



**T. C.**

**ORDU ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ZEOLİT KATKILI (KLİNOPTİLOLİT VE ANALSİM)  
ÇİMENTOLAR İÇEREN LİF TAKVİYELİ HARÇLARIN  
ÖZELLİKLERİ**

**EMİNE DİLARA OKTAY**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI**

**ORDU 2022**

## 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 içerdiği 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.

**Emine Dilara OKTAY**

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

### ZEOLİT KATKILI (KLİNOPTİLOLİT VE ANALSİM) ÇİMENTOLAR İÇEREN LİF TAKVİYELİ HARÇLARIN ÖZELLİKLERİ

EMİNE DİLARA OKTAY

ORDU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ, 50 SAYFA

(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ YASEMİN AKGÜN)

Beton, çekme dayanımı ve birim şekildeğiştirme kabiliyeti düşüklüğü yüzünden gevrek bir yapı malzemesidir. Betonun bu özelliklerine ihtiyaç duyulan imalatlarda, beton bileşimine farklı malzemelerden üretilmiş ve teknik yeterlilikleri olan liflerin ilavesi ile betonun zaafiyetlerinin iyileştirilmesi çalışmaları yapılmaktadır. Diğer taraftan, enerji tasarrufu, çevre bilinci ve ürün performans iyileştirme gerekçeleriyle çimento ve beton üretimlerinde çeşitli mineral katkı kullanımları da giderek yaygınlaşmaktadır.

Bu çalışmada iki farklı zeolit tipi olan analsim ve klinoptilolit katkı çimentolar ve polipropilen esaslı makrosentetik lif ilavesi kullanılarak elde edilen harç numunelerinin özellikleri üzerinde incelemeler yapılmıştır. Deney serilerinden elde edilen sonuçlar, birbirleri ile ve kendi aralarında karşılaştırılmıştır.

Deney serilerindeki numunelerin su/çimento oranı 0.50, çimento dozajı  $450 \text{ kg/m}^3$  olarak sabittir. Zeolitler çimento ile ağırlıkça %0, %10, %15 ve %20 oranlarında yer değiştirilmiştir. 40 mm uzunluğundaki polipropilen lif ise  $1 \text{ m}^3$  karışıma 2-4 kg miktarında ilave edilmiştir. Harç numuneler üzerinde puzolanik aktivite, kıvam, birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme, kılcal (kapiler) su emme, ultra ses geçiş hızı, eğilmede çekme ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kılcal su emme deneyleri numunelerin dayanıklılık özellikleri üzerinde ön bilgi oluşturmak için yapılmıştır.

Enerji, çevre ve performans iyileştirme odaklı yaklaşım ile zeolit-lif katkı kullanılan bu çalışmadan elde edilen bulgulara göre; zeolit ve polipropilen lif katkının birlikte kullanıldığı harç numunelerinin dayanım, dayanıklılık özellikleri üzerinde olumlu yönde etkileri belirlenmiştir. Özetle; her iki zeolit türünün de %15 yer değiştirme oranına kadar lif takviyeli numunelerde mineral katkı olarak kullanılabilceği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Zeolit, Analsim, Klinoptilolit, Polipropilen Lif, Katkılı Çimento, Harç

## ABSTRACT

### PROPERTIES OF FIBER REINFORCED MORTARS CONTAINING ZEOLITE BLENDED CEMENT

EMİNE DİLARA OKTAY

ORDU UNIVERSITY INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

RENEWABLE ENERGY

(SUPERVISOR: Ass.Pof. Yasemin AKGÜN)

Concrete is a brittle building material due to its low tensile strength and low deformation ability. In the productions where these properties of concrete are needed, studies are carried out to improve the weaknesses of the concrete by adding fibers produced from different materials and having technical qualifications to the concrete composition. On the other hand, the use of various mineral additives in cement and concrete production is becoming increasingly common due to energy saving, environmental awareness and product performance improvement reasons.

In this study, investigations were made on the properties of mortar samples obtained by using two different zeolite types, analcime and clinoptilolite added cements and polypropylene based macrosynthetic fiber additive. The results obtained from the test series were compared with each other and among themselves.

The water/cement ratio of the samples in the test series is 0.50 and the cement dosage is fixed as 450 kg/m<sup>3</sup>. Zeolites have been replaced by cement at the rates of 0%, 10%, 15% and 20% by weight. 40 mm long polypropylene fiber was added to the 1m<sup>3</sup> mixture in the amount of 2-4 kg. Pozzolanic activity, consistency, density, water absorption by weight, capillary water absorption, ultrasound pulse velocity, flexural and compressive strength tests were carried out on the mortar samples. Capillary water absorption tests were carried out to provide preliminary information on the durability properties of the samples.

According to the findings obtained from this study, in which zeolite-fiber additives were used with an energy, environment and performance improvement focused approach; positive effects on the strength and durability properties of mortar samples, in which zeolite and polypropylene fiber additives were used together, were determined. In summary; It has been determined that both zeolite types could be used as mineral additives in fiber reinforced samples up to 15% replacement.

**Keywords:** Zeolite, Analcime, Clinoptilolite, Polypropylene fiber, Blended cement, Mortar

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimi çalışırken başından sonuna kadar tüm desteğiyle yanımda olan, yön gösteren ve sabrını elden bırakmayan hocam Dr. Öğr. Üyesi Yasemin AKGÜN'e teşekkür ederim.

Tüm yaşamım boyunca hep yanımda olan, bilgilerini ve deneyimlerini benimle paylaşan ve teşvik eden çok kıymetli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>TEZ BİLDİRİMİ</b> .....	I
<b>ÖZET</b> .....	II
<b>ABSTRACT</b> .....	III
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	IV
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	V
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	VII
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	VIII
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....	IX
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. GENEL BİLGİLER</b> .....	3
2.1 Puzolanlar.....	3
2.2 Puzolanların Sınıflandırılması.....	4
2.2.1 Doğal Puzolanlar.....	4
2.2.1.1 Volkanik Camlar, Volkanik Tüfler ve Tras.....	4
2.2.1.2 Isıl İşlem Görmüş Killer Ve Şeyller.....	5
2.2.1.3 Diatomitler.....	5
2.2.2 Yapay Puzolanlar.....	5
2.2.2.1 Uçucu Kül.....	5
2.2.2.2 Yüksek Fırın Cürufu.....	6
2.2.2.3 Silis Dumanı.....	6
2.2.2.4 Pirinç Kabuğu Külü.....	7
2.3 Puzolanik Aktivite.....	7
2.4 Zeolit.....	8
2.4.1 Zeolitlerin Kullanım Alanları.....	9
2.4.1.1 Kirlilik Kontrolü.....	10
2.4.1.2 Enerji.....	10
2.4.1.3 Tarım Ve Hayvancılık.....	10
2.4.1.4 Madencilik Ve Metalurji.....	10
2.4.1.5 Diğer Kullanım Alanları.....	10
2.5 Polipropilen Lifler.....	10
<b>3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR</b> .....	12
<b>4. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	16
4.1 Materyal.....	16
4.1.1 Portland Çimentosu.....	16
4.1.2 Doğal Zeolitler.....	16
4.1.3 Cen Kumu.....	17
4.1.4 Lif.....	18
4.1.5 Karışım Suyu.....	19
4.1.6 Süper Akışkanlaştırıcı.....	19
4.2 Yöntem.....	21
4.2.1 Portland Çimentosu Ve Doğal Zeolitlerin Karakterizasyonu.....	23
4.2.2 Zeolitlerin Puzolanik Aktivite Deneyleri.....	23
4.2.3 Katkılı Çimentoların Karakterizasyonu.....	24

4.2.4 Birim Hacim Ağırlık Deneyleri .....	24
4.2.5 Su Emme Deneyleri .....	25
4.2.6 Kılcal Su Emme Deneyleri.....	26
4.2.7 Ultrasonik Ses Geçiş Hızı Deneyleri.....	27
4.2.8 Eğilmede Çekme Basınç Dayanımı Deneyleri.....	27
<b>5. BULGULAR ve TARTIŞMA</b> .....	29
5.1 Zeolitlerin Puzolanik Aktiviteleri .....	29
5.2 Harç Numunelerin Birim Hacim Ağırlıkları Ve Su Emme Oranları .....	29
5.3 Harç Numunelerin Kılcal Su Emme Değerleri .....	32
5.4 Ultrasonik Ses Geçiş Hızı .....	34
5.5 Eğilmede Çekme – Basınç Dayanımları .....	37
<b>6. SONUÇ ve ÖNERİLER</b> .....	43
<b>7. KAYNAKLAR</b> .....	45
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	48

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 Puzolan Çeşitleri.....	7
Şekil 4.1 Harç Numunelerinin Üretiminde Kullanılan CEN Kumu .....	17
Şekil 4.2 Çalışmada Kullanılan Polipropilen Esaslı Makrosentetik Lifler .....	19
Şekil 4.3 Deney Serilerinin Üretiminde Kullanılan Süperakışkanlaştırıcı .....	20
Şekil 4.4 Kalıplara Yerleştirme Anı ve Kalıplara Yerleştirilmiş Numuneler.....	22
Şekil 4.5 Kür Havuzundaki Numunelere Ait Görünüm.....	22
Şekil 4.6 Etiketlendirilmiş Numunelere Ait Görünüm .....	23
Şekil 4.7 Özgül Ağırlık Sehpası .....	25
Şekil 4.8 Numunelerin Kılcal Su Emme Anından Bir Görünüm.....	26
Şekil 4.9 UPV Ölçüm Cihazı İle Yapılan Deney Anından Görünüm .....	27
Şekil 4.10 Eğilme Deneylerinden Görünüm.....	28
Şekil 4.11 Basınç Deneylerinden Görünüm.....	28
Şekil 5.1 Lif ve Mineral Katkı Oranlarına Göre Harç Numunelerin DKY Birim Hacim Ağırlıkları .....	30
Şekil 5.2 Lif ve Mineral Katkı Oranlarına Göre Harç Numunelerin Kuru Birim Hacim Ağırlıkları .....	31
Şekil 5.3 Lif ve Mineral Katkı Oranlarına Göre Harç Numunelerin Su Emme Oranları .....	31
Şekil 5.4 Lif ve Mineral Katkı Oranlarına Göre Harç Numunelerin Kılcallık Katsayıları .....	33
Şekil 5.5 Lif ve Mineral Katkı Oranlarına Göre Harç Numunelerin DKY Hallerine Göre UPV Değerleri.....	35
Şekil 5.6 Lif ve Mineral Katkı Oranlarına Göre Harç Numunelerin Kuru Hallerine Göre UPV Değerleri.....	36
Şekil 5.7 Lif ve Mineral Katkı Oranlarına Göre Harç Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanımları.....	38
Şekil 5.8 Lif ve Mineral Katkı Oranlarına Göre Harç Numunelerin Basınç Dayanımları.....	38
Şekil 5.9 Eğilmede Çekme-Basınç Deneylerinde Kırılmış Numunelere Ait Görünüm .....	39
Şekil 5.10 Eğilmede Çekme-Basınç Deneylerinde Kırılmış Numunelere Ait Görünüm .....	40



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 2.1 Puzolanların Sınıflandırılması.....	4
Çizelge 4.1 Portland Çimentosunun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	16
Çizelge 4.2 Portland Çimentosu ve Doğal Zeolitlerin Fiziksel Özellikleri.....	16
Çizelge 4.3 Doğal Zeolit Klinoptilolit ve Analsim' in Kimyasal Özellikleri.....	17
Çizelge 4.4 CEN Standart Kumu Tane Boyut Dağılımı.....	18
Çizelge 4.5 Polipropilen Esaslı Makrosentetik Lif Teknik Özellikleri.....	18
Çizelge 4.6 Çalışmada Kullanılan Harç Numunelerinin Bileşimlerindeki Bileşen Miktarları.....	21
Çizelge 4.7 Çalışmada Kullanılan Deney Serileri Etiketleri.....	22
Çizelge 4.8 Deneylerde Kullanılan Malzeme Miktarları.....	24
Çizelge 4.9 Portland Çimentosu ve Doğal Zeolitlerin Fiziksel Özellikleri.....	24
Çizelge 5.1 Zeolitlerin Puzolanik Aktivite Değerleri.....	29
Çizelge 5.2 Lif Ve Mineral Katkı Oranlarına Göre Harç Numunelerin DKY Ve Kuru Birim Hacim Ağırlıkları İle Su Emme Oranları.....	29
Çizelge 5.3 Harç Numunelerin Kılcal Su Emme Değerleri.....	32
Çizelge 5.4 Lif Ve Mineral Katkı Oranlarına Göre Harç Numunelerin DKY Ve Kuru Hallerine Göre UPV Değerleri.....	34
Çizelge 5.5 Lif Ve Mineral Katkı Oranlarına Göre Harç Numunelerin Eğilmede Çekme Ve Basınç Dayanımları.....	37

## SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

---

<b>A</b>	: Numunenin Su İle Temas Eden Yüzey Alanı
<b>ASTM</b>	: American Society of Testing Materials
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	: Alüminyum Oksit
<b>Ca(OH)<sub>2</sub></b>	: Kalsiyum Hidroksit
<b>CEN</b>	: The European Committee for Standardization
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Karbondioksit
<b>µm</b>	: Mikrometre
<b>DKY</b>	: Doygun Kuru Yüzey
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	: Demir Oksit
<b>MgO</b>	: Magnezyum Oksit
<b>k</b>	: Kılcallık Katsayısı
<b>PC</b>	: Portland Çimentosu
<b>PP</b>	: Polipropilen
<b>SiO<sub>2</sub></b>	: Silisyum Dioksit
<b>SO<sub>3</sub></b>	: Sodyum Silikat
<b>TS</b>	: Türk Standartları
<b>t</b>	: Deney Başlangıcından Son Okumaya Kadar Geçen Süre
<b>UPV</b>	: Ultrasonik Geçiş Hızı
<b>W<sub>k</sub></b>	: Numunenin Kuru Ağırlığı
<b>W<sub>d</sub></b>	: Numunenin Suya Doygun Ağırlığı
<b>YFC</b>	: Yüksek Fırın Cürufu
<b>ΔQ:</b>	: Numunenin Ağırlık Değişimi
<b>pH</b>	: Power of Hydrogen

---

## 1.GİRİŞ

Dünyadaki artan nüfus ile birlikte, enerjiye olan ihtiyaç ve enerji tasarrufu giderek daha yaygın bir şekilde üzerinde odaklanılan bir konu haline gelmiştir. Özellikle kalkınmakta olan ülkeler, enerji dış alımlarını mümkün olduğunca azaltıp, yerel ve doğal kaynak kullanımına yönelerek, dünya enerji tüketim kısıtlama politikalarını yoğun enerji kullanımlı iş kollarından başlayarak çok yönlü olarak desteklemektedirler.

