabakası 25 kez özel bir çubukla (çapı 16 mm,

uzunluğu 600 mm) şişlenerek taze beton doldurulmuştur. Daha sonra doldurulan beton sarsılmadan kesik koni kalıp yukarı çekilmiştir. Beton kendi ağırlığı ile bir miktar çökmüş ve çökme miktarı ölçülmüştür. Ölçülen değerler ise Şekil 4' te verilmiştir.



Şekil 3. Çökme deneyinde kullanılan aletler ve deneyin yapılışı [11]



Şekil 4. Lifli betonların çökme değerleri

3.2. Ultrases ölçüm deneyi

Ultrases geçiş hızlarını ölçmek için Uşak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında bulunan Ultrases ölçüm (Şekil 5) cihazı kullanılmıştır. Ultrases deneyi TSE EN 12504-4 (2012) standartına uygun olarak yapılmıştır. Ultrases hız ölçümü 12 voltluk akümülatör ile çalışan dijital göstergeli Ultrases ölçme aleti ile yapılmıştır. Aletin önce sıfır ayarı yapılmış sonra kalibre edilmiştir. Numunelerin her iki yanına gres yağı sürülerek proplar ile numune arasında boşluk oluşması önlenmiştir. Bu deneyde 10 × 10 × 10 cm boyutlarındaki lifli küp

numunelerden her seriden 2 adet olmak üzere toplamda 54 adet ve 2 adet şahit numune kullanılmıştır. Küp numuneler üzerinde yapılan deney ile ses dalgaları geçirme süreleri ölçülmüştür. Ultrases hızı deney sonuçlarının değerlendirilmesinde mikro saniye (μ sn) olarak okunan Ultrases hızı geçiş süresi değerleri Eşitlik 1 ile hesaplanarak Ultrases hızı km/s cinsinden hesaplanmıştır. Lifli betonların Ultrases hızları ölçüm sonuçları ise Şekil 6'da verilmiştir.

$$V=L/t$$

(1)

