

T.C.
İSTANBUL NİŞANTAŞI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ (TEZLİ) YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

KOLEMANİT VE POLİPROPİLEN LİF KATKISININ HARÇLARA
ETKİSİ

Beyza ŞİMŞEK

Yüksek Lisans Tezi

KOLEMANİT VE POLİPROPİLEN LİF KATKISININ HARÇLARA ETKİSİ

Beyza ŞİMŞEK

T.C.
İstanbul Nişantaşı Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
İnşaat Mühendisliği (Tezli) Yüksek Lisans Programı

Yüksek Lisans Tezi

ORCID ID: 0009-0008-6307-7335

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Furkan ŞAHİN

İstanbul
Kasım 2023

KABUL VE ONAY

Beyza ŞİMŞEK tarafından hazırlanan “Kolemanit ve Polipropilen Lif Katkısının Harçlara Etkisi” başlıklı bu çalışma, Kasım 2023 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesi: **Dr. Öğr. Üyesi Haydar DEGHAN** _____
İstanbul Gelişim Üniversitesi

Jüri Üyesi: **Doç. Dr. Anıl NİŞ** _____
İstanbul Gelişim Üniversitesi

Tez Danışmanı: **Dr. Öğr. Üyesi Furkan ŞAHİN** _____
İstanbul Nişantaşı Üniversitesi

Jüri tarafından kabul edilen bu çalışmanın Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Enstitü Yönetim Kurulu;

Karar Tarihi :

Karar Numarası :

Dr. Öğr. Üyesi Şerafettin SEVGİLİ
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını tezimin/projemin kaynak gösterilen durumlar dışında özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

14 Kasım 2023

Beyza ŞİMŞEK



SAVUNMA ÖNCESİ ONAYLAR

BENZERLİK ONAYI		
Başlık	Kolemanit ve Polipropilen Lif Katkısının Harçlara Etkisi	
Savunma Tarihi	14/11/2023	
Sayfa Sayısı	81	
Benzerlik Yüzdesi (%)	20	
Benzerlik Yüzdesi (%) (Kaynakça Hariç)	13	
Taranan Program	Turnitin	
Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, özet, ana bölümler ve sonuç kısımlarından oluşan çalışmam için şahsım ve tez danışmanım/Enstitü Sorumlusu tarafından intihal tespit programında taraması yapılmıştır. Tez Danışmanımın gözetiminde tamamladığım çalışmamın azami benzerlik oranlarına göre intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.		
Öğrenci Beyza ŞİMŞEK	Danışman Dr. Öğr. Üyesi Furkan ŞAHİN	

TEZDEN ÇIKARILAN YAYIN		
Yayın Başlığı	Şahin F., Şimşek B. & Yıldırım A.K. (2023). Combined effect of colemanite and polypropylene fiber on properties of cement mortar. <i>J. Civil Eng. Urban.</i> , 13(2), 25-32.	
Yayın Türü	☐ Ulusal Hakemli Dergide Makale ☒ Uluslararası Hakemli Dergide Makale ☐ Ulusal Kongre/Sempozyumda Bildiri ☐ Uluslararası Kongre Sempozyumda Bildiri	

TEŞEKKÜR

Bu tezin yazılması aşamasında, çalışmama yol gösteren danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Furkan ŞAHİN'e değerli katkı ve emekleri için içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Ayrıca görüş ve önerileriyle hazırlamış olduğum tezimi kabul eden değerli jüri üyelerine teşekkür ederim. Bu vesileyle tüm hocalarıma ve tez sürecinin her aşamasında katkıları olan Arş. Gör. Ahmet Kaan YILDIRIM'a ve Beyza AYGÜN'e teşekkürlerimi borç bilirim. Son olarak bütün eğitim sürecimde bana destek olan babam İbrahim ŞİMŞEK'e ve tüm aileme şükranlarımı sunarım.

Beyza ŞİMŞEK

Kasım, 2024



ÖZET

Beyza ŞİMŞEK

Kolemanit ve Polipropilen Lif Katkısının Harçlara Etkisi

Yüksek Lisans Tezi

İstanbul, 2023

Her geçen gün artan beton tüketimiyle beraber, çimento ihtiyacı da artmaktadır. Çimentonun üretim aşamalarında açığa çıkan CO₂ ve olumsuz etkilerinden dolayı alternatif malzeme arayışına gidilmektedir. Türkiye Dünya bor rezervinin %73 'ünü barındırması nedeniyle çimento miktarından azaltılarak bor türevi olan kolemanit üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Aynı zamanda betonun mevcut olumsuz özelliklerini iyileştirmek ve yapısına sünek davranış kazandırabilmek için Polipropilen Lif katkısı üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada da harçlar üretilirken, fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirebilmesi amacıyla polipropilen lif ve kolemanit kullanılmıştır. Kullanılan malzemeler belirli oranlarda harçlara eklenmiş ve çeşitli deneyler ile en iyi performansı gösteren harç araştırılmıştır. Deneyler %5, %10 kolemanit, %0,4, %1,2 oranlarında polipropilen lif ile üretilen harçlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Üretilen harçlar karışım oranlarına göre SH, K5, K10, K5/0.4L, K5/1.2L, K10/0.4L ve K10/1.2L şeklinde kodlanmıştır. Her bir deney için 1 set numune dizini üretilmiştir. Numuneler üzerinde yayılma, ultrases, kılcallık, su emme, yüksek sıcaklık, ıslanma-kuruma, basınç ve eğilme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar referans numuneye göre değerlendirildiğinde en düşük basınç dayanımını 33,15 MPa ile K10/1.2L numunesi gösterirken, en yüksek basınç dayanımını 46,96 MPa ile K5/0.4L numunesi göstermiştir.

Anahtar Kelimeler

Kolemanit, polipropilen lif, bor, harç, basınç

ABSTRACT

Beyza ŞİMŞEK

The Effect of Colemanite and Polypropylene Fiber Addition on Concrete Mortars

Master's Thesis

İstanbul, 2023

With the increasing consumption of concrete every day, the demand for cement is also on the rise. Due to the CO₂ emissions and negative effects arising from the production stages of cement, there is a search for alternative materials. In Turkey, where it holds 73% of the world's boron reserves, studies are being conducted to reduce the amount of cement by utilizing colemanite, a boron derivative. Simultaneously, efforts have been made to improve the existing negative properties of concrete and impart ductile behavior to its structure through the addition of Polypropylene Fiber.

In this study, polypropylene fiber and colemanite were used in the production of mortars to enhance their physical and chemical properties. The materials used were added to the mortars in specific proportions, and various experiments were conducted to investigate the mortar that exhibited the best performance. Experiments were conducted on mortars produced with 5% and 10% colemanite and 0,4% and 1,2% polypropylene fiber. The produced mortars were coded as SH, K5, K10, K5/0.4L, K5/1.2L, K10/0.4L, and K10/1.2L according to the mixing ratios. A set of samples was produced for each experiment. Spread, ultrasonic, capillarity, water absorption, high temperature, wetting-drying, compression, and flexural tests were performed on the samples. When the results were evaluated based on the reference sample, the mortar K10/1.2L showed the lowest compressive strength at 33,15 MPa, while the mortar K5/0.4L showed the highest compressive strength at 46,96 MPa.