Tüm dünyada etkin bir rol oynayan inşaat çalışma alanında çimento kullanım yoğunluğu tartışılmaz bir husustur. Ancak, çimentonun üretim işlemleri gereği çevreci ve ekonomik olmadığı bilinmektedir. Buna göre, çimentonun çevreci olmayışı ve pahalı üretimi nedeniyle alternatif katkı malzemelerini araştırma gereği ortaya çıkmaktadır. Kyoto Protokolü ve benzer anlaşmalar sonucunda sera gazı salınımına getirilen sınırlamalar, birçok alanda olduğu gibi dünya CO<sub>2</sub> salınımının %5-7' sini elinde bulunduran ve yoğun enerji tüketimli çimento endüstrisini de etkilemektedir. Bu anlaşmalar gereğince üye ülkelerin çimento üreticileri; üretim teknolojisini yenilemenin yanı sıra CO<sub>2</sub> salınımı olmayan, maliyeti azaltan ve ayrıca teknolojik üstünlükler sağlayan doğal puzolanları kullanmayı hedeflemektedir.

Doğal puzolanlardan olan zeolitler, alkali ve toprak alkali, kristal yapıya sahip sulu alüminyum silikatlar olarak tanımlanmaktadırlar. Zeolitler sahip oldukları olumlu özellikler yönünden çok çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Bu nedenele zeolitler son yıllarda oldukça popüler olan bir ham maddelerdir. Aynı zamanda; puzolan özellikli zeolitlerle yapılan önceki çalışmalarda; zeolitle hazırlanan çimento hamuru örneklerinin gözenekliliğinin zaman içinde azaldığı, zeolitinin diğer tüm olumlu fiziksel ve mekanik özelliklerine ilave olarak, beton dayanıklılığını da artırdığı görülmüştür (Gerengi ve ark., 2015).

Diğer taraftan, harç ve betonların performanslarını artırmak amacı ile mineral katkı kullanımının yanı sıra cam, çelik ve polimer bazlı liflerin kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır. Ancak cam liflerin özellikle alkali ortamlarda durabilite açısından sorun oluşturması nedeniyle günümüzde beton içerisine çelik ve polimer esaslı liflerin ilavesi daha uygun görülmektedir (Topçu ve ark., 2017). Harç ve betonların çekmede zayıf

yönlerinin giderilmesi amacı ile lif takviyesi uygulamaları yoğun bir şekilde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada iki farklı zeolit tipi olan analsim ve klinoptilolit katkılı çimentolar ve polipropilen esaslı makrosentetik lif ilavesi kullanılarak elde edilen harç numunelerinin özelliklerinin ne yönde etkileneceği üzerinde incelemeler yapılmıştır. Deney serilerinden elde edilen sonuçlar, birbirleri ile ve kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Deney serilerindeki numunelerin su/çimento oranı 0.50, çimento dozajı  $450 \text{ kg/m}^3$  olarak sabittir. Zeolitler çimento ile ağırlıkça %0, %10, %15 ve %20 oranlarında yer değiştirilmiştir. Polipropilen lifler ise  $1 \text{ m}^3$  karışıma 2-4 kg miktarında ilave edilmiştir. Harç numuneler üzerinde puzolanik aktivite, kıvam, birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme, kılcal (kapiler) su emme, ultra ses geçiş hızı, eğilmede çekme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Kılcal su emme deneyleri numunelerin dayanıklılık özellikleri üzerinde ön bilgi oluşturmak için gerçekleştirilmiştir.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1 Puzolanlar

Puzolanlar ince hale gelene kadar öğütüldüğünde bağlayıcılık özelliği kazanan silisli veya silisli ve alüminli madde olarak tanımlanmaktadır. (Kosmatka ve ark., 1995). Puzolan denilen maddeler, genel olarak doğal ve yapay puzolan olarak iki ana gruba ayrılmaktadırlar. Doğal puzolanlar, volkanik kökenli denilen kayalardan oluşmaktadır.

Çimento ile doğrudan karıştırılabilen puzolanlar, katkılı çimento üretimlerinde de kullanılabilir. Puzolanların fiziksel, kimyasal ve mineralojik bileşimleri onların puzolanik aktivite etkinliklerini değiştirebilen faktörlerdir. Örneğin, yüksek puzolanik etkinliğe sahip puzolanların camsı faz ( $\geq\%80$ ) içeriği yüksek, kil minerali içeriği düşüktür (Alp ve ark., 2003).

Yapıların yaşam ömrünü arttırmak için kullanılan sönmüş kireç ve puzolanlar malzeme olarak tercih edilen bir ürün olmuştur. Hidratasyon ısısının düşük olması, geçirimsizlik ve yüksek dayanım sağlayabilmesi, alkali-silika tepkimesini azaltabilmesi gibi olumlu yönde olan davranışları nedeniyle harç ve beton bileşimlerinde kullanılmaktadır. Puzolanlar, beton yapıların yaşam dönemi maliyetine (life cycle cost), durabilitesine, çevresel etki, enerji korunumu gibi konulara sağladıkları katkılar ile de önem taşımaktadır (Bulut, 2007).

Puzolan adını, Roma' da Napoli kenti yakınlarında bulunan Puzzuoli kasabasından aldığı düşünülmektedir. Almanlar puzolanla aynı anlama gelen tras sözcüğünü kullanmışlardır. Bu kullanım ülkemizde de yaygın bir terim haline gelmiştir (Akman, 1990). Yunanistan ise puzolanı "Santorin toprağı" olarak adlandırmaktadır. Ülkemizde puzolan kaynaklarının yoğun olduğu yerler İç Anadolu, İç Ege, Marmara, Karadeniz ve Akdeniz bölgeleri olsa bile neredeyse her bölgede potansiyel puzolan yatakları yer almaktadır. Yüz ölçüm olarak değerlendirildiğinde ise ülkemiz, yüz ölçümünün beşte biri kadar yer kaplayan oldukça zengin puzolan rezervine sahiptir (Okucu, 1998).

Portland Çimentosunun 19. yy sonlarına doğru keşfedilmesiyle puzolanik çimentonun tercih edilmesinde azalmalar yaşanmıştır. Türkiye' de, 1950 yılından sonra Portland çimentosu ile puzolanik katkı maddelerinin kullanımı ile elde edilen katkılı çimentolar kullanılmaya başlamıştır (Okucu, 1998).

## 2.2. Puzolanların Sınıflandırılması

Puzolanları doğal ve yapay olarak ikiye ayırmak mümkündür. Kaynağı volkanik tortul kayalardan oluşan ve içerik olarak çok fazla değişikliğe uğramamış olanlar doğal puzolan sınıflandırılmasına girer. Bazı maddeler puzolan katkılı gibi su ile birleştiğinde tek başlarına sertleşmezler fakat, öğütülerek incelendiğinde suyun varlığı ile normal çevre sıcaklığında çözülmüş kalsiyum hidroksitle ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), dayanımı artıran kalsiyum silikat ve kalsiyum alüminat bileşikleri oluşturmak üzere tepkimeye girerler. Hidrolik maddeler katılma sürecince oluşan bileşenlerle benzer özellikler gösterir. Puzolanlar temelde reaktif silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) ve alüminyum oksit ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )'den oluşmuştur. Geri kalan kısım demir oksit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ve diğer oksitleri kapsar. Reaktif kalsiyum oksit oranı sertleşme olması için yok sayılabilir. Reaktif silisyum dioksit oranı kütlece %25' den az olmamalıdır (Gündeşli, 2008). Puzolanların sınıflandırılması Çizelge 2.1' de verilmektedir.

**Çizelge 2.1** Puzolanların Sınıflandırılması (Ün, 2007)

<b>Doğal Puzolanlar</b>	<b>Yapay Puzolanlar</b>
Volkanik Küller	Uçucu Küller
Volkanik Camlar	Silis Dumanı
Volkanik Tüfler	Yüksek Fırın Cürufu
Killer Ve Şeyller	Pirinç Kabuğu Külü
Ditomik Topraklar	

### 2.2.1 Doğal Puzolanlar

Doğadaki haliyle bulunan, ön bir işlem yapılarak veya öğütülmeye kullanılan puzolanlardır. Tras, tüf, volkanik küller doğal puzolan sınıfı içerisinde yer almaktadır. TS EN 197' de P harfi ile simgeleştirilmiştir. Ülkemizde İç Anadolu bölgesinin Orta Kızılırmak bölümünde bulunmaktadır.

Volkanik patlamalar sırasında parçacıklar havaya fırlatılır ve zamanla bir yatak oluşmasına sebep olur; hızlı soğumaya istinaden volkanik cam olarak katılır ve yeryüzüne çıktığında basıncın azalmasıyla serbest gazların kalmasına sebep olur. Kabarcıklı ve boşluk oranı olan bir yapı meydana gelir.

### **2.2.1.1 Volkanik Camlar, Volkanik Tüfler ve Tras**

Bu sınıflandırma içerisinde ki doğal puzolanlar, erimiş halde ki magmanın püskürmesinden oluşan malzemelerdir. Bu püskürme şiddetiyle puzolanik aktivitesi yüksek volkanik camların, püskürme şiddeti daha az olanda ise volkanik küllerin oluştuğu bilinmektedir (Ün,2007)

### **2.2.1.2 Isıl İşlem Görmüş Killer ve Şeyller**

Killer ve şeyller puzolanik özellik göstermezler ancak ısıya maruz kaldıklarında bu özelliği kazanabilirler. 700°C – 900°C arasında bir sıcaklıkta döner fırınlarda yaklaşık 1 saat ve 2 saat arası ısı işleme maruz kaldığı bilinmektedir. Bu şekilde kristal yapıları bozulan kil minarellerinin puzolanik özelliği artmaktadır (Ün,2007).

### **2.2.1.3 Diatomitler**

Bir bitki kalıntısı olan Diatom toprak sınıfında bulunduğundan diatomlu topraklar olarak literatüre geçtiğini bilmekteyiz. Organik kalıntıların silis içermesinden ötürü puzolanik etkileşimleri de amorf olan silis oranına göre çeşitlilik gösterir. Kil oranı yükseldikçe puzolanik aktivitenin azaldığını da bilmekteyiz. Isıl işlemin 760°C - 1000°C arasında uygulanması bu aktivitenin artmasını sağlar.

### **2.2.2 Yapay Puzolanlar**

Endüstride üretim esnasında yan ürün ortaya çıkmaktadır, çıkan ürünlerden oluşan puzolanik özellik gösteren malzemelerdir. Uçucu kül, granüle yüksek fırın curufu ve silis dumanı en çok kullanılanlar arasında oldukları bilinirken pirinç kabuğu külü de, özellikle Çin, Hindistan, Pakistan gibi bazı Asya ülkelerinde yaygın kullanımı olan bir başka yapay puzolandır (Erdoğan ve Erdoğan,2007).

#### **2.2.2.1 Uçucu Kül**

Yakıt olarak kullanılan pulverize kömür elektrik üretiminde enerji sağlamak amacıyla çoğu termik santralde kullanılmaktadır. Bundan dolayı farklı özelliklerde küller ortaya çıkmaktadır. Pulverize kömürün yanmasıyla ortaya çıkan küllerin bir kısmı ocak tabanında birikirken yaklaşık %75 - 80' i gazlarla birlikte bacadan dışarıya sürüklenmektedir. Bu küllere “uçucu kül” ya da “pulverize yakıt külü” denilmektedir (Erdoğan, 2004). Ülkemizde Soma, Tunçbilek, Afşin-Elbistan, Seyitömer, Çatalağzı

Yeniköy, Kemerköy, Çayırhan termik santrallerinde 15 milyon ton uçucu kül elde edildiğini biliyoruz (Karahana, 2006).

### **2.2.2.2 Yüksek Fırın Cürufu**

Yüksek fırın cürufu (YFC) hafifliğinin az olmasından dolayı ham demirin üstünde yer alır ve atık malzeme olarak elde edilir. Demir filiz gangi, kok ve kireç taşının yanma sonrası atıkları YFC' yi meydana getirirler (Tokyay ve Erdoğan, 2003). Ergimiş cürufun soğutulmasının hızlı olması ile granüle yüksek fırın cürufu elde edilir (Gündeşli, 2008). İlk kez 1892 yılında Portland yüksek fırın cürufu çimentosu, Portland çimento klinkeriyle granüle yüksek fırın cürufu bir araya getirilerek üretilmiştir. Öğütülen yüksek fırın cüruflarının hidrolik bağlayıcı özelliği Emil Langen 1862 senesinde Almanya' da bulunmuştur (Erdoğan, 1995; Tokyay, 2003).

Beton ve çimento üretimlerinde cüruflar çok çeşitli şekilde kullanılmaktadır. Çelik üretiminde kullanılan geleneksel yöntemler ile elde edilen cüruflar, yol için dolgu malzemesi olarak ve betonda kullanıldığı gibi Kristal yapıda oldukları takdirde hiç kullanılmazlar. Çağdaş çelik üretimi yapan tesislerde ise, amorf yapılarından dolayı çimentolu düzeneklerde kullanmak mümkündür. Genel olarak bütün cüruflar arasında en çok kullanılan yüksek fırın cüruflarıdır (Gündeşli, 2008).

### **2.2.2.3 Silis Dumanı**

Bir metal türü olan Silisyum yahut bazı alaşımlara dönüşebilmesi için saflık derecesi fazla olan kuvars elektrik fırınlarında takribi 2000°C ısıda kömürle indirgeme tepkimesine tabi tutulmaktadır. Tepkime sonucunda büyük oranda SiO' dan oluşan gaz meydana gelmektedir. Bu aşamada, fırının soğuk tarafında SiO' in oksijenle hızlı soğuması sonucu, SiO<sub>2</sub> parçacıkları oluşur. Bu oluşan parçacıklar fiber filtrelerinden geçirildikten sonra yoğunlaştırılmış silis dumanı parçacıkları olarak elde edilmektedir (Yeğinoğlu, 2003).

Silis dumanı, ana bileşen olarak 1µm' den küçük, küresel, amorf, camsı silis (SiO<sub>2</sub>) partiküllerinden oluşan, puzolanik aktivitesi yüksek, demir silisyum alaşımlarının veya silisyumun ergime metoduyla elde edilen bir yan üründür (Koca, 1996).

İnce taneli yapısı bulunan Silis dumanının, taze betonun işlenmesi ve kıvamı ile ilgili özellikleri azaltıp su ihtiyacına fazla oranda gereksinim duyduğundan katkı maddesi



olarak kullanılırsa, ilave olarak su azaltıcı katkı maddesi kullanma gereksinimi oluşur (Bulut, 2007).