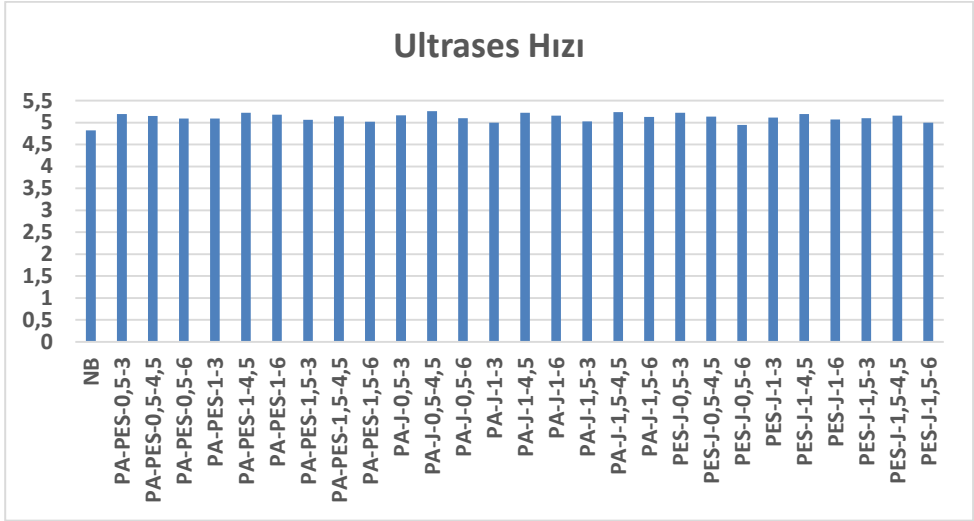
V: Ultrases hızı(km/s),

L: Numune boyu (km),

t: Ultrases geçiş süresi (sn),



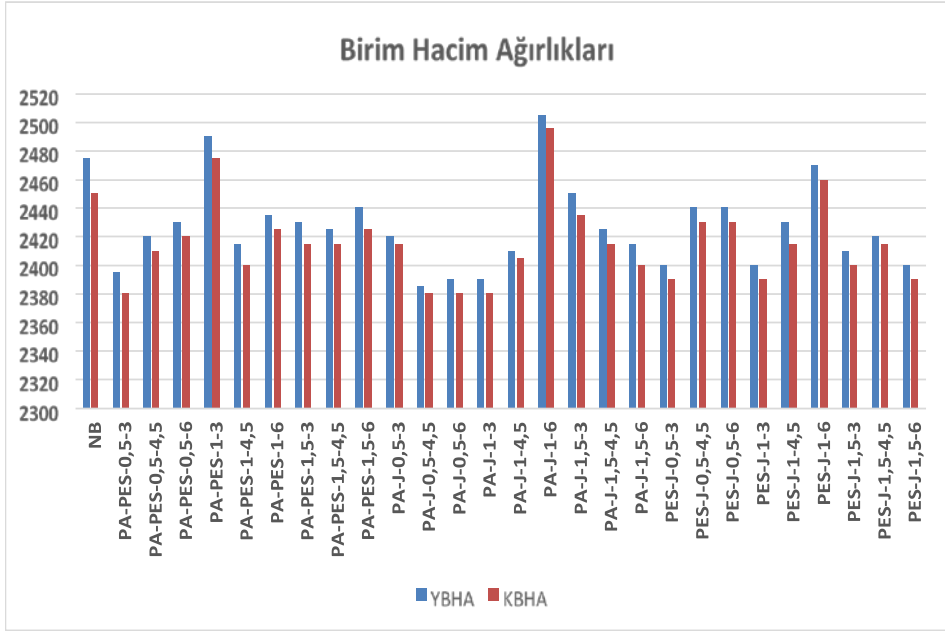
Şekil 5. Ultrases ölçüm deneyi



Şekil 6. Lifli betonların ultrases hızları deney sonuçları

3.3. Su Emme Deneyi

Kür havuzunda bekletilen 10×10×10 cm küp numunelerden her seriden ikişer tane olmak üzere toplamda 54 tane numune ve iki adet küp şahit numune sudan çıkarılıp önce yaş birim hacim ağırlıkları hassas terazi ile ölçülmüştür. 24 saat sonra kuruyan numunelerin kuru birim hacim ağırlıkları aynı hassas terazi ile tekrar ölçülmüş ve aşağıdaki değerler elde edilmiştir. Su içinden çıkarılan numunelerin suya doygun durumdaki ağırlığı ile kuruyan numunelerin ağırlığı arasındaki fark hesaplanarak ağırlıkça su emme değeri hesaplanmıştır. Su emme kapasitesi betona giren su miktarının betonun kuru ağırlığına bölünmesiyle bulunur ve yüzde olarak ifade edilebilir. Lifli betonların yaş ve kuru birim hacim ağırlık ölçüm sonuçları Şekil 7'de verilmiştir. Su emme deneyi TS 699 (2009)'a uygun olarak yapılmıştır.



Şekil 7. Lifli betonların yaş ve kuru birim hacim ağırlıkları

3.4. Tek Eksenli Basınç Deneyi

Tahribatlı test yönteminde küp numuneler için tek eksenli basınç deneyi ve kırış numuneler için üç eksenli eğilme deneyi yapılmıştır. Tek eksenli basınç deneyi TSE EN 12390-3 (2019) ve deneylerde kullanılan deney aleti TS EN 12390-4 (2019) 'e uygun olarak yapılmıştır. Tek eksenli basınç deney için Uşak Üniversitesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarında bulunan 300 ton kapasiteye sahip tek eksenli basınç presi (Şekil 8) kullanılmıştır. Basınç deneylerinde yükleme hızı saniyede 0,35 MPa olarak sabit tutulmuştur. Bu deneyde 10 × 10 × 10 cm lifli küp numunelerden toplamda 162 adet ve 6 adet şahit numune deneye tabi tutulmuştur. Bu amaçla daha önceden hazırlanan küp beton numuneleri 7. ve 28. Günlerinde kırılarak kırılma anındaki okunan yük değeri Eşitlik 2'de yerine konularak beton numunesinin basınç dayanımı değerleri hesaplanmıştır. Lifli betonların 7. ve 28. günlük basınç dayanımları ölçüm sonuçları Şekil 9'da verilmiştir.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2)$$