Keywords

Colemanite, polypropylene fiber, boron, mortar, compressive

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
ETİK BEYAN	ii
SAVUNMA ÖNCESİ ONAYLAR	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
GRAFİKLER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
GİRİŞ	1
BİRİNCİ BÖLÜM: GENEL BİLGİLER.....	5
1.2 Bor.....	5
1.2.1. Borun tarihçesi ve kullanım alanları	7
1.2.2. Cam sanayisi	8
1.2.3. Tarım endüstrisi	8
1.2.4. Emaye ve seramik sanayisi	8
1.2.5. Deterjan ve sabun üretimi	9
1.3. Kulemanit.....	9
1.4. Polipropilen Lif	10
1.5. Agregat (Çakıl-Kum)	11
1.6. Çimento	13
1.7. Su	13
İKİNCİ BÖLÜM: LİTERATÜR	14
2.1. Kulemanit ile Yapılmış Çalışmalar.....	14
2.2. Polpropilen Lif ile Yapılmış Çalışmalar	18
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM: MATERYAL	22
3.1. Kum.....	22
3.2. Su	23
3.3. Çimento	23
3.4. Kulemanit.....	24

3.5. Polipropilen Lif	27
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM: METOT	28
4.1. Kalıpların Hazırlanması ve Harçların Üretimi	28
4.2. Yayılma Deneyi	29
4.3. Kılcallık Deneyi	35
4.4. . Ultrases Geçiş Hızı Deneyi	36
4.5. Su Emme Deneyi	36
4.6. 28 Günlük Eğilme ve Basınç Dayanımı Deneyi	36
4.7. Yüksek Sıcaklık Deneyi.....	38
4.8. Islanma Kuruma Deneyi	40
4.9. 7 ve 14 Günlük Eğilme ve Basınç Dayanımı Deneyi	41
BEŞİNCİ BÖLÜM: BULGULAR VE TARTIŞMA	43
5.1. Yayılma Deneyi Sonuçları	43
5.2. Su Emme Deneyi Sonuçları	44
5.3. Kılcallık Deneyi Sonuçları.....	46
5.4. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi Sonuçları	47
5.5. 28 Günlük Basınç ve Eğilme Dayanımı Sonuçları	48
5.6. 14 Günlük Basınç ve Eğilme Dayanımı Sonuçları	51
5.7. 7 Günlük Basınç ve Eğilme Dayanımı Sonuçları	52
5.8. Yüksek Sıcaklık Sonrası Ağırlık Kaybı ve Basınç Dayanımı Sonuçları	53
5.9. Islanma-Kuruma Deneyi Sonuçları.....	57
SONUÇ	61
KAYNAKLAR	64

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Bor Mineralinin Kimyasal Özellikleri	4
Tablo 2. Dünyada En Çok Bor Rezervi Olan Ülkeler.....	5
Tablo 3. CEN Standart Kum Elek Analizi	21
Tablo 4. Kullanılan Çimentonun Kimyasal, Fiziksel ve Mekanik Özellikleri.....	23
Tablo 5. Kolemanit Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	24
Tablo 6. Polipropilen Lifiin Özellikleri.....	24
Tablo 7. Numune Karışım Oranları	31
Tablo 8. Harç Numunelerinin Basınç ve Eğilme Deneyi Sonuçları	52
Tablo 9. 300°C Derece Sıcaklık Uygulanan Numunelerin Test Sonuçları.....	53
Tablo 10. 600°C Derece Sıcaklık Uygulanan Numunelerin Test Sonuçları.....	54
Tablo 11. 900°C Derece Sıcaklık Uygulanan Numunelerin Test Sonuçları.....	55
Tablo 12. Islanma-Kuruma Testi Sonuçları	56
Tablo 13. Numunelerin Islanma-Kuruma Öncesi ve Sonrası Dayanımları	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Bor Madeni	4
Şekil 2. Kolemanit Yapısı	9
Şekil 3. Polipropilen Lif	10
Şekil 4. Farklı Ebatlarda Elenmiş Agrega.....	11
Şekil 5. Portland Çimentosu.....	12
Şekil 6. Çalışmada Kullanılan Kum.....	21
Şekil 7. Çalışmada Kullanılan Portland Çimentosu.....	22
Şekil 8. Kolemanitin X-Ray Kırınım Analizi	25
Şekil 9. Çalışmada Kullanılan Kolemanit	25
Şekil 10. Çalışmada Kullanılan Polipropilen Lif	26
Şekil 11. Kalıpların Temizlenmesi ve Yağlanması Aşaması	27
Şekil 12. Harçların Mikserde Karıştırılma Aşaması	28
Şekil 13. Yayılma Testi Aşaması	29
Şekil 14. Harç Numunelerinin Sarsma Tablasına Hazırlık Aşaması	29
Şekil 15. Harç Numunelerinin Priz Alma Aşaması	30
Şekil 16. Deneme Numuneleri	30
Şekil 17. Harç Numunelerinin Üretim Aşaması	32
Şekil 18. Kür Havuzunda Bekleyen Numuneler	33
Şekil 19. Etüvde Tutulan Numuneler	33
Şekil 20. Kılcallık Deneyi Yapım Aşaması	34
Şekil 21. Kullanılan Beton Presi	36
Şekil 22. Harç Numuneleri Üzerinde Yapılan Bazı Deneyler	37
Şekil 23. Yüksek Sıcaklık Deney Cihazı	38
Şekil 24. 300 ve 600°C Derece Sıcaklığa Maruz Kalmış Numuneler	38
Şekil 25. 900°C Derece Sıcaklığa Maruz Kalmış Numuneler	39
Şekil 26. Islanma-Kuruma Test Aşaması	40
Şekil 27. Eğilme Dayanım Testi Uygulanmış 7 ve 14 Günlük Numuneler	41

GRAFİKLER DİZİNİ

Grafik 1. Yayılma Deneyi Sonuçları.....	43
Grafik 2. Su Emme Deney Sonuçları.....	44
Grafik 3. Farklı Oranda Kolemanit İlavesinin Absorbe Edilen Su Miktarına Etkisi	45
Grafik 4. Farklı Oranda Kolemanit ve Lif İlavesinin Absorbe Edilen Su Miktarına Etkisi	46
Grafik 5. Harç Numunelerinin UPV Sonuçları	47
Grafik 6. Harç Numunelerinin 28 Günlük Eğilme Dayanımı Sonuçları.....	50
Grafik 7. Harç Numunelerinin 28 Günlük Basınç Dayanımı Sonuçları	50
Grafik 8. Islanma-Kuruma Sonrası Numunelerin Ağırlık Değişimi.....	57
Grafik 9. Islanma-Kuruma Sonrası Numunelerin Basınç Dayanımları	57
Grafik 10. Islanma-Kuruma Sonrası Numunelerin Eğilme Dayanımları.....	58

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltma	Açıklama
Al ₂ O ₃	Alüminyum Oksit
ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
B ₂ O ₃	Borik Oksit
Ca-BORON	Kalsiyum Borat
CaO	Kalsiyum Oksit
Dk	Dakika
Fe ₂ O ₃	Demir Oksit
Gr	Gram
K ₂ O	Potasyum Oksit
Cl	Klor
Kn	Kilonewton
M	Metre
MM	Milimetre
MgO	Magnezyum Oksit
MPa	Megapascal
Na ₂ O	Sodyum Oksit
PP	Polipropilen
SO ₃	Kükürt Trioksit
SO ₄	Sülfat
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
Sn	Kalay
SiO ₂	Silisyum Dioksit
THBB	Türkiye Hazır Beton Birliği
TiO ₂	Titanyum Dioksit
TOKİ	Toplu Konut ve Kamu Ortaklığı İdaresi
UPV	Ultrasonik Dalga Hızı
ERMCO	European Ready Mixed Concrete Organization

GİRİŞ

Dünya genelinde bugün, sanayi ve teknolojik gelişmelerle paralel şekilde kullanım yaygınlığı ve ihtiyacı artan en önemli hammaddelelerden biri bor mineralleridir. Günden güne kullanım oranı artmakta olan bu mineral, birçok alanda ham madde olarak kullanılmaktadır. Bununla beraber Türkiye’de Dünya bor rezervinin %72,3’ü bulunmaktadır (Yenmez, 2009).