Yukarıda verilen puzolanlara ilişkin bir görünüm aşağıda verilmektedir (Şekil 2.1)



**Şekil 2.1** Puzolan Çeşitleri

#### **2.2.2.4 Pirinç Kabuğu Külü**

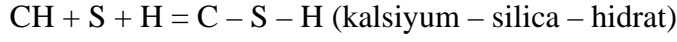
Zirai ürün atığı olan pirinç kabuğu, çelik üretiminin sonunda elde edilmektedir. SiO<sub>2</sub> Kristal ise soğuması yavaş gerçekleşmiştir, amorf olanlar ise hızlı soğumadan kaynaklanmaktadır. Özgül yüzeyi 50 – 60 m<sup>2</sup>/g olarak amorf şekliyle oldukça büyük değerdedir. Bundan ötürü puzolanik aktivitesi yüksektir (Mazlum, 1989).

Dünya üzerinde yaklaşık 1.6 milyar kişinin besin maddesinin yarısını oluşturan pirinç, ekime uygun alanların % 11' inde neredeyse 145 milyon hektar kadar alanda ekilebilmektedir. Bunun sonucunda pirinç üretiminde atık ürün olarak taşkın miktarda pirinç kabuğu ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla, çevre kirlenmesine de yol açmaktadır (Mazlum, 1989).

#### **2.3 Puzolanik Aktivite**

İnce taneli olan puzolanlar söndürülmüş kireç ve suyla yan yana geldiğinde kimyasal tepkimeler gerçekleşmektedir. Puzolanlar yapı itibari ile silis ve alüminde oluşmaktadır. Su, silis ve kalsiyum hidroksit tepkimeleri, Portland çimentosu

hidratasyonunda görülen hidrolik bağlayıcılık özelliğine sahip kalsiyum – silika – hidrat (C – S – H) jellerinin oluşmasına sebep olmaktadır (Erdoğan, 2003).



Yukarıda gösterilen kimyasal tepkime nem olan ortamda, ince olarak öğütülmüş puzolanın silikası ile kalsiyum hidroksit arasındaki denklemin basitçe gösterilmiş halidir.

Puzolanik aktivite, malzemelerin söndürülmüş kireçle ve su ile hangi miktarda tepkimeye girerek bağlayıcılık özelliği kazanması olarak tanımlanmaktadır. “Silis + alümin + demir oksit” miktarı ve amorf yapısı puzolanik malzeme aktivitesini etkileyen faktörlerdir. “Dayanım aktivite indeksi” şeklinde tanımlanarak hesaplaması yapılmıştır. Bu hesaplama şu şekilde ifade edilmiştir (Erdoğan, 2003).

$$\text{Dayanım aktivite indeksi} = (A / B) \times 100$$

A = Puzolanlı harç numunelerinin ortalama basınç dayanımı,

B = Kontrol harç numunelerinin ortalama basınç dayanımı.

ASTM C 311 (1994) ve TS EN 450 - 1 (2005); puzolanlı harç numuneler ve kontrol harç numunelerini teşekkül eden malzemelerin miktarları yapıma şeması bu standartlara göre yapılmaktadır. Beklenen bir değer altında olmaması dayanım aktivite indeksinden beklenen temel bir özelliktir. Bu beklenen değer ASTM C 618 (1994)’e göre en az 75’ tir. TS 25 (1975)’ de bu değer en az 70 olması gerektiği bilinmektedir.

Teorik olarak aktivitesi yüksek olan puzolanlar; SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve alkali miktarı, yüksek camsı faz miktarı, büyük özgül yüzey gibi özellikleri bir arada taşırlar. Aynı zamanda puzolanik aktivite deneyi bir malzemenin puzolanlılığını saptayarak bu özelliği ortaya koyan en önemli faktördür. Mekanik ve kimyasal deneyler olarak ayrılmışlardır. Puzolan-çimento harç numuneleri için eğilme ve basınç dayanımı mekanik deneyler olarak geçmektedir. Ca (OH)<sub>2</sub>’ i belirlemeye yarayan hidratasyon nihayetinde oluşmuş puzolanlı çimento ve su tepkimeleri de kimyasal deneyler olarak geçmektedir.

Puzolan içeren çimento pastalarındaki özgül yüzeyin artış hızını ölçmek ile puzolanik maddeleri bir başka şekilde değerlendirebiliriz. Kalsiyum hidroksit – emme hızlarının farklı olmasına, benzer özgül yüzey artış hızları karşılık gelir (Mazzazza, 1989).

## 2.4. Zeolit

Zeolit, çok yaygın olarak kullanılan tanımında alkali ile toprak alkali kanyonlarını bulunduran “sulu alümino silikatlar” olarak tanımlanır. Hammade olarak oldukça önemli bir yere sahip olan zeolitlerin Kristal yapısı ve kimyasal birleşimleri nedeni ile endüstride geniş kullanım alanlarına sahip hale gelmiştir. 1756 yılında İsveç’ li bir mineralog olan Fredrick Cronstedt tarafından bulunmuştur. Yunanca kaynayan taş anlamı taşıyan zeolitler, ısıtıldığında yapılarındaki suyun köpürmesinden dolayı bu ismi almıştır (Küçükkaya, 2019).

Mikro gözenekli kristalize yapıları sayesinde geniş iç ve dış yüzey alanı oluşturarak kimyasal reaksiyonlara girebilme özelliği taşır ve iyon değiştirme kapasitesine sahiptir. Ana hatlarıyla iki önemli karakteristik özellik zeolitler için, iyon değişimi ve tersine çevrilebilir dehidrasyon kabiliyetidir (Smith, 1963). Elek ve filtre araçları görevini görmesi bu özellikleri sayesinde. Malzeme olarak çeşitli kimyasal özelliklere sahip değiştirilmiş zeolitik malzemeler geniş bir kirlenici aralığını eşzamanlı olarak sıralamak için çok yönlü üstelik eşi benzeri olmayan bir malzeme olarak işlev görebilir (Qiang ve Ark., 2013).

Doğada volkanik kayaların boşluklarında, yok denecek kadar az bulunması araştırmacılar için yapay zeolit üretme fikrinin gelişmesine yol açmıştır. 1948’de Union Carbide Corporation’ un çalışmalarında olumlu sonuçlar alınarak yapay zeolitler üretilmeye başlanmıştır. Yapay üretimde pahalılık sorunu yeniden doğal zeolitlerin araştırılması için bir geri dönüş yaşanmıştır (İleri, 1978).

Günümüze kadar doğada 35 farklı zeolit minerali tespit edilsede bu zeolitlerden yalnızca 7 farklı çeşidi (modernit, klinoptilolit, şabazit, erionit, ferrierit, filipsit ve analsit) yeterli miktarda ve saflıkta bulunabilmektedir. Yaklaşık olarak 150 zeolit türü en önemli arz edilenleri söylersek A, X ve Y olmak üzere sentez edilmiştir. Ayrıca zaman içerisinde Kuzey ve Orta Amerika, Orta ve Güney Afrika, Rusya, Japonya, Kore ve Yeni Zelanda’ da önemli rezervleri bulunmuş doğal zeolit yataklarının, maliyeti yüksek olan yapay zeolitlere oranla, daha ucuz olan bu zeolitlere de yeniden yönelim olmuştur (Mumpton, 1978).

### 2.4.1 Zeolitlerin Kullanım Alanları

Zeolitlerin sahip olduğu temel fiziksel özellikleri ve kimyasal özelliklerinden; iyon değişikliği, moleküler elek yapısı, silis içeriği, adsorbsiyon, bununla birlikte tortul zeolitlerde açık renkli olma, hafif olmaları, küçük kristallerinin gözenekli yapısı zeolitlerin

çok geniş ve çeşitli alanlarda kullanılmalarına neden olmuştur. Son yıllarda endüstri alanında özellikle aranan bir hammadde haline gelen zeolitler; kirlilik kontrolü, hayvancılık, tarım, maden-metalürji enerji gibi ve diğer alanlarda olmak üzere 5 bölümde toplanabilir (DPT, 2001).

#### **2.4.1.1. Kirlilik Kontrolü**

Zeolitlerin özellikle iyon değişirme ve adsorbsiyon yapabilme özellikleri ile kirlilik kontrolünde kullanılmaktadır, sudaki radyoaktif atıklarının tutulmasını sağlamakta, metal iyonlarının ve azot bileşiklerinin tutulmasında, baca gazlarının adsorplanmasında, petrol sızıntılarının temizlenmesinde, çöp depolamada ve oksijen üretiminde zeolitler kullanılmaktadır.

#### **2.4.1.2. Enerji**

Enerji ihtiyacı dünyada giderek artmakta iken gerek petrol kaynakları gerekse nükleer enerji kaynaklarının yanında başka türlü kaynaklardan enerji ihtiyacı giderilmeye çalışılmaktadır. Sentetik yapay zeolitler ve doğal zeolitler bu kaynakların enerjiye dönüşümünde kullanılmaktadır. Kömür gazlaştırma azotoksit ve hidrokarbonların temizlenmesinde, doğal gaz saflaştırmada karbondioksitin uzaklaştırılmasında, güneş enerjisi üretiminde ısı değiştirici olarak ve petrol üretiminde katalizör olarak kullanılmaktadır.

#### **2.4.1.3. Tarım ve Hayvancılık**

Gübrelerin kötü kokuşmasını ortadan kaldırmak kontrol etmek ve asit volkanik toprakların pH' nın artırılması amacıyla; zeolitli tüfler uzun zamandır beri kullanılmaktadır. Doğal zeolitler gübreleme ve toprak hazırlanmasında gübre taşıyıcı olarak geniş alanda kullanılmaktadır. Hayvan besiciliğinde katkı maddesi olarak kullanılmaktadır.

#### **2.4.1.4 Madencilik ve Metalurji**

Zeolitler, madencilikte maden rezervlerinin aranmasında ve metalurjide ağır metallerin tutulmasında kullanılmaktadır.

#### **2.4.1.5 Diğer Kullanım Alanları**

Saydığımız bu kullanım alanları dışında inşaat sektöründen sağlığa, kağıt sektöründen deterjan sektörüne kadar bir çok alanda kullanılmaktadır. Diş macunu ve ilaç üretiminde deterjan sektöründe ise fosfat kullanmak yerine zeolitler tercih edilmektedir.

#### **2.5 Polipropilen Lifler**

Polipropilen lifler, rötre ve oturma çatlaklarının engellenmesi, çatlak sayısı ve genişliklerinin azaltılması amaçlı olarak harç be betona ilave edilmektedir. Özellikle, mikro ve makro seviyelerin ortası anlamına gelen, mezo ve büyük, geniş anlamına gelen, makro büyüklüklerdeki çatlakların engellenmesinde etkili sonuçlar vermektedir. Polipropilen lifler, ikincil donatı ve/veya bazı özel hallerde de ana donatı şeklinde fayda sağlayabilecek nitelikte yüksek başarımlı sentetik lifler olarak bilinmektedir.

Bu tür liflerin günlük hayatta etkin olarak kullanım alanları; saha betonları ve kaplama betonlarında çatlak kontrolü, beton kanal, kanalet ve su yapıları elemanlarının üretimleri, prefabrik beton elemanlar ve duvar panelleri, otopark ve rampa betonları ile yükleme alanları, tarımsal yapı döşeme ve zemin betonları, beton elemanların yüksek sıcaklık ve yangın direncinin artırılması amaçlı, onarım harçları ve sıvalardır,

Polipropilen liflerin faydaları ve özellikleri ise; beton ve harçta rötre ve oturma çatlak riskini azaltmak, lifsiz betona göre betonun enerji yutma kapasitesini arttırmak, betonun eğilme ve yarmada çekme dayanımını arttırmak, çatlaklar mikro boyutlarda iken gelişimlerini önlemek ve sayılarını azaltmak, betonda çatlak oluşumu ve yayılmasını engelleyerek dayanıklılık iyileştirmek, taze betonda kohezyonu arttırmak, terlemeyi azaltmak, yüzey yapıları dolayısıyla çimentolu bileşimler içinde topaklanmadan kolayca dağılmasını sağlamak ve çimento hamuru ile yüksek aderansı sağlamak şeklindedir. Bu tür lifler genellikle 200 °C' de tamamen erimekte ve yaklaşık 365 °C'de bozularak kütle kaybına uğramaktadırlar. Bozulan lifin bıraktığı boşluklar birbirleri ile bağlantılı ve yangın etkisiyle ısınıp genişleyen havanın kaçabileceği kanallar olarak davranmaktadırlar. Böylelikle, yüksek sıcaklık etkisiyle betonun parçalanmasına neden olan buhar basıncı düşürmektedirler. Liflerin meydana getirdiği bu davranış mekanizması ile betonun yangın direncini arttırmaktadırlar. Ayrıca, hasır donatı ile beraber kullanılmaları halinde etkin bir çatlak kontrolü sağlarlar. Betonun darbe ve aşınma direncini arttırmaları. Çevrimli donma-çözülme süreçleri sonunda betonun parçalanmasını önlemektedirler. Çimento hamurunun

yüksek alkali ortamında bozunma yapmadıkları gibi aynı zamanda korozyon riskleri bulunmamaktadır .

### 3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tokyay ve ark. (1991), gerçekleştirdikleri çalışmalarında lif takviyeli yüksek performanslı beton numuneler üzerinde basınç ve çekme davranışlarını incelemişlerdir. Polipropilen ve çelik lif takviyeli betonların çekme dayanımları sırasıyla %13 ve %35 yüzdelerinde arttırdığını belirlemişlerdir. Şahit beton numuneler ile polipropilen lifli beton numuneler ile benzer davranışlar gösterirken, çelik lifli beton numunelerde yanal şekil değiştirmelerin nispeten daha az olduğunu tespit etmişlerdir.

Alhozaimy ve ark. (1996), yapmış oldukları incelemelerde, beton numunelerde polipropilen lif takviyesi yapmışlardır. Geleneksel beton numunelere polipropilen lifi %0, %0.05, %0.10, %0.20 ve %0.30 oranlarında ilave etmişlerdir. Lif takviyesinin beton numuneler üzerindeki etkilerini belirlemişlerdir. Elde edilen bulgulara göre, polipropilen lif takviyesinin basınç dayanımı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını vurgulamışlardır. Ancak, yalnızca silis dumanı içeren beton numunelerin basınç dayanımları geleneksel olanlarınkine göre yaklaşık %17 artarken, silis dumanlı ve lif takviyeli olanlarda yaklaşık %23 arttırdığını vurgulamışlardır.