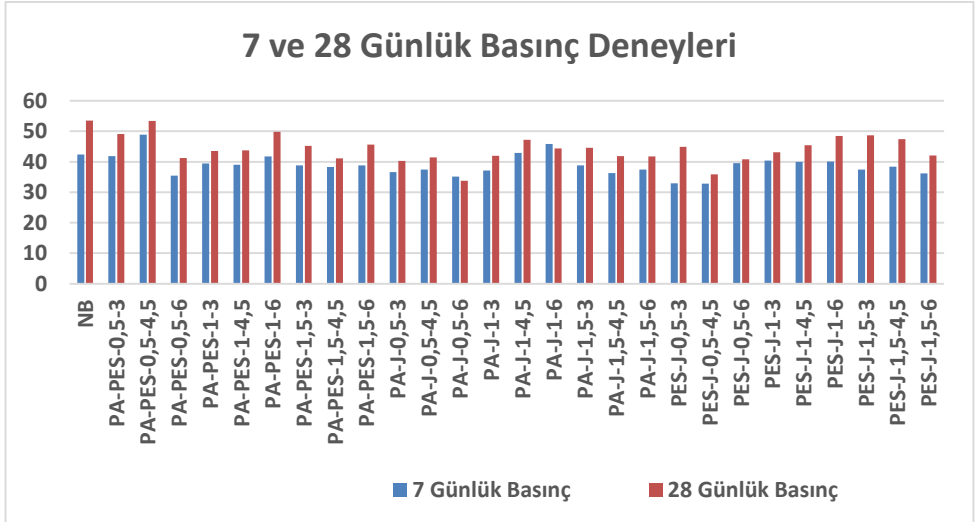
σ : Basınç dayanımı (MPa)

P : Kırılma yükü (N)

A : Numunenin yük doğrultusundaki kesit alanı (mm²)



Şekil 8. Beton tek eksenli basınç deneyi



Şekil 9. Lifli betonların 7. ve 28. günlük basınç dayanımları ölçüm sonuçları

3.5. Üç eksenli eğilme deneyi

Kiriş numuneler için 3 nokta eğme deneyi uygulanmıştır (Şekil 10). $10 \times 10 \times 40$ cm boyutundaki numunelerden 108 adeti tek noktadan basınca maruz bırakılmıştır ve eşitlik 3 yardımıyla eğilme dayanımları hesaplanmıştır. Eğilme deneyi TSE EN 12390-5 (2019)'e uygun olarak yapılmıştır. Lifli betonların 7. ve 28. günlük eğilme dayanımları ölçüm sonuçları Şekil 11'de verilmiştir.

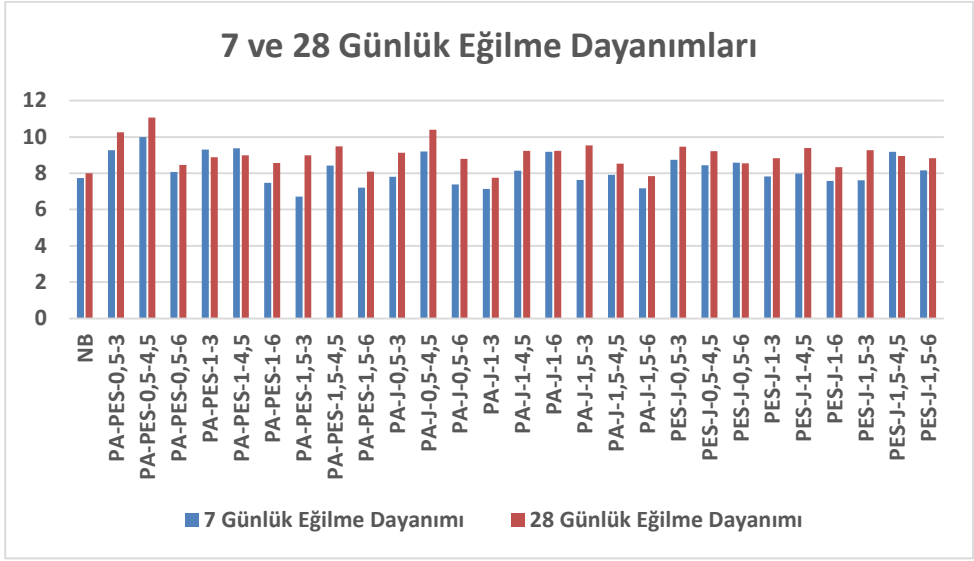
$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{\frac{P \times L}{4}}{\frac{b \times h^2}{6}}$$