Bor ürünlerinin kullanım alanlarının artmasıyla birlikte, bor tüketiminde hızlı bir artış yaşanmaktadır. Gelişmekte olan kullanım alanlarından biri de borun yapı sektöründe kullanılmasıdır. Borun, yapı sektöründe en yaygın taşıyıcı malzeme olan beton ile kullanılması, betonun mevcut özelliklerini geliştirme ihtiyacından doğmuştur (Polat, 2012).

İnsanoğlunun en çok kullandığı birinci madde su olup, ikincisi ise betondur (Mehta & Paulo, 2006). Betonun, alternatif yapı malzemeleri ile inşa edilen diğer yapılara göre üstün tarafları, tercih edilmesinin temel nedenidir (Doğangün, 2009). İnşaat sektöründe beton, diğer yapı malzemelerine oranla daha çok tercih edilmektedir. Bunun başlıca sebepleri arasında Türkiye’de üretilebilmesi, üretim esnasında daha az enerji tüketilmesi, kolay temin edilmesi, ekonomik olması, işlenebilirliği, dayanıklı olması gibi birçok faktör örnek gösterilebilir. Bu açıdan limanlar, binalar, köprüler, barajlar ve yollar çoğunlukla beton ile inşa edilmektedir (Özkul vd., 2004).

Son yıllarda Türkiye’de inşaat sektöründe yaşanan büyüme, ülke genelindeki büyük projeler, en çok betonarme yapıların tercih edilmesi, kullanılan harç malzemelerinin yerli üretim olması, hazır beton tesislerinin çoğalması, kentsel dönüşüm projelerinin uygulanması gibi bir çok sebepten dolayı betona duyulan ihtiyaç ve beton üretimi sürekli olarak artmaktadır. Artan üretim daha dayanıklı ve gelişmiş beton ihtiyacını da beraberinde getirmektedir (Akakin vd., 2013). Hızlı kentleşme, betonun niteliksel standardını geliştirmek için çeşitli araçları keşfetme arayışını vurgulamaktadır (Mi vd., 2020)

Kimi zaman betonun çekme ve basınç dayanımı, işlenebilirlik kapasitesi, aderansı, elastisitesi, durabilitesi gibi özellikleri yetersiz kalarak, birçok açıdan nitelikleri geliştirilmiş betonlara duyulan ihtiyaç artmaktadır (Kan Yc., vd., 2004). Yapı

malzemelerinde pratik alternatiflerin bulunmaması, yapıların belirli malzemeler ile inşa edilmesi ve bu malzemelerinin yüksek maliyetli olmaları yapıların inşasının önündeki zorlayıcı faktörlerdir (Altabeeb, 2021).

Türkiye' ve tüm Dünya'da en çok kullanılan yapı malzemesi olan betonun bağlayıcısı çimentodur. Üretilen çimento miktarı ve üretilirken harcanan enerji miktarı dikkate alındığında, ekonomik ve çevresel etkileri araştırma konusu haline gelmiştir (Şahin, 2020). Tüm dünyada yükselişe geçen çevre duyarlılığı konusu, dünya nüfusunun artması ve çevresel faktörler gibi unsurlarla öne çıkmıştır. Böylelikle kullanılan malzemelerin de tasarım ve teknik özelliklerinin yanı sıra çevreye etkisi de dikkate alınmaktadır (Boyacı, 2018). Çevresel açıdan bakıldığında inşaat sektörü dünya toplam enerjisinin yaklaşık üçte birini tüketmekte ve bu da çevreye CO₂ emisyonunun yaklaşık %30 'una neden olmaktadır (Ashraf vd., 2022). Yapılan çalışmalar neticesinde çimento üretiminde kolemanit kullanımının, atmosfere salınan karbon dioksit miktarını %25-30 oranlarında düşürdüğü iddia edilmektedir (Demirel ve Nasıroğlu, 2017).

Beton; kum, çakıl, çimento birleşiminden meydana geldiği için, bu kaynakların tükenebilir olması ve elde edilirken ortaya çıkan çevresel zararlar göz önünde bulundurulduğunda, betonun zararını azaltacak, ülkemizde kaynak sıkıntısı çekmeyeceğimiz ekonomik malzemeler kullanılması üzerine çalışmalar yapılması gerekmektedir (Köse, 2011).

Günümüzde hızla gerçekleşen nüfus artışı, sanayi ve teknolojinin sürekli olarak gelişmesi de malzeme çeşitliliğini gerekli kılmaktadır. Gün geçtikçe artan ihtiyaçlar, hızlı tüketim faktörleri; kaliteli, yeni, ekonomik ve sürdürülebilir özelliklere uygun malzemeler kullanmayı önemli hale getirmektedir. İnşaat sektöründe en fazla kullanılan bağlayıcı malzeme ise çimentodur. Fakat üretim esnasında harcanan enerji, çevresel ve ekonomik problemleri ortaya çıkarmaktadır (Aygörmez, 2018). Sıradan Portland Çimentosu, tüm agregayı birbirine bağlayan bağlayıcı görevi gören beton üretiminde önemli bir malzemedir. Ancak çimento kullanımı çevrenin kirlenmesine ve hammaddenin (kireç taşı) azalmasına neden olmaktadır (Al Bakri vd., 2011).

Bu problemler, üretimi her geçen gün artan çimento endüstrisi ile büyüyerek, doğa için ciddi bir tehdit haline gelmektedir. Çimento üretiminde atmosfere yayılan CO₂ miktarının yanı sıra çimento klinkerinin elde edilmesinde de harcanan hammadde ve atık

malzemelerin geri dönüşümüne ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla araştırmacılar Portland çimentosunun yerine kullanılabilecek, doğaya zarar vermeden elde edilen ve bağlayıcı özellik taşıyan katkı malzemeleri arayışına girmektedir (Yıldırım,2019).

Farklı özellikler taşıyan malzemelerin harç içerisinde kullanılması, harcın yapısında kimyasal, fiziksel ve mineralojik değişimlere neden olmaktadır. Dolayısıyla farklı karışımlar ile üretilen harçların yapısı farklı özelliklerde olmaktadır.

Literatürde kolemanit ve polipropilen ilave edilerek üretilen harçların özelliklerini iyileştirmeyi amaçlayan birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmada ise harç su, kum ve çimento birleşimine ek olarak, çeşitli oranlarda kolemanit ve polipropilen lif eklenerek numuneler üretilmiştir. Üretilen numunelerde çeşitli kombinler oluşturularak %5, %10 oranlarında kolemanit kullanılırken %0,4, ve %1,2 oranlarında da polipropilen lif kullanılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında çimentonun ağırlığının %5'i ve %10'u eksiltilecek aynı miktarda kolemanit eklenerek numuneler üretilmiştir. İkinci aşamada ise %5 ve %10 olan kolemanit oranları sabit tutularak, hacimce %0,4 ve %1,2 oranlarında polipropilen lif katkısı eklenmiştir. Ayrıca ağırlığınca %15, %20 ve %25 kolemanit eklenerek de numuneler üretilmiştir. Fakat bu numuneler başarılı olamamış, kür esnasında dağılmıştır. Kolemanit katkısının çimento tüketimini azaltması hedeflenmiştir. Çimento yerine kolemanit kullanılarak, harcın basınç dayanımını korumak veya arttırmak, çimento üretiminin doğaya verdiği zararı hafifletmek, harç üretim maliyetini düşürmek de hedeflenen sonuçlardandır.