Kiper (1996), polipropilen lif takviyeli beton numuneler üzerinde rötre ve darbe dayanımı davranışları incelemeleri yapmışlardır. Polipropilen takviye lifin taze beton numunelerde ilk plastik rötre çatlaklarını ile su kuma yönünden azaltıcı etki yaptığını vurgulamışlardır. Diğer taraftan, beton numunelerin darbe mukavemetlerinde artış eğilimi olduğu ve beton numunelerin basınç yükleri altında ani ve gevrek kırılmaları önlediğini belirlemişlerdir.

Liu ve ark. (2005), polipropilen lif ilavesinin harç numunelerin kuruma rötresini ne yönde etkileyeceği şeklinde çalışmalar yapmışlardır. Elde edilen bulgulara göre, harç numunelere iave edilen polipropilen liflerin kuruma rötresini düşürdüğünü, polipropilen lif hacminin artmasıyla kuruma rötresinin erken yaşlarda düştüğü ancak geç yaşlarda arttığı şeklinde belirlemeler yapmışlardır.

Song ve ark. (2005), sentetik ve polipropilen liflerle takviye edilmiş beton numunelerin mekanik özellikleri darbe dayanımları ve rötre çatlakları üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Lif takviyesini  $0.6 \text{ kg/m}^3$  oranında kullanmışlardır. Polipropilen lif takviyenin basınç dayanımı, yarma dayanımı, darbe dayanımında ilk çatlak oluşumunu şahit numunelere göre iyileştirdiğini belirlemişlerdir. Erken kalıcı rötre çatlaklarını ve çekme miktarını da azalttığı şeklinde bulgular tespit etmişlerdir.

Choi ve Yuan (2005), incelemelerinde polipropilen - cam lifli beton numunelerin basınç - yarma dayanımları arasındaki ilişkiyi deney yöntemleri ile incelemiştir. Polipropilen lif takviyesini beton numunelere beton hacminin %1.0 - %1.5 yüzdelerinde ilave etmişlerdir. Deneysel çalışma bulgularına göre, cam - polipropilen lif takviyelerinin yarma ve basınç dayanımlarını sırasıyla %9 ve %13 oranlarında artış eğilimli olarak belirlemiştir.

Karahan. (2006), yaptığı çalışmalarda; deneylerde lifli betonların işlenebilirlik özelliğini kolaylaştırmak amacıyla karışıma uçucu kül ilavesi yapılmıştır. Bu ilavenin lifli betonlardaki aderans özelliğini olumlu yönde etkilediği, aynı zamanda puzolanik katkıların lifli betonlarda yine pozitif etki yarattığını, liflerin eşit bir dağılım gösterebilmesi için uçucu külün gerekli olduğunu vurgulamıştır.

Ünal ve ark. (2007), çalışmalarında farklı oranlarda çelik lifi kullanarak basınç ve eğilme özellikleri olan betonda, nasıl bir etki yarattıklarını incelemişler ve basınç dayanım özelliği ile ilgili kullandıkları liflerin dayanım için her hangi etkisi olmadığını aktarmışlardır.

Hsie ve ark. (2008), polimer esaslı polipropilen lifin harç numune davranışlarına ne yönde etkileyebileceği üzerine çalışmışlardır. Lif takviyeli ve lif takviyesiz numuneler üzerinde basınç- eğilme dayanımları, su emme, dinamik elastisite modülü ve mikro iç yapı incelemeleri yapmışlardır. Deneylerden elde edilen bulgulara göre, polipropilen lif ilavesinin harç numunelerde basınç dayanımını düşürdüğü, eğilme dayanımını ise arttırdığı, su emme etkisinin lif türüne bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Nili ve ark. (2010), 12 mm uzunluklu ve hacimce dört farklı miktarda polipropilen lif takviyeli beton karışımlar üzerinde çalışmışlardır. Silis dumanı mineral katkısı ağırlıkça %8 oranında kullanılmıştır. Polipropilen lif takviyeli beton karışımların mekanik özelliklerinin iyileştiğini belirlemiştir. %0,5 lif takviyeli serilerin deney sonuçlarının optimum değerler olduğunu vurgulamışlardır.

Akkaş ve ark. (2010), yaptıkları çalışmada, farklı özellikte olan polipropilen lif katkıli hafif beton çalışarak, betonun basınç dayanımı üzerindeki etkilerini incelemişler, betonun parçalanmasıyla ilgili karşılaştırma yapıldığında lifli betonda parçalanmaların olmadığını aktarmışlardır.



Bahadır (2010), tarafından yapılan çalışmada, deneysel bir çalışma yapılarak polipropilen liflerin betonun mekanik özelliği ile ilgili etkisi olup olmadığını araştırmak amacıyla s/ç oranı 0,4-0,5-0,6 olarak belirlemiş ve lifleri ekleyerek karışım oluşturmuştur. Bu deneyler sonucunda polipropilen lifler ile ilgili dayanım özelliğine farklı etkilerde bulunduğu gözlenmiştir.

Açıkgenç ve ark. (2012) çalışmalarında, hacimce %1-2 olmak üzere polipropilen lifler kullanarak küp ve kiriş numuneler üzerinde eğilme-basınç dayanımları ile aşınma dayanımları ve kapiler su emme parametreleri üzerinde çalışmışlardır. Polipropilen lifin, betonun dayanım ve durabilite özellikleri üzerinde farklı etkilerinin olduğunu ortaya koymuşlardır.

Grdic ve ark. (2012), iki tip polipropilen ve iki farklı su/çimento içerikli kullanarak klasik beton ve mikro donatılı beton numuneler üzerinde aşınma dayanımına yönelik deneysel çalışmalar yapmışlardır. Çalışma sonuçlarına göre, klasik betonların aşınma dayanımları su/çimento parametresi ile ters orantılı etki göstermişlerdir. Mikro donatılı betonların aşınma dayanımları kontrol betonlarındakinden daha yüksek olarak belirlemişlerdir.

Kakooei ve ark. (2012), çalışmalarında betonlarda polipropilen lif kullanarak basınç dayanımı, geçirimsizlik ve elektriksel direnç parametreleri üzerinde çalışmışlardır. Lif takviye 0-2 kg/m<sup>3</sup> miktarlarında betonlara ilave edilmiştir. Seriler arası yapılan sonuç karşılaştırmalarında en iyi davranış sonuçlarının 1,5 kg/m<sup>3</sup> lif takviyeli olanların olduğunu belirtmişlerdir.

Ramezaniapour ve ark. (2013), beton travers uygulamaları için fiziksel ve mekanik karakteristikler ve dayanıklılık üzerine beton numunelerin hızlı klorür geçirgenliği, su emme, kılcal su emme, ultrasonik muayene deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Mikro yapı incelemeleri için XRD ve SEM analizleri kullanmışlardır. Sonuçlara göre optimum polipropilen takviyenin 0,7 kg/m<sup>3</sup> olduğunu tespit etmişlerdir. Numunelerin eğilme dayanımları iyileşirken basınç dayanımları bir miktar düşüş göstermiştir.

Zhang ve ark. (2013), parametrik deneysel çalışmalarında uçucu kül ve silis dumanı mineral katkıları ile hacimce %0.06, %0.08, %0,1 ve %0.12 oranlarında polipropilen lif takviyesi kullanmışlardır. Polipropilen lif takviyesi mineral katkılı numunelerin işlenebilirliklerini düşürmüştür. Mineral katkılı betonların dayanıklılık özelliklerini polipropilen lif takviyesi iyileştirmiştir. Numunelerin kapiler su emme yükseklikleri, rötre

deformasyonları, karbonasyon derinliği liflerin hacimsel olarak artmasıyla azalmıştır. Mineral katkılı lifli betonların donma- çözünme dirençleri küçük bir farkla iyileşmiş olduğunu da vurgulamışlardır.

Bošnjak ve ark. (2013), polipropilen lif odaklı çalışmalarında yüksek sıcaklık ve oda sıcaklıklarında numunelerin permeabilite ölçümleri üzerine yeni deney düzeneği geliştirmişlerdir. Numunelerin mikro yapı incelemeleri yapılmıştır. Sonuçlara göre, eriyen liflerin mikro çatlaklara sızdığı ancak çimento hamuruna nüfuz etmediğini tespit etmişlerdir.

Fakharifar ve ark. (2014) yüksek performanslı lif yakviyeli çimento kompozitleri üzerinde deneysel çalışmalar yapmışlardır. Numunelerin sonuçları üzerinde istatistiksel veri analizleri gerçekleştirmişlerdir. Veriler eğilme ve basınç dayanımları üzerinedir. Yüksek performanslı lif takviyeli çimento kompozitlerinin mekanik davranışları ve etki dirençleri arasında eşitlikler belirlemişlerdir.

Jiang ve ark. (2014), tarafından gerçekleştirilmiş başka bir çalışmada lif oranlarının hacimce değişikliğini yüzdelerine bakarak; örneğin %0,5'e kadar kullanıldığında olumsuz sonuçlar alınmadığını tespit etmiştir.

Topçu. ve ark., (2016), yaptıkları çalışmada; uzun yıllardır ana yapı malzemesi olarak kullandığımız beton ile ilgili genel olarak aşınma, çekme, kayma, çatlama neticesinde dayanım ve enerji yutma gücü zayıf olarak değerlendirmişlerdir. Aynı zamanda mekanik ve fiziksel olarak çeşitliliğe sahip olan lifler beton ile birlikte kullanıldığında numunelerin; olumsuz yönlerini iyileştirdiğini belirtmektedirler.

Borhan (2021), çalışmasında lif oranlarından bahsederken %0,1, %0,3 ve %0,5 gibi bazalt lif katkısı olan, agrega yapısı ince olarak betonlarda cam kırıklarının kullanıldığı betonlar üretildiğinden bahsederek, lif oranlarının hacimsel olarak değişikliği, basınç dayanımı ile ilgili farklı sonuçlar ortaya koyduğunu belirtmişlerdir.

## 4. MATERYAL VE YÖNTEM

### 4.1. Materyal

#### 4.1.1. Portland Çimentosu

Bu tez çalışmasında TS EN 197-1 ile uyumlu CEM I 42.5 R tipte çimento kullanılmıştır. Çimentoya ait fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 4.1 de verilmektedir.

**Çizelge 4.1** Portland Çimentosunun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Kimyasal Bileşenler	Ağırlıkça (%)	Portland Çimentosunun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	
SiO <sub>2</sub>	19.68	Özgül ağırlık, (g/cm <sup>3</sup> )	3.11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.37	Priz başlangıcı, dk.	162
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.36	Priz sonu, dk.	268
CaO	62.57	Hacim genleşmesi, mm	1.00
MgO	0.96	Blaine özgül yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3313
SO <sub>3</sub>	2.70	2 günlük basınç dayanımı, MPa	32.10
Kızdırma kaybı	4.14	7 günlük basınç dayanımı, MPa	41.30
		28 günlük basınç dayanımı, MPa	48.70

#### 4.1.2. Doğal Zeolitler

Bu çalışmada Manisa/Gördes bölgesinden elde edilen, klinoptilolit türü doğal zeolit ile Ordu/Perşembe bölgesinden elde edilen analsim türü doğal zeolit kullanılmıştır. Doğal zeolitlere ait fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3' de verilmektedir.

**Çizelge 4.2** Portland Çimentosu ve Doğal Zeolitlerin Fiziksel Özellikleri (Yamak, 2021)

Fiziksel Özellikler	Portland Çimentosu	Analsim	Klinoptilolit
Özgül Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	3110	2280	2110
Blaine İnceliği (cm <sup>2</sup> /g)	3313	4780	4079

**Çizelge 4.3** Doğal Zeolit Klinoptilolit ve Analsim' in Kimyasal Özellikleri (Yamak, 2021)

<b>Kimyasal Kompozisyon</b>	<b>Analsim (%)</b>	<b>Klinoptilolit (%)</b>
SiO <sub>2</sub>	46.71	64.70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.24	11.21
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.21	1.38
CaO	3.03	2.08
MgO	5.29	0.79
NaO <sub>2</sub>	4.84	0.38
K <sub>2</sub> O	4.08	3.78
Kızdırma Kaybı	7.00	11.80

#### 4.1.3 CEN Kumu

Bu çalışmada yapılan deneylerde TS EN 196-1 standartlarına uygun Limak Batı Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş' den alınan CEN Standard kumu kullanılmıştır. Deney mumunelerinin üretiminde kullanılan CEN Kumuna ait fotoğraf Şekil 4.1' de verilmektedir. CEN Standart Kumu Tane Boyut Dağılımı Çizelge 4.4' de verilmektedir.



**Şekil 4.1** Harç Numunelerinin Üretiminde Kullanılan CEN Kumu

**Çizelge 4.4** CEN Standart Kumu Tane Boyut Dağılımı

Elek Göz Açıklığı (mm)	Elek Üstü Kümülatif Kalan (%)
0,08	99 ± 1
0,16	87 ± 5
0,5	67 ± 5
1	33 ± 5
1,6	7 ± 5
2	0

#### 4.1.4 Lif

Geleneksel beton, enerji yutma kapasitesi, deformasyon yeteneği; çekme, kayma, kavitsiyon, yorulma, çatlama sonrası yük taşıma dayanımları bakımından yetersiz bir performans sergilemektedir. Bu özelliklerine bakarak iyileştirme yapabilmek için kullanılan farklı türlerde üretilmiş, metalik, polimer, veya mineral yapıdaki malzemelere lif olarak adlandırılmaktadır. Çalışmada kullanılan polipropilen esaslı makrosentetik liflere ait teknik özellikler Çizelge 4.5’ de liflere ilişkin fotoğraf Şekil 4.2’ de verilmektedir.

**Çizelge 4.5.** Polipropilen esaslı makrosentetik lif teknik özellikleri

Renk	Beyaz
Kimyasal Yapı	Sentetik Kopolimer
Nominal Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	0.91 (EN 13392)
Lif Eliptik Çapı, D <sub>1</sub> (mm)	0.35±0.01
Lif Eliptik Çapı, D <sub>2</sub> (mm)	0.55±0.01
Lif Eşdeğer Çapı (mm)	0.450 (EN14889-2)
Lif Uzunluğu (mm)	40± 4
Çekme Dayanımı	>600
Elastite Modülü (MPa)	~8000
Kopma Anındaki Uzama (%)	~9
Ergime Noktası (°C)	200
Bozunma Sıcaklığı (°C)	365
Isı Ve Elektrik İletkenliği	Düşük
Asit Direnci	Yüksek
Alkali Direnci	Yüksek
Korozyon Direnci	Korozyona Uğramaz



**Şekil 4.2** Çalışmada kullanılan polipropilen esaslı makrosentetik lifler

#### **4.1.5 Karışım Suyu**

Harç ve beton malzemelerinin işlenebilirliğini artırmak, kolay karıştırılmasını sağlamak, betonun yerleştirilebilmesinde ve sıkışmasında kullanılan karışım suyu, çimento hamurundaki hidrasyon adı verilen kimyasal tepkimeleri de sağlamaktadır. Çalışmada yapılan deney serilerinin üretiminde karışım suyu olarak Ordu ili, Altınordu ilçesi şebeke suyu kullanılmıştır.

