



**T. C.**

**ORDU ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KENEVİR LİF VE ZEOLİT KATKILI ÇİMENTO İÇEREN  
KÖPÜK BETONLARIN ÖZELLİKLERİ**

**DİDEM BETÜL KAYA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI**

**ORDU 2024**

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan ve kullanılan intihal tespit programının sonuçlarına göre; bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdığı yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

**DİDEM BETÜL KAYA**

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

## ÖZET

### KENEVİR LİF VE ZEOLİT KATKILI ÇİMENTO İÇEREN KÖPÜK BETONLARIN ÖZELLİKLERİ

DİDEM BETÜL KAYA

ORDU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ, 79 SAYFA

(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. YASEMİN AKGÜN)

Son zamanlarda, enerji odaklı yaklaşımlar gereği, inşaat sektöründe pek çok alanda olduğu gibi yapı malzemeleri alanında da incelemeler yoğun bir şekilde devam etmektedir. Mineral katkıları ve puzolanik aktiviteye sahip mineral katkıları, çimento ve beton üretiminde enerji tasarrufu çıktıları, çevre koruma ve nihai ürünün performans iyileştirme gibi nedenlerle sektörde odak olmaya devam etmektedir. Mineral katkıları optimum oranlarla çimento üretimine dahil olduklarında klinker oranını azaltmaktadır. Böylelikle enerji tasarrufunun yanı sıra CO<sub>2</sub> emisyonları probleminin çözümünde de önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Aynı zamanda mineral katkıları incelikleri ve puzolanik aktiviteleri sayesinde kullanıldığı üründe performans artışı meydana getirmektedirler.

Diğer taraftan, binaların ısıtma amaçlı kullanılan enerji tüketimleri dünya enerji talebinde önemli bir paya sahiptir. Köpük betonlar, boşluklu yapıları gereği ısı konfor koşullarının elde edilmesinde oldukça başarılı beton sınıfı olmaktadır. Ancak, köpük betonun ısı performans avantajına karşılık gevrek yapısının iyileştirilmeye dayanım ve dayanıklılık performanslarının artırılmaya ihtiyacı vardır. Bu nedenle, yük etkisi altındaki köpük betonların karışımlarında mineral katkı ve lif takviyesi kullanımı uygun bir çözüm olmaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı, kenevir lif takviyesi ve zeolit katkıları çimento içeren köpük betonların fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemektir. Bu amaçla, çimento üretiminde puzolan özellikli doğal zeolit kullanılmasına ve köpük beton üretimlerinde kenevir lif takviyesine ilişkin bilimsel veri oluşturmaktır. Çalışmada farklı oranlarda kullanılan ve farklı yüzey işlemlerine tabi tutulmuş doğal kenevir lif takviyesinin köpük beton numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu tez çalışmasındaki deney programında yer alan deney serilerinden elde edilen bulgular karşılaştırma yöntemi kullanılarak irdelenmiştir.

Köpük beton numunelerinin su/çimento oranı ve çimento dozajı sabit tutulmuştur. Zeolit %10, ve %15 oranlarda çimento klinkeri ile yer değiştirilmiştir. Zeolit katkıları çimento içeren köpük beton numunelere doğal kenevir lif takviyeleri %1 (düşük), %2 (orta) ve %3 (yüksek) olmak üzere farklı oranlarda yapılmıştır. Kenevir lifler karışıma eklenmeden önce iki farklı yüzey işlemine tabi tutulmuştur. Üretilen köpük beton numuneler üzerinde mini slump, yayılma, özgül ağırlık, ağırlıkça su emme, kılcal su emme, ultrasonik ses geçiş hızı, eğilme-basınç dayanımı gibi deneyler gerçekleştirilmiştir.

Yapılan deneysel çalışma sonuçlarına göre, %3' e kadar doğal kenevir lif takviyesi, %15' e kadar zeolit katkıları çimento içeren ve soda ile sülfat yüzey işlemine

tabi tutulan köpük betonların performanslarında olumlu gelişimlerin olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Katkılı Çimento, Kenevir Lif, Klinoptilolit, Köpük Beton, Zeolit.

## **ABSTRACT**

### **PROPERTIES OF FOAM CONCRETES CONTAINING HEMP FIBER AND ZEOLITE BLENDED CEMENTS**

**DİDEM BETÜL KAYA**

**ORDU UNIVERSITY INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED  
SCIENCES**

**RENEWABLE ENERGY**

**MSC. THESIS, 79 PAGES**

**(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. YASEMİN AKGÜN)**

Recently, due to energy-oriented approaches, investigations have been continue intensively on building materials, as in many areas in the construction industry. Mineral additives and mineral additives with pozzolanic activity continue to be a focus in the sector for reasons such as energy saving outputs, environmental protection and performance improvement of the final product in cement and concrete production. Mineral additives reduce the clinker ratio, whenever they are included in cement production at optimum ratios. Thus, in addition to saving energy, it also contributes significantly to solving the problem of CO<sub>2</sub> emissions. At the same time, mineral additives increase the performance of the product they are used in, thanks to their fineness and pozzolanic activity.

On the other hand, energy consumption of buildings for heating aims has a significant share in world energy demand. Foam concretes are a very successful concrete class in achieving thermal comfort conditions due to their porous structure. However, despite the thermal performance advantage of foam concrete, its brittle structure needs to be improved and its strength and durability performances need to be increased. For this reason, the use of mineral additives and fiber reinforcement in mixtures of foam concrete under load is a appropriate solution.

The aim of this thesis is to examine the physical and mechanical properties of foam concrete containing hemp fiber reinforcement and zeolite blended cement. In addition, it is to create scientific data on the use of natural zeolite with pozzolan properties in cement production and on hemp fiber reinforcement in foam concrete productions. In the study, the effects of natural hemp fiber reinforcement used in different proportions and subjected to different surface treatments on the physical and mechanical properties of foam concrete samples were examined. The findings obtained from the test series in the test program in this thesis study were discussed by using the comparison method.

The water/cement ratio and cement dosage of the foam concrete samples were kept constant. Zeolite was replaced by cement clinker at ratios of 10% and 15%. Natural hemp fiber reinforcements were added to foam concrete samples containing zeolite blended cement at different ratios as 1% (low), 2% (medium) and 3% (high). Hemp fibers were subjected to two different surface treatments before being added to the mixture. Tests such as mini slump, dispersion, specific gravity, water absorption

by weight, capillary water absorption, ultrasonic pulse velocity, bending-compressive strength were carried out on the produced foam concrete samples.

According to the results of the test study, it has been determined that there are positive improvements in the performance of foam concretes containing up to 3% natural hemp fiber reinforcement, up to 15% zeolite blended cement and subjected to soda and sulphate surface treatment.

**Key Words:** Blended Cement, Foam Concrete, Hemp Fibre, Klinoptilolite, Zeolite.

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışması sürecince bilgi, deneyim ve yardımlarını benden esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Sayın Yasemin AKGÜN' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Sayın Esat GÜMÜŞKAYA hocama tez çalışmama sağladığı katkılardan dolayı kendilerine minnettar olduğumu belirtmek isterim. Ayrıca tez çalışmamda kullandığım kenevir liflerinin ve çimentonun eldesinde yardımları bulunan Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Kenevir Araştırmaları Enstitüsü Müdürü Prof. Dr. Sayın Selim AYTAÇ hocama ve Altaş Hazır Beton A.Ş.' ye teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca her zaman yanımda olan, yardım ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen eşime de çok teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>TEZ BİLDİRİMİ</b> .....	I
<b>ÖZET</b> .....	II
<b>ABSTRACT</b> .....	IV
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	VI
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	VII
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	IX
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	XI
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....	XII
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. GENEL BİLGİLER</b> .....	3
2.1 Puzolanlar.....	3
2.1.1 Doğal Puzolanlar .....	3
2.1.2 Yapay Puzolanlar .....	4
2.2 Puzolanik Aktivite.....	5
2.3 Doğal Puzolan Zeolit.....	5
2.4 Doğal Puzolan Zeolitin Kullanım Alanları .....	6
2.5 Lifler .....	6
2.5.1 Doğal Lifler.....	7
2.5.2 Sentetik Lifler.....	7
2.5.2.1 Polimer Lifler .....	8
2.5.2.2 Metalik Lifler .....	8
2.5.2.3 Cam Lifler .....	8
2.6 Doğal Lif Kenevir .....	9
2.6.1 Doğal Lif Kenevirin Özellikleri .....	9
2.6.2 Kenevir Lif Kullanımının Tarihçesi.....	9
2.6.3 Türkiye'de Kenevir.....	10
2.6.4 İnşaat Sektöründe Kenevirin Genel Kullanım Alanları .....	10
2.7 Köpük Betonlar .....	10
2.7.1 Köpük Betonların Gelişimi .....	11
2.7.2 Köpük Betonların Üretimi ve Özellikleri.....	11
2.7.3 Köpük Beton Kullanım Alanları .....	12
2.8 Lifli Köpük Betonlar .....	12
2.8.1 Lifli Köpük Betonların Gelişimi .....	12
2.8.2 Lifli Köpük Betonların Üretimi ve Özellikleri.....	12
2.8.3 Lifli Köpük Betonların Kullanım Alanları.....	13
2.8.4 Önceki Çalışmalar .....	13
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	21
3.1 Materyal .....	21
3.1.1 Portland Çimentosu.....	21
3.1.2 Doğal Zeolitler .....	21
3.1.3 Doğal Lif Kenevir .....	22
3.1.4 Standard Kum .....	23
3.1.5 Köpük Ajanı.....	24



3.1.6 Karışım Suyu.....	25
3.2 Yöntem.....	25
3.2.1 Doğal Zeolitin Puzolanik Aktivite Deneyleri .....	26
3.2.2 Kenevir Liflerine Uygulanan Yüzey İşlemleri.....	26
3.2.3 Karışım Hesapları, Üretim ve Numunelerin Saklanması.....	30
3.2.4 Doğal Zeolit ve Doğal Kenevir Lifi İçeren Köpük Betonlar Üzerinde Gerçekleştirilen Dene Yöntemleri .....	38
3.2.4.1 Mini Slump(Çökme) Deneyleri .....	38
3.2.4.2 Yayılma Deneyleri .....	40
3.2.4.3 Birim Hacim Ağırlık Deneyleri .....	40
3.2.4.4 Su Emme Deneyleri .....	41
3.2.4.5 Kılcal Su Emme Deneyleri.....	42
3.2.4.6 Ultrasonik Ses Geçiş Hızı Deneyleri.....	43
3.2.4.7 Eğilme Deneyleri .....	44
3.2.4.8 Basınç Deneyleri .....	45
3.2.4.9 Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) İncelemeleri .....	45
<b>4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....</b>	<b>46</b>
4.1 Mini Slump (Çökme) Değerleri .....	46
4.2 Yayılma Değerleri.....	48
4.3 Birim Hacim Ağırlıklar .....	50
4.4 Su Emme Oranları.....	52
4.5 Kılcallık Katsayıları .....	55
4.6 Ultrasonik Ses Geçiş Hızları .....	57
4.7 Eğilme Dayanımları .....	58
4.8 Basınç Dayanımları.....	60
4.9 Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) İncelemeleri .....	62
<b>5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....</b>	<b>67</b>
<b>6. KAYNAKLAR .....</b>	<b>71</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>79</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 Klinoptilolit Numunesine Ait Bir Görünüm.....	22
Şekil 3.2 Kenevir Liflerine Ait Görünümler.....	23
Şekil 3.3 CEN Kumu.....	24
Şekil 3.4 Köpük Ajanına Ait Bir Görünüm.....	24
Şekil 3.5 Kesilmiş Kenevir Lifleri.....	27
Şekil 3.6 Kenevir Lifleri İçin Yüzey İşlemlerinde Kullanılan Cihaza Ait Görünümler ve İşlemden Geçmiş Numune.....	29
Şekil 3.7 Nem Tayin Cihazı ile Kuru Madde Miktarı Tayini .....	31
Şekil 3.8 Karışıma Giren Bileşen Miktarlarının Belirlendiği Hassas Terazi.....	32
Şekil 3.9 Karışıma Giren Bileşenlere Ait Bir Görünüm .....	32
Şekil 3.10 Köpük Beton Karışımlarında Kullanılan Çimento Mikseri.....	33
Şekil 3.11 Köpük Beton Üretiminde Kullanılan Köpük Kıvamı.....	34
Şekil 3.12 Köpük Beton Numunelerin Kıvamı.....	34
Şekil 3.13 Köpük Beton Kalıpları.....	35
Şekil 3.14 Numunelerin Üretiminde Yerleştirmede Kullanılan Sarsma Tablası.....	35
Şekil 3.15 Kalıplarda Bekletilen Numuneler.....	36
Şekil 3.16 Kalıptan Çıkarılmış Numuneler.....	37
Şekil 3.17 Kür Havuzunda Bekletilen Numuneler.....	38
Şekil 3.18 Karışımın Çökme Deney Anı.....	39
Şekil 3.19 Karışımın Çökme Değerinin Ölçüm Anı.....	39
Şekil 3.20 Karışımın Yayılma Deney Anı.....	40
Şekil 3.21 Özgül Ağırlık Sehпасı.....	41
Şekil 3.22 Kılcal Su Emme Deney Anı .....	42
Şekil 3.23 Ultrasonik Ses Geçiş Hızı Cihazı ve Deney Anından Görünüm.....	43
Şekil 3.24 Ultrasonik Ses Geçiş Hızı Deneyinde Kullanılan Jeller.....	44
Şekil 3.25 Eğilme Deney Anına İlişkin Bir Görünüm.....	44
Şekil 3.26 Basınç Deney Anına İlişkin Bir Görünüm.....	45
Şekil 4.1 Kenevir Lif Takviyesi ve Zeolit Katkı Oranlarına Göre Köpük Betonların Çökme Değerleri Değişimleri.....	47
Şekil 4.2 Yayılma Değerlerinin Belirlendiği Deney Anına Ait Bir Görünüm.....	48
Şekil 4.3 Kenevir Lif Takviyesi ve Zeolit Katkı Oranlarına Göre Köpük Betonların Yayılma Değerleri Değişimleri.....	49
Şekil 4.4 Kenevir Lif ve Zeolit Katkı Oranlarına Göre Köpük Betonların DKY Birim Hacim Ağırlıkları.....	51
Şekil 4.5 Kenevir Lif ve Zeolit Katkı Oranlarına Göre Köpük Betonların Kuru Birim Hacim Ağırlıkları.....	52
Şekil 4.6 Kenevir Lif ve Zeolit Katkı Oranlarına Göre Köpük Betonların Porozite Değerleri.....	53
Şekil 4.7 Kenevir Lif ve Zeolit Katkı Oranlarına Göre Köpük Betonların Su Emme Değerleri.....	54
Şekil 4.8 Kenevir Lif ve Zeolit Katkı Oranlarına Göre Köpük Betonların Kılcallık Katsayıları Değişimleri.....	56
Şekil 4.9 Kenevir Lif ve Zeolit Katkı Oranlarına Göre Köpük Betonların Ultrasonik Ses Geçiş Hızları.....	58

<b>Şekil 4.10</b> Kenevir Lif ve Zeolit Katkı Oranlarına Göre Köpük Betonların Eğilme Dayanımları.....	59
<b>Şekil 4.11</b> Kenevir Lif ve Zeolit Katkı Oranlarına Göre Köpük Betonların Basınç Dayanımları.....	61
<b>Şekil 4.12</b> Üretilen Köpük Betonların Analize Hazırlık Aşamaları.....	64
<b>Şekil 4.13</b> Taramalı Elektron Mikroskobu.....	64
<b>Şekil 4.14</b> Altın Kaplama Cihazı.....	65
<b>Şekil 4.15</b> Karbon Bandı Üzerindeki Altın Kaplama Yapılmış Numuneler.....	65
<b>Şekil 4.16</b> Köpük Beton Numunelerin Bazılarına Ait SEM Görüntüleri.....	66
<b>Şekil 4.17</b> Köpük Beton Numunelerin Bazılarına Ait EDX Görüntüleri.....	66

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 3.1</b> CEM I 42.5R' nin Özellikleri (Ünye Çimento).....	21
<b>Çizelge 3.2</b> Köpük Ajanının Bazı Özellikleri .....	25
<b>Çizelge 3.3</b> Köpük Beton Numunelerin Etiketleri.....	26
<b>Çizelge 3.4</b> Kenevir Lifleri İçin Yüzey İşlemlerinde Kullanılan Reaksiyon Koşulları.....	30
<b>Çizelge 3.5</b> Köpük Beton Üretiminde Kullanılan Karışımın Bileşen Miktarları (1m <sup>3</sup> ).....	31
<b>Çizelge 4.1</b> Köpük Betonların Mini Çökme Değerleri.....	46
<b>Çizelge 4.2</b> Köpük Betonların Yayılma Değerleri.....	49
<b>Çizelge 4.3</b> Köpük Beton Numunelerin DKY ve Kuru Birim Hacim Ağırlıkları.....	51
<b>Çizelge 4.4</b> Köpük Beton Numunelerin Porozite ve Su Emme Değerleri.....	53
<b>Çizelge 4.5</b> Köpük Beton Numunelerin Kılcallık Katsayıları.....	55
<b>Çizelge 4.6</b> Köpük Beton Numunelerin Ultrasonik Ses Geçiş Hızları.....	57
<b>Çizelge 4.7</b> Köpük Beton Numunelerin Eğilme Dayanımları.....	59
<b>Çizelge 4.8</b> Köpük Beton Numunelerin Basınç Dayanımları.....	61

## SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

---

<b>Al</b>	:	Alüminyum
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	:	Alüminyum Oksit
<b>Ca(OH)<sub>2</sub></b>	:	Kalsiyum Hidroksit
<b>CaO</b>	:	Kalsiyum Oksit
<b>CEN</b>	:	European Committee for Standardization
<b>CO<sub>2</sub></b>	:	Karbondioksit
<b>C-S-H</b>	:	Kalsiyum Silikat Hidrat
<b>Fe</b>	:	Demir
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	:	Demir Oksit
<b>H<sub>2</sub>O</b>	:	Su
<b>K<sub>2</sub>O</b>	:	Potasyum Oksit
<b>MgO</b>	:	Magnezyum Oksit
<b>Na<sub>2</sub>S</b>	:	Sodyum Sülfür
<b>NaO<sub>2</sub></b>	:	Sodyum Süperoksit
<b>NaOH</b>	:	Sodyum Hidroksit
<b>Si</b>	:	Silisyum
<b>SiO<sub>2</sub></b>	:	Silisyum Dioksit
<b>SO<sub>3</sub></b>	:	Kükürt Trioksit

---

## 1. GİRİŞ

Artan dünya nüfusu ile gelişen enerji kısıtı, sera gazı odaklı çevre problemleri ve ürün performans geliştirme hedefli sürdürülebilirlik beklentileri yapı malzemeleri üzerindeki çalışmaları oldukça yoğunlaştırmıştır. Ülkelerin enerji politikalarının analizlerine ışık tutan ulusal ve uluslararası enerji ajansları pek çok sektörün dünya enerji talebindeki yeri konulu araştırma ve tespitler yapmaktadır. Söz konusu tespitler arasında inşaat sektörü özellikle yapı malzemeleri alanında önemli bir paya sahiptir. Yoğun enerji tüketimi gerektiren çimento imalat sektörü bunlar arasında ilk akla gelenlerden birisidir. Çimento klinkeri ile yer değiştirme yapılabilen uygun mineral katkı malzemesi kullanmak yukarıda bahsi geçen problemlerin en kolay çözümü olarak görülmektedir.

Diğer taraftan, yine inşaat sektöründe binalarda ısı konfor, işletme koşulları arasında, öncelikli beklentiler arasındadır. Bu beklentilerin karşılanması için harcanılan enerji yine dünya enerji tüketiminde oldukça önemli bir paya sahiptir. Son zamanlarda ısı enerjisi korunumu ve ısı depolama gibi hususlarda farklı yoğunluklarda amaca uygun olarak yapılan tasarımlarla köpük beton üretimine yönelik çalışmalar da bu beklentileri karşılama noktasında giderek artmaktadır. Köpük betonun boşluklu yapısının sağladığı ısı performans artışı istenen bir durum olmakla birlikte mekanik performanslarının iyileştirilmesine ihtiyaç duymaktadır. Doğal bitkisel bir malzeme olan kenevir sahip olduğu hafiflik, küfe dirençli ve nefes alabilir olma gibi özellikleri sayesinde yapı malzemesi olarak geniş bir kullanım alanı karşılığı bulmaktadır. Çevreci bir malzeme olması nedeniyle de bina tasarımlarında yeşil malzeme olarak sınıflandırılmaktadır. Kenevirin geri dönüşümlü, toksik olmayan, biyolojik parçalanabilir ve haşerelere karşı koruyucu bir malzemedir. (Anonim, 2024).

Bunların yanı sıra, kenevir liflerinin dayanım ve dayanıklılık yönüyle performansının yüksek oluşu betonun sünekliğini artırmakta ve mekanik davranışlarında pozitif gelişmeler sağlanmaktadır.

Bu açıklamalar ışığında, bu tezin amacı; kenevir lif ve zeolit katkılı çimento içeren köpük betonların fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemektir. Çalışmada lif çeşitleri arasında doğal lif olarak tanımlanan kenevir lifi %1 (düşük), %2 (orta) ve %3 (yüksek) oranlarında yüzey kaplama işlemlerine tabi tutularak karışımlara dayanım

iyileştirme amaçlı ilave edilmiştir. Doğal ve puzolanik özellikli zeolit grubu klinoptilolit %10 ve %15 yerdeğiştirme oranlarında çimento klinkeri ile yerdeğiştirme malzeme olarak kullanılmıştır. Bu çalışma, zeolit içeren katkıli çimentolar kullanılarak üretilmiş köpük betonlar için optimum kenevir lif ve zeolit katkı miktarının belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Köpük beton, kenevir lif ve puzolanik özellikli zeolit mineral katkının sahip oldukları pozitif özelliklerinin bir araya getirilerek sinerjik bir etki ile nihai ürünün özelliklerinin iyileşmesi beklenmektedir.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1 Puzolanlar

Puzolanlar, kireç ile girdiği reaksiyon sonucu bağlayıcılık işlevi kazanan, serbest halde bağlayıcılığı olmayan maddelerdir (Özcan ve Güngör, 2019).  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile tepkimesi sonucu bağlayıcı özellikteki C-S-H jeli oluşumuna neden olan silisli, silisli- alüminli maddelerdir (Erçikdi ve ark., 2008). Puzolan içeriğindeki  $\text{SiO}_2$  miktarının artması, C-S-H jeli oluşumunu arttırmaktadır (Yılmaz ve ark., 2004).

Çimentonun var oluşundan önce yapılarda bağlayıcı olarak kullanılan puzolanlar, şimdilerde beton özelliklerinin geliştirilmesinde katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır (Özer, 2000). Puzolanların çimento içeriğine dahil edilmesi, klinker faktörünün azalmasıyla oluşan  $\text{CO}_2$  emisyonunun ve enerji tüketiminin azalmasını sağlamaktadır (Akgün, 2019). Ayrıca beton maliyetinin önemli bir etkeni olan çimentonun, puzolanlarla yer değiştirmesi, beton üretimini daha ekonomik hale getirmektedir. Betonda puzolan kullanımı, daha kolay işlenebilirlik sağlaması, dayanımı artırarak çatlama önlemesi ve betonun su geçirimsizliğini arttırması gibi faktörlerle beton performansını olumlu yönde etkilemektedir (Şengül ve ark., 2011). Betonda, sülfat etkisiyle genişip çatlama yol açabilecek hasarlar, çimentoya puzolan ilavesiyle azaltılabilmektedir (Canpolat ve Yılmaz, 2002).