Standart harçlar çekme dayanımı yetersiz olan ve gevrek yapıya sahip malzemelerdir. Aynı zamanda çatlama sonrası yük taşıma performansı, deformasyon kapasitesi, aşınma dayanımı da oldukça düşük bir yapı malzemesidir. Betonun bu özelliklerini değiştirmek ve geliştirmek amacıyla çeşitli malzemeler kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerden biri olan polipropilen lifler, istenilen aşınma ve çekme dayanımı arttırmaktadır (Açıkgenç vd., 2012). Üretilen numunelerin, standart harç yapısına kıyasla kimyasal ve fiziksel özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Çalışma boyunca üretilen numuneler üzerinde su emme, ıslanma-kuruma, yüksek sıcaklık, kılcallık, eğilme, ultrases, basınç ve yayılma testleri yapılarak, kolemanit ve polipropilen lif katkısının harç numunelerinin kimyasal ve fiziksel özellikleri üzerinde meydana getirdiği değişiklikler gözlemlenmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM: GENEL BİLGİLER

1.2. Bor

Bor elementi periyodik tablonun 2. periyodunun 13. grubunda yer almaktadır. Atom numarası 5 olup, B sembolü ile gösterilen yarı metal bir elementtir.



Şekil 1. Bor Madeni

Kaynak: Bor nedir? Nerelerde kullanılır?

Tablo 1. Bor Mineralinin Kimyasal Özellikleri

Önemli izotopları: ^{11}B , ^{10}B	Elektron dizilimi: $[\text{He}]2s^22p^1$
Yoğunluk (g/cm^3): 2,34	Atom yarıçapı ($\text{\AA}$): 1,92
Elektron ilgisi (kJ/mol): 26,989	Oda sıcaklığındaki hâli: Katı
Erime noktası ($^{\circ}\text{C}$): 2077	Kaynama noktası ($^{\circ}\text{C}$): 4000
Elektronegatifliği: 2,04	Keşif yılı: 1808

Kaynak: Stratejik bir maden olarak bor minerallerin Türkiye için önemi

Bor elmadan sonraki en sert elementtir. Bor doğada iki şekilde bulunmaktadır. Birincisi parlak, siyah ve kristal şeklinde olup, diğeri şekilsiz, sarı ve daha az yoğun haldedir. Bor minerallerinden endüstrisi açısından en önemli olanları kolemanit, boraks, üleksit ve razolittir. Yaklaşık 4 asırdır bilinen saf bor elementini Gay-Lussac, Thenard ve Sir Humpry Davy elektroliz yöntemiyle elde etmişlerdir.

Sanayi bakımından gelişmekte olan Türkiye, bor bakımından önemli miktarda rezerve sahiptir. Bu ürünün rekabet gücünün önemli olduğu değerlendirilmektedir (Binici vd., 2011). Bugün bor ve bor ürünleri birçok endüstri alanının ham maddesidir. Borun Kullanım alanlarında tüketim hızla artmaktadır ve beraberinde yeni kullanım alanları da gittikçe artmaktadır. Atık bor da dahil olmak üzere, bor ürünlerinin yakın zamanda enerji üretim kaynağı olarak kullanılması öngörülmektedir. Bu sebeple bor hammaddeler arasında bir ayrıcalık kazanmaktadır. Bilinen dünya bor rezervlerinin büyük bir kısmının Türkiye’de olması, borun stratejik, teknolojik ve ekonomik avantajlarını arttırmaktadır.

Dünya bor rezervlerinde en zengin ülke Türkiye’ dir. Ülkemizde 851.000 milyon ton bor oksit (B₂O₃) bulunmaktadır ve bu miktar Dünya bor rezervinin %72,3’ünü kapsamaktadır. Türkiye sıralama yapıldığında birinci iken, Rusya, Güney Amerika ve Amerika Birleşik Devletleri bu sıralamaya eşlik ederek Dünya genelinde en büyük bor rezervleri arasında bulunmaktadır. Tablo 2’de Dünyada en çok bor rezervine sahip olan ülkeler ve sahip oldukları bor miktarları gösterilmektedir. Balıkesir, Eskişehir, Kütahya ve Bursa önemli bor rezervlerinin bulunduğu şehirlerdir. Ülkemizde en çok kolemanit, tinkal ve üleksit işletilmektedir. Meyerhofferrit, Probertit, Tünelit, Hidroborasit ve kernitte ülkemizde bulunan bor minerallerindendir. Bor mineralleri kullanıldıkları alanların bazılarında ham bor olarak kullanılmasına rağmen çoğunlukla rafine bor bileşiklerine ve özel bor ürünlerine dönüştürülerek birçok alanda kullanılmaktadır (Yenmez, 2009).

Tablo 2. Dünyada En Çok Bor Rezervi Olan Ülkeler

Ülkeler	Rezerv (milyon ton)	Dünya rezerv oranı (%)
Türkiye	851 milyon ton	%72,3
Rusya	100 milyon ton	%8,5
ABD	80 milyon ton	%6,8

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

1.2.1. Bor Tarihçesi ve Kullanım Alanları

Sodyum tetra borat tarihte ilk keşfedilen bor çeşidi olarak bilinmektedir. Sodyum tetra borat Sümerlerde metallerin oksit tabakasını çözmekte kullanılarak altın gümüş işlemede kullanılmıştır. Mezopotamya Roma ve Mısır’ da dezenfekte malzemesi olarak kullanılmış ve bunların yanı sıra Orta doğuda doktorların ilaç olarak kullandığına dair birtakım bulgular elde edilmiştir.

Boraks Mezopotamya uygarlıklarında ölü mumyalama, ilaç üretimi gibi amaçlarla ilk kullanılan bor minerali olarak bilinmektedir. Babilliler tarafından altın işleminde, Mısırlılar ve Romalılar tarafından borosilikat yapımında, Roma’ da ise antiseptik olarak kullanılmıştır (Bayar, 2001).

Bor 200 ü aşkın kullanım alanı olan bir mineral olarak, hala hayatın birçok alanında insanlığa fayda sağlamaktadır.

Doğada yüzlerce B_2O_3 içeren mineral bulunmaktadır. Bor mineralleri alkali sınıfına, kristal yapısına ve B_2O_3 miktarına göre çeşitli sınıflara ayrılmaktadır. Bu ayırım sonucunda ortaya çıkan minerallerden sadece sasolit, tinkal, howlite, kernit ve pandemit ticari öneme sahip olmakla birlikte en çok sodyum, tinkal, üleksit ve kolemanit kullanılmaktadır (Helvacı & Kistler, 1994).

Ülkelerin kalkınmasında sanayileşme büyük önem taşımaktadır. Sanayileşme için ise enerjiye, petrole, madenlere ve hammaddelere gereksinim duyulmaktadır. Sanayi üretiminde kullanılan hammaddelerin bir kısmına fazla ihtiyaç duyulurken bir kısmına daha az ihtiyaç duyulmaktadır. İhtiyaç çeşitliliği hammaddelerin sanayi üretimindeki kullanım yaygınlığına göre değişmektedir (Yenmez, 2009). Kalitesi ve çeşitliliği bakımından Türkiye dünya çapında en iyi bor rezervlerine sahiptir. Dolayısıyla sanayiye kalkındırarak potansiyele sahip olduğu öngörülmektedir. Türkiye’de var olan tesislerde çeşitli fiziksel ve kimyasal işlemler ile konsantre ve rafine bor ürünleri elde edilmektedir (Bayar, 2001).