#### **4.1.6 Süperakışkanlaştırıcı**

Doğal zeolit içeren katkılı çimentolar ile hazırlanan numunelerde TS EN 934-2 standartlarına göre polikarboksilat eter (LEXP1172) ticari kod adıyla anılan süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Harçların bileşimine, söz konusu süper akışkanlaştırıcı karışım suyuna ilave edilerek katılmıştır. Akışkanlaştırıcının özgül ağırlığı  $1.05 \text{ gr/cm}^3$  tür. Bilindiği gibi akışkanlaştırıcı katkı kullanımlarının amacı daha az su ile daha fazla işlenebilirlik sağlamaktır. Daha homojen çimento taneleri elde etmektir ve ağırlıkça çimentodan tasarruf edilmektedir. Diğer taraftan, betonda çimento topaklanması azaltılmış, işlenebilirlik ve dayanım- dayanıklılık (başarım) artırılmış olacaktır. Süperakışkanlaştırıcı karışımlara, %0, %10, %15 ve %20 zeolit yer değiştirme oranlarına

göre sırasıyla çimento ağırlığının %0,8, %1, %1,1 ve %1,2 oranlarında ilave edilmiştir. Süperakışkanlaştırıcıya ait bir fotoğraf Şekil 4.3’ de verilmektedir.



**Şekil 4.3** Deney serilerinin üretiminde kullanılan süperakışkanlaştırıcı

#### **4.2 Yöntem**

Bu tez çalışmasındaki deneyler Ordu Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Yapı ve Malzeme Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

TS 802’ deki mutlak hacim yöntemi kullanılarak bileşim hesapları yapılmıştır (Çizelge 4.6). Yapılan hesaplara göre belirlenen bileşen miktarları hassas terazide tartılarak harç numuneler şeklinde standartlara uygun olarak üretilmişlerdir Şekil (4.4). Üretilen numuneler 24 saat süre sonra kalıplarından çıkartılarak 28 gün boyunca kür havuzunda sabit sıcaklıklarda bekletilmişlerdir (Şekil 4.5). Üretilen numuneler Çizelge 4.7’ deki gibi etiketlenmişlerdir (Şekil 4.6). Harç numunelerin bileşimleri taze halde iken mini çökme (slump) deneyleri ile kıvam belirlemek amacı ile yapılmıştır. Bu deneylere göre deney serilerindeki harç numunelerin çökme değerleri lif oranı arttıkça azaldığı

belirlenmiştir. Minislump sonuçlarına göre referans harç numunelerin (lif içermeyen) çökme değerleri 20-30 mm iken lif oranının artmasıyla bu değerler 10-20 mm'ye kadar düşmüştür.

**Çizelge 4.6** Çalışmada kullanılan harç numunelerinin bileşimlerindeki bileşen miktarları

Bileşenler (kg/m <sup>3</sup> )	Yer Değiştirme Oranlarına Göre Bileşen Miktarları			
	0	10	15	20
Çimento	450	405	382,5	390
Zeolit	-	45	67.5	90
Lif yok	-	-	-	-
Lif miktarı	2	2	2	2
Lif miktarı	4	4	4	4
Akışkanlaştırıcı	3.6	4	4.95	5.4

**Çizelge 4.7** Çalışmada kullanılan deney serileri etiketleri

Deney Serileri Etiketleri							
Çimento Türü	Portland Çimentolu	Analsim Katkılı Çimentolu			Klinoptilolit Katkılı Çimentolu		
		%10	%15	%20	%10	%15	%20
Yer değiştirme oranları	%0	%10	%15	%20	%10	%15	%20
Lif yok	PC00	A100	A150	A200	C100	C150	C200
Lifli (2 kg/m <sup>3</sup> )	PC02	A102	A152	A202	C102	C152	C202
Lifli (4 kg/m <sup>3</sup> )	PC04	A104	A154	A204	C104	C154	C204





Şekil 4.4 Kalıplara yerleştirme anı ve kalıplara yerleştirilmiş numuneler



Şekil 4.5 Kür havuzundaki numunelere ait görünüm



Şekil 4.6 Etiketlendirilmiş numunelere ait görünüm

#### 4.2.1 Portland Çimentosu ve Doğal Zeolitlerin Karakterizyonu

Çalışmada kullanılan Portland çimentosunun fiziksel ve kimyasal özellikleri temin edildiği Ünye Çimento Fabrikasından elde edilmiştir. Diğer taraftan, kullanılan doğal zeolitlere ait birim hacim ağırlıklar ve Blain inceliğine ilişkin bilgiler öğütme işleminin yapıldığı firmalardan alınmıştır.

#### 4.2.2 Zeolitlerin Puzolanik Aktivite Deneyleri

Doğal zeolitlerin puzolanik aktivite deneyleri TS 25'e göre gerçekleştirilmiştir. Söz konusu standarda göre, puzolanik aktivite deneyleri, puzolanların belirli bir incelikte öğütülerek su ve kalsiyum hidroksitle karıştırılması sonucunda üretilen harç numunelerinin basınç dayanımı değeri ile tespit edilmektedir. Her iki zeolitin puzolanik aktivite deneyleri için kullanılan malzeme miktarları Çizelge 4.8'te verilmiştir. Bu malzeme miktarları ile prizmatik numuneler üretilmiştir. Numuneler kalıplarında buharlaşmayı önlemek amacıyla cam plakalar ile üstleri kapatılarak 24 saat (23±2) °C oda sıcaklığında bekletilmişlerdir. Ardından 6 gün süresince etüvde (55±2) °C sıcaklıkta muhafaza edilmişlerdir. Süre sonunda etüvden çıkarılan numuneler oda sıcaklığına gelene kadar soğumaya bırakılmışlardır. Kalıplardan çıkarılan numuneler üzerinde TS EN 196-1 standardına uygun olarak basınç dayanımı deneyi yapılmıştır.

**Çizelge 4.8** Deneylerde Kullanılan Malzeme Miktarları

	TS 25	Miktar	
		Klinoptilolit	Analsim
Sönmüş Kireç (CaOH <sub>2</sub> )	150 g	150 g	150 g
Puzolan	2x150x(puzolan öz.ağ. / (CaOH <sub>2</sub> ) öz. ağ. (g))	2x150x(2.11/2.15)=294.42 g	2x150x(2.28/2.15)=318.14g
Standart Kum	1350 g	1350 g	1350 g
Su	0.5x(150+puzolan) (g)	0.5x(150+294.42)=222.21 g	0.5x(150+318.14)=234.07g

### 4.2.3 Katkılı Çimentoların Karakterizasyonu

Deneylerde kullanılan doğal zeolit klinoptilolit numunesinin fiziksel özellikleri üretim ve satışının yapıldığı Gördes Zeolit Madencilik San. Ve Tic. A.Ş. tarafından elde edilmiştir. Doğal zeolit analsim numunesinin fiziksel özellikleri ise Votarantim Çimento A.Ş. malzeme laboratuvarında yapılan deneyler sonucunda elde edilmiştir. Bu deneylere ilişkin fiziksel özellikler Çizelge 4.9' da verilmektedir.

**Çizelge 4.9** Portland Çimentosu ve Doğal Zeolitlerin Fiziksel Özellikleri

Fiziksel Özellikler	Portland Çimentosu	Analsim	Klinoptilolit
Özgül Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	3110	2280	2110
Blaine İnceliği (cm <sup>2</sup> /g)	3313	4780	4079

### 4.2.4 Birim Hacim Ağırlık Deneyleri

Bu tez çalışmasında üretilen harç numuneler üzerinde birim hacim ağırlık deneyleri yapılmıştır. 28 gün süre ile kürlenmiş deney serilerine ait numuneleri doygun kuru yüzeyli (DKY) ve kuru birim hacim ağırlıklarını belirlemek için Şekil 4.7 verilen özgül ağırlık sehpası kullanılmıştır.



**Şekil 4.7** Özgül Ağırlık Sehpa

#### **4.2.5 Su Emme Deneyleri**

Harç numuneler üzerinde su emme deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde numunenin su ile temasta kaldığı halde iç yapıdaki suyun donması sonucu oluşacak buz kristallerinin genişleyebileceği herhangi bir hacmin olup olmadığının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Su emme oranı düşük olan malzemeler donmaya karşı daha sağlam yapıdadır. Su emme oranı,

$W_k$ : Numunenin kuru ağırlığını,

$W_d$ : Numunenin suya doymuş ağırlığını göstermek üzere,

$$\text{Su emme oranı} = \frac{W_d - W_k}{W_k} \quad (4.1)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

#### 4.2.6 Kılcal Su Emme Deneyleri

Bu çalışmadaki zeolit katkılı ve lif takviyeli harç numunelerin geçirimsizliğinin belirlenmesi amacı ile 28 günlük numuneler üzerinde kılcal su emme deneyi yapılmıştır. Böylelikle, numunelerin geçirimsizliğine zeolite-lif katkılarının etkisi incelenmiştir.

Bu deneyi gerçekleştirmek için kurulan düzenek ASTM C1585 standartlarına uygundur. Deney gerçekleştirilirken belirli kür süreleri sonunda numuneler havuzdan alınmış ve etüvle tamamen kurutulmuştur. Numuneler sadece alt bölgesinden su alacak şekilde diğer yüzeyleri epoksiyle kaplanarak o bölgelerden su alması engellenmiştir (Şekil 4.8). Belirli aralıklarla (5, 10, 20, 30, 45, 60 ve 1440 dakika) sudan çıkarılarak hassas teraziyle ağırlıkları ölçülüp kaydedilmiştir. Aşağıdaki bağıntı yardımıyla kılcallık katsayıları hesaplanmıştır.

$$\Delta Q / A = kx\sqrt{t} \quad (4.2)$$

Denklemden verilen;

$\Delta Q$ : Numunenin ağırlık değişimini (g)

A: Numunenin su ile temas eden yüzey alanını (cm<sup>2</sup>)

k: Kılcallık katsayısı

t: Deney başlangıcından son okumaya kadar geçen süreyi (dk) göstermektedir.



Şekil 4.8 Numunelerin kılcal su emme anından bir görünüm

#### 4.2.7 Ultrasonik Ses Geçiş Hızı Deneyleri

Numuneler üzerinde gerçekleştirilen ultrasonik ses geçiş hızı (Ultrasound Pulse Velocity), (UPV) belirleme deneyi ile numuneye yollanan ses dalgalarının geçiş süresi ölçülmüştür. Bu süreye bağlı olarak dalga hızı belirlenmektedir (şekil 4.9). Belirlenen ses dalgası hızı ile beton basınç dayanımı ve numunelerin iç yapı boşluk durumu hakkında bilgi sahibi olunmaktadır. Ses dalgalarının geçiş hızı, numunenin özgül ağırlığına, boşluk durumuna, çatlak yapısına, imento türüne, içerdiği katkı maddelerine ve homojenliği gibi birçok parametreye bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. UPV ölçüm cihazı ile TS EN 12504-4 ve ASTM C 597 standartlarına uygun olarak ölçümler gerçekleştirilmiştir.



şekil 4.9 UPV Ölçüm Cihazı ile Yapılan Deney Anından Görünüm

#### 4.2.8 Eğilmede ekme – Basınç Dayanımı Deneyleri

Harç numunelerin eğilmede çekme - basınç dayanımları deneyleri TS EN 12390-5'e göre belirlenmiştir. Deneyler için 40 x 40 x 160 mm ölçülerinde prizmatik harç numuneler kullanılmıştır. Numunelerin konulduğu mesnet açıklıklarının orta bölgesinden olmak üzere yükleme yapılmıştır. Deneyler kuvvet adımlı ve sabit yükleme hızında uygulanmıştır. Eğilme dayanım deneyleri sonrasında kırılan numuneler üzerinde basınç dayanım deneyleri yapılmıştır (şekil 4.10 ve şekil 4.11).



Şekil 4.10 Eğilme deneylerinden görünüm



Şekil 4.11 Basınç deneylerinden görünüm

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 5.1 Zeolitlerin Puzolanik Aktiviteleri

Puzolanik aktivite deneyleri sonucunda kireç-puzolan karışımı ile elde edilen numunelerin 7 günlük basınç dayanımları ve diğer uygunluk kriterleri bulguları Çizelge 5.1' de verilmektedir.

**Çizelge 5.1** Zeolitlerin Puzolanik Aktivite Değerleri (Akgün ve Yazıcıoğlu, 2020)

<b>Puzolanik Aktivite Değerleri</b>		
<b>TS 25 sınır değerleri</b>	<b>Analsim</b>	<b>Klinoptilolit</b>
Kireç-puzolan karışımı 7 gün. basınç dayanımı > 4 MPa	6.30	9.02
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ağırlıkça >%70	73.16	77.30
Blaine inceliği > 3000cm <sup>2</sup> /g	4780	4079

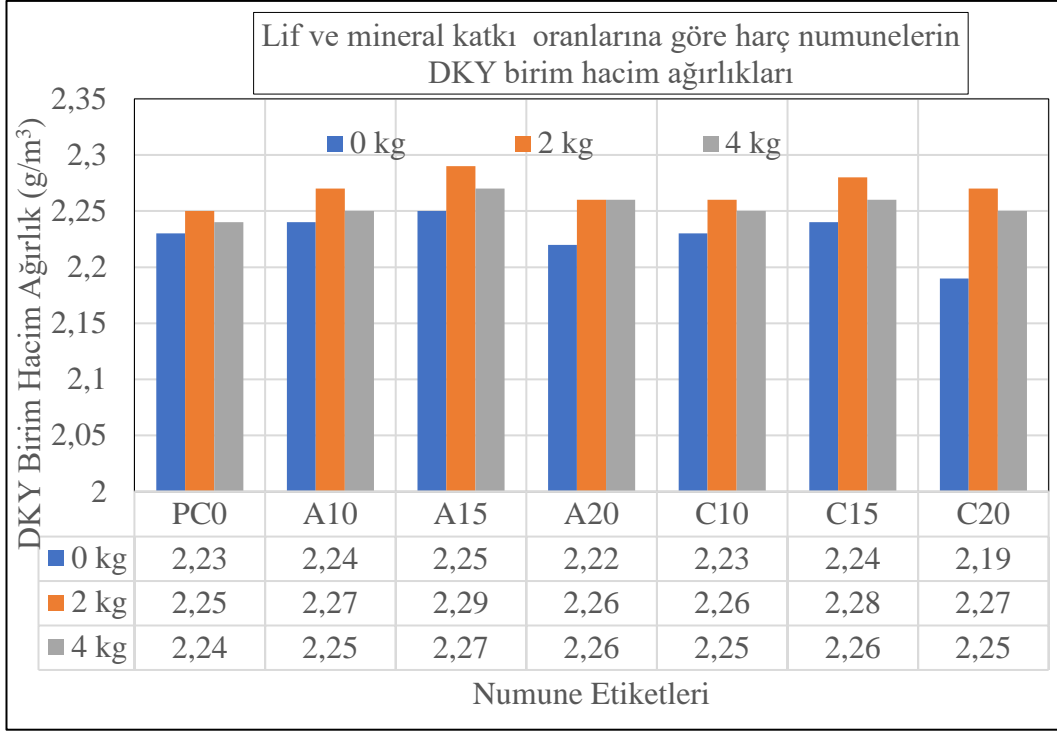
### 5.2 Harç Numunelerin Birim Hacim Ağırlıkları ve Su Emme Oranları

Harç numunelerin birim hacim ağırlıkları ve su emme oranları Çizelge 5.2' de verilmektedir. Değişim grafikleri ise Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3' de verilmektedir.