Doğal ve yapay puzolanlar olarak iki grupta sıralanan puzolanların puzolanik özellikleri, malzemenin fiziksel yapısından ve kimyasal bileşiminden doğrudan etkilenmektedir. Örnek olarak doğal puzolan olarak işlem görece malzemenin, kimyasal bileşimde %70 oranda  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$  toplamı ve minimum 3000  $\text{cm}^2/\text{g}$  spesifik yüzey alanı özelliklerini taşıması gerekmektedir (Erçikdi ve ark., 2008).

#### 2.1.1 Doğal Puzolanlar

Doğal puzolanlar tras olarak da adlandırılmaktadır. Doğal puzolanlar sedimanter veya volkanik kökenli kayaç ve maddelerdir. Doğal puzolanlara volkanik tüfler, volkanik küller, ısıtılmış tabii tutulmuş killer ve şeyller örnek olarak gösterilebilir (Aslan ve Gürocak, 2022).

Doğal puzolanlar beton içerisine katıldığında, beton işlenebilirliğini ve dayanımını arttırmakta, sülfat etkisiyle oluşabilecek hasarı azaltmaktadır (Fen Yıldırım, 2007). Öğütülerek daha ince bir yapı haline getirilen doğal puzolanlar,



çimento hamurundaki gözenekleri daha kolay doldurarak, beton dayanımının artmasında etkili olmaktadır (Ceylan, 2020).

Doğal puzolanların oranca büyük bir kısmı volkanik kaynaklı malzemelerdir. Volkanik patlama sonucu, içeriğinde silisli ve alüminli malzeme barındıran magmanın yüzeyde hızlıca soğumasıyla camsı malzemeler meydana gelmektedir. Volkanik patlama sırasında ortamda bulunan gazlar, puzolan malzemeye büyük yüzey alanı ve boşluklu bir yapı kazandırmaktadır. Patlamanın hızı malzemenin puzolanik etkinlik düzeyini etkilemektedir. Hızlı volkanik püskürme, puzolanik aktivitesi yüksek camsı malzemeler oluşmasına neden olmaktadır (Özinan, 2010).

### **2.1.2 Yapay Puzolanlar**

Yapay puzolanlar, doğal malzemelerin ısı işlem görmesi sonucu oluşan maddelerden veya endüstri artığı maddelerden oluşur. Yapay puzolanlara uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve silis dumanı örnek olarak gösterilebilir (Erçikdi ve ark., 2008).

Termik santrallerde yan ürün olarak elde edilen uçucu kül, depolandığı takdirde ortaya çıkaracağı çevresel zararın indirgenmesi ve birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de çimento üretiminde ve diğer inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanılarak ekonomik kaybın engellenmesi ve çimento maliyetinin azaltılması amacıyla yapay puzolan olarak görev almaktadır. Ülkemizde DSİ tarafından ilk çalışmaları yapılan uçucu kül, Gökçekaya barajında beton katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. 1968 yılında TSE tarafından çimento ve betonda uçucu kül kullanımıyla ilgili standart yayınlanmıştır (Alkaya, 2009).

Yüksek fırın cürufu, metalurji kuruluşlarında açığa çıkan atık malzemelerden oluşan yapay puzolanlardır. Cürufların kimyasalı, üretim merkezi olan kuruluşların üretimdeki yöntemlerine göre birbirlerinden oldukça farklı özellikler sergilemektedir. Yüksek fırın cürufu, çimentoda kullanımıyla çimento mekanik özelliklerinde iyileşme sağlayan, asit direnci oluşturan, beton su geçirimsizliğini azaltıp işlenebilirliği arttıran yapay puzolandır (Dorum ve ark., 2009).

Silis dumanı, agrega ve çimento hamuru arasındaki bağı güçlendirerek beton dayanımının artmasına neden olan yapay puzolandır. 28 günlük basınç dayanımları sonucu, karışım oranları da dikkate alınarak silis dumanı katkılı harçlar standart harçlara göre %20- 50 arasında dayanımda artış göstermektedir (Demir, 2009).

## 2.2 Puzolanik Aktivite

Puzolan bünyesindeki aktif silisin bağlayıcı içerisindeki  $\text{Ca(OH)}_2$  ile bağlanması ve bu işlemin hızı puzolanik aktivitedir (Kılıç, 2013).  $\text{CaO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{SiO}_2$  arasındaki reaksiyonlar sonucu C-S-H (kalsiyum-silika-hidrat) jellerinin oluşması işlemidir (Aslan ve Gürocak, 2022).

Puzolanın bağlanabileceği maksimum kireç miktarı ve bu bağlanmanın hızını ifade eden puzolanik aktivite, puzolanın yapısına bağlıdır. Puzolan maddenin fiziksel ve mineral özellikleri, içeriğindeki aktif madde miktarı ve kalitesi, puzolanik aktivite parametrelerini doğrudan etkiler. Örnek vermek gerekirse kesinlik sağlamamakla birlikte amorf silis, kristal yapılı silise göre kireçle daha hızlı bir tepkime vermektedir (Özer, 2000).

Puzolanik aktivitenin belirlenmesi amacıyla, standartlarda da yer alan, başlıca mekanik ve kimyasal deneyler olmak üzere çeşitli deneyler yapılmaktadır. Kimyasal deneyler, aktivite bileşenlerinin içeriğinin ve bu bileşenlerin miktarının belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır. Mekanik deneyler ise puzolan katkısıyla elde edilen harçların, aktif silis varlığının tespit edilebilmesi amacıyla eğilme ve basınç dayanımlarının belirlenmesi işlemidir. Spektrofotometrik ve elektriksel direnç ölçme yöntemleri de puzolanik aktivite belirlenmesi amacıyla yapılan diğer deneylerdir (Kılınçkale, 1996).

## 2.3 Doğal Puzolan Zeolit

Boşluklu ve homojen bir yapıya sahip olan zeolitler, ağırlığı düşük olan sağlam malzemelerdir (Güçlüer, 2016).

Doğal zeolitlerin, içeriğindeki  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sayesinde  $\text{Ca(OH)}_2$  ve  $\text{CaCO}_3$  tepkimeye girerek, puzolanik özellik gösterip bağlayıcı işlev kazanabilmeleri, çimento sektöründe kullanımlarına olanak sağlamaktadır (Fen Yıldırım, 2007). Zengin alümin ve silis içeriği, belirli miktarda çimento ile ikame edilmesiyle oluşan reaksiyon sonucu bağlayıcı elemanlar oluşturup dayanımın artması nedeniyle zeolitin inşaat sektöründe kullanımını gittikçe artmaktadır. Bununla birlikte zeolitin çimento ile ikamesi sonucu çimento tüketimindeki azalış çevresel zararı indirgemekte ve zeolitin doğal bir malzeme olması ürün maliyetini azaltarak ekonomik bir getiri sağlamaktadır (Akgün ve Yazıcıoğlu, 2016). Zeolitlerin çimentoya kıyasla sahip olduğu düşük yoğunluk, dahil olduğu betonun normal betona oranla daha düşük birim ağırlığa sahip olmasına

neden olmaktadır. Bu şekilde elde edilen hafif yapı malzemeleri, yüksek ısı yalıtım özellikleri de sergileyerek yapının ömrü boyunca enerji harcamalarında da tasarruf sağlamaya yardımcı olacaktır (Okumuş, 2012).

Dünyanın yarısından fazla bir oranla Küba, zeolit üretiminde ilk sırada gelmektedir. Japonya, ABD ve İtalya da önemli üretici ülkeler olmakla birlikte Türkiye de Manisa, Gördes, Balıkesir yörelerinde zengin zeolit kaynaklarına sahiptir (Gülen ve ark., 2012).

#### **2.4 Doğal Puzolan Zeolitinin Kullanım Alanları**

Zeolitlerin içerdiği silis miktarı, elek yapısı, yoğunluğunun düşüklüğü, kristal yapıları zeolitlerin gözenek yapısı gibi bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri onların çok çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmalarını mümkün kılmaktadır. Zeolitler aynı zamanda iyon değiştirme ve adsorbsiyon özellikleri ile kirlilik kontrolü uygulamalarında da kullanılmaktadır. Yapay ve doğal zeolitler enerji dönüşümüne yardımcı malzemeler ya da ortamlar oluşturmak amacıyla kullanılmaktadır. Zeolitlerin bir diğer kullanım alanı tarım ve hayvancılık sektörüdür. Maden metalürji sektöründe de kullanılan zeolitler maden yataklarının bulunması ve ağır metallerinin tutulmasını sağlamaktadır (DPT, 2001; Hatipoğlu, 2014).

İnşaat sektöründe zeolitler, katkılı çimento, hafif agrega, yapı kaplamaları uygulamalarında doğal taş olarak kullanılmaktadır. Zeolitlerin yüksek silis içeriği çimento katkı malzemesi olarak kullanıldıklarında nihai ürün betonun mekanik özelliklerinin iyileşmesine katkı sağlamaktadır (Yazıcıoğlu, 2016).

#### **2.5 Lifler**

Betonun niteliğinin artırılması ve yeni niteliklerle donatılması amacıyla içerisinde lifler dahil edilmektedir (Raj ve ark., 2020). Liflerin dahil olduğu yapılarda istenen en temel şey, beton içerisinde lifin homojen dağılım sergilemesi ve beton karıştırıldıktan sonra da bu homojenliğin bozulmamasıdır. Lif boyunun lif çapına bölünmesi sonucu, lifin narinlik oranı olarak belirtilen değer ortaya çıkmaktadır (Ünal ve ark., 2011). Life ait narinlik oranı, beton içerisine katılan lifin miktarı ve yönelimi gibi özellikler lifin beton üzerindeki iyileştirme performansını etkilemektedir. Ayrıca betonun karışım oranları ve dayanımının da bu performansa etkisi olmaktadır (Kızılırmak ve ark., 2019).

Lifler betonun sünekliğini arttırmak, mekanik özelliklerini geliştirmek vb. amaçlara yönelik etkin bir metot olmaktadır (Raj ve ark., 2020). Lifler betonda çatlak oluşumu sırasında, gerilmeleri kendileri aracılığıyla sağlam alanlara iletme görevi üstlenmektedirler (Ünal ve ark., 2011). Lifler betonun işlenebilirliğini azaltsa da beton dayanımını arttırdıkları ve çatlakları sınırlandırmaları nedeniyle liflerin kullanımı oldukça yaygındır (Gencel ve ark., 2022). Darbe etkisi görebilecek beton yapılara lif dahil edilmesi, yapının normal betona oranla yüklere karşı dayanımını arttırmasında katkı sağlamaktadır (Kızılırmak ve ark., 2019).

Doğal ve sentetik lifler olarak iki farklı şekilde sınıflandırılan lifler, malzemenin en iyi formu olmakla birlikte, büyük boyutlu görünümüne oranla çok daha yüksek dayanım ve elastisite modülüne sahiptir (Akın ve ark., 2022).

### **2.5.1 Doğal Lifler**

Doğal lifler, bitkisel veya hayvansal kökenli olmakla birlikte kullanım aşamasında bile doğallığını sürdüren liflerdir (Türkmenoğlu ve Varol, 2014). Doğal liflerin en belirgin özelliği ekonomik ömrünü tamamladıktan sonra tekrar geri dönüşüme kazandırılıyor olmasıdır (Raj ve ark., 2020). Kullanılan en eski liflerden saman bitkisel liflere, at yelesi hayvansal liflere örnektir (Türkmenoğlu ve Varol, 2014). Kenevir, bambu ve hindistan cevizi en yaygın kullanım alanına sahip doğal liflerdir (Şenol, 2022).

Çevre dostu ve ekonomik olması, parçalanabilir ve korozyona dayanıklı olması gibi özellikleriyle doğal liflerin inşaat sektöründe kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bunun yanı sıra diğer malzemelerle zayıf bağ kurması ve su emici özelliğe sahip olması doğal lifleri dezavantajlı kılmaktadır (Şenol, 2022).

### **2.5.2 Sentetik Lifler**

Sentetik lifler, doğal bir şekilde meydana gelmeyen, beşeri faktörlerin etkisiyle oluşan insan yapımı liflerdir. Düşük oran ve yüksek oran olarak iki farklı şekilde betona dahil edilen sentetik lifler, yüksek çekme dayanımına sahiptir. Betonda mukavemetin arttırılması söz konusu olduğunda sentetik lifler etkili olmaktadır (Raj ve ark., 2020).

### **2.5.2.1 Polimer Lifler**

Sentetik polimer liflere polipropilen, polietilen, aramid örnek olarak gösterilebilir. Birçok uygulama alanına sahip olan polimer liflerden polipropilen, düşük oranlarda takviye malzemesi olarak çimento esaslı malzemelere dahil edilebilmektedir. Burada amaç, malzeme dayanımını arttırmak ve çatlak sonrası malzemenin sünek bir davranış göstermesini sağlamaktır (Kurt, 2006). Polipropilen lifler diğer sentetik liflere kıyasla hafif ve ekonomik, ısı iletkenliği düşük liflerdir (Şenol, 2022).

Polipropilen lifler, yüksek sıcaklığa maruz kalabilecek beton yapılarda meydana gelebilecek hasarın önlenmesi amacıyla da kullanılmaktadır (Ali ve ark., 2019). Yüksek sıcaklık altında eriyen bu lifler, iç basınç etkisiyle meydana gelebilecek parçalanmaları engellemek amacıyla betonda boşluklar oluşturmaktadır (Şenol, 2022).

Polimer liflerin beton dökümünde üretim kolaylığı oluşturması, betonarme temellerde ve püskürtme beton imalatlarında kullanımını mümkün kılmaktadır (Sertkaya ve ark., 2018).

### **2.5.2.2 Metalik Lifler**

Betona dahil edilen en yaygın metalik lif, çelik liflerdir. (Kurt, 2006). Pürüzlü yüzeyleri sayesinde çimentoyla daha güçlü bir bağ oluşturan çelik lifler, normal şartlarda gevrek davranış gösteren betonun, çatlaktan kırılma anına kadar deforme olmasında etkin rol oynamaktadır. Sert yapısı ve düşük maliyetinin sağladığı avantajlarla sektörde geniş bir kullanım ağına sahip olan çelik liflerin beton üzerindeki iyileştirme etkisi, lifin dozajına ve çeşidine göre değişmektedir (Şenol, 2022). Ön gerilmeli yapılarda ve asma köprülerde çelik lifler kullanılmaktadır (Kurt, 2006).

### **2.5.2.3 Cam Lifler**

Cam lifler, korozyona dayanıklı ve yüksek dayanıma sahip liflerdir (Kurt, 2006). Elektrikli fırınlarda 1500 °C'ye varan ısılarda eritilen camların, delikli bir yapıdan geçip soğutulması sonucunda elde edilen cam lifler, yüksek çekme mukavemetine sahiptir. Bu özelliği sayesinde cam liflerin betonda kullanımı, betonun yetersiz olan çekme dayanımını arttırmasına katkı sağlamaktadır (Ali ve ark., 2019).

Cam lifler, agregalarla gerçekleşen sürtünme ve sahip olduğu yüksek özgül yüzey alanı nedeniyle taze betonda, akış çapının daralmasına ve akış süresinin artmasına neden olmaktadır (Şenol, 2022). Yüksek dayanım özelliğinin sağladığı çizilmeye karşı dayanıklılık sayesinde kaplama panellerde ve prekast beton üretiminde cam lifler kullanılmaktadır (Kurt, 2006).

## **2.6 Doğal Lif Kenevir**

Kenevir, dayanıklılığı sentetik elyaflarla kıyaslanacak derecede fazla olan, ekonomik ömür sonrası tekrar geri dönüşüme kazandırılıyor olması sebebiyle önemi günden güne artan doğal bir malzemedir (Demirbek ve Bulut, 2021). Günümüzde birçok sektörde kullanım alanına sahip olan kenevir, bilimsel birçok çalışmaya konu edinilmekte ve ekonomik getiri sağlamaktadır (Kaya ve Öner, 2020).

### **2.6.1 Doğal Lif Kenevirin Özellikleri**

Kenevir, güçlü lif yapısı sayesinde yüksek mukavemet ve dayanıklılığa sahip bir malzemedir (Demirbek ve Bulut, 2021). Yenilenebilir ve geri dönüştürülebilir bir malzeme olan kenevir, yüksek ısı yalıtımı, yüksek ısı depolama özelliğine sahiptir. (Kaynak, 2022). Kenevir, üretim maliyeti düşük, aşınmaya dirençli ve nefes alabilirliği yüksek bir malzemedir (Aydoğan ve ark., 2020).

### **2.6.2 Kenevir Lif Kullanımının Tarihçesi**

Kenevir liflerinin kullanım alanı oldukça geniştir. Kenevir liflerinin inşaat sektöründe kullanımı 1500 yıl öncesine dayanmaktadır. Teveri tarafından yapılan çalışmada Hindistanda kayalardan oyulmuş mağara tapınaklarının duvarlarındaki kil sıvanın %10 kenevir lif içerikli olduğunu tespit etmiştir (Teveri, 2018). Kenevir lifleri geçmişte inşaat sektörünün yanı sıra gemi yapımında gövdenin oluşturulmasında da kullanılmıştır (Delatte, 2001). Kenevir içeren yapılara Roma döneminde de rastlanmaktadır. Ayrıca VI. yüzyılda kenevir içerikli harç kullanılarak köprüler inşa edildiği de bilinmektedir (Anonim, 2024). Kenevir lifinin kullanımı, yetiştiriciliğinin yasal izine tabi olması nedeniyle, belli dönemlerde duraksamıştır. Dünyada kenevir yetiştiriciliği ve uygun sektörlerde kullanımı, Avrupa'daki kullanımlarından sonra yaygınlaşmıştır. Kenevir lifleri yapı güçlendirmeleri ile ilgili çalışmalarda da sıklıkla kullanılmaktadır. (Kaya ve Öner, 2020).

### **2.6.3 Türkiye’ de Kenevir**

Türkiye iklimi kenevir yetiştirmeye uygun olmasına rağmen kenevir bitkisiyle ilgili oluşan yanlış algı sonucu ticari anlamda üretim bu zamana kadar çok fazla gerçekleştirilmemiştir fakat yenilenebilir kaynak ve sürdürülebilir gelecek kavramlarının önem kazanması, doğal bir lif olan kenevirin üretiminin ve ticari amaçlı kullanımının gün geçtikçe artmasına neden olmaktadır (Kaya ve Öner, 2020).

### **2.6.4 İnşaat Sektöründe Kenevirin Genel Kullanım Alanları**

Yüksek ısı yalıtım özelliğine sahip olan kenevir, günümüz inşaatlarında ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Kenevir sapının kireç ile bağlanması sonucu elde edilen kenevir bloklar sayesinde hem yapıya etki eden yük azalmakta hem de daha ekonomik koşullarda daha uzun ömürlü yapılar elde edilebilmektedir (Kaynak, 2022). Kenevir kullanılarak elde edilen çok çeşitli duvar ve çatı malzemeleri, geleneksel betona kıyasla sürdürülebilirlik, dayanım, yalıtım ve kalite açısından daha üstündür. Doğal lif kenevir ayrıca yol yapımında ve asfalt içeriğinde de kullanılabilir (Kaya ve Öner, 2020).

### **2.7 Köpük Betonlar**

Boşluklu ve hafif bir beton çeşidi olan köpük beton, normal betona ek olarak köpük ajanı dahil edilen, düşük yoğunluk ve yüksek akışkanlığa sahip bir beton çeşididir. Isıl iletkenliğinin düşük olmasının sağladığı mükemmel ısı yalıtım özelliği sayesinde, enerji tasarrufu sağlamaktadır (Koru, 2017).

Bünyesinde kaba agrega bulunmaması ve sahip olduğu hava boşluklarının düzenli dağılımı, köpük betonu homojen bir malzeme olarak değerlendirilebilir kılmaktadır. Kütlece hafif, doğa dostu, düşük maliyetli ve kolay uygulanabilir bir yapı malzemesidir.

Köpük beton, bir yapının taşıyıcı olmayan elemanlarından iç ve dış duvarlarda, yapı zemininde uygulama alanı bulabilmektedir. Taşıyıcı elemanlarda köpük beton kullanılmama nedeni olarak köpük betonun sahip olduğu düşük dayanım değerleri gösterilmektedir (Kocakerimoğlu, 2019).

### 2.7.1 Köpük Betonların Gelişimi

İlk üretimi 1923 yılında gerçekleştirilen köpük betonun patenti, Axel Ericson tarafından alınmıştır (Koru, 2017). Köpük betonun ilk bilimsel çalışmaya konu olması ve araştırılması 1954 yılında Valore tarafından olmuştur (Gencel ve ark., 2022). Daha sonra Rudnai, Short ve Kinniburg tarafından 1963 yılında bilimsel çalışmalara devam edilmiştir. Normal beton için yapılan tüm çalışmalar, dahil olduğu tüm araştırmalar köpük beton içinde yapılmıştır (Koru, 2017). 1950'lerin sonunda hidrolize protein ajanları kullanılmaya başlanmış, 1970'lerin sonunda ise petrol kuyusu çimentolamada ve kazılarda köpük beton kullanılmaya başlanmıştır (Gencel ve ark., 2022). Köpük beton, son yıllarda yapı uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

### 2.7.2 Köpük Betonların Üretimi ve Özellikleri

Köpük betonların üretiminde, hayvansal ürün esaslı protein bazlı köpükler veya sentetik köpükler kullanılmaktadır. Köpük betonun sahip olduğu boşluklu yapıyı sağlamak amacıyla, mekanik veya kimyasal köpükleştirme adı verilen yöntemlerle, betona hava kabarcıkları verilmektedir. İki farklı şekilde üretimi yapılan köpük betonlarda ya köpük harca karıştırılmaktadır ya da köpük oluşumu beton üretim anında gerçekleştirilmektedir (Gencel ve ark., 2022).

Köpük beton, içerisindeki hava boşluklarının varlığı sebebiyle düşük yoğunluğa sahiptir ve bu da beraberinde düşük öz ağırlığı getirmektedir. Yapının taşıyıcı olmayan elemanlarından bölme duvarlar ve dolgu duvarlarda kullanılan köpük betonlar, ısı ve ses yalıtımının gerçekleşmesini sağlamaktadır (Falliano ve ark., 2019). Köpük betonun içeriğinde iri agrega bulunmaması sebebiyle elastisite modülü normal betona göre daha düşüktür (Gencel ve ark., 2022).

Köpük betonun basınç dayanımı, kullanılan köpüğün özelliğine ve miktarına, içeriğindeki diğer malzemelerin miktarına, köpük betonun yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Köpük betonda yoğunluk, köpük miktarının hacimsel değişimiyle değişmektedir. Artan köpük miktarı düşük yoğunluğa neden olmakta, bu da yarmada çekme dayanım değerini ve elastisite modülünü düşürmektedir.

Köpük betonun taze halde gösterdiği yüksek akışkanlık, pompalama kolaylığı sağlarken, sıkışma ve titreşim gerektirmeden betonun yerleşmesine olanak sağlamaktadır (Kocakerimoğlu, 2019).



### **2.7.3 Köpük Beton Kullanım Alanları**

Mükemmel ısı yalıtımı özelliğine sahip olan köpük betonların, duvar ve çatı yalıtımı ve yapı inşaatlarında kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Köpük beton, yangın dayanım özelliği sayesinde kaplama malzemesi olarak da kullanılabilir. Yerleşik alanların altyapı imalatlarında, prekast ve yerinde döküm uygulamalarında köpük beton kullanılmaktadır (Demir ve ark., 2019).

Köpük beton, hafif bir malzeme olması yönüyle deprem hasarının azaltılmasında, enerji emici bir malzeme olması yönüyle darbe uygulamalarında da kullanılabilir (Castillo-Lara ve ark., 2020).

Dekoratif panel üretimi, yeraltı su yalıtımı sağlamak amacıyla boşluklu beton üretimi ve prefabrik binaya ait her bölümde kullanılacak panel imalatında köpük betonlar uygulama alanı bulmaktadır (Kocakerimoğlu, 2019).