(3)

σ : Eğilme dayanımı (kgf / cm^2),
M: Maksimum moment,
W: Mukavemet momenti,
P: Kırılma yükü (kgf),
b: Örnek genişliği,
h: Örnek yüksekliği,



Şekil 10. Üç Eksenli Eğilme Deneyi



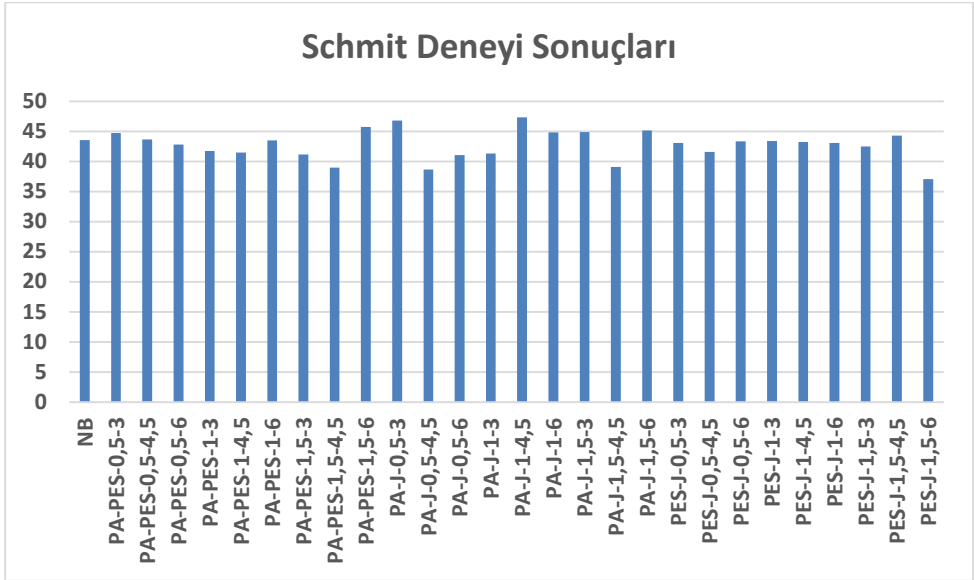
Şekil 11. Lifli betonların 7. ve 28. günlük eğilme dayanımları ölçüm sonuçları

3.6. Schimt sertlik çekici deneyi

Schmidt Sertlikler deneylerinde, deneye başlamadan önce Schmidt çekici kalibrasyon örsüyle kalibre edilmiştir. Deneylerde N tipi Schmidt çekici kullanılmıştır. Schmidt sertlik çekici deneyleri TS EN 12504-2 (2013) 'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Beton dayanım deneyleri 10 × 10 × 10 cm boyutlarındaki 28 günlük küre tabi tutulmuş lifli küp beton numunelerinden 54 adeti üzerinde yapılmıştır. Deney her bir beton serisinden 2 adet olmak üzere her numunede 3 farklı noktadan ölçüm alınarak yapılmıştır. Küp numunelerin üst yüzeyinden 90° açı ile (Şekil 12 den alınan 6 değerın aritmetik ortalaması alınarak o numunenin Schmidt çekici değeri belirlenmiştir). Bu değer dikkate alınarak çekiç üzerindeki abaktan o numunenin tek eksenli basınç dayanım değeri alınmıştır. Lifli betonların Schmidt Sertlik ölçüm sonuçları Şekil 13'te verilmiştir.