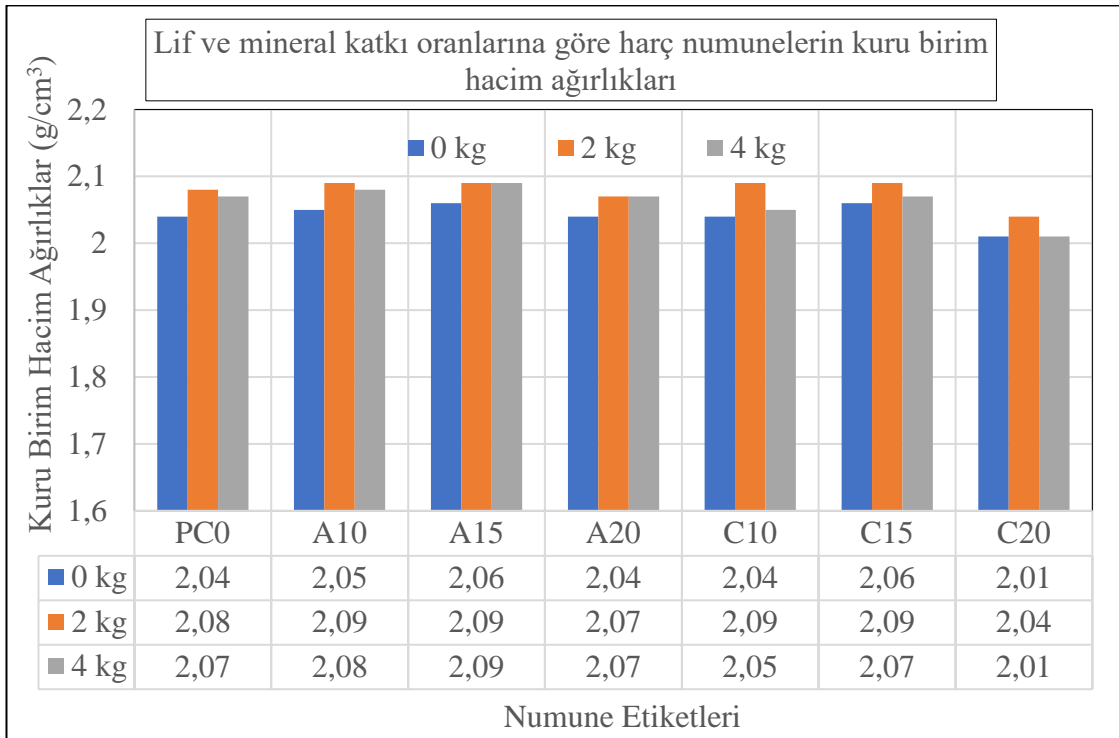


**Çizelge 5.2** Lif ve mineral katkı oranlarına göre harç numunelerin DKY ve Kuru birim hacim ağırlıkları ile su emme oranları

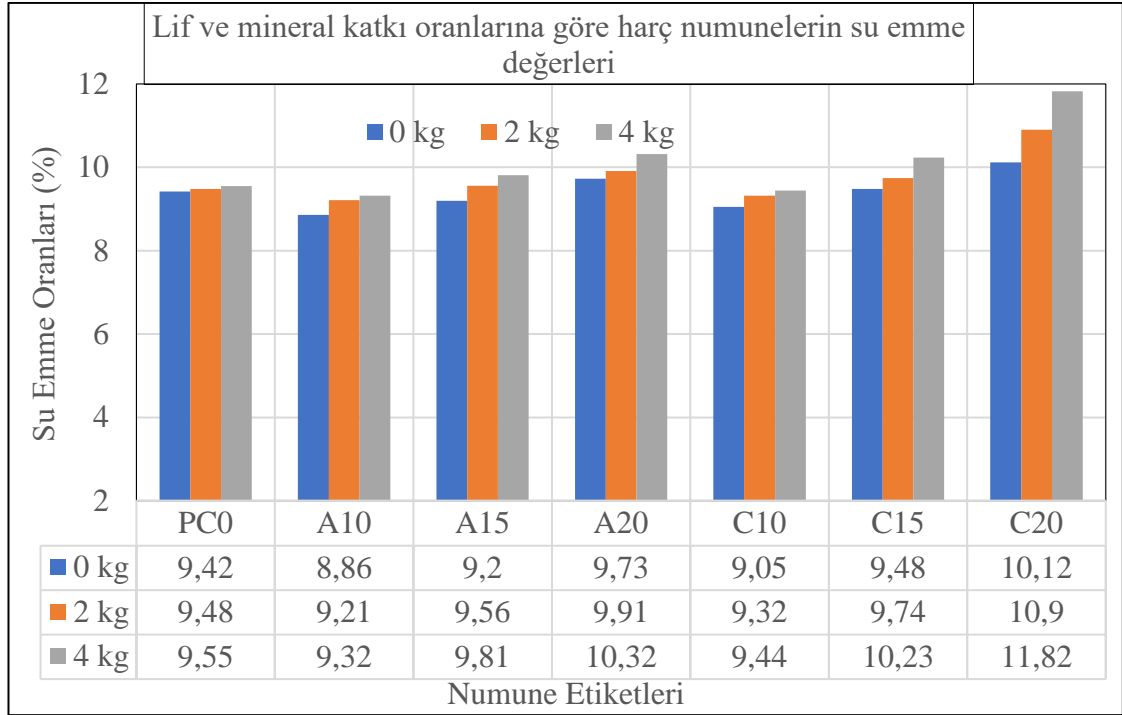
<b>Deney Serileri Etiketleri</b>						
Numune Etiketleri	Lif Miktarı(kg/m <sup>3</sup> )	Mineral Katkı Oranı (%)	DKY Birim Hacim Ağırlıkları(g/cm <sup>3</sup> )	Kuru Birim Hacim Ağırlığı (g/cm <sup>3</sup> )	Ağırlıkça Su Emme Oranı (%)	
PC00	0	0	2.23	2.04	9.42	
A100	0	10	2.24	2.05	8.86	
A150	0	15	2.25	2.06	9.20	
A200	0	20	2.22	2.04	9.73	
C100	0	10	2.23	2.04	9.05	
C200	0	20	2.19	2.01	10.12	
PC02	0	0	2.25	2.08	9.48	
A102	2	10	2.27	2.09	9.21	
A152	2	15	2.29	2.09	9.56	
A202	2	20	2.26	2.07	9.91	
C102	2	10	2.26	2.09	9.4	
C152	2	15	2.28	2.09	9.74	
C202	2	20	2.27	2.04	10.04	
PC04	4	0	2.24	2.07	9.55	
A104	4	10	2.25	2.08	9.32	
A154	4	15	2.27	2.09	9.81	
A204	4	20	2.26	2.07	10.32	
C104	4	10	2.25	2.05	9.44	
C154	4	15	2.26	2.07	10.23	
C204	4	20	2.25	2.01	11.82	



**Şekil 5.1** Lif ve mineral katkı oranlarına göre harç numunelerin DKY birim hacim ağırlıkları



**Şekil 5.2** Lif ve mineral katkı oranlarına göre harç numunelerin kuru birim hacim ağırlıkları



**Şekil 5.3** Lif ve mineral katkı oranlarına göre harç numunelerin su emme oranları

Harç numunelerin DKY ve kuru birim hacim ağırlıklardaki değişimler hazırlanan harç numune bileşimlerine giren bileşenlerin birim hacim ağırlıklarına göre değişmektedir. Analsimin birim hacim ağırlığı klinoptilolit katkınınkine göre %8.06 daha fazladır. Analsim ve klinoptilolit birim hacim ağırlıkları Portland çimentosununkine göre sırasıyla % 27 ve %32 daha azdır. Diğer taraftan, analsimin Blaine inceliği klinoptilolitinkine göre yaklaşık %17 daha yüksektir. Blaine inceliği açısından karşılaştırmada ise Portland çimentosunun inceliği analsiminkine göre %44 ve klinoptilolitinkine göre %23 daha fazla olduğu görülmektedir (Çizelge 4.4). Zeolit katkıların bu değişimleri çalışmada kullanılan harç numunelerin özelliklerini doğrudan etkilemektedir.

Harç numunelerin ağırlıkça su emme oranlarındaki değişimler zeolit inceliği ve lif yerleşimi ile ilişkilidir. Polipropilen lifler tek başlarına su emici özellikte olmadıklarından lifli harç numunelerdeki su emme oranlarındaki artışlar düşüktür (Ramezianpourve ark., 2013; Zhang ve ark. 2013). Lif miktarındaki artışa bağlı olarak su emme oranlarındaki artışın nedeni, liflerin bileşim içinde meydana getirdiği topaklanmalar sonucunda betonda oluşan boşluk miktarının artmasıdır (Topçu ve ark., 2017). Söz konusu bu boşluklar aynı zamanda lifli harç numunelerin basınç dayanımlarının referans deney serilerindeki harç numunelerinkine göre düşmesine neden olmuştur.

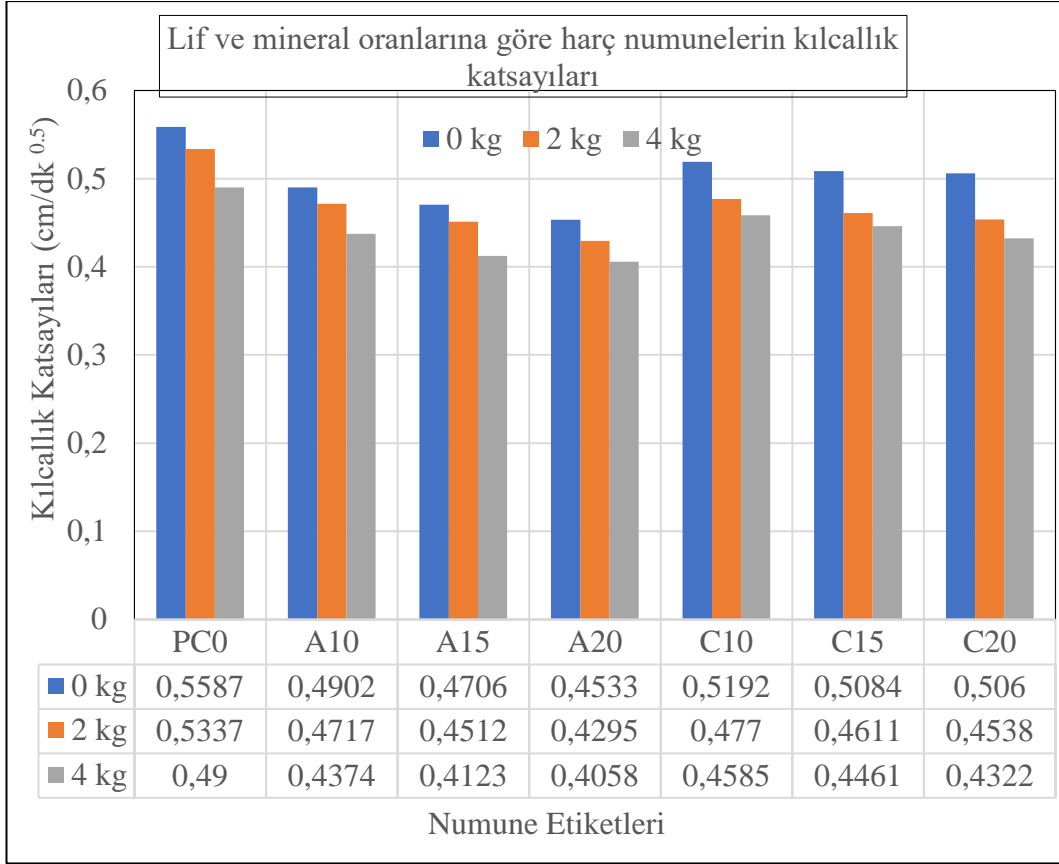
### 5.3 Harç Numunelerin Kılcal Su Emme Değerleri

Harç numunelerin kılcal su emme değerleri Çizelge 5.3' de verilmektedir.

Değişim grafikleri Şekil 5.4' de verilmektedir.