### **2.8 Lifli Köpük Betonlar**

Sürdürülebilir gelecek kavramının gün geçtikçe artan önemi, beton özelliklerinin iyileştirilmesinde düşük maliyeti, biyolojik bozunurluğu ve yenilenebilir olması nedeniyle doğal liflerin kullanımını yaygınlaştırmaktadır. Köpük betonlara dayanıklılık özelliklerinin artırılması, sünekliğinin geliştirilmesi amacıyla lifler dahil edilmektedir (Castillo-Lara ve ark., 2020).

#### **2.8.1 Lifli Köpük Betonların Gelişimi**

Lif katkılı beton üretiminde patent A. Berard' a aittir.1960' lı yıllardan sonra yapılan çalışmalar betonda farklı liflerin kullanımına fayda sağlamıştır. Polimer bir malzeme olan polipropilen lifin betonda kullanımı 1960' lı yıllarda başlamış, poliolefin lifin ilk kullanımı 1990' lı yılları bulmuştur (Sarı, 2013).

#### **2.8.2 Lifli Köpük Betonların Üretimi ve Özellikleri**

Yüksek dayanıma sahip, enerji yutma kapasitesi artırılmış ve ekonomik bir malzeme oluşturulması amacıyla köpük betonlara lif katılmaktadır (Altun, 2011). Liflerin betona katılım aşamasında ve beton karıştırıldıktan sonra dahi homojen dağılımı gerekmektedir. Bu sayede betonda çatlak oluşumu önlenmekte, var olan çatlakların ilerleyişi yavaşlatılarak beton dayanımı artırılmaktadır (Kozak, 2013).

### 2.8.3 Lifli Köpük Betonların Kullanım Alanları

Lifli köpük betonların, arttırılmış dayanımları sayesinde yol ve zemin döşemelerinde, kazıklı zeminlerde kullanılması, istenilen yapı için en uygun sonucu vermektedir (Kozak, 2013). Lifli köpük betonlar, içerisindeki lif çeşidinin yapısına bağlı olarak pek çok farklı yapı üretiminde de kullanılabilir. Yangına dayanıklı beton imalatlarında, döşeme betonlarında ve püskürtme beton uygulamalarında da lifli köpük betonlar kullanılabilir (Türkmenoğlu ve Varol, 2014).

### 2.8.4 Önceki Çalışmalar

Özcan ve Güngör (2019) betonda puzolan kullanımı üzerine yaptıkları çalışmada, sürdürülebilir gelecek ve ekonomik üretim adına betonda uçucu kül kullanımının yaygınlaştırılması gerektiğini belirtmişlerdir. Çimentoya göre üstün mukavemet özellikleri sergileyen uçucu külün kullanımıyla, daha ekonomik koşullarda, daha kaliteli beton üretilebileceği sonucuna varmışlardır.

Kolak (2023) matris malzemesi polimer, takviye malzemesi kenevir, perlit ve ketencik olan kompozit malzemenin, farklı oranlarla oluşturulan numunelerini incelemiştir. Yaptığı çalışma sonucunda kenevir olmayan numunelerde daha yüksek eğilme dayanımı tespit etmiştir. Aynı zamanda kenevir miktarı arttıkça basınç dayanımında ve termal iletkenlikte artış belirlemiştir.

Huang ve ark., (2023) yol tabanı yapı malzemesi olarak kullanılan köpük betonun, üstün mekanik özelliklerinin, yoğunluktan ve gözenek yapısından etkileneceği düşüncesiyle çalışma yapmışlardır. Yoğunluğun 800- 1000 kg/m<sup>3</sup> arasında optimize olduğu ve yoğunluk artışının köpük betonun gözenek dağılımında homojenlik sağladığı sonucuna varmışlardır.

Dora ve ark., (2023) köpük betona faz değiştiren malzeme (PCM) ilave ederek bina cephelerindeki ısı performansı arttırmayı amaçlamışlardır. PCM ilave edilen köpük betonlar aynı zamanda yüksek dayanım özellikleri de göstermiştir. Nano silika ve hindistan cevizi lifi kullanılarak da numuneler (PSC) elde edilmiş, bu numuneler köpük beton ve PCM köpük betona göre yüksek mukavemet ve büzülme özellikleri göstermiştir.

Castillo-Lara ve ark., (2020) köpük beton ve farklı oranlarda lif katılmış lif takviyeli köpük beton numuneleri üzerinde çalışma yapmışlardır. Lif takviyeli köpük betonlarda basınç ve çekme mukavemetinin arttığını, kırılğan bir yapı sergileyen köpük betonun aksine liflerin gerilme mukavemetini arttırdığı sonucuna ulaşmışlardır.

Demirbek ve Bulut (2021) çalışmalarında sürdürülebilir gelecek amacıyla kompozit malzemelerde sentetik lifler yerine doğal kenevir lifi kullanımıyla ekonomik, çevre dostu ve yüksek mukavemet özellikleri sergileyen kompozitler oluşturulabileceği düşüncesini vurgulamışlardır.

Mydin ve ark., (2022) yaptıkları çalışmada köpük beton numunelerinde dört farklı doğal lif kullanmış, doğal lif kullanımıyla beton numunelerinin dayanımlarının arttığını tespit etmişlerdir.

Mydin ve ark., (2023) üç farklı yoğunlukta üretilen köpük beton numunelerine farklı oranlarda kenevir lifi katarak mekanik özellikleri arttırmayı amaçlamışlardır. Deneysel bulgular sonrasında mekanik özelliklerin pozitif yönde etkilendiğini belirlemişlerdir. Bu çalışmada ayrıca, kenevir lifinin, yük uygulandıktan sonra çatlak yayılımını engelleyici özellik sergilediğini de gözlemlemişlerdir.

Gencel ve ark., (2021) uçucu kül ve kenevir lif dahil edilerek oluşturulan köpük betonların mekanik ve termal özelliklerini incelemek amacıyla çalışma yapmışlardır. Kenevir lifi, köpük beton numunelerine farklı oranlarda ve farklı uzunluklarda koyulmuştur. Taguchi optimizasyon yaklaşımıyla değerlendirilen deneysel sonuçlar, kenevir lifinin basınç dayanımını arttırdığını, uçucu külün termal iletkenliği azalttığını göstermiştir.

Şahin (2022) yaptığı çalışmada, üç farklı bağlayıcı ve kenevir sapı kullanarak elde ettiği kenevir betonu numunelerinde, bağlayıcı miktarı azaldığında basınç dayanımının da azaldığı sonucuna varmıştır.

Karşin (2022) kenevir lifinin beton üzerindeki etkisini görebilmek amacıyla yaptığı çalışmada farklı oranlarda lifler kullanarak numuneler elde etmiş, ayrıca kenevir lifi katılmamış numunelerde oluşturarak karşılaştırma yapmak istemiştir. Çalışma sonucunda lif oranı arttıkça boşluk oranının da arttığı, artan boşluk oranı nedeniyle birim hacim değerlerinin azaldığını tespit etmişlerdir.

Le Troëdec ve ark., (2011) yaptıkları çalışmada, kenevir lifine uygulanacak kimyasal işlemler sonucu kenevir lifli kompozitlerin mekanik özelliklerindeki değişimi gözlemlemişlerdir. Lifte oluşan kimyasal değişimin, lifin kullanıldığı kompozitin mekanik özelliklerini iyileştirdiği sonucuna varmışlardır.

Zhou ve ark., (2017) işlenmiş ve işlenmemiş kenevir lif katkılı beton numuneler üreterek yaptıkları çalışmada, işlenmiş kenevir lif katkılı betonların basınç dayanımlarının daha yüksek olduğu ve bu betonların daha sünek davranış gösterdiği sonucuna varmışlardır.

Onay ve ark., (2020) kenevir lifinin üretimi, gelişimi ve üretim yerleri, çeşitli sektörlerdeki kullanımıyla ilgili 15ltrasonik katkı sağlamak amacıyla bir sentez çalışması yapmışlardır.

Koru (2017) köpük betonun termal iletkenlik katsayısını, iki önemli 15ltrasonik olan sıcaklık ve yoğunlukla ilişkilendirerek yaptığı çalışmada, ısı akış ölçer yöntemini kullanmıştır. Artan sıcaklık ve yoğunluk değerleri, tüm beton numunelerde ısı iletkenlik katsayısını arttırmıştır.

Sattar ve ark., (2023) yüksek inşaat maliyetlerinin azaltılabilmesi amacıyla köpük betonda çimento yerine alternatif bir malzeme olabilecek toz yakıt külünün, köpük beton üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda toz yakıt külünün ısı iletkenliği ve su emilimini arttırdığını belirlemişlerdir.

Mydin (2016) hafif agregalı köpük betonun termal özelliklerini gözlemek amacıyla yaptığı çalışmada, hafif agrega oranı yüksek tutulduğunda, köpük betonun termal yayılımının azaldığını yürüttükleri deneysel programa dayalı olarak belirlemişlerdir.

Mohamad ve ark., (2022) biyo bazlı köpük betonun suya duyarlılığının incelenmesi ve kenevir parçalarının da bu duyarlılıktaki rolünü incelemek amacıyla çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda kenevir parçalarının köpük betonun gözenekliliğini arttırması nedeniyle su emilimini arttırdığı ve kenevir parçası miktarı arttıkça köpük beton yoğunluğunun azaldığı sonucuna ulaşmışlardır.

Amran ve ark., (2020) köpük betonlar ve lifli köpük betonlar üzerine çalışma yapmışlardır. Betonun taze ve sertleşmiş haldeki yoğunluğu ve kullanılan köpüğün hacminin, lifli betonun mekanik özelliklerini etkileyebileceği sonucuna varmışlardır.

Kaya ve Öner (2020) kenevir bitkisinin yapısı, lif elde edilme yöntemleri, kenevirin kullanıldığı sektörler, dünyada ve Türkiye’de kenevir üretim süreci ve kenevir üzerine literatür taramalarından oluşan bir çalışma yapmışlardır.

Çomak ve ark., (2018) farklı oranlarda ve uzunluklarda kenevir liflerin, çimento harcı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla çalışma yapmışlardır. Kenevir lifi oran ve uzunluk değişimlerinin yoğunlukta büyük bir değişiklik oluşturmadığı, kenevir oranındaki artışın taze beton akıcılığını bozmadığı sonucuna ulaşmışlardır.

Ganesan ve ark., (2015) köpük betonun termal performansında, farklı katkıların ve yoğunluğun rolünü gözlemek amaçlı çalışma yapmışlardır. Optimum sonuçlara en düşük yoğunluk veya hindistan cevizi lifi katkısıyla ulaşmışlardır.

Alkan (2021) kenevir bitkisinden elde edilen farklı uzunluklarda lif, toz ve suyun çimentolu kompozitlerde kullanımı ve kompozitin mekanik özelliklerine etkisi üzerine çalışma yapmıştır. Kısa kenevir liflerinin daha iyi sonuçlar verdiği ve karışım suyuna kenevir suyu katılmasının mekanik özellikleri olumlu etkilediğini tespit etmiştir.

Tek (2022) uçucu kül ve kenevir lifi içeren köpük betonların özelliklerinin incelenmesi amacıyla yaptığı çalışmada, basınç ve eğilme mukavemetinin kenevir lifi ilavesiyle çok fazla arttığı ve uçucu kül katkısının termal iletkenliği azalttığı sonuçlarına ulaşmıştır.

Akdere (2023) farklı oranlarda ve farklı uzunluklarda doğal kenevir lifinin köpük betonlarda kullanımının incelenmesi amacıyla yaptığı çalışmada, çok düşük birim hacim ağırlıkta beton üretilmiş ve bu köpük betonların yalıtım uygulamalarında kullanılabileceği sonucuna ulaşmıştır.

Yamak (2021) çalışmasında analsim ve klinoptilolit doğal zeolitleri kullanarak hazırladığı köpük beton numunelerinin termal özelliklerini gözlemek amacıyla yaptığı çalışmada, bu zeolitlerin köpük beton termal performansını iyileştirebileceği sonucunu vurgulamaktadır.

Beskopylny ve ark., (2023) polipropilen elyaf takviyeli köpük betona uçucu kül dahil edilmesi sonucu köpük beton özelliklerindeki değişimi gözlemlemek amacıyla yaptığı çalışmada, çeşitli oranlarda çimentoyla yer değiştiren uçucu külün, lifli köpük beton kuru yoğunluğunu azalttığı sonucuna varmışlardır.

Suhaili ve ark., (2021) farklı oranlarda mezokarp lifinin farklı yoğunluklardaki köpük betonlara ilavesi sonucu elde edilen betonların termal performansları üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda lif ilaveli beton numunelerinin kontrol numunelere kıyasla daha düşük ısı iletkenliğine sahip olduğu sonucunu elde etmişlerdir.

Yılmaz ve ark., (2021) köpük betonun özellikleri, kullanım sektörleri, avantajlı ve dezavantajlı olduğu durumlar, Türkiye’de köpük betonun gelişimi ve kullanımı ile ilgili bir sentez çalışması yapmışlardır.

Raj ve ark., (2020) polivinil alkol lifi ve hindistan cevizi lifi katkılı köpük betonun özelliklerini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada, her iki lif içinde en yüksek mukavemetin % 0,3 lif oranında olduğunu belirlemişlerdir.

Gencil ve ark., (2022) köpük betonun düşük dayanım özellikleri sergilemesine neden olan gözenekliliğini azaltıp, bütünlüğünü arttırmak amacıyla bazalt elyaf ve silis dumanı katkılı numuneler elde edip bu numuneleri incelemişlerdir. Silis dumanının köpük beton gözenekliliğini önemli ölçüde etkilediği ve bazalt lif etkisinin silis dumanı kullanımıyla bağlantılı olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Awang & Ahmad (2014) çeşitli doğal ve sentetik lif takviyeli köpük betonlar üzerinde inceleme yapmışlardır. AR- cam lifinin diğer liflere göre en düşük kuruma büzülmesi oranına sahip olduğu sonucuna varmışlardır.

Falliano ve ark., (2019) kirişlerde kısa liflere ek cam lifli ağı inceledikleri çalışmada, bükülme mukavemetinin arttığı ve bu yöntemin köpük betonlarda yüksek dayanımlar elde etmek için en uygun yöntem olduğunu belirlemişlerdir

Gencil ve ark., (2022) köpük betonun mikro yapısının, içeriğindeki malzemeler köpük takviyesiyle bağlantısını incelemek amacıyla çalışma yapmışlardır. Köpük betona dahil olan her malzemenin termal iletkenliğinin, köpük beton termal

iletkenliğini etkilediği ve köpük miktarının yoğunluğa etkisi olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Mwaikambo & Ansell (2006) kenevir lif demetlerinin kostik soda ile alkalileştirilmesi sonucu fiziksel ve mekanik özelliklerinde oluşan değişimi gözlemek amacıyla çalışma yapmışlardır. Kostik soda yoğunluğunun artmasıyla selüloz içeriğinin azaldığı, yoğunluğun belli bir sınıra kadar artmasıyla da çekme mukavemeti ve sertliğin arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Kenevir lif demetlerinin alkalizasyon sonucu mekanik özelliklerinde iyileşme görülmesi, takviye malzemesi olarak sentetik liflerin yerine kullanılabileceği sonucunu ortaya koymuştur.

Shah ve ark., (2022) sisal, hindistan cevizi lifi ve kenevir lifi takviyeli beton kompozitlerin mekanik özellikleri ve bu özellikleri etkileyen faktörler üzerine araştırma çalışması yapmışlardır. NaOH uygulama işlemiyle kompozitlerin mekanik özelliklerinde iyileşme ve kompozit bağında daha yüksek kenetlenme tespit etmişlerdir.

Kılınçkale (1996) doğal puzolanların özelliklerini gözlemek, puzolanik aktivitelerini incelemek amacıyla deneysel çalışmalar yapmıştır. Puzolan katkılı harçlar üretebilmek amacıyla çimento yerine ağırlıkça %20 oranda çeşitli puzolan malzemeler kullanmıştır. Çalışmalar sonucunda puzolan malzemelerin hepsinin puzolanik aktivite gösterdiği ancak içlerinde silis dumanı ve pirinç kabuğu külünün diğer puzolanlara oranla daha yüksek puzolanik aktiviteye sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Demir (2009) silis dumanı ve uçucu kül katkılı betonların basınç ve çekme dayanımı değerlerini incelemek amacıyla yaptığı deneysel çalışmalarda puzolan katkısı olarak aynı oranlarda silis dumanı ve uçucu kül kullanmıştır. Çalışmalar sonucunda en iyi dayanım değerlerine sahip betonların silis dumanı katkılı betonlar olduğu ortaya çıkmış, kontrol betonu da dahil hazırlanan tüm betonlar içerisinde en iyi dayanım değerini sağlayan betonların her evrede %20 silis dumanı katkılı betonlar olduğunu belirlemiştir.

Dorum ve ark., (2009) yüksek fırın cürufu katkılı çimentoyu incelemek ve standart Portland çimentosuyla özelliklerini karşılaştırmak amacıyla deneysel çalışmalar yapmışlardır. Yüksek fırın cürufu katkısının betonun sertleşme süresini

uzattığı ancak beton su ihtiyacını ve hidrasyon sırasında oluşan  $\text{Ca(OH)}_2$  miktarını azalttığı şeklinde olumlu sonuçları ortaya çıkarmışlardır.

Özinan (2010) seramik endüstri atığı olan sileks ve tras katkısıyla elde edilen betonlar üzerinde deneysel çalışmalar yapmıştır. Numunelerde sileks katkı oranı arttıkça beton özelliklerinde olumsuzluklar gözlenmeye başlamış, yüksek puzolanik özelliğe sahip olan tras katkısıyla beton özelliklerinin olumlu etkilendiği ve en iyi sonuca %20 tras katkılı betonların sahip olduğunu belirlemiştir.

Turanlı ve ark., (2007) Türkiye’de çeşitli bölgelerde rezervi bulunan doğal zeolitlerin inşaat sektöründe kullanımını arttırmak ve uygulanabilirliği için gerekli bilgilerin elde edilmesi amacıyla çalışma yapmışlardır. Çalışmalar sonucu karakteristik analizi yapılan doğal zeolitlerin yüksek puzolanik aktiviteye sahip olduğu, doğal zeolit katkılı çimentolarının normal Portland çimentosuna numunelerine göre daha hızlı katılaştığı ve doğal puzolan ilavesinin beton basınç dayanımını arttırdığı sonucuna ulaşmışlardır.

Dayı ve ark., (2013) doğal puzolan ve yapay puzolanlar uçucu kül ve atık cam malzemeleri tek seferde, iki farklı oranda ve üçlü karışım şeklinde Portland çimentosu bünyesine dahil ettiklerinde, oluşan çimentonun TS EN 197-1 çimento standardına uygunluğunu tespit etmişlerdir.

Akın ve ark., (2022) mısır yaprağından elde edilen liflerin uzunluk değişimlerinin, betonun özellikleri ve dayanımı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla deneysel çalışma yapmışlardır. Deneysel sonuçları incelendiğinde ince kıyım lif kullanılan beton numunelerde en iyi dayanım sonuçlarını elde etmişlerdir.

Kocakerimoğlu (2019) ilk aşamada belirlenen kıvamda üretilen köpüğün, hazırlanan harca katılması işlemi olan ön köpük yöntemiyle, köpük beton numuneleri elde etmiştir. Doğal kum, uçucu kül ve genleştirilmiş perlit olmak üzere üç farklı katkı kullanılarak hazırlanan numunelerde, genleştirilmiş perlit katkısının numunelerde ısı iletimini azalttığı ve uçucu kül katkısıyla doğal kum katkısına oranla daha iyi mekanik özellikler gösteren numuneler olduğunu vurgulamıştır.

Serin ve ark., (2018) yol kaplamasında trafik yoğunluğu nedeniyle oluşabilecek deformasyonların önlenmesi amacıyla kenevir lifi katkısının etkisini araştırmışlardır. Farklı oranlarda kullanılan kenevir lifleriyle Marshall test metodu kullanılarak elde



edilen numuneler incelendiğinde, kenevir lifi kullanımının kaplama tabakasının kararlılığını arttırdığını tespit etmişlerdir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1 Materyal

Bu tez çalışması kapsamında kullanılan materyaller ile ilgili bazı açıklamalar aşağıda verilmektedir.

##### 3.1.1 Portland Çimentosu

Portland çimentosu, uygun kütleli oranlarda kalker ve kilin karıştırılarak yüksek sıcaklıktaki döner fırında klinker haline getirilmesi ve priz durumunun ayarlanması amacıyla alçıtaşı da dahil edilmesiyle oluşturulan malzemedir (Kapkaç, 2007).

Bu tez çalışması kapsamında yapılan deneylerde, Ünye Çimento Fabrikası üretimi olan CEM I 42.5R Portland çimentosu kullanılmıştır. Çalışmada deney serilerindeki köpük betonun üretiminde kullanılan Portland çimentosuna ait bazı özellikler Çizelge 3.1’ de verilmektedir.

**Çizelge 3.1** CEM I 42.5R’ nin Özellikleri (Ünye Çimento)

Kimyasal Özellikler		Fiziksel Özellikler	
SO <sub>3</sub> (%)	3	Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	3.03
Cl <sup>-</sup> (%)	0.0252	Spesifik yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	4029
Kızdırma kaybı (%)	3.48	Priz başlangıcı (dk.)	115
Çözünmeyen kalıntı (%)	0.76	Hacim genişmesi (mm)	1.0
<b>Mekanik Özellikler</b>			
2 günlük basınç dayanımı (Mpa)		34.10	
28 günlük basınç dayanımı (Mpa)		52.10	

##### 3.1.2 Doğal Zeolitler

Bu tez çalışması kapsamında yapılan deneylerde, Portland çimentosu klinkeri ile yer değiştirme malzemesi olarak, saflık derecesi oldukça yüksek olan ve bu nedenle pek çok uygulamada tercih edilen, Manisa, Gördes yöresinden elde edilen zeolit grubu klinoptilolit minerali kullanılmıştır. Deneylerde katkılı çimento üretimlerinde farklı oranlarda kullanılan klinoptilolit numunesine ait bir görünüm Şekil 3.1’ de verilmektedir. Doğal zeolit klinoptilolitinin fiziksel ve kimyasal özelliklerine ait bilgiler numunenin temin edildiği Gördes Zeolit Madencilik San. Ve Tic. A.Ş.’ den alınmıştır.

Zeolite ait özgül ağırlık değeri 2.11 g/m<sup>3</sup>' dir. Spesifik yüzey alanı 4079 cm<sup>2</sup>/g' dir. Diğer taraftan kimyasal bileşenler, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O ve K<sub>2</sub>O, için yüzde değerleri sırasıyla %64.70,%11.21, %1.38, %2.08, %0.79, %0.38 ve %3.78' dir. Kızdırma kaybı ise %11.80' dir.



**Şekil 3.1** Klinoptilolit Numunesine Ait Bir Görünüm

### 3.1.3 Doğal Lif Kenevir

Çimentolu yapı malzemelerinin mekanik davranışlarını geliştirmek amacıyla lifler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bilindiği gibi harç/beton malzemelerin çekme gerilmeleri etkisi altında çatlama mekanizmaları düşük yüklemelerde kolaylıkla gelişmektedir. Bu yüzden çatlama riskine karşı performans iyileştirmek amacıyla çok çeşitli tipte lifler kullanılır. Bu tez çalışmasında da mekanik özelliklerin iyileştirilmesi amacıyla doğal kenevir lifi iki farklı yüzey işlemine tabi tutularak köpük beton karışımlarında kullanılmıştır. Doğal kenevir liflerinin kimyasal içeriğinde yaklaşık olarak %74' e kadar selüloz, %18' e kadar hemiselüloz, %4' e kadar da lignin ve %1 oranında da pektin ihtiva etmektedir. Kenevir liflerin fiziksel özellikleri diğer bazı selülozik lifleri ile karşılaştırıldığında fiziksel özellikleri bakımında üstünlük gösterir. Yoğunluğu 20 ile 90 kg/m<sup>3</sup>' dir (Gedik ve ark., 2010). Kenevir lifinin ısı iletkenlik katsayısı 0,038-0,060W/mK aralığında, ağırlıkça özgül ısısı ise, 1,6-1,7 kJ/kgK aralığında değişkenlik göstermektedir (Arslan ve ark., 2018). Kenevir liflerine ait görüntümler Şekil 3.2' de verilmektedir.