Bor mineralleri cam, metalurji, deterjan, tarım ve nükleer uygulamalarda dahil olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bu çeşitlilik günden güne artmaktadır, dolayısıyla bor madeni Türkiye için stratejik açıdan önemli bir madendir (Yenmez,

2009). Bor kullanımı seramik ve cam sanayisi başta olmak üzere, kaplama sanayi, emaye sanayinde, otomotiv, nükleer, fiber optik sanayileri, refrakter, dezenfekte ediciler, uzay sanayisi, deterjan, elektronik rafinasyon, silah, ilaç, kozmetik, enerji, katalist, tarım, deri renklendirici, temizlik, tıp, kağıt, yangın dirençli malzeme üretimi, bitki ve böcek öldürücü, naylon, yapıştırıcılar, gübre, bilgisayar ve iletişim sektöründe, metalürji alanlarında, çimento korozyon önleyici üretimi gibi neredeyse her alanda kullanılmaktadır. Bor minerali birçok alanda kullanılmasıyla beraber cam sanayisi, tarım endüstrisi, emaye ve seramik sanayisi ve deterjan sabun üretimi başta gelen kullanım alanlarıdır.

1.2.2. Cam Sanayisi

Tekstil amaçlı üretilen cam yünü ve diğer cam lifleri her geçen gün gelişerek dünyada sektörel bazda %47 oranına sahip olarak en çok bor tüketim alanı kabul edilmektedir. Cam sanayisinde bor çeşitlerinden genellikle susuz borik asit, borik asit, razorit ve susuz boraks, kullanılır. Kaplanarak koruma ve izolasyon işlemlerinde kullanılan cam yünleri bu ürünler ile üretilmektedir. Zengin bor kaynaklarımız sayesinde ülkemizde ve dünyada borcam, cam seramikleri, optik lifler, şişe, izole cam elyafı, borosilikat camlar vb. ürünler elde edilmektedir.

1.2.3. Tarım endüstrisi

Bitkilerin büyümek için bora ihtiyaç duymasıyla beraber fazla bor bitkiler üzerinde öldürücü etki gösterebilmektedir. Bu nedenle kuru boraks veya boraks dekahidrat gübre ve ilaç yapımında kullanılmaktadır (Bayar, 2001).

Bor tüketiminde tarım endüstrisi dünya çapının %16'sını kapsamaktadır. Tarım endüstrisinde en çok razorit kullanılıp, bor ürünlerinin tüketim alanı çoğunlukla tarım ilaçları alanıdır ve suni gübre endüstrisidir. Bitki öldürücüler, böcek ilaçları, gelişim kimyasalları ve gübreler örnek ürünlerdir.

1.2.4. Emaye ve seramik sanayisi

Tıpkı sabun ve deterjan üretiminde olduğu gibi bu alanda da bor tüketimi nüfus ile aynı oranda artmakta olup en çok susuz boraks ve razorit kullanılarak çeşitli malzemelerin

üzerleri sırlanmaktadır. Dünyada bor tüketiminde %15’lik alana sahip olan sektöre parlaticılar, pasta ve cilalar bu sanayi üretimine örnek verilebilir.

1.2.5. Deterjan ve sabun üretimi

Petra hidrat ve boraks deka daha çok tüketilmektedir. Bor tüketiminin uluslararası boyutta %2’lik kısma tekabül etmektedir. Deterjan ve sabun üretiminde kullanılan borun insan nüfusu arttıkça aynı oranda artacağı öngörülmektedir. Banyo çözeltileri, kireçlenme önleyiciler, toz beyazlatıcılar, sabun, dezenfektan sıvılar, toz deterjanlar, bor minerali bulundurulurarak üretilmektedir.

Tıpkı karbon gibi birçok farklı bileşik oluşturmaya uygundur. Bu nedenle her gün yeni bir kullanım alanı ortaya çıkmaktadır. Dayanıklı olmaları ve düşük özgül ağırlığa sahip olmaları nedeniyle bu bileşiklerle elde edilen liflerle desteklenmiş plastiklerle metallerin bazı endüstri alanlarında kullanımları artmaktadır (Bayar, 2001).

Tinkal ve kolemanit konsantratör atıklarının kimyasal bileşiminde bulunan (Al_2O_3 , CaO , SiO_2 , K_2O , MgO , SO_3 , Fe_2O_3 , Na_2O ,) çimentonun ve çimento harcının üretiminde kullanılan diğer katkı maddelerinin bileşimini meydana getirmektedir (Kula, 2001).

1.3. Kolemanit

Mineral kolemanit kararlı borat minerallerinden biridir. Alkali göl çökeltilerinin yataklarındaki boratlar evaporit ve diğer minerallerle birlikte oluşur. Doğada bor elementinin oksijenli bileşiği, öncelikle alkalın toprak tuzları (alkali metal) minerallerde bulunur. Bu nedenle, borun kimyası B – O ile karışımına dayanmaktadır. Boratların kimyasal reaksiyonları genellikle bor ile karakterize edilmez. Doğrudan oksijen atomları ile ilişkilendirilir (Mehranpour, 2019).



Şekil 2. Kolemanit Yapısı

Kaynak: View of Colemanite Bor

Bor bileşikleri arasında en yaygın olan mineral de kolemanittir. Ulaşımı ve üretimi kolay olması kolemanit üzerine çalışmalar yapılmasını sağlamıştır. Bu çalışmada ise kolemanitin belirli oranlarda çimento yerine kullanılması durumunda üretilecek beton harçlarına fiziksel ve kimyasal davranışları incelenmiştir.

1.4. Polipropilen Lif

Lifler, kendi içerisinde farklı mekanik özelliklere sahiptir ve farklı boyutlarda bulunmaktadır. Çeşitli alanlarda lif kullanılmaktadır. Betonda kullanılan lifler arasında ise en yaygın olarak çelik, polipropilen ve karbon lifler kullanılır (Uçar, 2022). Lifler yüksek mukavemet ve elastisite modülüne sahip olmakla beraber doğal veya yapay olarak oluşturulabilmektedir (Erdoğan, 2003). Polimer lifler arasında en iyi sonucu verdiği için beton yapısında en çok polipropilen lifler kullanılmaktadır (Sümer ve Sarıbiyık, 2013). Polipropilen lif eski zamanlardan bu yana doğal mikro donatı kullanımının (hayvan kılı, saman) bugünün teknolojisine uyarlanmış biçimidir (Sümer, 2012). Beton katkı maddesi olarak lif kullanılması ilk olarak saman katkılı beton üretilmesiyle ortaya çıkmaktadır. Beton içerisinde lif katkısı ekleme gereksinimi, betonun yapısındaki çatlakları önlemek amacıyla ortaya çıkmıştır. Beton yapısı çekme mukavemetine karşı zayıf performans gösterdiğinden, beton karışımına liflerin eklenmesi durumunda mekanik özelliklerini, sünekliğini ve dayanıklılığını iyileştirmesi beklenmektedir (Kuder, 2010). Çatlakları azaltması, sünekliği artırması ve dolayısıyla

ani çökmeleri engellemesi sayesinde başarılı bir katkı malzemesi olarak kabul edilmektedir (Yaprak, H., Şimşek, O., Öner, A. 2004). Polipropilen liflerin özellikle mikro çatlamları önleme özelliğinden çimento esaslı kompozitlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Topçu, 2017). Bununla birlikte, yüksek sıcaklıklarda yüksek dayanımlı betonların patlayıcı parçalanma riskini azaltmak ve ortadan kaldırmak için araştırmacılar tarafından PP elyafın kullanılması önerilmiştir (Behnood,2009).