**Çizelge 5.3** Lif ve mineral katkı oranlarına göre harç numunelerin kılcallık katsayıları ve değişim oranları

Numune Etiketleri	Lif Miktarı(kg/m <sup>3</sup> )	Mineral Katkı Oranı (%)	Kılcallık Katsayıları(c m/dk <sup>0.5</sup> )	Kılcallık Katsayısı Değişimi (%)
PC00	0	0	0.5587	100
A100	0	10	0.4902	87.74
A150	0	15	0.4706	84.23
A200	0	20	0.4533	81.13
C100	0	10	0.5192	92.93
C150	0	15	0.5084	91.00
C200	0	20	0.5060	90.57
PC02	2	0	0.5337	100
A102	2	10	0.4717	88.38
A152	2	15	0.4512	84.54
A202	2	20	0.4295	80.48
C102	2	10	0.4770	89.38
C202	2	20	0.4538	85.03
PC04	4	0	0.4900	100
A104	4	10	0.4374	89.27
A154	4	15	0.4123	84.14
A204	4	20	0.4058	82.82
C104	4	10	0.4585	93.57
C154	4	15	0.4461	91.04
C204	4	20	0.4322	88.20



**Şekil 5.4** Lif ve mineral katkı oranlarına göre harç numunelerin kılcallık katsayıları

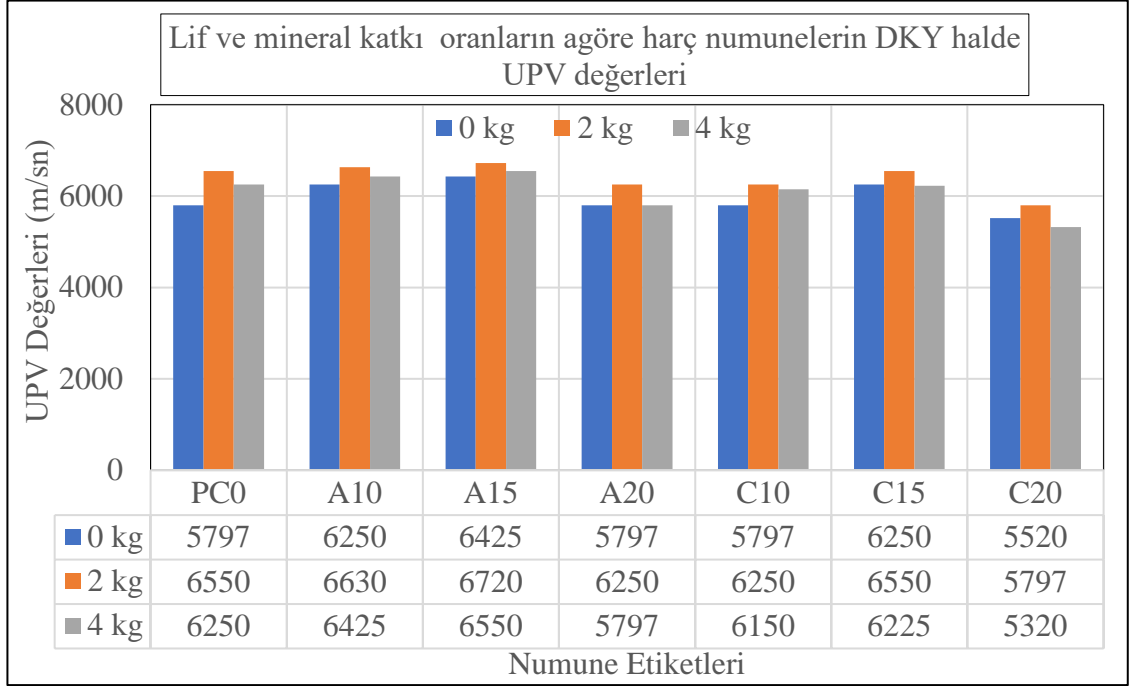
Polipropilen (PP) esaslı makrosentetik lif ve zeolit katkı içeren harç numunelerin kılcallık katsayıları lif ve zeolit miktarındaki artışla azalmaktadır. Zeolit katkı yönünden yapılan karşılaştırmalarda analsim katkılı harç numunelerin kılcallık katsayılarının klinoptilolit katkılı olanlarıne göre daha düşük olduğu belirlenmiştir.

#### 5.4 Ultrasonik Ses Geçiş Hızı

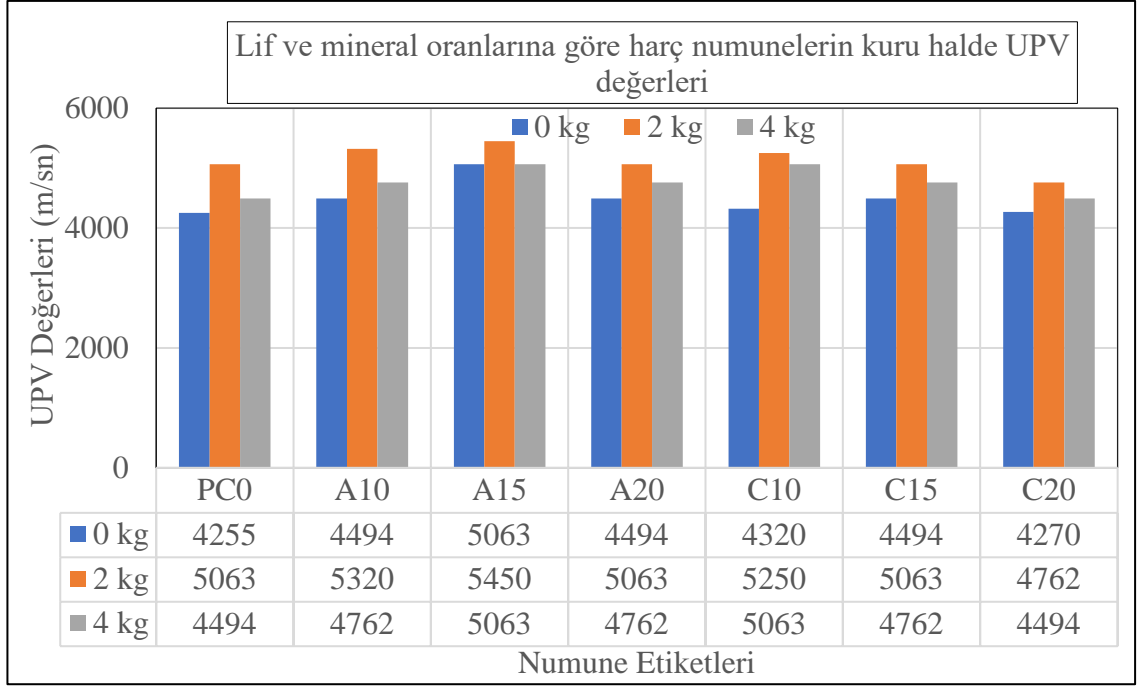
Harç numunelerin Ultrasonik Ses Geçiş Hızı değerleri Çizelge 5.4' de verilmektedir. Değişim grafikleri Şekil 5.5 ve Şekil 5.6' da verilmektedir.

**Çizelge 5.4** Lif ve mineral katkı oranlarına göre harç numunelerin DKY ve Kuru hallerine göre UPV değerleri

<b>Numune Etiketleri</b>	<b>Lif Miktarı(kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mineral Katkı Oranı (%)</b>	<b>Ultra Ses Geçiş Hızı Değerleri (UPV)DKY Halde Numuneler İçin)(28 Gün)(m/s)</b>	<b>Ultra Ses Geçiş Hızı Değerleri (UPV)Kuru Halde Numuneler İçin)(28 Gün)(m/s)</b>
PC00	0	0	5797	4255
A100	0	10	6250	4494
A150	0	15	6425	5063
A200	0	20	5797	4494
C100	0	10	5797	4320
C150	0	15	6250	4494
C200	0	20	5520	4270
PC02	2	0	6550	5063
A102	2	10	6630	5320
A152	2	15	6720	5450
A202	2	20	6250	5063
C102	2	10	6250	5250
C152	2	15	6550	5063
C202	2	20	5797	4762
PC04	4	0	6250	4494
A104	4	10	6425	4762
A154	4	15	6550	5063
A204	4	20	5797	4762
C104	4	10	6150	5063
C204	4	20	5320	4494



**Şekil 5.5** Lif ve mineral katkı oranlarına göre harç numunelerinin DKY hallerine göre UPV değerleri



**Şekil 5.6** Lif ve mineral katkı oranlarına göre harç numunelerin kuru hallerine göre UPV değerleri

Harç numunelerin UPV değişimleri onların basınç dayanımları ile benzer değişim eğilimleri göstermiştir. Harç numunelerin kuru haldeki UPV değerleri, DKY haldeki UPV değerlerine göre azalmaktadır. Bunun nedeni boşluklardaki suyun kuru numunelerde olmayışı ve bunun sonucunda ultrases dalgalarının boşlukta yayılmayışı ile ilişkilidir. Lif katkılı harç numuneler üzerinde yapılan ultrases geçiş hızı ölçüm deneylerinden elde edilen sonuçlara göre lif miktarının artışına bağlı olarak harç numunelerin ultrases geçiş hızları düşmektedir.

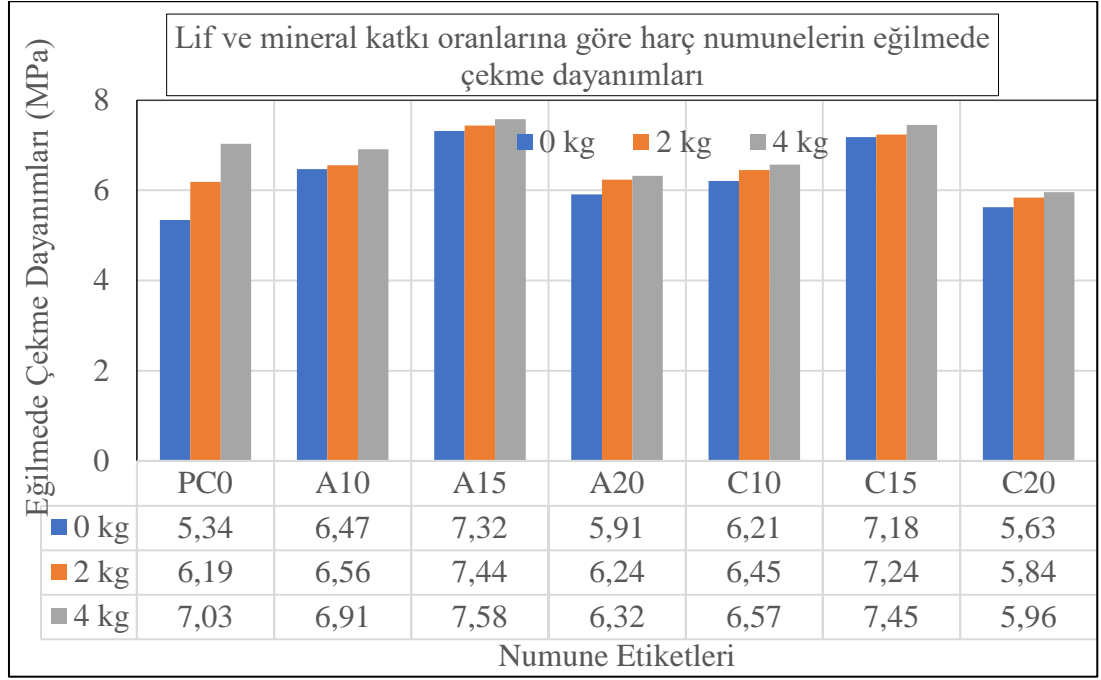
### 5.5 Eğilmede Çekme - Basınç Dayanımları

Harç numunelerin eğilmede çekme- basınç dayanım değerleri Çizelge 5.5' de verilmektedir. Değişim grafikleri ve eğilmede çekme deneyinde kırılmış numunelere ait görünüm Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10' da verilmektedir.

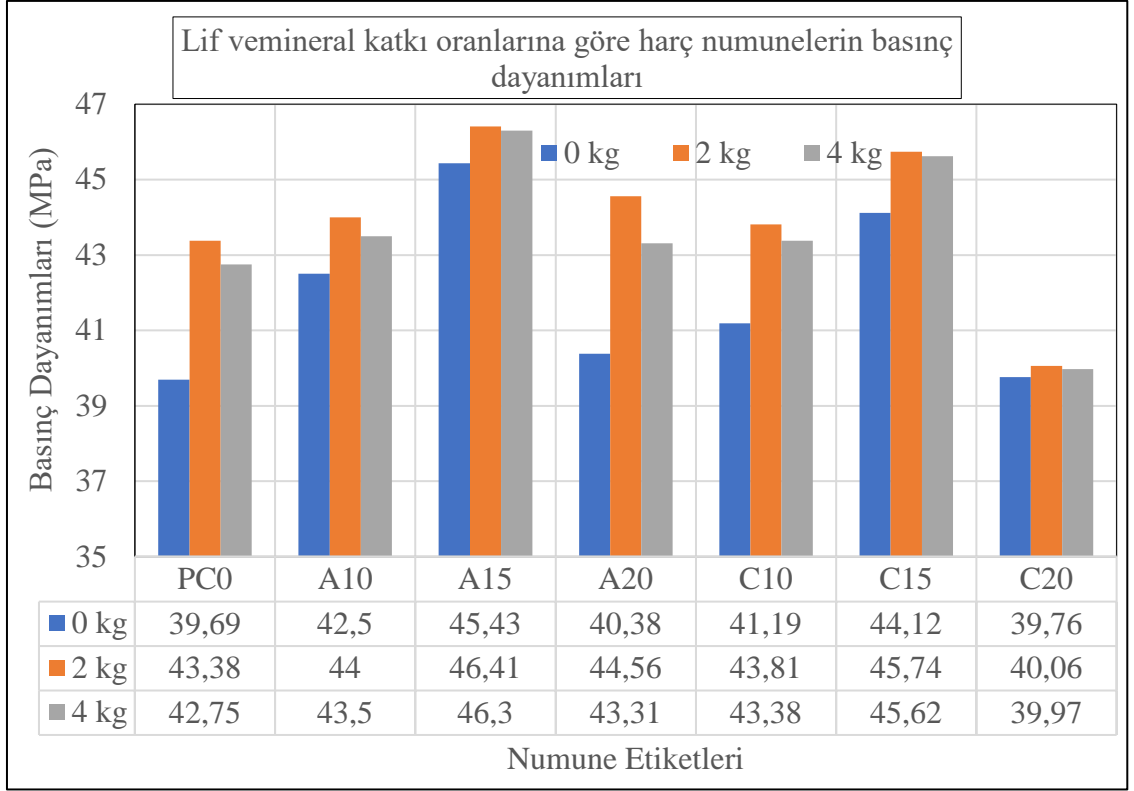


**Çizelge 5.5** Lif ve mineral katkı oranlarına göre harç numunelerin eğilmede çekme ve basınç dayanımları

<b>Numune Etiketleri</b>	<b>Lif Miktarı(kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mineral Katkı Oranı (%)</b>	<b>Eğilmede Çekme Dayanımları (Mpa)</b>	<b>Basınç Dayanımları</b>
PC00	0	0	5.34	39.69
A100	0	10	6.47	42.50
A150	0	15	7.32	45.43
A200	0	20	5.91	40.38
C100	0	10	6.21	41.19
C150	0	15	7.18	44.12
C200	0	20	5.63	39.76
PC02	2	0	6.19	43.38
A102	2	10	6.56	44.00
A152	2	15	7.44	46.41
A202	2	20	6.24	44.56
C102	2	10	6.45	43.81
C152	2	15	7.24	45.74
C202	4	20	5.84	40.06
PC04	4	0	7.03	42.75
A104	4	10	6.91	43.50
A154	4	15	7.58	46.30
A204	4	20	6.32	43.31
C104	4	10	6.57	43.38
C154	4	15	7.45	45.62
C204	4	20	5.96	39.97



**Şekil 5.7** Lif ve mineral katkı oranlarına göre harç numunelerinin eğilmede çekme dayanımları



**Şekil 5.8** Lif ve mineral katkı oranlarına göre harç numunelerin basınç dayanımları



Şekil 5.9 Eğilmede çekme deneylerinde kırılmış numunelere ait görünüm



**Şekil 5.10** Eğilmede çekme-basınç deneylerinde kırılmış numunelere ait görünüm

Polipropilen (PP) esaslı makrosentetik lif ve zeolit mineral katkıları içeren katkılı çimentolar ile üretilen harç numunelerin lif oranındaki artışla eğilmede çekme dayanımları artış eğiliminde değişimler göstermiştir. Bu değişimler lif kullanım amacıyla örtüşmektedir.