**Şekil 3.2** Kenevir Liflerine Ait Görünümler

### **3.1.4 Standard Kum**

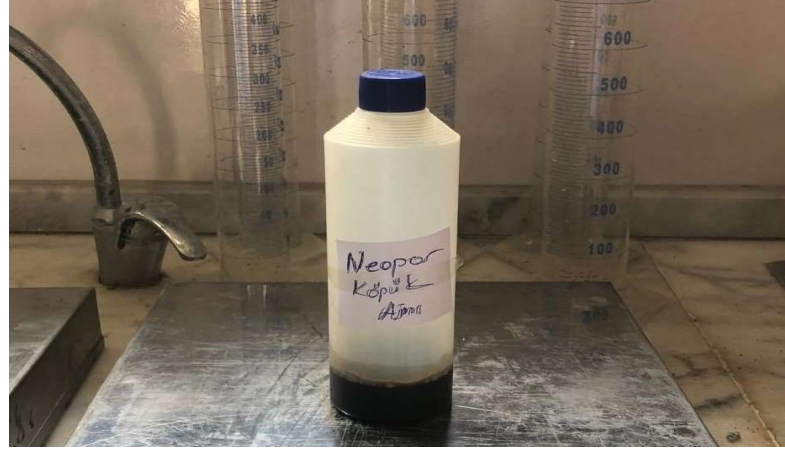
Bu tez çalışması kapsamında yapılan deneylerde, Limak Çimento San. ve Tic. A.Ş. Trakya Çimento Fabrikası'nda üretilen TS EN 196-1 (TS, 2009) standardına uygun CEN standard kumu kullanılmıştır. CEN standard kumu, ince taneli ve silisli bir yapıya sahip doğal bir kumdur. Söz konusu kuma ait tane boyutu dağılımı, 0.08, 0.16, 0.5, 1.0, 1.6 ve 2.0 mm elek göz açıklığı için sırasıyla elek üstü yığılımlı kalan yüzdeleri yaklaşık % 99, %87, %67, %33, %7 ve %0' dır. CEN kumuna ait bir görünüm Şekil 3.3' de verilmektedir.



Şekil 3.3 CEN Kumu

### 3.1.5 Köpük Ajanı

Çalışmada kullanılan köpük ajanı, protein kökenli “Neopor” olarak anılan malzemedir. Köpük ajanına ait bir görünüm Şekil 3.4’ de verilmektedir. Köpük ajanının bazı özellikleri Çizelge 3.2’ de verilmektedir. Sözü geçen köpük ajanın yoğunluğu düşük, çevreci ve antibakteriyel özelliklere sahiptir. Çalışmada üretilen köpük betonların karışımına giren köpük bileşeni 50-55 gr/ L’ dir.



Şekil 3.4 Köpük Ajanına Ait Bir Görünüm

**Çizelge 3.2 Köpük Ajanının Bazı Özellikleri**

<b>Fiziksel Özellik</b>	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	pH	Akışa karşı direnç (cps)	Tortulaşma (%)	Donma derecesi (°C)
<b>Değer</b>	1.09 ± 0.01	6.00 ± 0.5	< 20	< 0.10	≤ -5.00

### **3.1.6 Karışım Suyu**

Köpük beton üretimlerinde kullanılan karışım suyu ve köpük ajan aktiveleştirici suyu TS EN 1008 (TS, 2003) standartlarına göre beton karışımındaki bileşenler ile olumsuz tepkimelere neden olmaması için içme suyu kalitesinde olmalıdır. Bu tez çalışmasında da üretimde kullanılan su, şehir şebekesinden elde edilen içilebilir kalitededir.

### **3.2 Yöntem**

Bu tez çalışmasında, lif çeşitleri arasında doğal lif olarak tanımlanan kenevir lifi %1 (düşük), %2 (orta) ve %3 (yüksek) oranlarında yüzey kaplama işlemlerine tabi tutularak karışımlara dayanım iyileştirme amaçlı olarak ilave edilmiştir. Doğal ve puzolanik özellikli zeolit grubu klinoptilolit %10 ve %15 yerdeğiştirme oranlarında çimento klinkeri ile yerdeğiştirme malzeme olarak kullanılmıştır. Diğer taraftan, Neopor ticari adıyla anılan köpük ajanı karışımlara köpük ajanı / ajan aktiveleştirici su: 1/10 oranında kullanılmıştır. Karışımların su / çimento oranı 0.40' dır. Çimento / kum oranı ise, 1/1' dir. Bu teze ait deney programı, ODÜ, TBMYO, Yapı ve Malzeme Laboratuvarında yürütülmüştür. Deney programında 21 adet deney serisi bulunmaktadır. Üretilen köpük beton numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Üretilen köpük beton numunelerin etiketleri Çizelge 3.3' de verilmektedir.

**Çizelge 3.3** Köpük Beton Numunelerin Etiketleri

Çimento türü	Portland çimentolu	Zeolit katkı çimentolu	
Yerdeğiştirme oranları	%0	%10	%15
Lif yok	PC00	Z100	Z150
Kenevir lifli (%1) Soda Yüzey İşlemleri	PC01So	Z101So	Z151So
Kenevir lifli (%2) Soda Yüzey İşlemleri	PC02So	Z102So	Z152So
Kenevir lifli (%3) Soda Yüzey İşlemleri	PC03So	Z103So	Z153So
Kenevir lifli (%1) Sülfat Yüzey İşlemleri	PC01Sü	Z101Sü	Z151Sü
Kenevir lifli (%2) Sülfat Yüzey İşlemleri	PC02Sü	Z102Sü	Z152Sü
Kenevir lifli (%3) Sülfat Yüzey İşlemleri	PC03Sü	Z103Sü	Z153Sü

### 3.2.1 Doğal Zeolitin Puzolanik Aktivite Deneyleri

Daha önce yürütülen başka bir tez çalışmasında (Yazıcıoğlu, 2016) kullanılan zeolit ile bu tez çalışmasında kullanılan zeolit grubu klinoptilolit minerali aynı rezervden temin edilmiştir. Bu nedenle zeolite ait bazı bulgular burada kaynak gösterilerek verilmiştir. Zeolitin puzolanik aktivitesi TS 25 (TS, 2008)' de belirtilen kriterler gözetilerek belirlenmiştir. Buna göre, söz konusu çalışmada kireç-puzolan (zeolit) karışımı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük basınç dayanımları 9.02 MPa'dır. Zeolitin kimyasal bileşenlerinden olan Si, Al ve Fe oksitlerin ağırlıkça toplam yüzdesi %77.30 ve spesifik yüzey alanı değeri 4079 cm<sup>2</sup>/g olarak belirlenmiştir. Bu değerler, bir malzemenin puzolan olduğuna işaret eden TS 25 (TS, 2008)' deki limit değerlerinin tamamı ile uyumludur.

### 3.2.2 Kenevir Liflerine Uygulanan Yüzey İşlemleri

Çalışmada kenevir (*Cannabis sativa* L.) lifleri kullanılmıştır. Köpük beton üretimi yapılmadan önce kenevir lifleri çok uzun olmaları nedeniyle ortalama boyları 1-1.5cm olacak şekilde kesilerek hazırlanmıştır (Şekil 3.5.). Kenevir lifleri, çevre dostu bir malzeme olmasının yanı sıra, mekanik, termal ve akustik özelliklerinden dolayı termoplastik veya beton kompozitlerde kullanılacak ucuz takviyelerdir. Bununla birlikte, matris/lif ara yüzeyini geliştirmek için liflerin kimyasal işlemlere tabi tutulması gerekmektedir. Lif yüzeyinin kimyasal modifikasyonunun, lif yapısında bulunan amorf malzemeleri bozduğu, bunun da yüzey reaktivitesinde bir artışa yol

açtığı ve aynı zamanda kompozitlerin mekanik özelliklerini iyileştirdiği görülmektedir (Le Troedec ve ark., 2011). Bu çalışmada da kenevir liflerinin morfolojisi, köpük beton karışımlarına katılmadan önce kenetlenmeyi geliştirmek için sülfat ve soda prosesi olarak anılan iki farklı yüzey işlemine tabi tutularak kimyasal olarak değiştirilmiştir. Kenevir liflerine yüzey işlemi yapılmadan kullanımda lif yüzey morfolojisinde bulunan selüloz içeriği nedeni ile kenevir lifin köpük beton bileşenleri ile kenetlenme ve kimyasal reaksiyona girerek bağ oluşturması zorlaşmaktadır. Yüzey işlemlerine tabi tutulan kenevir liflerinin üzerinde uzaklaştırılan selüloz oranının nispi artışı ile yüzey pürüzlülüğü artar. Bu nedenle kenevir lifleri köpük beton bileşimlerine iki farklı yüzey işlemi yapılarak dahil edilmişlerdir. Bu sayede betonun çimento hamuru fazı ve agrega fazı ile daha iyi bir mekanik kilitleme meydana geldiği ve yüzeyde meydana gelecek olası reaksiyonların sayısının da arttığı literatürden bilinmektedir (Valadez-Gonzalez ve ark., 1999; Le Troedec ve ark., 2011).

Yapılan bir diğer çalışma sonuçlarına göre, alkalizasyonun lif demetlerinin yüzey topografyasını ve çapını değiştirdiği bulunmuştur. Alkalize edilmiş kenevir lifi demetlerinin çelik, E-cam ve Kevlar'a benzer bir spesifik sertlik sergilediğini belirlemişlerdir. Aynı zamanda alkalileştirilmiş kenevir lifi demetleri, sentetik elyafların yerine takviye olarak kullanılabilir malzemeler haline dönüşmüştür. Alkali ile işlenmiş kenevir lifi demetlerinin iyileşen mekanik özellikleri bunların takviye olarak kullanılabilir olduğunu doğrular niteliktedir (Mwaikambo ve ark., 2006).



**Şekil 3.5** Kesilmiş Kenevir Lifleri



Bu çalışmada da yukarıdaki literatür ışığında, kenevir liflerin amorf selülozik yapısı köpük beton matris ile uyumlu değildir. Kenevir liflere uygulanan soda ve sülfat yüzey işlemlerin her ikisi de kenevir lif ve köpük beton matris ara yüzeyindeki uyumsuzluğun giderilmesi için yapılmıştır. Çalışmada kullanılan kenevir liflerinin yüzey işlemleri, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Laboratuvarlarında gerçekleştirildi. Bu çalışmada kenevir liflere uygulanan iki farklı yöntem ile yüzey işlemi (alkalizasyon) için, otomatik ısı kontrollü, dakikada 4 devir yapan, maksimum 25 kg/cm<sup>2</sup> basınca dayanıklı, maksimum 300 °C sıcaklık uygulanabilen, kesintili üretim yapan çelik laboratuvar tipi reaktör kullanılmıştır. Kenevir liflere uygulanan yüzey işlemlerine ait sıralı iş akış fotoğrafları Şekil 3.6' da verilmektedir. Her iki yöntem için de kenevir liflerinden fırın kuru ağırlık olarak 600 g kullanılmıştır. Kenevir liflerine uygulanan sülfat (kraft) ve soda (kostik) yüzey işlemleri yöntemlerinde kullanılan reaksiyon koşulları Çizelge 3.5' de verilmektedir. Reaktöre yüklenen lif numunelerine Çizelge 3.5' de belirtilen koşullarda, sülfat (kraft ya da diğer adıyla sülfat prosesi, selüloz üretimi için dünyada en çok tercih edilen yöntemdir) ve soda (kostik) yöntemleri ile yüzey işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu yüzey işlemleri, sülfat yönteminde çözelti hazırlanmasında NaOH ve Na<sub>2</sub>S suda çözülerek hazırlanmıştır. Soda yönteminde çözelti hazırlanmasında ise sadece NaOH suda çözülerek hazırlanmıştır. Yöntem uygulamaları sonrasında örnek reaktörden boşaltılarak elek üzerinde yıkanarak işlem sırasında meydana gelen siyah çözelti uzaklaştırılmıştır. Sonrasında disintegratör sayesinde de liflerin açılması sağlanarak tekrar yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. En son olarak da yıkanan lif numuneleri polietilen torbalarda köpük beton numunelerin üretimine kadar -4 °C' de muhafaza edilmişlerdir.



**Şekil 3.6** Kenevir Lifleri İçin Yüze İşlemlerinde Kullanılan Cihaza Ait Görünümler ve İşlemden Geçmiş Numune

Kenevir liflere uygulanan yüze işlem verimi,  $W_1$ ; yüze işlemi sonrası örneğin fırın kurusu ağırlığını,  $W_2$ ; yüze işlemi öncesi kullanılan örneğin fırın kurusu ağırlığını göstermek üzere aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır. Buradaki verim selülozun örnekten uzaklaştırma verimi olarak hesaplanmıştır. Çizelge 3.4' den görüldüğü gibi sülfat yüze işleminin verimi soda yöntemine göre daha iyidir.

$$\text{Yüzey işlem verimi} = \frac{w_1}{w_2} \times 100 \quad (3.1)$$

**Çizelge 3.4** Kenevir Lifleri İçin Yüzey İşlemlerinde Kullanılan Reaksiyon Koşulları

Reaksiyon koşulları	Sülfat (Kraft) yöntemi	Soda yöntemi
Hammadde/çözelti	1/5	1/5
Aktif alkali (%)	15	15
Sülfidite (%)	25	-
Sıcaklık (°C)	170	170
Mak. Sıcaklığa çıkış süresi (dak)	80	80
İşlem süresi (dak)	90	90
Basınç (bar)	10	10
Başlangıç pH	13.8	13.2
Bitiş pH	9.2	8.6
Verim (%)	37.39	28.71

### 3.2.3 Karışım Hesapları, Üretim ve Numunelerin Saklanması

Çalışma konusu olarak seçilen parametrelerin belirlenmesi için,

- Fiziksel özellikler, UPV, eğilme dayanım deneyleri için 6 adet x 21 (deney serisi) = 126 adet prizma numune,
- Kılcal su emme deneyleri için 3 adet x 21 (deney serisi) = 63 adet prizma numune,
- Basınç deneyleri için 3 adet x 21 (deney serisi) = 63 adet küp numune

Toplamda 189 adet prizma, 63 adet küp olmak üzere 252 adet prizma ve küp numune üretilmiştir.

Köpük betonların üretiminde kullanılan bileşenlerin bileşim hesabı TS 802 (TS, 2009)' de verilen 'Mutlak Hacim Yöntemi' ile yapılmıştır. Köpük beton numunelerine ait 1 m<sup>3</sup> beton karışımına giren bileşen miktarları Çizelge 3.5' de verilmektedir. Ancak, burada üretimler sırasında kullanılan kalıp ve numune adetlerine göre belirlenen m<sup>3</sup> içeriğindeki lif miktarını belirlemek için, kenevir liflerin yüzey işlemleri sonrasında Şekil 3.7' de görülen nem tayin cihazı kullanılarak kenevir liflerin kuru madde miktarları tespit edilmiştir. Bu kuru madde yüzdesine göre karışıma girecek ıslak numune ağırlıkları üretim m<sup>3</sup>' ü cinsinden yeniden hesaplanmıştır. Sülfat yüzey işlemi için numunelerin kuru madde miktarı %28.79, soda yüzey işlemi için ise

%37.62' dir. Söz konusu bileşen miktarları Şekil 3.8' de verilen hassas terazide ölçülmüştür. Karışıma giren bileşenlere ait bir görünüm Şekil 3.9' da verilmektedir.

**Çizelge 3.5** Köpük Beton Üretiminde Kullanılan Karışımın Bileşen Miktarları (1m<sup>3</sup>)

Bileşenler	Yer Değiştirme Oranlarına Göre Bileşen Miktarları(kg/m <sup>3</sup> )		
	0	10	15
Çimento	500	450	425
Zeolit	-	50	75
Lif yok	-	-	-
Kenevir Lif (%1)	5	5	5
Kenevir Lif (%2)	10	10	10
Kenevir Lif (%3)	15	15	15
Su	200	200	200
CEN Kumu	500	500	500
Köpük Ajanı	4	4	4
Ajan Aktifleştirici Su	40	40	40



**Şekil 3.7** Nem Tayin Cihazı ile Kuru Madde Miktarı Tayini



**Şekil 3.8** Karışıma Giren Bileşen Miktarlarının Belirlendiği Hassas Terazî



**Şekil 3.9** Karışıma Giren Bileşenlere Ait Bir Görünüm

Köpük beton numunelerin üretimi TS EN 196-1 (TS, 2009)' e uygun olarak yapılmıştır. Hassas terazide tartılan malzemeler öncelikle katkılı çimentoların elde edilmesi için belirlenen oranlarda zeolit, Portland çimentosu ile yer değiştirilmiştir.

Daha sonra Çizelge 3.6' da miktarı verilen standart kum (CEN kumu) malzeme ile karıştırılması için 1 dakika boyunca çimento mikseri kullanılmıştır (Şekil 3.10). Elde edilen kuru karışıma su/çimento oranı gözetilerek belirlenen karışım suyu ilave edilerek çimento mikseri 1 dakika daha çalıştırılmıştır. Köpük ajanı ile aktifleştirici su kullanılarak köpük bileşeni elde edilmiştir (Şekil 3.11). Söz konusu köpük bileşeninin içerisine kuru karışım gömülerek dahil edilmiştir. Ardından, elde edilen köpük ile kuru karışım, çimento mikserinde 40 devir/dakika' da çalıştırılmıştır (Şekil 3.12).



**Şekil 3.10** Köpük Beton Karışımlarında Kullanılan Çimento Mikseri



**Şekil 3.11** Köpük Beton Üretiminde Kullanılan Köpük Kıvamı



**Şekil 3.12** Köpük Beton Numunelerin Kıvamı

Karışımı yapılmış olan köpük betonlar Şekil 3.13' de verilen 40x40x160 mm prizmatik ve 50x50x50 mm küp kalıplar kullanılarak yerleştirilmiştir. Yerleştirme sırasında sarsma tablası kullanılmıştır (Şekil 3.14).



**Şekil 3.13** Köpük Beton Kalıpları

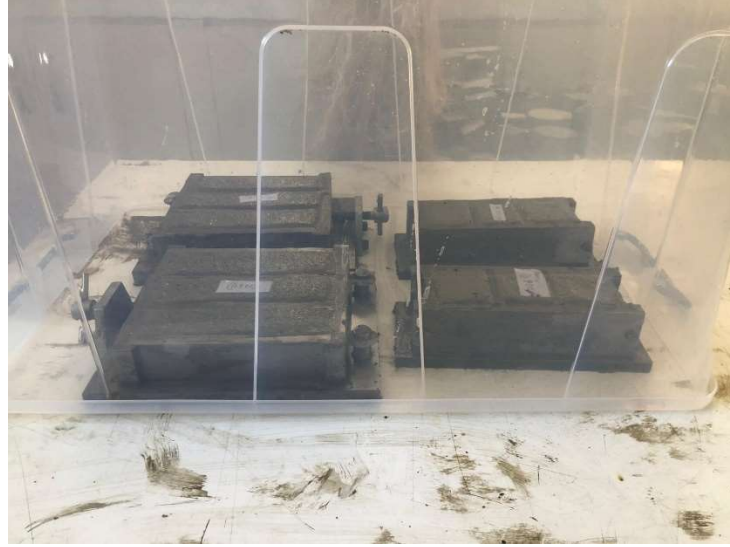


**Şekil 3.14** Numunelerin Üretiminde Yerleştirmede Kullanılan Sarsma Tablası

Deney programının düzeninin sağlanabilmesi için köpük beton numuneler etiketlenmiştir. Hazırlanan numuneler  $23 \pm 2$  °C sıcaklıkta laboratuvar şartlarında 1 gün



süre ile üzerleri plastik bir kap ile kapatılarak kalıplarında bekletilmiştir (Şekil 3.15). Sonrasında köpük beton numuneler kalıplarından çıkartılmıştır (Şekil 3.16). Ardından kalıplarından çıkarılan numuneler kür havuzunda 27 gün süreyle kürlenmişlerdir (Şekil 3.17). Deney anlarında numuneler 28 günlüktü.



**Şekil 3.15** Kalıplarda Bekletilen Numuneler



Şekil 3.16 Kalıptan Çıkarılmış Numuneler



**Şekil 3.17** Kür Havuzunda Bekletilen Numuneler

### **3.2.4 Doğal Zeolit ve Doğal Kenevir Lifi İçeren Köpük Betonlar Üzerinde Gerçekleştirilen Deney Yöntemleri**

Doğal ve puzolanik özellikli zeolit grubu klinoptilolit %10 ve %15 oranlarında, kenevir lifi %1 (düşük) , %2 (orta) ve %3 (yüksek) oranlarında olmak üzere üretilen köpük betonların üzerinde mini slump, yayılma, birim hacim ağırlık, su emme, kılcal su emme, eğilme-basınç, ultrasonik dalga hızı ölçümü gibi deneyler gerçekleştirilmiştir. Aşağıda bu deneylere ilişkin yöntemler anlatılacaktır.

#### **3.2.4.1 Mini Slump (Çökme) Deneyleri**

Köpük beton numuneler üzerinde işlenebilirlik belirlemek amacıyla mini slump (çökme) deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney TS EN 12350-2 (TS, 2010)' e göre yapılmıştır. Standartta boyutları verilen bir kesik koni deneyde kullanılmıştır. Söz konusu kesik koniye hazırlanmış olan köpük beton karışımı üç tabaka halinde yerleştirilmiştir. Tabakalar oluşturulduğunda 25 vuruş ile yerleştirilme yapılmıştır. Kesik koninin üst yüzeyi bir mala yardımıyla düzeltilmiştir. Daha sonra kesik koni masa düzlemine dik olarak hızlıca çekilmiştir ve çökme miktarı ölçülmüştür. Çökme miktarının fazla oluşu işlenebilirliğin yüksek olduğunun göstergesidir (Şekil 3.18 ve Şekil 3.19).



Şekil 3.18 Karışımın Çökme Deney Anı



Şekil 3.19 Karışımın Çökme Değerinin Ölçüm Anı

### 3.2.4.2 Yayılma Deneyleri

Köpük beton numuneler üzerinde TS EN 1015-3 (TS, 2000) standardına uygun olarak yayılma deneyi gerçekleştirilmiştir. Söz konusu deney mini slump deneylerinde kullanılan kesik koni ile yapılmıştır. Kesik koni düzlem bir tabla üzerine yerleştirilmiş ve içerisi hazırlanmış olan köpük beton karışımları ile doldurulmuştur. Dolum sonrası üst yüzeyi düzeltilmiş ve kesik koni yukarı doğru tek harekette çekilmiştir. Yayılması beklenen karışımın kapladığı düzlemsel numunenin yayılma çapı üç tekrarlı olarak ölçülmüştür. Yayılma çapı ortalama alınarak belirlenmiştir. Bu deney karışımın kıvamı ile ilgili bilgi verir. Ölçülen bu değer yüksek olması karışımın akıcı kıvamda olduğunun göstergesidir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20 Karışımın Yayılma Deney Anı

### 3.2.4.3 Birim Hacim Ağırlık Deneyleri

Çalışmada üretilen köpük beton numuneler üzerinde birim hacim ağırlık deneyleri gerçekleştirilmiştir. Birim hacim ağırlık deneylerinin yapıldığı anda numuneler 28 günlüktü. Doygun kuru yüzeyli ve kuru birim hacim ağırlıkların belirlenmesinde özgül ağırlık sehпасı deney düzeneği kullanılmıştır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21 Özgül Ağırlık Sehпасı

#### 3.2.4.4 Su Emme Deneyleri

Bu tez çalışmasında kenevir lif ve zeolit katkılı çimento içeren köpük beton numuneler üzerinde su emme ve porozite deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarından elde edilen su emme oranı değeri ile donma-çözülme çevrimlerinde hacimsel değişiklikler sonucu meydana gelecek mikro çatlakların gelişimine karşı direnç hakkında bilgi elde edilmiş olacaktır. Böylelikle, deneye tabi tutulan numunelerin dona dayanıklılıkları hakkında da öngörü sağlanmış olacaktır.