Şekil 12: Schmidt Sertlik deney aleti



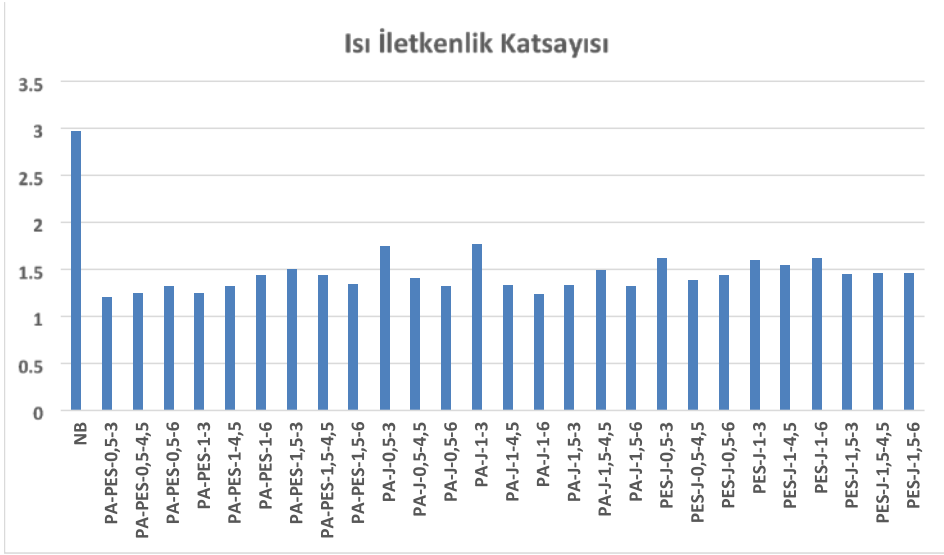
Şekil 13. Schmidt Sertlik deneyi sonuçları

3.7. Isıl iletkenlik katsayısı deneyi

Üretilmiş olan betonların ısı iletkenlik katsayısını saptamak üzere Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Laboratuvarı'nda yapılan deneyler için öncelikle 10 x 10 x 10 cm olan küp numuneler kesilerek 10 x 5 x 2 cm hale getirilmiştir. Her seriden birer adet lifli numune kesilerek 27 adet lifli numune ve şahit numuneler üzerinde deney yapılmıştır. Isıl iletkenlik deneyi için kesilen numune ve ısıl iletkenlik deney aleti Şekil 14'te verilmiştir. Bu deneyde QTM-500 cihazı kullanılmış olup deney cihazı ASTM 1113-90 standartına sahiptir. Homojen bir malzemenin ısı iletkenliği, dengeye ulaşmış şartlar altında, iki yüzey sıcaklığı arasındaki fark 1 °C olduğu zaman, birim zamanda, birim alan ve dik yöndeki birim kalınlıktan geçen ısı miktarıdır. Yapı ve çeşitli ısı yalıtım malzemesinin ısı iletkenliğinin ölçümü, kararlı durumda ve geçiş durumunda olmak üzere iki yöntemle yapılmaktadır. Alışılmış yöntem, kararlı durumda ısıtılmış plaka yöntemidir. Bu metodla ısıtılmış bir plakanın iki tarafına simetrik olarak yerleştirilen, levha biçiminde muayene örneğinin, ortalama ısı iletkenliği bulunur. Geçiş durumunda ölçüm yapan cihazlar, daha ufak boyutlardaki malzemenin ısı iletkenliğini daha kısa sürede saptayabilmektedir [17]. Lifli betonların ısıl iletkenlik katsayısı ölçüm sonuçları Şekil 15'te verilmiştir.



Şekil 14. Isıl iletkenlik deneyi için kesilen numune ve ısıl iletkenlik deney aleti