Söz konusu artışlar aşağıdaki gibidir. A104, A154, A204, C104, C154 ve C204 serilerinin eğilmede çekme dayanımları, A102, A152, A202, C102, C152 ve C202 serilerinininkine göre sırasıyla %5,33, %1,88, %1,28, %1,86, %2,9, %2,05 artmaktadır.

Diğer taraftan, A102, A152, A202, C102, C152 ve C202 ve A104, A154, A204, C104, C154 ve C204 serilerinin eğilmede çekme dayanımları lif içermeyen A100, A150, A200, C100, C150 ve C200 serilerinininkine göre sırasıyla %1,39, %1,64, %5,58, %3,86, %8,36 % ve %6,81 %3,52, %6,93, %5,78, %3,71, %8,00 oranlarında artmaktadır.

Polipropilen (PP) esaslı makrosentetik lif ve zeolit mineral katkıları içeren katkılı çimentolar ile üretilen harç numunelerin lif oranındaki artışla birlikte basınç dayanımı değerleri azalmaktadır. Bu azalmanın nedeni, liflerin harç karışımları içerisindeki dağılım ve yönelimlerine bağlı olarak gelişen boşluk miktarını artırdığı düşünülmektedir (Yılmaz, 2013).

Söz konusu azalmalar aşağıdaki gibidir. A104, A154, A204, C104, C154 ve C204 serilerinin basınç dayanımları, A102, A152, A202, C102, C152 ve C202 serilerinin basınç

dayanımlarına göre sırasıyla %1,00, %2,00, 2,92, %0,09, %0,03 ve %0,02 azalmaktadır. Diğer taraftan, A102, A152, A202, C102, C152 ve C202 serilerinin basınç dayanımları lif içermeyen A100, A150, A200, C100, C150 ve C200 serilerinin basınç dayanımlarına göre sırasıyla %3,5, %2,2, %10,4, %6,4, %3,7, ve %0,5 ise artmaktadır.

## 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

1. Zeolit katkılı (analsim ve klinoptilolit) çimentolar içeren polipropilen lif takviyeli harç numunelerin doymun kuru yüzeyli ve kuru birim hacim ağırlıkları hazırlanan harç numune bileşimlerine giren bileşenlerin birim hacim ağırlıklarına bağı olarak değışmektedir (bkz. Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.9).

2. Harç numunelerin ağırlıkça su emme oranlarındaki değışimler zeolit inceliğı ve lif yerleşimi ile ilişkilidir. Lif miktarındaki artışa bağı olarak su emme oranlarında artışlar belirlenmiştir Bu artış değıerleri literatür bulguları ile uyumludur (Hsie ve ark., 2008).

3. Harç numunelerin UPV değışimleri onların basınç dayanımları ile benzer değışim eğilimleri göstermiştir. Harç numunelerin kuru haldeki UPV değıerleri, DKY haldeki UPV değıerlerine göre azalmaktadır. Lif katkılı harç numuneler üzerinde yapılan ultrases geğıiş hızı ölçüm deneylerinden elde edilen sonuçlara göre lif miktarının artışına bağı olarak harç numunelerin ultrases geğıiş hızları düşmektedir.

4. Polipropilen (PP) esaslı makrosentetik lif ve zeolit katkı içeren harç numunelerin kılcallık katsayıları lif ve zeolit miktarındaki artışla azalmaktadır. Zeolit katkı yönünden yapılan karşılaştırmalarda analsim katkılı harç numunelerin kılcallık katsayılarının klinoptilolit katkılı olanlarınkine göre daha düşük olduğı belirlenmiştir Kılcal su emme değıerlerinde belirlenen değışimler literatür bulguları ile uyumludur (Açıkgenç ve ark., 2012).

5. Polipropilen (PP) esaslı makrosentetik lif ve zeolit mineral katkılar içeren katkılı çimentolar ile üretilen harç numunelerin lif oranındaki artışla eğilmede çekme dayanımları artış eğiliminde değışimler göstermiştir. Bu değışimler lif kullanım amacıyla örtüşmektedir. Çalışmada belirlenen eğilmede çekme dayanımı değıerleri literatür bulguları ile uyumludur (Ramezaniapour ve ark., 2013; Karahan, 2006; Hsie ve ark., 2008).

6. Polipropilen (PP) esaslı makrosentetik lif ve zeolit mineral katkılar içeren katkılı çimentolar ile üretilen harç numunelerin lif oranındaki artışla birlikte basınç dayanımı değıerleri azalmaktadır (Akkaş ve ark., 2010).

7. Zeolit vel lif katkı değıerlerindeki deney serileri sonuçları içinde en yüksek eğilmede çekme dayanımı A154, basınç dayanımı A152 serilerinde, en düşük kılcallık katsayısı A204 serilerinde belirlenmiştir.

8. Zeolit katkılı harç numunelerin özellikleri, farklı tür ve özelliklerdeki lif takviyeli olarak liflerin numuneler üzerindeki etkileri ayrıca incelenmelidir. Dayanıklılık üzerindeki deneysel incelemeler dayanım incelemeleri ile birlikte dikkate alınmalıdır.

9. Çalışmada kullanılan zeolitlerin puzolanik aktivitelerinin numuneler üzerinde önemli etkilerinin olduğu unutulmamalıdır (Karahana, 2006). 28 günlük harç numunelerinin deney sonuçlarını içeren bu çalışmada kür sürelerinin uzatılması ile dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin iyileşeceği literatür çalışmalarından bilinmektedir (Uzal, 2010). Buna göre, bu çalışmada kullanılan numunelerin geç yaş davranışlarının ne yönde etkileneceğinin incelenmesi bir sonraki çalışma konusudur.

10. Burada yukarıda belirlenen sonuçların çalışmada kullanılan doğal zeolitler ve bu deneysel çalışma şartlarında geçerli olduğunu belirtmekte fayda vardır.

Özetle, bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlardan görüldüğü gibi, %15 yer değiştirme miktarına kadar zeolit katkı ve amaca uygun olarak 2-4 kg/m<sup>3</sup> polipropilen lif takviyesi kullanılması ile harç numunelerin dayanımları ve geçirimsizlikleri iyileşmektedir.

Diğer taraftan, bu tez çalışmasındaki parametreler dikkate alınarak tüm sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, iki farklı zeolit türü olan analsim ve klinoptilolit isimli puzolan özellikli mineral katkıların polipropilen lif takviyesi ile beraber kullanılmaları halinde özellikle numunelerin çekme dayanımlarının iyileştirmesi amaçlı olarak fayda sağlayabileceği anlaşılmaktadır. Böylelikle, analsim ve klinoptilolit' in piyasada mevcut aynı amaçlarla kullanılan diğer puzolanik mineral katkılara alternatif olabileceği de söylenebilmektedir.



## 7. KAYNAKLAR

- Açıkgenç M., Arazsu U. and Alyamaç K.E., "Farklı karışım oranlarına sahip polipropilen lifli betonların dayanım ve durabilite özellikleri", SDU International Technologic Science, 4(3): 41-54, (2012).
- Akkaş, A., Alpaslan, L., Arabacı, S. & Başığit, C. (2010) Polipropilen Lif Katkılı Yarı Hafif Betonların Basınç Dayanımı Özellikleri, International Technologic Science, 9-14.
- Akman, M.S., 1990. Yapı Malzemeleri. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, 1408, 162, İstanbul.
- Alhozaimy, A.M., Soroushian, P., Mirza, F., 1996. Mechanical Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete and the Effects of Pozzolanic Materials. Cement and Concrete Composites, 18:85-92.
- ASTM C 311. (1994). Standart Test Method for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use a Mineral Admixtural Portland – Cement Concrete. American Society for Testing Materials (ASTM), Philadelphia, USA.
- ASTM C 618. (1994). Standart specification for coal fly ash and raw or calcined natural puzzolan for use as a mineral admixture in Portland cement concrete. American Society for Testing Materials (ASTM), Philadelphia, USA.
- ASTM C 597. (1998). Standard test method for pulse velocity through concrete. American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, USA.
- Bahadır, F. 2010. Polipropilen Lifli Betonların Mekanik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Yamak, A. (2021). Analsim ve Klinoptilolit Katkılı Çimentolar İçeren Hafif Harç Plakaların Isıl Performanslarının Belirlenmesi. (Yüksek Lisans) Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yenilenebilir Enerji, Ordu.
- ASTM C 311. (1994). Standart Test Method for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use a Mineral Admixtural Portland – Cement Concrete. American Society for Testing Materials (ASTM), Philadelphia, USA.
- Bošnjak J., Ožbolt J. and Hahn R. "Permeability measurement on High strength concrete out with polypropylene fibers at elevated temperatures using a new test setup", Cement and Concrete Research, 53-55, (2013).
- Choi, Y., Yuan, R.L., 2005. Experimental Relationship Between Splitting Tensile Strength and Compressive Strength of GFRC and PFRC. Cement and Concrete Research, 35:1587-1591.
- Fakharifar A, Arezoumandi M, Sharbatdar, M.K., Chen G. and Kheyroddin A., "Mechanical properties of high performance fiber reinforced cementitious composites", Construction Building Materials, 71: 510-520, (2014).

- Grdic Z.J., Curcic G.A.T., Ristic N.S. and Despotovic, I.M., "Abrasionresistance of concrete micro-reinforced with polypropylene fibers", *Construction and Building Materials*, 27: 305-312, (2012).
- H.Gerengi, Y.Koçak, M.Kurtay ve H.Durgun, "Diatomit ve Zeolit İkameli Beton İçerisindeki Donatı Korozyonunun Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) Yöntemi İle İncelenmesi" Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2016
- Hsie M., Tua C. and Song, P.S., "Mechanical properties of polypropylene hybrid fiber reinforced concrete", *Materials Science and Engineering A*, 494: 153-162, (2008).
- Jiang, C., Fan, K., Wu, F. ve Chen, D., 2014. Experimental Study on the Mechanical Properties and Microstructure of Chopped Basalt Fibre Reinforced Concrete, *Materials & Design*, 58, 187–193
- İ.B. Topçu, O.E. Demirel, T.Uygunoğlu, "Polipropilen Lif Katkılı Harçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri" *Politeknik Dergisi*, 2017
- Karahan, O. (2006). "Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri". (Doktora) Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- Kakooei S., Akil H.Md., Jamshidi M. and Rouhi J., "The effects of polypropylene fibers on the properties of reinforced concrete structures", *Construction Building Materials*, 27(1): 73-77, (2012).
- Kiper, M., 1996. Polipropilen Liflerin Özellikleri ve Kullanım Olanakları. İMO İzmir Şubesi Haber Bülteni, İzmir, 64:21-22.
- Lyksor.com. "Lyksor Makro Sentetik Fiber" . 02 Şubat 2022.
- Liu, L-F., Wang, P-M., Yang, X-J., 2005. Effect of Polypropylene Fiber on Dry-Shrinkage Ratio of Cemnet Mortar. *Journal of Building Materials*, 8(4):373-377.
- Nili M. and Afrouhsabet V., "The effects of silicafume polypropylene fibers on The impact resistance mechanical properties of concrete", *Construction Building Materials*, 24(6): 927-933, (2010)
- Okucu, A. (1998). "Bigadiç ve Turnatepe (Balıkesir) Yörelerindeki Zeolitik ve Perlitik Tüflerin Puzzolanik Özellikleri." Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir.
- Qiang, X., Jie, X., Lina, C., Chunjie, L., Deyi, W., Zhenjia, Z., & Hainan, K., (2013). A new sorbent that simultaneously sequesters multiple classes of pollutants from water: Surfactant modified zeolite. *Science Chine Technological Sciences*, 56(7), 1749-1757
- Ramezaniapour A.A., Esmaili M., Ghahari S.A. and Najafi M.H., "Laboratory study on the effect of polypropylene fiber on durability, and physical and mechanical characteristic of concrete for application in sleepers", *Construction and Building Materials*, 44: 411-418, (2013).

- TS EN 196-1. (2009). Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini. Türk Standardları Enstitüsü (TSE), Ankara.
- TS EN 197-1 “Genel Çimentolar- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri”, Türk Standardları Enstitüsü, 2002.
- TS EN 450-1 “Uçucu Kül – Betonda Kullanılan – Bölüm 1 : Tarif, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri” , Türk Standardları Enstitüsü, 2008.
- TS EN 12504-4 “Yapılarda Beton Deneylemleri – Bölüm 4 : Ultrasonik Atımlı Dalga Hızının Tayini” , Türk Standardları Enstitüsü, 2021.
- TS EN 12390-5 “Beton – Sertleşmiş Beton Deneylemleri – Bölüm 5 : Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini” , Türk Standardları Enstitüsü, 2019.
- Tokyay, M., Erdogdu, K. (1997). Cürufklar ve cürufllu çimentolar, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, T.Ç.M.B./AR-GE/Y97.2, Ankara, 1-2
- Uzal, B., Turanlı, L., Yücel, H., Göncüoğlu MC. & Çulfaz, A. (2010). Pozzolanic activity of clinoptilolite: A comparative study with silica fume, fly ash and a non-zeolitic natural pozzolan. Cement and Concrete Research, 40, 398-404.
- U.Gündeşli, “Uçucu Kül, Silis Dumanı ve Yüksek fırın Cürufunun Beton ve Çimento Katkısı Olarak Kullanımı Üzerine Bir Kaynak Taraması”,2008, Adana
- Ü.Bulut, “Perlitin Puzolanik Aktivitesi” ,2007
- Yıldız, 2006: Ramachandran, V. S., Beaudoin, James J., 2001
- Yılmaz A., “Akrilik lif ve uçucu kül katkılı çimento harçlarının mekanik özelliklerinin araştırılması”,2013, SDU,pp 66-73

## ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Emine Dilara OKTAY
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	
E-Posta Adresi	
Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Atatürk Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	İnşaat Mühendisliği
Mezuniyet Tarihi	27.09.2016
Yüksek Lisans	
Üniversite	Ordu Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı
Mezuniyet Tarihi	21.01.2022