$W_{DKY}$ : Suya doymun ağırlığı  $W_{Kuru}$ : Kuru ağırlık, göstermek üzere,

$$Su\ emme\ oranı = \frac{W_{DKY} - W_{Kuru}}{W_{Kuru}} \quad (3.2)$$

bağıntısıyla hesaplanmıştır.

Diğer taraftan, TS EN 772-4 (TS, 2000)' e göre yapılan ölçümler aracılığıyla porozite değerleri aşağıdaki bağıntı yardımıyla belirlenmiştir. Belirlemeler için köpük beton numunelerin doymun yüzey kuru ağırlığı ( $W_{DKY}$ ), sudaki ağırlığı ( $W_{su}$ ) ile etüv

kurutma sonrası kuru ağırlıkları ( $W_{Kuru}$ ) ölçülmüştür. Porozite (P), aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmıştır.

$$Porozite = \frac{(W_{DKY} - W_{Kuru})}{(W_{DKY} - W_{Su})} \quad (3.3)$$

#### 3.2.4.5 Kılcal Su Emme Deneyleri

Kenevir lif ve zeolit katkılı çimento içeren köpük beton numunelerin geçirimsizliklerini belirlemek amacıyla kılcal su emme deneyleri yapılmıştır. Numuneler deney anında 28 günlüktü ve etüv kurusu halindedir. Deneyler prizmatik numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.22). Deney sonuçları, köpük beton numunelerin kılcal geçirimsizliklerinin, kenevir lif ve zeolit katkılı çimento içeriklerinden nasıl etkilendiğini göstermektedir. Deneyler ASTM C 1585 standardına göre yapılmıştır. Kapiler geçirimsizlik katsayıları;  $\Delta Q$ : ağırlık değişimini (g), A: sudaki yüzey alanını ( $cm^2$ ), k: kapiler katsayısı ve t: deney süresini (dk) göstermek üzere,

$$\Delta Q / A = kx\sqrt{t} \quad (3.4)$$

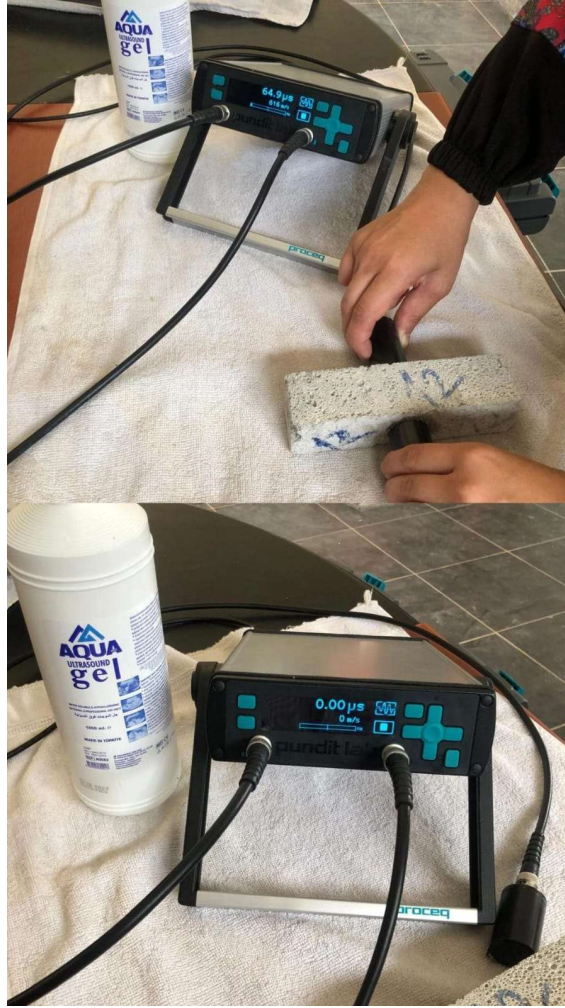
bağıntısıyla hesaplanmıştır.



Şekil 3.22 Kılcal Su Emme Deney Anı

### 3.2.4.6 Ultrasonik Ses Geçiş Hızı Deneyleri

Kenevir lif ve zeolit katkılı çimento içeren 28 günlük köpük beton numuneler üzerinde tahribatsız muayene deney yöntemlerinden biri olan ultrasonik ses geçiş hızı (UPV) tespit deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney, ASTM C 597 (ASTM C, 1998) standardına uygun olarak yapılmıştır. Deneyde ölçüm alınan numunelerin boyutu cihaza tanımlandıktan sonra alıcı ve verici problar yardımıyla ultrasonik ses dalgası numuneye sürekli atımda gönderilir. Cihazın dijital ekranında gönderilen ses dalgasının geçiş hızı (m/sn) ve süresi mikro saniye ( $\mu$ s) olarak okunur (Şekil 3.23). Deney sonrasında ölçüm yapılan beton numunenin boşluk ve çatlak durumu gibi özellikleri hakkında bilgiler edinilir. Deneyde, ayrıca dinamik elastisite modülleri ve poisson oranları belirlenebilmektedir. Alıcı ve verici problardan gönderilen ses dalgalarının sürekli olarak geçişinin düzenini sağlamak amacıyla jel kullanımı gerekmektedir (Şekil 3.24).



Şekil 3.23 Ultrasonik Ses Geçiş Hızı Cihazı ve Deney Anından Görünüm

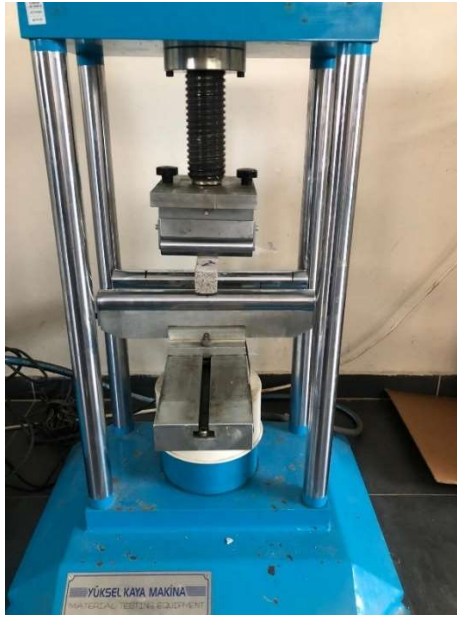




Şekil 3.24 Ultrasonik Ses Geçiş Hızı Deneyinde Kullanılan Jeller

#### 3.2.4.7 Eğilme Deneyleri

Kenevir lif ve zeolit katkılı çimento içeren köpük beton numuneler üzerinde eğilme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler, TS EN 12390-5 standardına uygun olarak yapılmıştır. Deneyler 40x40x160 mm' lik prizmatik numuneler üzerinde yapılmıştır. Eğilme deneyinde yapılan yükleme sabit hızdadır. Deney anına ilişkin bir görünüm Şekil 3.25' de verilmektedir.



Şekil 3.25 Eğilme Deney Anına İlişkin Bir Görünüm

### 3.2.4.8 Basınç Deneyleri

Kenevir lif ve zeolit katkılı çimento içeren köpük beton numuneler üzerinde basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler TS EN 12390-3 (TS, 2019) standardına uygun olarak 28 günlük numuneler üzerinde yapılmıştır. Deney numuneleri deney süresince, sabit yükleme hızına karşılık gelecek sabit gerilme artışı etkisi altında bırakılmıştır (Şekil 3.26).



Şekil 3.26 Basınç Deney Anına İlişkin Bir Görünüm

### 3.2.4.9 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri

Taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope-SEM)) odaklanmış bir elektron demeti ile numune yüzeyini tarayarak görüntü elde eden bir elektron mikroskobu türüdür. Elektronlar numunedeki atomlarla etkileşerek numune yüzeyindeki topografi ve kompozisyon hakkında bilgiler içeren farklı sinyaller üretir. Bu sayede incelenen numunenin yüzey morfolojisinin görüntülü olarak taranarak incelenmesini sağlar. EDX, enerji dağıtıcı x-ışını spektroskopisi, analizi ise SEM analizleri sırasındaki yüzey morfolojinin daha iyi yorumlanabilmesi amacıyla yapılır. EDX analizi, incelenen örneğin elementel dağılımını ve dağılım miktarlarını belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem sayesinde yalnızca SEM analizi ile elde edilen sonuçlardan farklı olarak sayısal büyüklüklere dayalı sonuçların elde edilmesini sağlar (Yılmaz, 2020).

#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

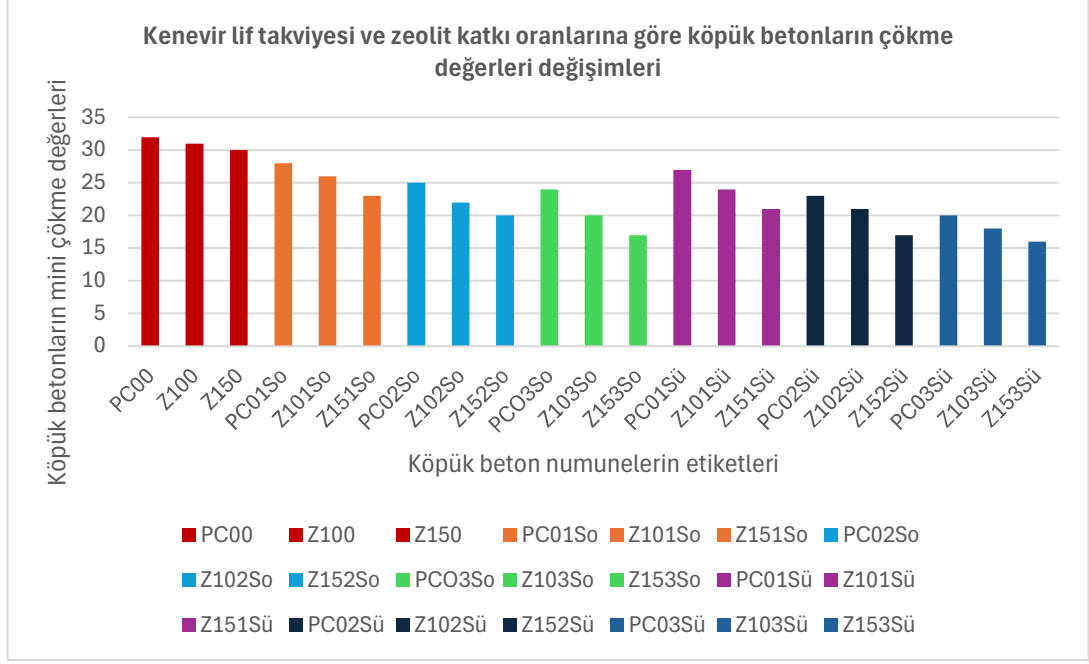
İki farklı yüzey işlemine maruz bırakılmış kenevir lif takviyesi ve zeolit mineral katkı içeren köpük betonların performanslarının geliştirilmesi amaçlı olarak yapılan bu tez çalışmasının deneylerinden elde edilen bulgular ve bulguların irdelenmesi aşağıda verilmektedir.

##### 4.1 Mini Slump (Çökme) Değerleri

Köpük beton üretimi, gerekli karışım hesapları ile belirlenen tüm karışım bileşenleri kullanılarak yapılmıştır. Köpük beton numuneler üzerinde, işlenebilirlik özelliklerinin belirlenmesi için TS EN 12350-2 (TS, 2010) standardına uygun olarak, mini çökme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Her bir kenevir lif takviyeli köpük beton numuneler için belirlenen çökme değerleri ise Çizelge 4.1’ de verilmiştir. Numunelere ait çökme değerlerinin değişim grafikleri ise Şekil 4.1’ de gösterilmektedir.

**Çizelge 4.1** Köpük Betonların Mini Çökme Değerleri

Numune Etiketleri	Kenevir Lif (kg/m <sup>3</sup> )	Zeolit (%)	Çökme (mm)
<b>Lif yok</b>			
PC00	0	0	32
Z100	0	10	31
Z150	0	15	30
<b>Kenevir lifli (%1) Soda Yüzey İşlemlili</b>			
PC01So	1	0	28
Z101So	1	10	26
Z151So	1	15	23
<b>Kenevir lifli (%2) Soda Yüzey İşlemlili</b>			
PC02So	2	0	25
Z102So	2	10	22
Z152So	2	15	20
<b>Kenevir lifli (%3) Soda Yüzey İşlemlili</b>			
PC03So	3	0	24
Z103So	3	10	20
Z153So	3	15	17
<b>Kenevir lifli (%1) Sülfat Yüzey İşlemlili</b>			
PC01Sü	1	0	27
Z101Sü	1	10	24
Z151Sü	1	15	21
<b>Kenevir lifli (%2) Sülfat Yüzey İşlemlili</b>			
PC02Sü	2	0	23
Z102Sü	2	10	21
Z152Sü	2	15	17
<b>Kenevir lifli (%3) Sülfat Yüzey İşlemlili</b>			
PC03Sü	3	0	20
Z103Sü	3	10	18
Z153Sü	3	15	16



**Şekil 4.1** Kenevir Lif Takviyesi ve Zeolit Katkı Oranlarına Göre Köpük Betonların Çökme Değerleri Değişimleri

Lif miktarının artması ile köpük betonların çökme miktarlarının azaldığı ve işlenebilirliğin de azaldığı teknik literatürden bilinmektedir. Azalan işlenebilirlik genellikle istenmeyen bir durum olsa bile plastik kıvamdaki karışımların kohezyonu yönünden istenen bir özellik olarak da değerlendirilebilmektedir (Açıkgenç, 2012; Karahan, 2006).

Köpük beton numunelerinin ortalama çökme miktarları, lifsiz serilerde (PC00, Z100 ve Z150) 32-30 mm aralığında iken zeolit katkılı ve lifli serilerin tümünde 26-16 mm aralığında değişimler göstermektedir. Görüldüğü gibi, lifli ve zeolitli köpük taze beton karışımlarının çökme miktarlarının tümünde azalmalar meydana gelmiştir. Lifsiz ve sadece zeolit yerdeğiştirmeli köpük beton numunelerde çökme miktarının azalması, zeolit miktarının artmasına bağlı olarak meydana gelmiştir. Ancak, bu azalmalar yalnızca lif takviyesi olan serilerde olduğu kadar olmamıştır. Literatürdeki çalışmalarda, bu azalmaların nedeni liflerin karışımdaki bileşenlerin karışım esnasında hareketini engellediği bunun sonucu olarak da işlenebilirliliğin de azalması şeklinde sonuçlandığını belirtmişlerdir (Liu ve ark., 2005). Köpük betonların üretiminde taze halde iken akıcı kıvam elde edilebilmiştir. Köpük betonların işlenebilirliğinin bu düzeyde olması karışımda kullanılan köpük ajanının etkisindedir.

## 4.2 Yayılma Değerleri

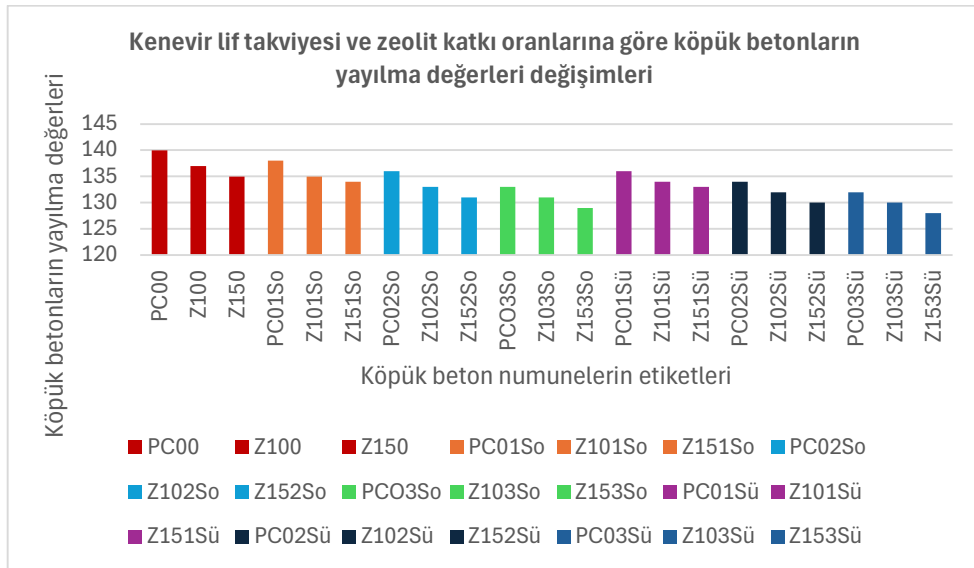
Köpük beton numuneler üzerinde, reolojik özelliklerin belirlenmesi için TS EN 1015-3 (TS, 2000) standardına uygun olarak, mini çökme deneyindeki kesik koninin dik bir şekilde yukarı doğru çekilmesi ile yayılan karışımın birbirine dik iki yönde yayılma çapları ölçülerek yayılma değerleri belirlenmiştir. Deney anına ait bir görünüm Şekil 4.2’ de verilmektedir. Her bir kenevir lif takviyeli köpük beton numuneler için belirlenen yayılma değerleri Çizelge 4.2’ de verilmiştir. Numunelere ait yayılma değerlerinin değişim grafikleri ise Şekil 4.3’ de gösterilmektedir.



Şekil 4.2 Yayılma Değerlerinin Belirlendiği Deney Anına Ait Bir Görünüm

**Çizelge 4.2 Köpük Betonların Yayılma Değerleri**

Numune Etiketleri	Kenevir Lif (kg/m <sup>3</sup> )	Zeolit (%)	Yayılma (mm)
<b>Lif yok</b>			
PC00	0	0	140
Z100	0	10	137
Z150	0	15	135
<b>Kenevir lifli (%1) Soda Yüzey İşlemli</b>			
PC01So	1	0	138
Z101So	1	10	135
Z151So	1	15	134
<b>Kenevir lifli (%2) Soda Yüzey İşlemli</b>			
PC02So	2	0	136
Z102So	2	10	133
Z152So	2	15	131
<b>Kenevir lifli (%3) Soda Yüzey İşlemli</b>			
PC03So	3	0	133
Z103So	3	10	131
Z153So	3	15	129
<b>Kenevir lifli (%1) Sülfat Yüzey İşlemli</b>			
PC01Sü	1	0	136
Z101Sü	1	10	134
Z151Sü	1	15	133
<b>Kenevir lifli (%2) Sülfat Yüzey İşlemli</b>			
PC02Sü	2	0	134
Z102Sü	2	10	132
Z152Sü	2	15	130
<b>Kenevir lifli (%3) Sülfat Yüzey İşlemli</b>			
PC03Sü	3	0	132
Z103Sü	3	10	130
Z153Sü	3	15	128



**Şekil 4.3 Kenevir Lif Takviyesi ve Zeolit Katkı Oranlarına Göre Köpük Betonların Yayılma Değerleri Değişimleri**

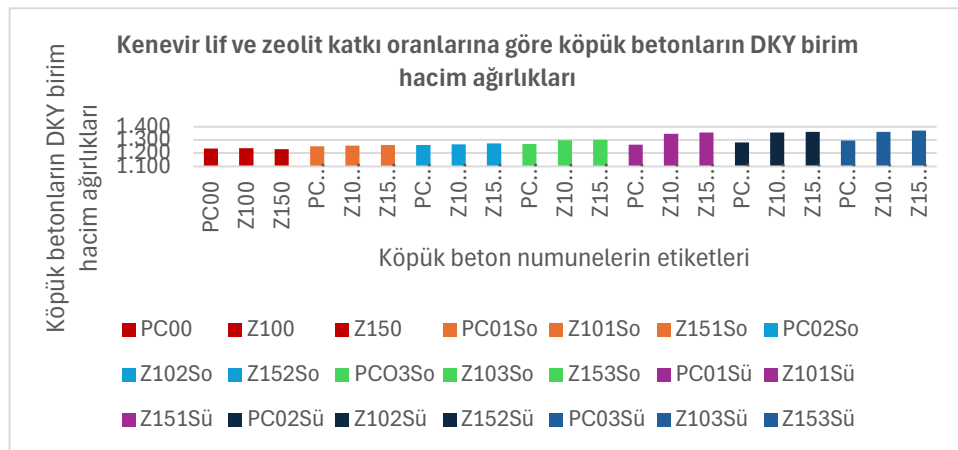
Lif ve zeolit miktarının artması ile köpük betonların yayılma miktarlarının da çökme davranışlarında olduğu gibi azaldığı yapılan ölçümler sayesinde tespit edilmiştir. Köpük beton numunelerin ortalama yayılma miktarları, lifsiz serilerde 140-135 mm aralığında iken zeolit katkı ve lifli serilerin tümünde 135-128 mm aralığında değişimler göstermektedir. Görüldüğü gibi lifli ve zeolitli köpük taze beton karışımlarının yayılma miktarlarının tümünde azalmalar meydana gelmiştir. Lifsiz ve sadece zeolit yerdeğiştirmeli köpük beton numunelerde yayılma miktarının azalması, zeolit miktarının artmasına bağlı olarak meydana gelmiştir. Ancak, bu azalmalar yalnızca lif takviyesi olan serilerde olduğu kadar olmamıştır.

### **4.3 Birim Hacim Ağırlıklar**

Kenevir lif takviyesi ve zeolit katkılı çimento içeren köpük beton numunelerinin birim hacim ağırlık deneyleri sonrasında elde edilen doymun kuru yüzeyli (DKY) ve kuru birim hacim ağırlık değerleri Çizelge 4.3’ de ve farklı zeolit oranlarında katkılı çimento, farklı kenevir lif oranları ve farklı yüzey işlemleri içeren deney serilerinin birim hacim ağırlık değişim grafikleri ise Şekil 4.4 doymun kuru yüzey birim hacim ağırlıkları için ve Şekil 4.5’de kuru birim hacim ağırlıklar için ayrı ayrı verilmiştir. Birim hacim ağırlık deneylerinin yapıldığı anda köpük beton numuneler 28 günlüktüler.