Şekil 3. Polipropilen Lif

Kaynak: Polipropilen elyaf

Havalimanı, yol gibi büyük ölçekli projelerde beton dayanımını ve mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla çeşitli lifler kullanılmaktadır (Sertbakan, 2023). Bu çalışmada ise harç numunelerine polipropilen lif eklenerek, harç özelliklerinde meydana gelen değişimler gözlemlenmiştir.

1.5. Agregada (Çakıl-Kum)

Beton hacminin %60- %80'i, ağırlığının da 4/5'i agregadan meydana gelir. Taze ve sertleşmiş betonların nicelikleri, karışımlarının oranları ve maliyetleri, agregada özelliklerinden ciddi ölçüde etkilenmektedir. Betonun üretim aşamasında kullanılması gereken agregada özellikleri TS 706 EN 12620 standartlarına göre;

- Zayıf taneli olmamalıdır,

- Toz, kir ve toprak benzeri betona zarar verebilecek maddeler bulundurmamalıdır.
- Boşluksuz, sert ve dayanıklı olmalıdırlar.
- Basınca ve aşınmaya mukavemetli olmalıdırlar.
- Yassı ve uzun daneler içermemelidirler.
- Donatıların korozyona karşı koymasını engellememelidirler.
- Çimento ile birleştğinde, betona zarar veren reaksiyonlara girmemelidirler (TS 706 EN 12620,2009).

Agregalar boyutlarının iri ve ufak tanelerden oluşması, iri tanelerin arasına ufak tanelerin yerleşmesi özelliğiyle beton yapısını oldukça etkilemektedir (Macit, 2009). Agregalar çimento olmadan betona mukavemet kazandırmaz fakat bağlayıcı görevi üstlenen çimento ile bir araya geldiğinde beton mukavemet kazanır. Agregalar mukavemetin yanı sıra betonun işlenebilirlik ve durabilite özelliklerine de katkı sağlamaktadır (Güner ve Süme, 2001).



Şekil 4. Farklı Ebatlarda Elenmiş Agregalar

Kaynak: Agregalar Gevşek Yığın Yoğunluğu

1.6. Çimento

Çimento, su ile karıştırıldığı zaman, katılaşabilen ve sertleşebilen ince taneli bağlayıcı bir yapı malzemesidir. Çimento, kırma taş, çakıl, kum gibi malzemelerin belirli ölçülerde bir araya getirilerek katı bir cisim oluşturması olayında bağlayıcılık rolünü üstlenir (Ağar vd., 1998). Şekil 5’ de Portland çimentosunun fiziksel görünümü verilmiştir.



Şekil 5. Portland Çimentosu

Kaynak: Özel Çimentolar

Çimento, hidrolik bağlayıcı özelliğe sahip olup, su ile birleştirilip hamur kıvamına getirildikten sonra katılaşarak dayanım kazanır (Ersoy,1995). Çimentonun karışım içerisindeki temel gayesi, katılaşması gereken beton harcının mekanik açıdan mukavemetini sağlayabilmektir.

1.7. Su

Çimento, hidrasyon için ağırlığının %25'i oranında suya ihtiyaç duymaktadır. Bu oranın üstünde kullanılan su miktarı yalnızca işlenebilirliği artırma amacıyla kullanılmaktadır. Su/çimento oranı arttıkça beton boşluk oranı artar ve beton dayanımı azalır. Dolayısıyla Su/çimento oranı arttıkça, betonun mukavemeti azalmaktadır.

İKİNCİ BÖLÜM: LİTERATÜR

2.1. Kolemanit ile Yapılmış Çalışmalar

Çiçek (2018), Yüksek sıcaklığın yapılarda meydana getirdiği mekanik ve fiziksel hasarlar büyük ölçeklerde can ve mal kaybına sebep olması konusunda çalışma yapmıştır. Betonarme yapılarda yüksek sıcaklığa maruz kalma durumunda hasara uğramamak ya da oluşan hasarı azaltmak için atık malzemeler ve kimyasal katkıları kullanılmıştır. Bu çalışmada yüksek sıcaklığa maruz bırakılan kolemanit konsantratör atığı katkılı harçlarda eğilme ve basınç deneyleri yapılmıştır. Çimento yerine %2, %3, %4, %5, %6, %7, %8, %9 ve %10 oranlarında kolemanit konsantratör atığı kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler 20, 150, 300, 450, 600 ve 700 °C sıcaklıklara maruz kalmıştır. Soğuyan numunelere eğilme ve basınç deneyleri yapılmıştır. Sonuçta referans (katkısız) numunelerde basınç dayanımı kaybı 750°C 'de %68, %10 kolemanit katkı içeren numunelerde %12 olarak gözlemlenmiştir. Kolemanit konsantratör içeren numunelerde düşük sıcaklık seviyelerinde basınç dayanımlarının yükseldiği fakat %4 kolemanit katkısından sonra dayanımın azalma eğiliminde olduğu görülmüştür. Eğilme dayanımı sonuçlarında ise referans numunelerde 750°C 'de %71, %10 kolemanit katkısı içeren numunelerde %59 olarak kaydedilmiştir. Yine düşük sıcaklık seviyelerinde kolemanit konsantratör atığı katkılı numunelerde %5'e kadar eğilme dayanımı artmış fakat %5'ten sonra eğilme dayanımının azaldığı gözlemlenmiştir.

Yaltay (2015), %0, %0,4, %0,6, %0,8, %1 ve %2 oranlarında kolemanit katkısına sahip pomza agregalı hafif betonlar üreterek, oluşan harçların fiziksel özellikleri araştırmıştır. Numuneler 28, 56 ve 360 gün kürlenmiştir. Kolemanit katkısının gama radyasyon soğurganlık değerleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Üretilen kolemanit katkılı hafif betonlar üzerine kılcal su emme, porozite, basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı ve yüksek sıcaklık dayanımı testleri yapılmıştır. Kür süresinin sonuçlara etkisi incelenmiştir. Çıkan sonuçlarda betonun radyasyon zırlama niteliğinde ilerleme görülmüştür fakat kolemanit miktarı ile lineer ve kütle soğurma katsayıları arasında doğrusal bir ilişkinin olmadığı gözlemlenmiştir. 28 ve 56 günlük kolemanit katkısı içeren hafif beton numunelerde 400 °C sıcaklık sonrası değişken bir basınç ve ağırlık kaybı gözlemlenirken, 600°C ve 800°C'lik sıcaklıklarda değerler birbirine yakın çıkmıştır. Uzun kür süresinin sağladığı iyileşmede kür yaşı ile lineer ve kütle soğurma katsayıları arasında kuvvetli bir doğrusal

ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Uzun kür süresi aynı zamanda kapiler su emme ve porozite değerlerini düşürmüş, basınç dayanımını yükseltmiştir.