Şekil 15. Isıl iletkenlik katsayısı ölçüm sonuçları

4. Sonuçlar

Genel sonuç olarak lifli betonların kullanılması teknik olarak betonda sıkıntılı bir durum yol açmadığı gibi betona sayısız fayda sağlamaktadır. Akıcı kıvamlı betonlarda artan lif katkısı çökme miktarını azaltmıştır. Bu durum işlenebilirliğe olumsuz bir etki gibi görülsün bile taze betonun kohezyonu açısından önemli bir özelliktir. 28 günlük basınç dayanım sonuçlarında artan lif katkısı basınç dayanımında kayba sebep olmuş fakat bu kayıp standartların içerisinde kalmaktadır. Basınç dayanımında en iyi katkıyı jüt lifinin verdiği görülmektedir. 28 günlük eğilme dayanımı sonuçlarında artan lif katkısı eğilme dayanımında artışa sebep olmuştur. Tüm lifler olumlu sonuç vermiş olup lifler arasında belirgin bir fark olmadığı görülmektedir. Lif katkısı arttıkça su emme oranı, Schmidt sertlikleri ve ultrases hızlarında artış görülürken, ısı iletkenlik katsayısında yaklaşık yarı yarıya tüm liflerde azalmıştır. Lif oranının artması tüm liflerde ısı iletkenlik değerini azaltarak ısı yalıtımına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Lif boylarının artması poliamid ve poliester karışımlarda ısı iletkenlik değerini artırdığı, jüt lifinde ise düşürdüğü görülmektedir. Eğilme değerlerinde ise lif boyları 3 ve 4,5 cm de arttığı 6 cm de düştüğü görülmektedir. 4,5 cm den sonrasının kullanılmaması gerektiği görülmektedir. Lifli betonların kullanılması özellikle plastik rötre çatlaklarını iyileştirme sağlayabileceği ve hava alanı betonları, yol betonları gibi, yüzey alanı fazla olan betonlarda kullanılabileceği söylenebilir.

Teşekkürler

Beton dökümlerinde bize ev sahipliği yapan Oktaş Beton Santraline ve çalışanlarına teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

1. Karakule F, Akakin T. Hazır Beton Sektörünün Gelişimi ve Özel Beton Uygulamalarının Türkiye'deki Durumu. Yüksek Performanslı Betonlar: 6. Ulusal Beton Kongresi; 2005; İTÜ Süleyman Demirel Kültür Merkezi. İstanbul: Göksu Matbaa; 2005: 113-124.
2. Baradan B. Yapı malzemesi II DEÜ. İzmir(Türkiye): Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi; 2000.
3. Özel C. Katkılı betonların reolojik özelliklerinin taze beton deney yöntemlerine göre belirlenmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye, 2007.
4. Topçu İB. Beton teknolojisi. Eskişehir: Uğur Ofset AŞ; 2006.
5. Özturan T. Özel betonlar. Hazır Betonlar, 2013(Temmuz-Ağustos) ;(118): 70-83.
6. Yardımcı MY. Çelik lifli kendiliğinden yerleşen betonların reolojik, mekanik, kırılma parametrelerinin araştırılması ve optimum tasarımı, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye, 2007
7. Ünal O. Isıl işlem uygulamasının lifli beton özelliklerine etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 1994
8. Shah SP, Shao Y, Marikunte S. Extruded - Fiber reinforced composites. American Concrete Institute, 1995;17(4):48-53
9. Binici H, Gemci R, Türközer CD, Akdoğan O, Koç G. Polyester liflerle güçlendirilmiş beton kırılgarlığının mekanik özellikleri. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2008;23(2): 25-33
10. Güler S, Yavuz D. Düşük hacimsel oranlarda lif katkı betonların mekanik özelliklerinin incelenmesi. Beton 2017 Hazır Beton Kongresi, 2017;13-14 Nisan 2017; İstanbul Fuar Merkezi; 34:98-107
11. Sarıkaya H, Susurluk G. Effect of polypropylene fiber addition on thermal and mechanical properties of concrete. Research on Engineering Structures & Materials, 2019; 5(1):1-12.
12. Açıkgenç M, Arazsu U, Alyamaç KE. Farklı karışım oranlarına sahip polipropilen lifli betonların dayanım ve durabilite özellikleri. SDU International Technologic Science, 2012;4 (3): 41-54
13. Çimsa Çimento. Cem I 42,5 R Çimentosunun kimyasal fiziksel ve mekanik özellikleri. Afyon Çimento Fabrikası. Afyon. 2019
14. Yapıchem. Yapı kimyasalları kataloğu. İstanbul. 2018
15. Morton WE, Hearte JWS. Physical properties of textile fibers. Fourth Edition. Cambridge(England): Woodhead Publishing Limited; 2008
16. Ramesh M, Palanikumar K, Reddy KH. Comparative evaluation on properties of hybrid glass fiber - sisal/ jute reinforced epoxy composites. Procide Engineering, 2013;51:745-750 .
17. Sarıkaya H. Bor katkı özellikli beton üretimi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye, 2014.