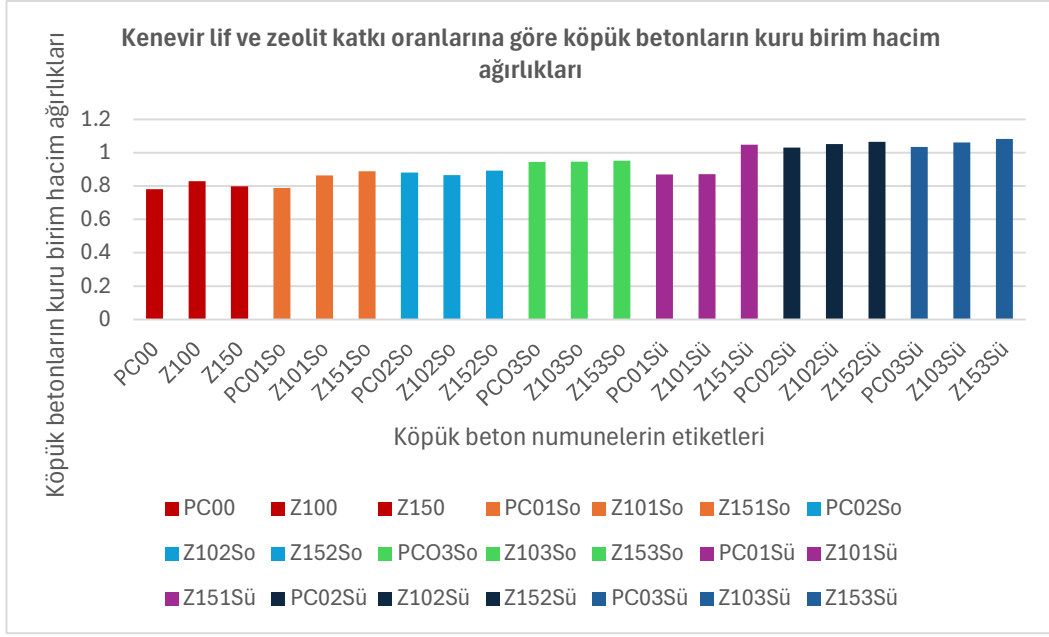
**Çizelge 4.3** Köpük Beton Numunelerinin DKY ve Kuru Birim Hacim Ağırlıkları

Numune Etiketleri	Kenevir Lif (kg/m <sup>3</sup> )	Zeolit (%)	DKY Birim Hacim Ağırlıkları (g/cm <sup>3</sup> )	Kuru Birim Hacim Ağırlıkları (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Lif yok</b>				
PC00	0	0	1.236	0.782
Z100	0	10	1.238	0.830
Z150	0	15	1.230	0.800
<b>Kenevir lifli (%1) Soda Yüzey İşlemli</b>				
PC01So	1	0	1.253	0.790
Z101So	1	10	1.258	0.864
Z151So	1	15	1.262	0.890
<b>Kenevir lifli (%2) Soda Yüzey İşlemli</b>				
PC02So	2	0	1.262	0.882
Z102So	2	10	1.267	0.867
Z152So	2	15	1.274	0.894
<b>Kenevir lifli (%3) Soda Yüzey İşlemli</b>				
PC03So	3	0	1.270	0.945
Z103So	3	10	1.298	0.948
Z153So	3	15	1.300	0.952
<b>Kenevir lifli (%1) Sülfat Yüzey İşlemli</b>				
PC01Sü	1	0	1.264	0.870
Z101Sü	1	10	1.346	0.873
Z151Sü	1	15	1.357	1.048
<b>Kenevir lifli (%2) Sülfat Yüzey İşlemli</b>				
PC02Sü	2	0	1.281	1.031
Z102Sü	2	10	1.357	1.052
Z152Sü	2	15	1.362	1.067
<b>Kenevir lifli (%3) Sülfat Yüzey İşlemli</b>				
PC03Sü	3	0	1.295	1.035
Z103Sü	3	10	1.362	1.063
Z153Sü	3	15	1.371	1.084



**Şekil 4.4** Kenevir Lif ve Zeolit Katkı Oranlarına Göre Köpük Betonların DKY Birim Hacim Ağırlıkları





**Şekil 4.5** Kenevir Lif ve Zeolit Katkı Oranlarına Göre Köpük Betonların Kuru Birim Hacim Ağırlıkları

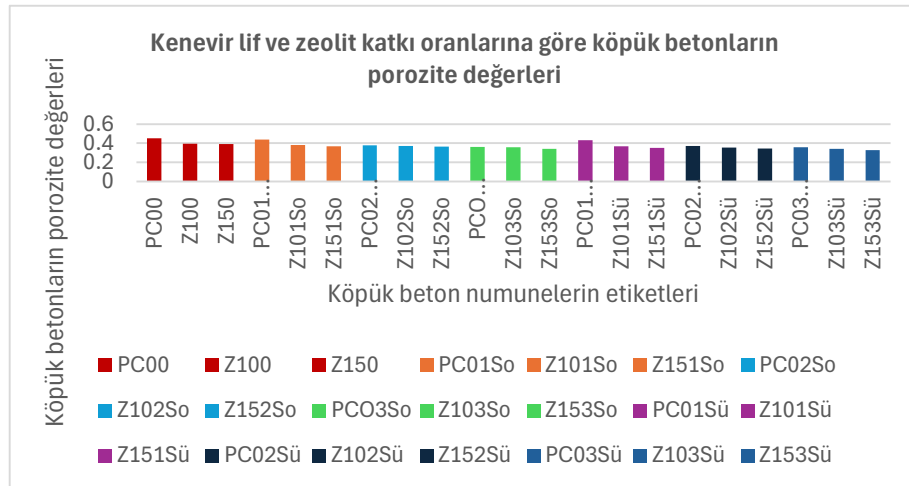
Köpük beton numunelerinin doymuş ve kuru birim hacim ağırlıklarının değişimi, köpük beton karışımlarına giren tüm bileşenlerin özellikleri ve birim hacim ağırlıklarından etkilenmektedir. Köpük beton numunelerinin karışımlarındaki zeolit katkı ve kenevir lif takviyesi olan deney serilerinde, zeolit ve kenevir lif oranlarındaki artış, o serilerdeki tüm köpük beton numunelerinin birim hacim ağırlıklarının artışına sebep olmuştur. Zeolitin birim hacim ağırlığı ( $2.11 \text{ g/cm}^3$ ), kenevir liflerinkinden ( $0.90 \text{ g/cm}^3$ ) daha yüksek olduğu için köpük betonların birim hacim ağırlıklarındaki değişimlerden zeolit daha çok sorumludur. Deney serilerinin tamamında kenevir liflerin mevcudiyetinden meydana gelen boşluklu yapı zeolit katkı sayesinde telafi edilmiş olduğu düşünülmektedir. Köpük beton numunelerinin DKY ve kuru birim hacim ağırlıklarının zeolit katkılı çimento kullanımı ve doğal kenevir liflerinden nasıl etkilendiği Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’ de görülmektedir.

#### 4.4 Su Emme Oranları

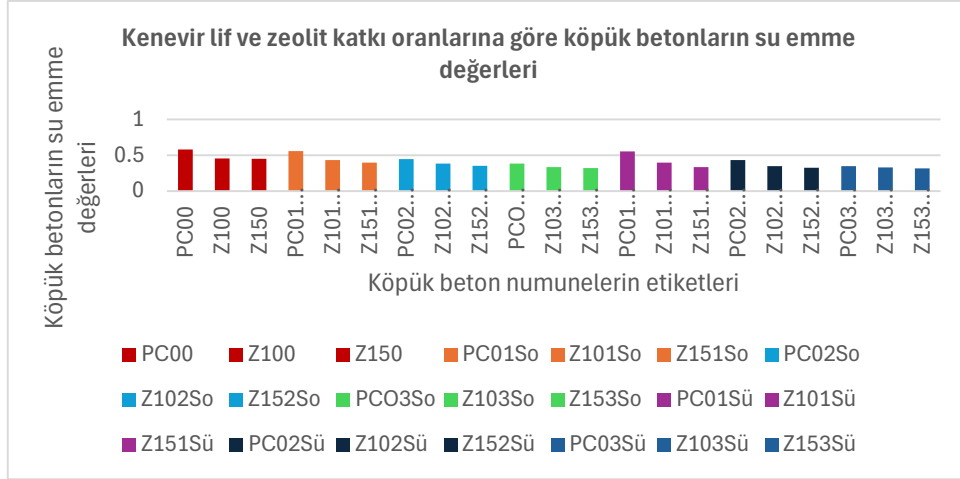
Kenevir lif takviyesi ve zeolit katkılı çimento içeren köpük beton numunelerinin su emme deneyleri sonrasında elde edilen porozite ve su emme değerleri Çizelge 4.4’ de ve farklı zeolit oranlarında katkılı çimento, farklı kenevir lif oranları ve farklı yüzey işlemleri içeren deney serilerinin porozite ve su emme değişim grafikleri ise Şekil 4.6 porozite için ve Şekil 4.7’ de su emme için verilmiştir. Su emme deneylerinin yapıldığı anda köpük beton numuneler 28 günlüktüler.

**Çizelge 4.4** Köpük Beton Numunelerin Porozite ve Su Emme Değerleri

Numune Etiketleri	Kenevir Lif (kg/m <sup>3</sup> )	Zeolit (%)	Porozite (%)	Su emme (%)
<b>Lif yok</b>				
PC00	0	0	0.455	0.582
Z100	0	10	0.398	0.457
Z150	0	15	0.392	0.451
<b>Kenevir lifli (%1) Soda Yüzey İşlemli</b>				
PC01So	1	0	0.439	0.557
Z101So	1	10	0.384	0.431
Z151So	1	15	0.371	0.398
<b>Kenevir lifli (%2) Soda Yüzey İşlemli</b>				
PC02So	2	0	0.380	0.444
Z102So	2	10	0.373	0.382
Z152So	2	15	0.365	0.352
<b>Kenevir lifli (%3) Soda Yüzey İşlemli</b>				
PC03So	3	0	0.364	0.385
Z103So	3	10	0.358	0.335
Z153So	3	15	0.344	0.322
<b>Kenevir lifli (%1) Sülfat Yüzey İşlemli</b>				
PC01Sü	1	0	0.434	0.554
Z101Sü	1	10	0.368	0.396
Z151Sü	1	15	0.352	0.335
<b>Kenevir lifli (%2) Sülfat Yüzey İşlemli</b>				
PC02Sü	2	0	0.373	0.431
Z102Sü	2	10	0.355	0.346
Z152Sü	2	15	0.347	0.325
<b>Kenevir lifli (%3) Sülfat Yüzey İşlemli</b>				
PC03Sü	3	0	0.361	0.349
Z103Sü	3	10	0.342	0.329
Z153Sü	3	15	0.329	0.317



**Şekil 4.6** Kenevir Lif ve Zeolit Katkı Oranlarına Göre Köpük Betonların Porozite Değerleri



**Şekil 4.7** Kenevir Lif ve Zeolit Katkı Oranlarına Göre Köpük Betonların Su Emme Değerleri

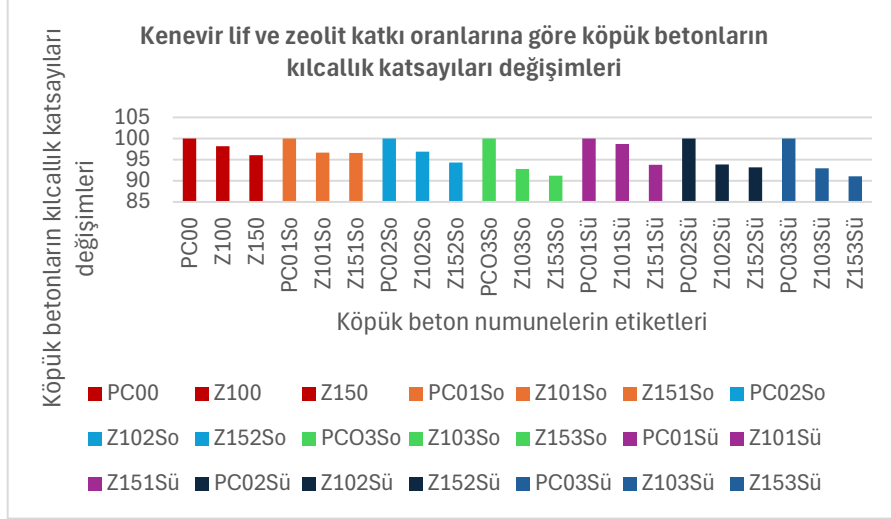
Bu tez çalışmasında lif kullanımının meydana getirdiği boşlukların çimento inceliğinin altında öğütülmüş olan zeolit mineral katkı ile telafi edilmesi sayesinde su emme oranları lifsiz referans köpük betonlarınkine göre azalma göstermiştir. Bu azalmanın sebeplerinden birinin de kenevir liflere uygulanan yüzey işlemlerinin etkisi olduğu düşünülmektedir. Kenevirin yüzeyindeki selülozun uzaklaştırılması su emme miktarını azaltmış olabileceği düşünülmektedir. Deneylerde, lifsiz serilerde zeolit miktarı artıkça, porozitenin azalmasına bağlı olarak su emme oranlarında azalma eğilimi görülmüştür. Ayrıca hem lif hem de zeolit içeren serilerde zeolit miktarı ve lif takviyesi miktarı artıkça köpük betonların su emme oranlarında da azalma meydana gelmiştir. Lifli serilerdeki durum için ise, kullanılan kenevir liflerin yerleşimi boşlukluluğu bir miktar artırmış olsa da çimento inceliğinin altındaki bir incelikte öğütülmüş olan zeolit boşluklara filler takviye yapması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Su emme oranı yüksek olan kenevir lifler, lif içerikli köpük betonların su emme oranlarındaki değişimlere olan etkisi zeolite göre daha fazladır. Zeolit içermeyen yalnızca lif kullanılan serilerdeki su emme oranlarındaki azalma ise yüzey işlemlerinden de kaynaklanmış olduğu düşünülmektedir. Sülfat yüzey işlemine tabi tutulan kenevir lif içerikli serilerde su emme oranlarındaki düşüş soda yüzey işlemlerinkinden daha fazladır. Lif takviyesi olmayan serilerde en fazla düşüş %22.50 ile Z150 serisinde görülmüştür. Yalnızca lif içeren serilerde en fazla düşüş %40.03 ile PC03Sü serisinde olmuştur. Hem lif hem de zeolit katkı içeren serilerde en fazla düşüş %26.45 ile Z153Sü serisinde görülmüştür. Porozitenin değişim eğilimleri ile su emme değişim eğilimleri arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır.

#### 4.5 Kılcallık Katsayıları

Kenevir lif takviyesi ve zeolit katkılı çimento içeren köpük beton numunelerinin kılcal su emme deneyleri sonrasında elde edilen kılcallık katsayıları Çizelge 4.5’ de ve farklı zeolit oranlarında katkılı çimento, farklı kenevir lif oranları ve farklı yüzey işlemleri içeren deney serilerinin kılcallık katsayıları değişim grafiği ise Şekil 4.8’ de verilmiştir. Kılcal su emme deneylerinin yapıldığı anda köpük beton numuneler 28 günlüktüler.

**Çizelge 4.5 Köpük Beton Numunelerin Kılcallık Katsayıları**

Numune Etiketleri	Kenevir Lif (kg/m <sup>3</sup> )	Zeolit (%)	Kılcallık Katsayıları (cm/dk)	Kılcallık Katsayısı Değişimi (%)
<b>Lif yok</b>				
PC00	0	0	0,043646021	100
Z100	0	10	0,042822510	98.2
Z150	0	15	0,041940059	96.1
<b>Kenevir lifli (%1) Soda Yüzey İşlemleri</b>				
PC01So	1	0	0,045293039	100
Z101So	1	10	0,044999000	96.7
Z151So	1	15	0,043763569	96.6
<b>Kenevir lifli (%2) Soda Yüzey İşlemleri</b>				
PC02So	2	0	0,047448588	100
Z102So	2	10	0,045998667	96.9
Z152So	2	15	0,044704628	94.3
<b>Kenevir lifli (%3) Soda Yüzey İşlemleri</b>				
PC03So	3	0	0,059410588	100
Z103So	3	10	0,055175157	92.8
Z153So	3	15	0,054293039	91.2
<b>Kenevir lifli (%1) Sülfat Yüzey İşlemleri</b>				
PC01Sü	1	0	0,045134098	100
Z101Sü	1	10	0,044540059	98.7
Z151Sü	1	15	0,042351647	93.8
<b>Kenevir lifli (%2) Sülfat Yüzey İşlemleri</b>				
PC02Sü	2	0	0,047445687	100
Z102Sü	2	10	0,044587079	93.9
Z152Sü	2	15	0,044251647	93.2
<b>Kenevir lifli (%3) Sülfat Yüzey İşlemleri</b>				
PC03Sü	3	0	0,058410255	100
Z103Sü	3	10	0,054351647	93.0
Z153Sü	3	15	0,053292373	91.1



**Şekil 4.8** Kenevir Lif ve Zeolit Katkı Oranlarına Göre Köpük Betonların Kılcallık Katsayıları Değişimleri

Lif ve mineral katkıli çimento kullanımının köpük betonların kılcallık katsayılarını nasıl etkilediğini anlayabilmek için kılcal su geçirimsizlik deneyleri yapılmıştır. Doğal kenevir lif ve zeolit katkıli çimentolu köpük betonların kılcallık katsayılarındaki değişimler kenevir lif ve zeolit miktarlarındaki değişimler ile ilişkilidir. Lifsiz ve zeolit katkıli çimentolu serilerde (PC00, Z100, Z150), zeolit katkıli çimentoların inceliğindeki artış sayesinde köpük betonların geçirimsizliği etkileneceği için kılcallık katsayılarının düşmesi beklenen bir sonuç olmaktadır. Lifli ve zeolitsiz serilerde (PC00, PC01So, PC02So, PC03So, PC01Sü, PC02Sü ve PC03Sü) her iki yüzey işlemli serilerde de lif miktarı arttıkça geçirimsizlik katsayısı artmıştır. Diğer bir deyişle numuneler daha geçirimli olmuştur. Ancak, sülfat yüzey işlemli serilerde (PC01Sü, PC02Sü ve PC03Sü) geçirimsizlik katsayısı, soda yüzey işlemlerinkine (PC01So, PC02So, PC03So) göre bir miktar daha azdır. Kenevir liflere uygulanan yüzey işlemlerinin kılcallık katsayılarını azalttığı belirlenmiştir. Bu azalmanın nedeni, kenevir liflerin yüzeyinden uzaklaştırılan selüloz miktarı ile ilişkisi olduğu düşünülmektedir. Sülfat yönteminde uzaklaştırılan selüloz miktarı, soda yöntemindekinden %30.23 daha fazladır. Bu nedenle, kenevir liflerin yüksek olan su emme miktarının, yüzey işlemleri sonrasında iyileşme gösterdiği düşünülmektedir. Lifli ve zeolit içerikli serilerin tümünde, lif miktarındaki artışlara bağlı olarak bir miktar artan boşlukları zeolitın filler etkisi ile geçirimsizlik meydana gelmesi nedeniyle kılcallık katsayıları azalmaktadır. Bu serilerde, kenevir lif takviye miktarı arttıkça geçirimsizlik de artmaktadır. Özetle, köpük betonların kılcallık katsayısı “artan

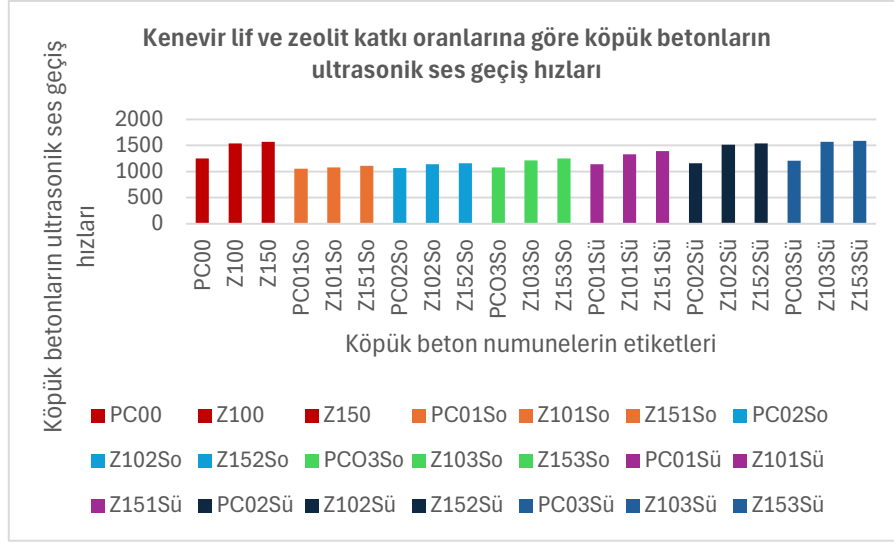
zeolit miktarıyla azalma” ve “artan lif miktarı ile de artma” şeklinde eğilimlerle etkilenmektedir.

#### 4.6 Ultrasonik Ses Geçiş Hızları

Kenevir lif takviyesi ve zeolit katkılı çimento içeren köpük beton numunelerinin ultrasonik ses geçiş hızlarının belirlendiği deneyler sonrasında elde edilen ultrasonik ses geçiş hızları Çizelge 4.6’ da ve farklı zeolit oranlarında katkılı çimento, farklı kenevir lif oranları ve farklı yüzey işlemleri içeren deney serilerinin ultrasonik ses geçiş hızlarının değişim grafiği ise Şekil 4.9’ da verilmiştir. Ultrasonik ses geçiş hızlarının belirlenmesi deneylerinin yapıldığı anda köpük beton numuneler 28 günlüktüler.

**Çizelge 4.6 Köpük Beton Numunelerin Ultrasonik Ses Geçiş Hızları**

Numune Etiketleri	Kenevir Lif (kg/m <sup>3</sup> )	Zeolit (%)	UPV (m/s)
<b>Lif yok</b>			
PC00	0	0	1254
Z100	0	10	1544
Z150	0	15	1575
<b>Kenevir lifli (%1) Soda Yüzey İşlemleri</b>			
PC01So	1	0	1055
Z101So	1	10	1084
Z151So	1	15	1110
<b>Kenevir lifli (%2) Soda Yüzey İşlemleri</b>			
PC02So	2	0	1070
Z102So	2	10	1146
Z152So	2	15	1163
<b>Kenevir lifli (%3) Soda Yüzey İşlemleri</b>			
PC03So	3	0	1084
Z103So	3	10	1216
Z153So	3	15	1254
<b>Kenevir lifli (%1) Sülfat Yüzey İşlemleri</b>			
PC01Sü	1	0	1146
Z101Sü	1	10	1335
Z151Sü	1	15	1395
<b>Kenevir lifli (%2) Sülfat Yüzey İşlemleri</b>			
PC02Sü	2	0	1163
Z102Sü	2	10	1515
Z152Sü	2	15	1542
<b>Kenevir lifli (%3) Sülfat Yüzey İşlemleri</b>			
PC03Sü	3	0	1210
Z103Sü	3	10	1575
Z153Sü	3	15	1591



**Şekil 4.9** Kenevir Lif ve Zeolit Katkı Oranlarına Göre Köpük Betonların Ultrasonik Ses Geçiş Hızları

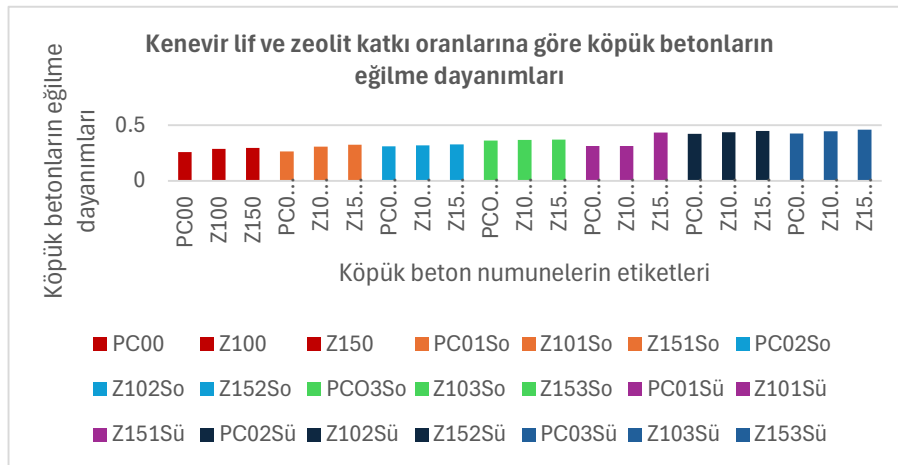
Köpük betonların zeolit katkı içeriğinin numunelerin boşluk yapısını azaltması, ultrasonik ses dalga hızını artırmaktadır. Tahribatsız muayene yöntemi olan ultrasonik ses dalga geçiş hızı ölçümü ile test edilen numunelerin boşlukluluk hali hakkında tahmini bilgiler elde edilebilmektedir. Ultrasonik ses dalga geçiş hızlarındaki farklılıkların nedeni, karışıma giren zeolit ve doğal kenevir liflerinin miktarlarındaki değişimlerin etkisi ile oluşmuştur. Köpük betonların ultrasonik ses dalga geçiş hızlarındaki değişimler numunelerin basınç dayanımları ile benzer değişim eğilimleri sergilemiştir.