Bideci ve Bideci (2018), CEM I 42,5 R Portland çimentosuna %0, %1, %3, %5, %7 oranlarına sahip öğütülmüş kolemanit (KLMT) eklenmiştir. Pozolanik aktivite deneyinde harçlar; kolemanit, standart kum, sönmüş kireç ve suyun TS 25 standardına uygun şekilde üretilmiştir. Kıvam deneyi ile numunelere eklenen her %1'lik kolemanit miktarına karşılık, karışımların içerisine eklenen su miktarında da 9cc'lik artış gözlenmiştir. Referans (KLMT-0) numunede 225 gr., KLMT-1' de 225 gr., KLMT-3'te 227 gr., KLMT-5'de 229 gr. ve KLMT-7'de ise 237 gr. su kullanılmıştır. Numuneler sıkıştırma işleminden sonra bağıl nemin %95 olduğu rutubet dolabı içerisinde 24 saat bekletilmiştir. Numuneler kalıptan çıkarıldığında 20 ± 2 °C sıcaklığa sahip su havuzunda 2, 7 ve 28 gün bekletilmiştir. Sonuçlara bakıldığında kolemanitin özgül yüzeyde olması gereken en az $4000 \text{ cm}^2 / \text{g} \pm \%25$ değeri kolemanit $3839 \text{ cm}^2 / \text{g}$ olarak belirlenmiştir. 90 mikron göz açıklığına sahip olan elek üzerinde kalan miktarın kütlece en çok %8 olması koşulu sağlanmıştır. Standartta 7 günlük kür sonucu minimum basınç dayanım değeri olan 4MPa'yı da karşılayarak 4.1MPa değerini vermiştir. Bu sonuçlar dahilinde kolemanitin pozolanik aktivitesi olduğu ileri sürülmüştür. Kolemanitin özgül ağırlık değerinin çimentonun özgül ağırlık değerinden düşük olduğu, kolemanit katkılı numunelerin özgül ağırlıklarının katkı miktarının artışı ile azaldığı gözlemlenmiştir. Özgül yüzey sonuçları da özgül ağırlık sonuçları gibi kolemanit miktarı arttıkça, azalmış ve bütün katkılı numunelerin özgül yüzey sonuçları referans numuneden daha az çıkmıştır. Hidratasyon reaksiyonu sonuçlarını gözlemlemek için priz başlangıç ve priz sona erme süreleri belirlenmiş, çıkan sonuca göre priz başlangıç ve sonu süreleri referans numuneden yüksek çıkmıştır. En yüksek priz başlangıç ve sonu süresine sahip numune KLMT-7 numunesi olmuştur. Dolayısıyla kolemanitin priz geciktirici etkisinin olduğu söylenebilmektedir. Kolemanit katkı miktarının artışı ile standart kıvam suyu ihtiyacının da arttığı görülmüştür. Elde edilen değerlere göre kolemanit katkı oranının artmasıyla basınç dayanımının düştüğü gözlemlenmiştir. Kolemanit katkılı numuneler içerisinde en yüksek basınç dayanımına KLMT-1 numunesi sahipken, en düşük basınç dayanımına KLMT-7 numunesi sahiptir. TS EN 197-1 standardına göre 2 günlük numunelerin sağlaması gereken erken dayanım ($\geq 20 \text{ MPa}$) değerine ulaştığı ve 28 günlük numunelerin istenilen en düşük mekanik özelliği sağladığı belirlenmiştir. Tez sonucunda ise %1, %3 ve %5

oranlarına sahip kolemanit katkısının çimento ikame malzemesi olarak kullanılabileceği öne sürülmüştür.

Sert ve Kara (2018), beton harcına çeşitli oranlarda kolemanit katkısı ekleyerek, geç dayanım kazanan betonların, farklı kür koşullarında basınç dayanımlarına etkisini incelemişlerdir. Karıştırılan beton numunelerin içerisinde CEM I 42.5 R çimentosu, şebeke suyu, süper akışkanlaştırıcı, kırmataş agrega ve kolemanit bulunmaktadır. Çalışma kapsamında %0, %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarında kolemanit katkısı kullanılmıştır. Numunelere K0, K1, K2, K3, K4 ve K5 şeklinde kodlamalar yapılmış. Her bir beton türünden 3'er adet olup, 3 farklı şekilde küre tabi tutulmuşlardır. Birinci grup 7 gün suda bekletilip, 90. güne kadar laboratuvar ortamında tutulmuştur. İkinci grup 28 günü suda olmak üzere 90. güne kadar laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Son olarak üçüncü grup ise 90 gün boyunca su havuzunda kür edilmiştir. Birinci gruptaki (7 gün suda bekletilen) numunelerin ultrases geçiş hızları 4,60-4,70 km/s, İkinci gruptaki (28 gün suda bekletilen) numunelerin ultrases geçiş hızları 4,65-4,77 km/s ve üçüncü gruptaki (90 gün suda bekletilen) numunelerin ultrases geçiş hızları ise 4,66-4,82 km/s ölçülmüştür. Tüm kür koşullarına bakıldığında en düşük ultrases geçiş hızı K5 numunesine ait iken, en yüksek ultrases geçiş hızı K3 numunesine ait olduğu belirlenmiştir. G1 kür koşulundaki numunelerin basınç dayanım değerleri 45.11 MPa- 48.64 MPa, G2 numunelerinde basınç dayanım değerleri 46.88 MPa – 51.26 MPa ve G3 numunelerindeki basınç değerleri 47.55 MPa – 52.30 MPa aralığında bulunmuştur. Sonuç olarak bakıldığında aynı tür betonlar farklı kür koşullarında farklı dayanım değerleri vermektedir. En yüksek dayanım değerleri G3 kür koşulundaki numunelere ait iken en düşük dayanım değerleri G1 kür koşuluna tabi tutulan numunelere ait olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre tüm kür koşullarında kolemanit katkısının %4' e kadar kullanılması referans numuneye kıyasla basınç dayanım yüzdesini arttırmaktadır. Bu çalışmada elde edilen bütün beton türlerinde ultrases geçiş hızı değerleri 4,60 – 4,82 km/s aralığında olduğundan üretilen bütün numunelerin çok iyi kalitede olduğu tespit edilmiştir. En düşük ultrases geçiş hızı ve basınç dayanım değerine sahip numune K5 iken, en yüksek basınç dayanımına sahip olan numunenin K3 olduğu belirtilmiştir. Beton türlerinin kür süresinin artması basınç ve ultrases değerlerini arttırmış ve uzun kür süresinin basınç dayanımını arttırdığı sonucuna varılmıştır.