#### 4.7 Eğilme Dayanımları

Kenevir lif takviyesi ve zeolit katkılı çimento içeren köpük beton numunelerinin eğilme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonrasında elde edilen eğilme dayanım değerleri Çizelge 4.7’ de ve farklı zeolit oranlarında katkılı çimento, farklı kenevir lif oranları ve farklı yüzey işlemleri içeren deney serilerinin eğilme dayanım değişim grafiği ise Şekil 4.10’ da verilmiştir. Eğilme dayanım deneylerinin yapıldığı anda köpük beton numuneler 28 günlüktüler.

**Çizelge 4.7** Köpük Beton Numunelerinin Eğilme Dayanımları

Numune Etiketleri	Kenevir Lif (kg/m <sup>3</sup> )	Zeolit (%)	Eğilme Dayanımları (MPa)
<b>Lif yok</b>			
PC00	0	0	0.258
Z100	0	10	0.287
Z150	0	15	0.296
<b>Kenevir lifli (%1) Soda Yüzey İşlemlili</b>			
PC01So	1	0	0.263
Z101So	1	10	0.308
Z151So	1	15	0.325
<b>Kenevir lifli (%2) Soda Yüzey İşlemlili</b>			
PC02So	2	0	0.310
Z102So	2	10	0.320
Z152So	2	15	0.328
<b>Kenevir lifli (%3) Soda Yüzey İşlemlili</b>			
PC03So	3	0	0.361
Z103So	3	10	0.367
Z153So	3	15	0.372
<b>Kenevir lifli (%1) Sülfat Yüzey İşlemlili</b>			
PC01Sü	1	0	0.312
Z101Sü	1	10	0.314
Z151Sü	1	15	0.435
<b>Kenevir lifli (%2) Sülfat Yüzey İşlemlili</b>			
PC02Sü	2	0	0.422
Z102Sü	2	10	0.437
Z152Sü	2	15	0.448
<b>Kenevir lifli (%3) Sülfat Yüzey İşlemlili</b>			
PC03Sü	3	0	0.425
Z103Sü	3	10	0.445
Z153Sü	3	15	0.461



**Şekil 4.10** Kenevir Lif ve Zeolit Katkı Oranlarına Göre Köpük Betonların Eğilme Dayanımları



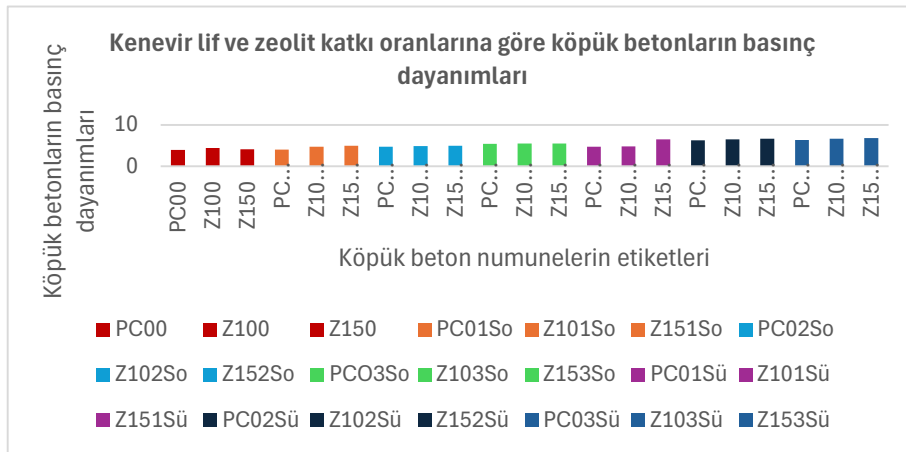
Kenevir lif takviyesi köpük betonların eğilme dayanımlarını iyileştirmiştir. Kenevir lifler numunelerin eğilmede oluşan kılcal çatlaklar üzerinde yük aktarım görevi üstlenerek köpük betonların çatlama sonrasındaki yük taşıma kabiliyetini artırma eğilimli bir davranış sergilemiştir. Bu durum literatür ile de uyumludur (Song ve ark., 2005). Sülfat yüzey işlemleri numunelerin eğilme dayanımları soda yüzey işlemlerinkine göre daha yüksektir. Bunun nedeni, sülfat yüzey işleminde selüloz miktarının uzaklaştırılma veriminin soda yüzey işlemindekinden daha yüksek olmasıdır.

#### **4.8 Basınç Dayanımları**

Kenevir lif takviyesi ve zeolit katkılı çimento içeren köpük beton numunelerinin basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonrasında elde edilen basınç dayanımı değerleri Çizelge 4.8’ de ve farklı zeolit oranlarında katkılı çimento, farklı kenevir lif oranları ve farklı yüzey işlemleri içeren deney serilerinin basınç dayanımı değişim grafiği ise Şekil 4.11’ de verilmiştir. Basınç dayanım deneylerinin yapıldığı anda köpük beton numuneler 28 günlüktüler.

**Çizelge 4.8 Köpük Beton Numunelerin Basınç Dayanımları**

Numune Etiketleri	Kenevir Lif (kg/m <sup>3</sup> )	Zeolit (%)	Basınç Dayanımları (MPa)
<b>Lif yok</b>			
PC00	0	0	3.998
Z100	0	10	4.411
Z150	0	15	4.151
<b>Kenevir lifli (%1) Soda Yüzey İşlemlili</b>			
PC01So	1	0	4.066
Z101So	1	10	4.714
Z151So	1	15	4.950
<b>Kenevir lifli (%2) Soda Yüzey İşlemlili</b>			
PC02So	2	0	4.747
Z102So	2	10	4.871
Z152So	2	15	4.987
<b>Kenevir lifli (%3) Soda Yüzey İşlemlili</b>			
PC03So	3	0	5.465
Z103So	3	10	5.493
Z153So	3	15	5.532
<b>Kenevir lifli (%1) Sülfat Yüzey İşlemlili</b>			
PC01Sü	1	0	4.768
Z101Sü	1	10	4.795
Z151Sü	1	15	6.482
<b>Kenevir lifli (%2) Sülfat Yüzey İşlemlili</b>			
PC02Sü	2	0	6.309
Z102Sü	2	10	6.523
Z152Sü	2	15	6.677
<b>Kenevir lifli (%3) Sülfat Yüzey İşlemlili</b>			
PC03Sü	3	0	6.350
Z103Sü	3	10	6.636
Z153Sü	3	15	6.854



**Şekil 4.11 Kenevir Lif ve Zeolit Katkı Oranlarına Göre Köpük Betonların Basınç Dayanımları**

Tüm serilerdeki köpük beton numunelerin basınç dayanımları zeolit katkı ve soda ve sülfat yüzey işlemlerine bağlı olarak artış eğilimi ile sonuçlanmıştır. Ancak, zeolit içermeyen PCOO, PCO1So, PCO2So, PCO3So, PCO1Sü, PCO2Sü ve PCO3Sü serilerde basınç dayanımlarının artışına soda ve sülfat yüzey işlemlerine bağlı olarak artış gösterdiği düşünülmektedir. Bu tez çalışmasında, kenevir liflerinin morfolojisi, matris-lif ara yüzeyi geliştirmek için kimyasal olarak değiştirilmiştir. NaOH' ın kenevir liflerinin yüzeyinden hemiselüloz ve pektin gibi amorf malzemeleri çıkardığı iyi bilinmektedir. Bu durum liflerin yüzeyinde pürüzlülüğü artırdığı gibi aynı zamanda kenevir liflerinin yüzeyinin NaOH işleminin sonrası, kenetlenme kuvvetinin, kılcal kuvvetin ve Van der Waals kuvvetlerinin katkısının daha yüksek olduğu literatür çalışmalarından bilinmektedir (Mwaikambo & Ansell, 2006 ; Le Troëdec ve ark., 2011)

Literatürde, selülozik liflerin yapısındaki hidrojen bağlarını ortadan kaldırmak için sodyum hidroksit (NaOH) kullanıldığını ve bu da lif yüzeyinin pürüzlülüğünü artırdığı vurgulanmaktadır (Chandrasekar ve ark., 2017; El-Shekeil ve ark., 2011) Kenevir liflerin alkali yüzey işlemleri sonrası liflerin yüzey topoğrafyasının ve lif çapının değiştiği tespit edilmiştir (Karthikeyan ve Balamurugan, 2012). Alkalizasyon işlemi sonrası lif yüzeyinin pürüzlülüğünün artmasına bağlı daha iyi bir mekanik kenetlenme meydana geldiği, lif ve matris arasında daha iyi bir arayüzey yük aktarım verimliliği ile sonuçlandığı ve yüzeydeki olası reaksiyonların sayısının arttığı teknik literatürden bilinmektedir (Atiqah ve ark., 2018; Budtova ve Navard, 2016).

Lifli ve zeolitli serilerde, basınç dayanımının artışına zeolit katkı ve yüzey işlemleri neden olmuştur. Tüm numunelerin basınç dayanımları TS EN 13655 (TS EN, 2015)' de verilen 1.5 MPa sınır değerinin üzerindedir. Çalışmadaki bu basınç dayanımları 28 günlük numunelere aittir. Burada, zeolit katkının puzolanik aktivitesi sayesinde geç yaşlarda gelişen ilave bağlayıcı oluşumuna bağlı olarak numunelerin basınç dayanımlarının artış olabileceği öngörülebilmektedir (Akgün, 2020).

#### **4.9 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri**

Çalışmada, yüzey işlemine tabi tutulmuş kenevir lifli ve zeolit katkılı çimento içeren köpük betonların içyapı incelemeleri SEM cihazı ile analiz edilip değerlendirilmiştir. Üretilen köpük betonların analize hazırlık aşamaları Şekil 4.12'

de görülmektedir. Analizlerde, Ordu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan EDX-(Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi) sensörlü Hitachi markalı, SU 1510 model Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) (Şekil 4.13) kullanılmıştır. SEM incelemeleri için çalışmada üretilen köpük beton numunelerin iletkenliğini sağlamak amacıyla örneklere altın kaplama yapılmıştır (Şekil 4.14). Bunun için altın kaplama cihazının karbon bandı üzerindeki örneğin yüzeyi 20-30 mA ile yaklaşık 10-20 nm kalınlığında altın ile kaplandı (Şekil 4.15). Kaplama sonrasında, bu çalışmada üretilen doğal kenevir lif takviyeli, zeolit katkılı çimentolu ve iki farklı yüzey işleme tabi tutulmuş köpük betonların yüzey morfolojisinin SEM görüntüleri Şekil 4.16 'da gösterilmektedir. EDX bulguları da Şekil 4.17' de verilmiştir.

SEM görüntülerinden görüldüğü gibi, zeolit grubu klinoptilolit katkı parçacığı yassı ve tabaka benzeri bir yapıya sahip görünümündedir (Şekil 4.16a). Köpük betonların boşluklu yapısı örneğin yüzey morfolojisinden gözlemlenebilmektedir (Şekil 4.16b). Köpük beton yapı içerisindeki liflerin dağılımı ve beton matris ile tutulumu ve yüzey işlemleri sonrası lif yüzeyindeki pürüzlülük gözlemlenmektedir (Şekil 4.16c). Yüzey işlemi yapılmış kenevir liflerin hemiselüloz, lignin ve pektin gibi bağlayıcı maddelerin önemli bir kısmının lif yapısından ayrıştırılması lif yapısını daha pürüzlü hale getirdiği Şekil 4.16a-c' görülebilmektedir

Kenevir lifinin yüzeyinde yapılan EDX analizine göre öncelikle karbon (C) ve oksijen (O) elementleri gözlenmiştir (Şekil 4.17). Bu çalışmadaki köpük beton numunelerinin EDX analizlerinden, karbon yüzdesinin yaklaşık %5.6, oksijen oranının ise yaklaşık %51.6 olduğu tespit edilmiştir. Bu elementler kenevir lif yapısının yaklaşık %78' ini oluşturan selülozdan kaynaklanır. Selülozun yapısında yaklaşık %44 karbon, %55 oksijen ve %6 hidrojen bulunduğu bilinmektedir (Yılmaz, 2020). Diğer taraftan, elementel olarak Si, Al ve Fe elementlerinin gözlemlenmesi zeolit varlığı ile ilişkilidir. S elementi kenevir yüzeyindeki sülfat yöntemi ile yapılan önışleme karşılık gelmektedir.



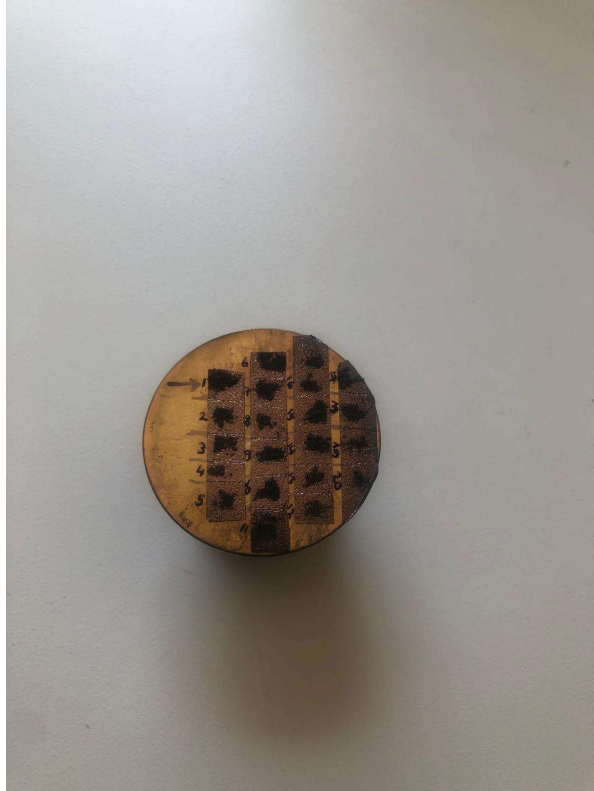
Şekil 4.12 Üretilen Köpük Betonların Analize Hazırlık Aşamaları



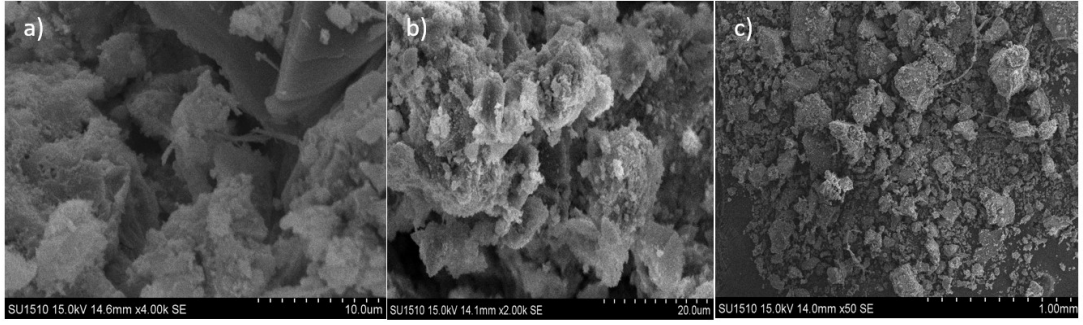
Şekil 4.13 Taramalı Elektron Mikroskobu



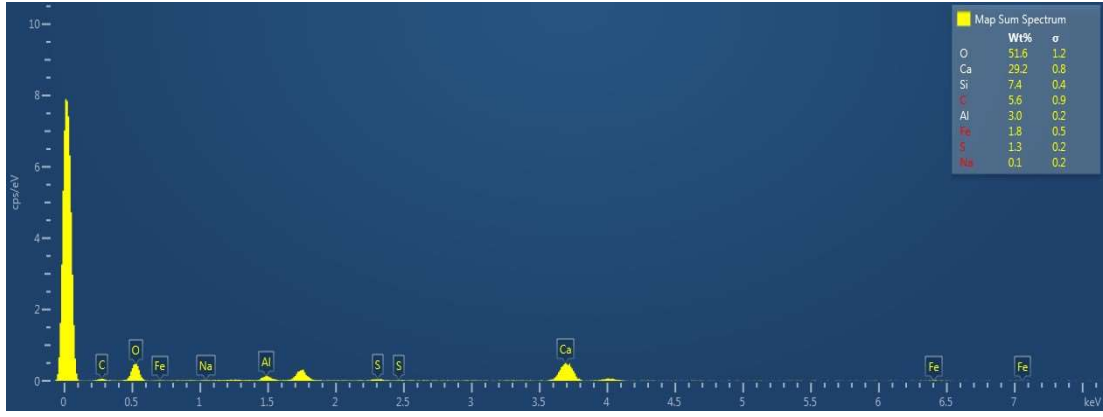
Şekil 4.14 Altın Kaplama Cihazı



Şekil 4.15 Karbon Bandı Üzerindeki Altın Kaplama Yapılmış Numuneler



Şekil 4.16 Köpük Beton Numunelerin Bazılarına Ait SEM Görüntüleri



Şekil 4.17 Köpük Beton Numunelerin Bazılarına Ait EDX Görüntüleri

## 5.SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, iki farklı yüzey işlemine maruz bırakılmış kenevir lif takviyesi ve zeolit mineral katkı içeren köpük betonların performanslarının geliştirilmesi amaçlı olarak köpük beton numuneler üzerinde fiziksel ve mekanik özelliklerin bazı değişkenlerine yönelik deneysel incelemeler yapılmıştır. Farklı oranlarda doğal kenevir lif ve farklı yer değiştirme miktarlarında puzolanik aktivitesi yüksek zeolit (klinoptilolit) katkılı köpük betonlar için 21 adet deney serileri belirlenmiştir. Deneyler sonrası elde edilen bulgular karşılaştırma yöntemi ile irdelenmiştir. Buna göre, bu tez çalışmasından elde edilen bazı sonuçlar aşağıda verilmektedir.

- Yalnızca kenevir lif içeren köpük beton serilerde (PC01So, PC02So, PC03So ve PC01Sü, PC02Sü, PC03Sü) olduğu gibi hem zeolit hem de kenevir lif içeren köpük beton serilerde de (Z101So, Z151So, Z102So, Z152So, Z103So, Z153So ve Z101Sü, Z151Sü, Z102Sü, Z152Sü, Z103Sü, Z153Sü) taze haldeki çökme-yayılma miktarları lif takviyesi varlığına ve zeolit katkı miktarının artışına bağlı olarak azalmıştır. Lif ve zeolit içeriğinin artışına bağlı olarak, karışımın işlenebilirliğin de beklenen azalma, karışımlarda kullanılan köpük ajanı sayesinde önemli ölçüde tolere edilmiştir. Diğer bir deyişle, taze haldeki köpük beton karışımlardaki çökme-yayılma değerlerindeki azalma miktarlarındaki azalma, işlenebilirliği zora sokacak düzeyde değildir. Diğer taraftan, çökme-yayılma miktarlarındaki azalmalar, sülfat yüzey işlemlerinde daha az olmuştur. Bunun nedeni, doğal kenevir life uygulanan yüzey işlemleri sonrası lif yüzeyindeki pürüzlülük artışının neden olduğu düşünülmektedir.
- Çalışmadaki köpük beton numunelerin doymuş kuru yüzeyli ve kuru birim hacim ağırlıkları karışıma giren bileşenlerin birim hacim ağırlıklarına ve bileşimde meydana getirdikleri morfolojik oluşumlara bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Buna göre yalnızca lif takviyesi olan deney serilerinde (PC01So, PC02So, PC03So ve PC01Sü, PC02Sü, PC03Sü), PC00 referans serisine göre azalmıştır. En fazla azalma PC03So serisinde olmuştur. Kenevir lif ve zeolit birlikte kullanıldığı deney serilerinde (Z101So, Z151So, Z102So, Z152So, Z103So, Z153So ve Z101Sü, Z151Sü, Z102Sü, Z152Sü, Z103Sü,



Z153Sü) köpük betonların doygun kuru yüzeyli ve kuru birim hacim ağırlıkları, Z100 ve Z150 lifsiz referans serilerine göre, lifin meydana getirdiği boşluklu yapı nedeniyle azalma beklenmesine rağmen zeolit mineral katkının Portland çimentosu inceliğinin altında öğütülmüş olması nedeniyle filler etkisi ile artmıştır.

- Kenevir lif kullanılan köpük betonların su emme oranları lifin meydana getirdiği boşluklar ve kenevirin su emme oranının yüksek olması nedeni ile lifsiz referans köpük betonların su emme oranlarına göre artış göstermiştir. Ancak bu tez çalışmasında lif kullanımının meydana getirdiği boşlukların çimento inceliğinin altında öğütülmüş olan zeolit mineral katkı ile telafi edilmesi sayesinde su emme oranları lifsiz referans köpük betonlarınkine göre azalma göstermiştir. Bu azalmanın sebeplerinden biri de kenevir liflere uygulanan yüzey işlemlerinin etkisi olduğu düşünülmektedir. Porozitenin değişim eğilimleri ile su emme değişim eğilimleri arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır.
- Köpük beton numunelerin geçirimsizlik özelliği belirlemeleri için elde edilen kılcallık katsayısı değişimlerinde yalnızca lif içerikli serilerde, lif miktarının artması ile geçirimsizlik artmıştır. Zeolit ve lif içeren serilerde ise, zeolit ve kenevir liflerin miktarının artışıyla geçirimsizlik azalmıştır. Kenevir liflere uygulanan yüzey işlemlerinin kılcallık katsayılarını azalttığı belirlenmiştir. Bu azalmanın nedeni, kenevir liflerin yüzeyinden uzaklaştırılan selüloz miktarı ile ilişkisi olduğu düşünülmektedir. Sülfat yönteminde uzaklaştırılan selüloz miktarı, soda yöntemindekinden %30.23 daha fazladır. Bu nedenle, kenevir liflerin yüksek olan su emme miktarı, Numunelerin geçirimsizliğinin sülfat yüzey işlemleri sonrasında soda yüzey işlemlerinkine göre daha fazla iyileşme gösterdiği düşünülmektedir.
- Köpük beton numunelerin basınç dayanımları birim hacim ağırlıklardaki değişimler ile benzerdir. Lif ve zeolit katkı kullanımı köpük beton numunelerin basınç dayanımlarını lif takviye miktarlarına, zeolit yerdeğiştirme oranlarına ve yüzey işlemleri tipine bağlı olarak geliştirmiştir. Basınç dayanımı değişimlerinde, zeolit katkılı çimento içermeyen serilerin dayanımlarının

düşmesi şeklinde meydana gelen bulgular, lif içerikli serilerin dayanımlarının geliştirilebilmesi için puzolanik mineral katkı kullanımının gerekliliğini göstermektedir. Bilindiği gibi, puzolanik özellik, geç yaş dayanımının gelişiminin mümkün olması nedeniyle önemli bir husustur (Akgün, 2021). Zeolit katkılı çimento içeren köpük beton numunelerinin hem lifsiz hem de lifli serilerdeki dayanımlarındaki artış doğal zeolitin kimyasal bileşimi, mineral içeriği ve çimento inceliğinin altında oluşu gibi özellikleri sayesinde puzolanik aktivitesinin yüksekliği ile ilişkilidir (Danner ve ark., 2018; Akgün, 2019; 2020). Basınç dayanımlarının artışı numunelere uygulanan alkalizasyon işlemi sonrası lif yüzeyinin pürüzlülüğünün artmasına bağlı daha iyi bir mekanik kenetlenme meydana geldiği, lif ve matris arasında daha iyi bir arayüzey yük aktarım verimliliği ile sonuçlandığı ve yüzeydeki olası reaksiyonların sayısının arttığı teknik literatürden bilinmektedir (Atiqah ve ark., 2018; Budtova ve Navard, 2016). Sülfat yüzey işlemleri numunelerin eğilme dayanımları soda yüzey işlemlerinkine göre daha yüksektir.

- Çalışmadaki doğal kenevir lif takviyeleri ile birlikte zeolit katkı kullanımı, köpük betonların eğilme dayanımlarını olumlu yönde geliştirmiştir. Taşıyıcı yapı elemanlarında çekme gerilmelerine karşı dayanımlarının yüksek olması amaçlı olarak karışım tasarımlarında doğal kenevir lif takviyesi kullanımının kılcal çatlak kontrolü için tercih edilmesi gerekliliği deneysel bulgulardan açıkça görülebilmektedir. Basınç dayanımlarındaki iyileşme davranışlarına benzer mekanizma eğilme davranışları için de geçerli olduğu düşünülmektedir. Sülfat yüzey işlemleri numunelerin eğilme dayanımları soda yüzey işlemlerinkine göre daha yüksektir.
- Bilindiği gibi, ultrasonik ses dalgası hızlarındaki değişimler, incelemeye tabi tutulan numunelerin boşluk yapısı ile ilişkilidir. Diğer bir deyişle, boşluksuzluk, incelemeye tabi tutulan numunelerin UPV değerlerini artırmaktadır. Dolayısıyla, bu çalışmadaki köpük betonların UPV değerlerindeki değişimler, karışıma giren zeolit, kenevir liflerin miktarları ve yüzey işlemleri sonrası oluşan kenevir liflerin yüzey morfolojisine bağlıdır. Deneysel serilerindeki tüm köpük beton numunelerinin UPV' lerindeki değişimler, onların birim hacim ağırlıkları ve basınç dayanımları ile paralel değişimler

sergilemiştir.

- Zeolit yer değiştirmeli katkılı çimento kullanımı sayesinde klinker miktarı azaltılmıştır. Böylece enerji tasarruflu, CO<sub>2</sub> emisyonu az ve performansları iyileştirilmiş doğal lif takviyeli köpük betonların üretimi sağlanmıştır.

Özetle yapılan deneysel çalışma sonuçlarına göre, %3' e kadar doğal kenevir lif takviyesi, %15' e kadar zeolit katkılı çimento içeren ve soda ile sülfat yüzey işlemine tabi tutulan köpük betonların performanslarında olumlu gelişimlerin olduğu tespit edilmiştir. Köpük beton üretimlerinde doğal kenevir liflerinin diğer lif gruplarına alternatif bir lif takviyesi olarak kullanılabilceği tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan kenevir lifinin organik kökenli doğal bir malzeme olması, zeolit doğal bir mineral katkı olması ile çevreci-yeşil betonların üretimine katkı sağlanması bu çalışmanın önemini ortaya koymaktadır. Sülfat yüzey işleminin selüloz uzaklaştırma veriminin soda yüzey işlemlerinkine göre daha yüksek olması nedeniyle sülfat yüzey işlemlerinin eğilme-basınç dayanımları soda yüzey işlemlerinkine göre daha fazla olmuştur. Buna göre, doğal kenevir lif kullanımlarında, çimento inceliğinin altında öğütölmüş puzolan özellikli mineral katkı kullanılmasının (filler amaçlı ve geç yaş dayanım gelişmesi yönünden) elde edilen ürünün performansının iyileştirilmesi yönünden, önemli olduğu tespit edilmiştir. Burada, özellikle selülozik lif kullanımlarında bağ ve bağlanma davranışlarının yüksek oranda iyileşmesi için mutlaka kullanılan liflerin yüzey işlemlerine tabi tutulması gerekliliği vurgulanmalıdır. Burada, kenevir lif kullanımlı köpük betonların dayanıklılık yönüyle daha detaylı çalışılmalar ile ele alınması gerekliliği ileriki araştırmaların konusu olması yönüyle önerilmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

- Açıkgenç, M., Arazsu, U. & Alyamaç, KE. (2012). Farklı karışım oranlarına sahip polipropilen lifli betonların dayanım ve durabilite özellikleri. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 4(3), 41-54.
- Akdere, İ. (2023). Kenevir lifinin köpük beton üretiminde kullanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyonkarahisar.
- Akgün, Y. (2019). Alternatif puzolan kalsine marn içeren sürdürülebilir katkı çimentolar. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10(2), 779-789.
- Akgün, Y. (2020). Behavior of concrete containing alternative pozzolan calcined marl blended cement. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 64, (4), 1087-1099
- Akgün, Y. & Yazıcıoğlu, ÖF. (2016). İki farklı doğal zeolit katkısının çimento harç aşınma dayanımına etkisi. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(1), 94-104.
- Akın, S., Kaplan, AN. & Özel, C. (2022). Farklı uzunluktaki doğal liflerin beton performansı üzerine etkileri. *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 6(2), 80-84.
- Ali, AM., Arslan, MH. & Altın, M. (2019). Cam lif takviyeli betonun yangın dayanımlarının çeşitli parametreler açısından irdelenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(2), 198-213.
- Alkan, A. (2021). Kenevir ürünlerinin çimentolu kompozitlerde kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Yozgat Bozok Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yozgat.
- Alkaya, D. (2009). Uçucu küllerin zemin iyileştirmesinde kullanılmasının incelenmesi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(1), 61-72.
- Altun, F. (2011). Çelik lifli hafif betonun deneysel araştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(3), 333-339.
- Amran, M., Fediuk, R., Vatin, N., Huei Lee, Y., Murali, G., Ozbakkaloglu, T., Klyuev, S. & Alabduljabber, H. (2020). Fibre-reinforced foamed concretes: A review. *Materials*, 13(19), 4323.
- Anonim, (2024). Kenevir kullanımı. <https://www.ekoyapidergisi.org/surdurulebilir-mimaride-kenevir-nasil-kullanilir->(Erişim tarihi: 08.07.2024).
- Anonim, (2024). Kenevir. <https://en.wikipedia.org/wiki/Hemp->(Erişim tarihi: 04.07.2024).
- Arslan, M. & Aktaş, M. (2018). İnşaat sektöründe kullanılan yalıtım malzemelerinin ısı ve ses yalıtımı açısından değerlendirilmesi. *Politeknik dergisi*, 21 (2), 299-3207.

- Aslan, Y. & Gürocak, Z. (2022). Asidik ve bazik karakterli tüflerin puzolanik özelliklerinin araştırılması: Elazığ ve Gümüşhane yörelerinden örnek bir çalışma. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(4), 1024-1035.
- ASTM C 1585, (2007). Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes, Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, USA.
- ASTM C 597, (1998). Standard test method for pulse velocity through concrete. American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, USA.
- Atiqah, A., Jawaid, M., Ishak, MR. & Sapuan, SM. (2018). Effect of alkali and silane treatments on mechanical and interfacial bonding strength of sugar palm fibers with thermoplastic polyurethane. *Journal of natural fibers*, 15(2), 251-261.
- Awang, H. & Ahmad, MH. (2014). Durability properties of foamed concrete with fiber inclusion. *International Journal of Civil, Structural, Construction and Architectural Engineering*, 8(3), 273-276.
- Aydoğan, M., Terzi, YE., Gizlenci, Ş., Acar, M., Esen, A. & Meral, H. (2020). Türkiye’de kenevir yetiştiriciliğinin ekonomik olarak yapılabilirliği: Samsun ili Vezirköprü ilçesi örneği. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 35(1), 35-50.
- Beskopylny, AN., Shcherban’, EM., Stel’makh, SA., Mailyan, LR., Meskhi, B., Varavka, V., Chernil’nik, A. & Pogrebnyak, A. (2023). Improved fly ash based structural foam concrete with polypropylene fiber. *Journal of Composites Science*, 7(2), 76.
- Budtova, T. & Navard, P. (2016). Cellulose in NaOH–water based solvents: A review. *Cellulose*, 23(1), 5–55.
- Canpolat, F. & Yılmaz, K. (2002). Doğal zeolit ve uçucu kül katkılı ve katkısız harçların sülfat dayanıklılığı. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 15(2), 11-24.
- Castillo-Lara, JF., Flores-Johnson, EA., Valadez-Gonzalez, A., Herrera-Franco, PJ., Carrillo, JG., Gonzalez-Chi, PI. & Li, QM. (2020). Mechanical properties of natural fiber reinforced foamed concrete. *Materials*, 13(14), 3060.
- Ceylan, H. (2020). Isparta tufunun puzolanik özelliklerinin araştırılması. *Teknik Bilimler Dergisi*, 10(2), 1-6.
- Chandrasekar, M., Ishak, MR., Sapuan, SM., Leman, Z. & Jawaid, M. (2017). A review on the characterisation of natural fibres and their composites after alkali treatment and water absorption. *Plastics, Rubber and Composites*, 46 (3), 119-136.
- Çomak, B., Bideci, A. & Bideci, ÖS. (2018). Effects of hemp fibers on characteristics of cement based mortar. *Construction and Building Materials*, 169, 794-799.
- Dayı, M., Aruntaş, H., Çavuş, M. & Şimşek, O. (2013). Zeolit, uçucu kül ve atık cam malzemelerin portland kompoze çimento üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(3), 491-499.

- Delatte, N. (2001). Lessons from Roman Cement and Concrete. *Journal of professional issues in engineering education and practice*, 127(3), 109-115.
- Demir, İ. (2009). Aynı oranlarda ikame edilen silis dumanı ve uçucu külün betonun mekanik özelliklerine etkisi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 1(2), 1-7.
- Demir, İ., Başpınar, MS. & Kahraman, E. (2019). Köpük beton üretiminde uygun akışkanlaştırıcı/priz hızlandırıcı katkı türünün araştırılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2), 390-400.
- Demirbek, D. & Bulut, MO. (2021). Kenevir liflerinin eldesi, özellikleri ve kompozit uygulama alanları. *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences*, 4(2), 176-191.
- Dora, S., Barta, RB. & Mini, KM. (2023). Study on foam concrete incorporated with expanded vermiculite/capric acid PCM–A novel thermal storage high-performance building material. *Construction and Building Materials*, 392, 131903.
- Dorum, A., Koçak, Y., Yılmaz, B. & Uçar, A. (2009). Yüksek fırın cürufunun çimento yüzey özelliklerine ve hidrasyona etkileri. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, (019), 47-58.
- El-Shekeil, YA., Sapuan, SM., Abdan, K. & Zainudin, ES. (2011). Effect of alkali treatment and pMDI isocyanate additive on tensile properties of kenaf fiber reinforced thermoplastic polyurethane composite. *Proceedings of 2011 International Conference on Advanced Materials Engineering (ICAME 2011)*, Engineering and Environmental Technology, 5, 327-332.
- Erçıkıdı, B., Cihangir, F., Kesimal, A., Deveci, H. & Alp, İ. (2008). Doğal puzolan özelliklerinin macun dolgunun dayanım ve duraylılığına etkisi. *Yerbilimleri*, 29(1), 25-35.
- Falliano, D., De Domenico, D., Ricciardi, G. & Gugliandolo, E. (2019). Compressive and flexural strength of fiber-reinforced foamed concrete: Effect of fiber content, curing conditions and dry density. *Construction and building materials*, 198, 479-493.
- Ganesan, S., Othuman Mydin, MA., Mohd Yunos, MY. & Mohd Nawi, MN. (2015). Thermal properties of foamed concrete with various densities and additives at ambient temperature. *Applied Mechanics and Materials*, 747, 230-233.
- Gedik, G., Avinç, OO. & Yavaş, A. (2010). Kenevir lifinin özellikleri ve tekstil endüstrisinde kullanımıyla sağladığı avantajlar. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(3), 39-48.
- Gencil, O., Bayraktar, OY., Kaplan, G., Benli, A., Martinez-Barrera, G., Brostow, W., Tek, M. & Bodur, B. (2021). Characteristics of hemp fibre reinforced foam concretes with fly ash and Taguchi optimization. *Construction and Building Materials*, 294, 123607.
- Gencil, O., Bilir, T., Bademler, Z. & Ozbakkaloglu, T. (2022). A detailed review on foam concrete composites: Ingredients, properties, and microstructure. *Applied Sciences*, 12(11), 5752.

- Gencel, O., Nodehi, M., Bayraktar, OY., Kaplan, G., Benli, A., Gholampour, A. & Ozbakkaloglu, T. (2022). Basalt fiber-reinforced foam concrete containing silica fume: An experimental study. *Construction and Building Materials*, 326, 126861.
- Güçlüer, K. (2016). Zeolit ve metakaolinin gazbeton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(2), 338-343.
- Gülen, J., Zorbay, F. & Arslan, S. (2012). Zeolitler ve kullanım alanları. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2(1), 63-68.
- Güngör, E. (2013). Karma lifli betonların özelliklerinin deneysel irdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir.
- Huang, W., Chen, X., Feng, L., Ji, T., Ning, Y. & Wang, J. (2023). Experimental investigation of mechanical behavior and microstructural properties in roadbed foam concrete at different densities and correlation analysis. *Case Studies in Construction Materials*, 19, e02565.
- Kapkaç, F. (2007). Çimento çeşitleri, özellikleri, hammaddeleri ve üretim aşamaları. *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, 223-232.
- Karahan, O. (2006). Liflerle güçlendirilmiş uçucu küllü betonların özellikleri. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- Karşın, N. (2022). Kenevirin yapı malzemesi olarak beton üzerindeki etkilerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Van.
- Karthikeyan, A. & K. Balamurugan. (2012). Effect of alkali treatment and fiber length on impact behavior of coir fiber reinforced epoxy composites. *Journal of Scientific & Industrial*, 71(9), 627-631.
- Kaya, S. & Öner, E. (2020). Kenevir liflerinin eldesi, karakteristik özellikleri ve tekstil endüstrisindeki uygulamaları. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 108-123.
- Kaynak, B. (2022). Kenevir bitkisi atıklarının ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Kılıç, Y. (2013). Kalsine kırmızı çamurun puzolanik aktivite ve betonun renklendirme, mineraloji ve fiziksel özelliklerine etkisinin incelenmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Kılınçkale, FM. (1996). Çeşitli puzolanların puzolanik aktivitesi ve bu puzolanlarla üretilen harçların dayanımı. *Teknik Dergi*, 7(33).
- Kızılırmak, C., Aydın, S. & Yardımcı, MY. (2019). Çelik lif kanca geometrisinin yüksek dayanımlı lifli betonların statik ve darbe yükleri altında eğilme

özelliklerine etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(3), 1609-1628.

- Kocakerimoğlu, F. (2019). Köpük beton üretiminde farklı mineral katkıların fiziksel ve mekanik özelliklere etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyonkarahisar.
- Kolak, MN. (2023). Polimer esaslı kenevir, ketencik ve perlit içeren kompozitlerin fiziko-mekanik ve termal özelliklerinin incelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.
- Koru, M. (2017). Köpük betonun yoğunluk ve sıcaklığa bağlı ısı iletkenlik katsayısının ısı akış ölçer yöntemiyle belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 614-622.
- Kozak, M. (2013). Çelik lifli betonlar ve kullanım alanlarının araştırılması. *Teknik Bilimler Dergisi*, 3(1), 26-35.
- Kurt, G. (2006). Lif içeriği ve su/çimento oranının fibrobetonun mekanik davranışına etkileri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Le Troëdec, M., Dalmay, P., Patapy, C., Peyratout, C., Smith, A. & Chotard, T. (2011). Mechanical properties of hemp-lime reinforced mortars: Influence of the chemical treatment of fibers. *Journal of Composite Materials*, 45(22), 2347-2357.
- Le Troedec, M., Rachini, A., Peyratout, C., Rossignol, S., Max, E., Kaftan, O., Fery, A. & Smith, A. (2011). Influence of chemical treatments on adhesion properties of hemp fibres. *Journal of colloid and interface science*, 356(1), 303-310.
- Liu, W., Misra, M., Askeland, P., Drzal, LT. & Mohanty, AK. (2005). 'Green' composites from soy based plastic and pineapple leaf fiber: fabrication and properties evaluation. *Polymer*, 46(8), 2710-2721.
- Mohamad, A., Khadraoui, F., Sebaibi, N., Boutouil, M. & Chateigner, D. (2022). Water sensitivity of hemp-foam concrete. *Construction Technologies and Architecture*, 1, 135-145.
- Mwaikambo, LY. & Ansell, MP. (2006). Mechanical properties of alkali treated plant fibres and their potential as reinforcement materials. I. hemp fibres. *Journal of materials science*, 41, 2483-2496.
- Mydin, MAO. (2016). Assessment of thermal conductivity, thermal diffusivity and specific heat capacity of lightweight aggregate foamed concrete. *Jurnal teknologi*, 78(5), 477-482.
- Mydin, MAO., Majeed, SS., Omar, R., Awoyera, PO. & Najm, HM. (2023). Sustainable lightweight foamed concrete using hemp fibre for mechanical properties improvement. *Journal of Advanced Research in Applied Mechanics*, 101(1), 19-35.



- Mydin, MAO., Nawi, MNM., Odeh, RA. & Salameh, AA. (2022). Durability properties of lightweight foamed concrete reinforced with lignocellulosic fibers. *Materials*, 15(12), 4259.
- Onay, A., Bozhan, N. & Kılınc, FM. (2020). Kenevir lifinin özellikleri ve tekstil sanayisinde kullanımı. Kenevir lifinin özellikleri ve tekstil sanayisinde kullanımı: Kenevir (*Cannabis sativa* L.), Editörler: Onay, A., Yıldırım, H., Ekinci, R., Ankara, 301-319.
- Özcan, U. & Güngör, S. (2019). Sürdürülebilir bir yöntem/betonda puzolan kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 176-182.
- Özer, B. (2000). Doğal puzolanlar ile üretilen betonlarda kür etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Özinan, İE. (2010). Silex ve tras katkılı harç ve beton karışımlarının mekanik ve fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Professional Issues in Engineering Education and Practice, 127: 109-115.
- Raj, B., Sathyan, D., Madhavan, MK. & Raj, A. (2020). Mechanical and durability properties of hybrid fiber reinforced foam concrete. *Construction and Building Materials*, 245, 118373.
- Şahin, M. (2022). Endüstriyel kenevir sapı atığının farklı bağlayıcılar ile kenevir betonu üretiminde değerlendirilmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10(1), 233-243.
- Sarı, M. (2013). Farklı tipteki liflerin betonun mekanik davranışına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Sattar, AA., Mydin, MAO. & Omar, R. (2023). The influence of pulverized fuel ash (pfa) on the thermal and transport properties of foamed concrete. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 108(2), 17-30.
- Sevim, UK. & Okumuş, N. (2011). Zeolit ve silika dumanı katkılı betonların mekanik ve geçirimsizlik özellikleri. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(2), 57-63.
- Şengül, Ö., Taşdemir, MA. & Gjörv, OE. (2011). Puzolanik malzemelerin betonun mekanik özellikleri ve klor iyonu yayılımına etkisi. *İtüdergisi/d*, 6(1), 53-64.
- Şenol, AF. (2022). Beton teknolojisinde lif türleri ve lif takviyeli betonların özellikleri: Mühendislik bilimlerinde güncel tartışmalar, Bideci, ÖS., İzmir, 7-22.
- Serin, S., Macit, ME., Çinar, EC. & Çelik, S. (2018). Doğal kenevir lifi kullanımının asfalt beton karışımlara etkisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(4), 732-744.
- Sertkaya, S., Erdoğan, H., Özalp, F. & Akçay, B. (2018). Çelik ve yüksek yoğunluklu polietilen makro lif takviyeli betonların kırılma davranışları. *Hazır Beton Dergisi*, 146, 75-79.

- Shah, I., Jing, L., Fei, ZM., Yuan, YS., Farooq, MU. & Kanjana, N. (2022). A review on chemical modification by using sodium hydroxide (NaOH) to investigate the mechanical properties of sisal, coir and hemp fiber reinforced concrete composites. *Journal of Natural Fibers*, 19(13), 5133-5151.
- Song, PS., Hwang, S. & Sheu, BC. (2005). Strength properties of nylon-and polypropylene-fiber-reinforced concretes. *Cement and Concrete Research*, 35(8), 1546-1550.
- Suhaili, SS., Mydin, MAO. & Awang, H. (2021). Influence of mesocarp fibre inclusion on thermal properties of foamed concrete. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 87(1), 1-11.
- Tek, M. (2022). Doğal lif ve uçucu kül kullanılarak üretilen köpük betonların mekanik ve bazı durabilite özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kastamonu.
- TS 25. (2008). Doğal puzolan (tras)- Çimento ve betonda kullanılan- Tarifler, gerekler ve uygunluk kriterleri. Türk Standardları Enstitüsü (TSE), Ankara.
- TS 802. (2009) “Beton karışımı hesap esasları”, Türk Standardları Enstitüsü (TSE), Ankara.
- TS EN 1008. (2003). Beton-karma suyu-numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları. Türk Standardları Enstitüsü (TSE), Ankara.
- TS EN 1015-3. (2000). Kâğır harcı- Deney metotları- Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayılma tablası ile). Türk Standardları Enstitüsü (TSE), Ankara.
- TS EN 12350-2. (2010). Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi. Türk Standardları Enstitüsü (TSE), Ankara.
- TS EN 12390-3. (2019). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini. Türk Standardları Enstitüsü (TSE), Ankara.
- TS EN 12390-5. (2019). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini. Türk Standardları Enstitüsü (TSE), Ankara.
- TS EN 13655. (2015). Kâğır birimler - Özellikler - Köpükbeton kâğır birimler. Türk Standardları Enstitüsü (TSE), Ankara.
- TS EN 196-1. (2009). Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini. Türk Standardları Enstitüsü (TSE), Ankara.
- TS EN 772-4. (2000). Kâğır birimler- Deney metotları- Bölüm 4: Tabii taş kâğır birimlerin toplam ve görünen porozitesi ile boşluksuz ve boşluklu birim hacim kütlelerinin tayini. Türk Standardları Enstitüsü (TSE), Ankara.
- Turanlı, L., Yücel, H., Güncüoğlu, CM., Çulfaz, A. & Uzal, B. (2007). Doğal zeolitlerin inşaat endüstrisinde kullanımı. TÜBİTAK MAG 104M393 nolu Proje Kesin Raporu, Ankara.

- Türkmenoğlu, ZF. & Varol, O. (2014). Lifli beton türleri ve kullanım alanları. In *International Mediterranean Science and Engineering Congress Center*, 3792-3795.
- Ünal, O., Uygunoğlu, T. & Gencel, O. (2011). Çelik liflerin beton basınç ve eğilme özelliklerine etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(1), 23-30.
- Valadez-Gonzalez, A., Cervantes-Uc, JM., Olayo, RJIP. & Herrera-Franco, PJ. (1999). Effect of fiber surface treatment on the fiber–matrix bond strength of natural fiber reinforced composites. *Composites Part B: Engineering*, 30(3), 309-320.
- Yamak, RA. (2021). Analsim ve klinoptilolit katkı çimentolar içeren hafif harç plakaların ısı performanslarının belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı, Ordu.
- Yazıcıoğlu, ÖF. (2016). Çimento ve beton endüstrisinin sürdürülebilir üretimlerinde doğal zeolit (analsim)'in puzolanik katkı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu.
- Yıldırım, SF. (2007). Puzolanik zeolitin çimentoda katkı uygunluğunun araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Hatay.
- Yılmaz, A. (2020). Kenevir fiber katkıli biyokompozit malzeme geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yılmaz, K., Canpolat, F. & Arman, H. (2004). “Taban Külü ve Doğal Zeolitin Puzolanik Çimentoda Katkı Olarak Kullanımı”, Beton Kongresi, 716- 725, İstanbul.
- Yılmaz, M., Gökhanoglu, H., Alparslan, G. & Özgan, MY. (2021). Köpük beton hakkında inceleme. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 4(1), 16-21.
- Zhou, X., Saini, H. & Kastiukas, G. (2017). Engineering properties of treated natural hemp fiber-reinforced concrete. *Frontiers in built environment*, 3, 33.

## ÖZGEÇMİŞ

<b>Kişisel Bilgiler</b>	
Adı Soyadı	Didem Betül KAYA
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	
Uyruğu	T.C
Telefon	
E-Posta Adresi	
<b>Eğitim Bilgileri</b>	
<b>Lisans</b>	
Üniversite	Sakarya Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	İnşaat Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	19.06.2019