Shalbi ve diğerkleri (2020), yürüttükleri araştırma kapsamında betonun fiziksel, mekanik ve radyasyondan korunma özellikleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Radyasyon kalkanına karışan radyasyon kalkanı madde miktarı; sertlik, gerilme mukavemeti dahil olmak üzere mekanik özelliklerin ve kopma uzamasının bu radyasyon koruyucu blokların artmasıyla azalmıştır. Bu sebeple termalde bor nötron yakalama tedavisi için optimum koruma sağlamak amacıyla barit ve kolemanit içeren beton karışımının mekanik ve koruma özellikleri kullanılmıştır. Beton harcına kolemanit eklenmesiyle oluşan numuneler hazırlanmıştır. Bütün numuneler mekanik ve radyasyon testleriyle incelenmiştir. Mekanik testlerde çökme testi, ultrasonik darbe hızı testi ve basınç dayanımı testi yapılmıştır. Sonuçlar, nötron radyasyonunun en yüksek absorpsiyon miktarının %46,95 barit ve %1,85 kolemanit (E) numunesinden ve en az miktarda emen numune ise nötron, %46,5 barit ve %1,25 kolemanit içeren numuneden (C) elde edildiğini göstermiştir. E numunesi diğerk örneklerle karşılaştırıldığında, tespit edilen en düşük ortalama eşdeğer nötron radyasyonunu göstermiştir, dolayısıyla nötron için iyi bir emici olduğunu göstermiştir. Sonuçlara bakıldığında en yüksek nötronu elde etmek için beton karışımına ilave edilecek optimum miktar %46,95 barit ve kolemanitin %1,85'idir. Karışım betonundaki barit ve kolemanitin gama üzerine etkilerini gösteren sonuçlarda %46,5'ini oluşturan barit ve %1,88 kolemanit ilavesi ile beton numunesi D %75,18 ile en yüksek absorbe edilen gama miktarını göstermiştir. Sonuçlar beton karışımında emilen gama radyasyonu miktarı ne kadar fazlaysa, betondan geçen gama radyasyonu miktarın o kadar düşük olduğunu açıklamıştır. Tespit edilen gama sayımı oranı ise, Numune A 'nın tespit edilen minimum sayım oranına sahip olduğunu göstermiştir. %46,95 barit ve %1,85 oranında barit içeren numune E'nin, 40 MPa'dan daha yüksek basınç dayanımında (42 N/mm²) olduğu gözlemlenmiştir. Bu araştırmaya göre numune E, barit kolemanit betonunun hem koruma hem de mekanik özelliklerini karşılamıştır. Beton kalitesi, beton yoğunluğu ve beton dayanımı gibi özellikleri iyileştirdiği öne sürülmüştür.

2.2. Polipropilen Lif ile Yapılmış Çalışmalar

Acun (2020), beton içerisinde polipropilen lif ekleyerek, lifli betonların standart betonlara kıyasla yapısında meydana gelen değişimleri incelemiştir. Çalışma kapsamında 2 cm uzunluğa sahip M20 tipindeki polipropilen lif kullanılmıştır. Lifler üretilen betonlara %0,06, %0,08 ve %0,09 oranlarında eklenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde en yüksek basınç dayanımını %0,06 polipropilen lif bulunduran beton numunesi göstermiştir. Fakat bu değer referans numuneye çok yakın olduğu için basınç dayanımı konusunda polipropilen lifin beton özelliklerine pek bir katkı sağlayamadığı kaydedilmiştir. Eğilme dayanımı söz konusu olduğunda ise %0,09 oranına sahip lifli betonun referans (lifsiz) betona kıyasla 1,5 kat daha yüksek dayanıma sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Aktaş (2022), yangın direnci için 36 adet çelik lif ve 36 adet polipropilen lif katkısı içeren numuneler üretmiştir. %0,05, %0,10 ve %0,20 oranlarında polipropilen lif ve %0,5, %1,0 ve %2,0 oranlarında çelik lif kullanılmıştır. Üretilen bütün numunelerde su/bağlayıcı oranı 0,18 olarak belirlenmiştir. Yangın direnci testi için hazırlanan numune harçlar 21+1 °C sıcaklıkta kür havuzunda 27 gün bekletilmişlerdir. Kür süresi tamamlandığında her lif çeşidinden 3'er adet numune harç, 300 °C, 600 °C ve 900 °C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Soğuyan numunelere eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Donma-çözülme döngüsü için dökülen numuneler 28 gün küre tabi tutulmuşlardır. Kür sonunda 3'er numuneye eğilme ve basınç dayanım deneyi uygulanmıştır. Diğer numunelerde ise her lif çeşidinden 3'er tane numune 50 kez donma-çözülme döngüsüne maruz bırakılmıştır. Kalan numunelerde ise her lif çeşidinden 3'er numune donma-çözülme döngüsü boyunca 21+1 °C kür havuzunda bekletilmiştir. 50 kez tekrar eden döngüden sonra bütün numuneler üzerinde eğilme ve basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Çalışmaların sonucunda harçlarda çelik lif ve polipropilen lif kullanımının yangın deneyleri ve donma-çözülme deneyleri neticesinde eğilme ve basınç dayanımlarını arttırdığını gösteren değerler elde edilmiştir. Harcın içerisine eklenen lif oranının artmasıyla numunelerin eğilme ve basınç mukavemetleri artmış, büzülme miktarları azalmıştır. Yangın direnci parametrelerinde en yüksek basınç dayanımını 300 °C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin sahip olduğu tespit edilmiştir. Tüm sıcaklık değerlerinde kullanılan lif miktarının artması eğilme dayanımını da arttırmıştır. Eğilme dayanımında da çelik lifli karışımlarda 20 °C'deki numuneler en yüksek mukavemete sahip olurken, polipropilen lifli olanlarda 300 °C sıcaklığa maruz kalan numuneler en

yüksek mukavemet değerini göstermiştir. Donma-çözülme etkisi incelenen numunelerde çelik lif ve polipropilen lif ikamesinin numune üzerindeki basınç ve eğilme dayanımlarını arttırdığı sonucuna varılmıştır.

Bahadır (2010), tarafından yürütülen çalışmada polipropilen lifin beton içerisine ikame edilmesi durumunda yapısında meydana gelen mekanik özellikler üzerine araştırma yapılmıştır. 0/4-0/5-0/6 olacak şekilde 3 farklı su/çimento oranı ve 0.9 ve 1,8 kg/m³ oranlarında 3 çeşit polipropilen lif kullanılmıştır. Hazırlanan numunelerin her birine çökme deneyi yapılmıştır. Küp ve prizma numuneler üretilip, bu numuneler 7 ve 28 su kürüne tabi tutulmuştur. Ultrases, birim ağırlık, basınç, Schmidt çekici, yarmada çekme ve eğilmede çekme deneyleri yapılmıştır.

Latıfı (2020), yılında yaptığı çalışmada beton harcına makro sentetik polipropilen lif eklenerek, taze ve sertleşmiş betonun yapısında meydana gelen değişiklikler ve referans numuneye kıyasla niteliklerindeki farklılıklar incelenmiştir. Hazırlanan numunelerde toplam hacmin %0,1, %0,2, %0,3, %0,4 ve %0,5'i oranlarında polipropilen lif karıştırılmıştır. Karışımlarda su/çimento oranı 0,5, çimento dozajı 390 kg/m³ ve çökme değeri 18±2 olarak belirlenmiştir. Polipropilen lif kullanımı ile hedeflenen yayılma değerini elde etmek için su azaltıcı katkı malzemesi ihtiyacının arttığı görülmüştür. İstenilenin aksine polipropilen lif numunenin basınç dayanımı ve elastisite modülü sonuçları üzerinde önemli bir etkisi gözlemlenmemiştir. Test sonuçlarına göre makro sentetik polipropilen katkılı harçların yarmada çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve sünekliği ciddi ölçüde artmıştır. Polipropilen lif katkılı numuneler şahit numunelere kıyasla durabilite performansını ve boyutsal kararlılığını arttırmıştır. Büzülme kaynaklı boyda meydana gelen değişimler ve aşınma sonucunda oluşabilen ağırlık kaybı değerleri karışımda makro sentetik polipropilen lif bulunması ile ciddi şekilde azalmıştır. Lif karışım miktarına bakılmaksızın, polipropilen lif ikamesinin numunelerin elastisite modülü üzerinde önemli bir etkisinin bulunmadığı görülmüştür. Polipropilen lif kullanımı su emme değerlerini azaltmıştır ve lif oranı arttıkça su emme miktarı azalmıştır.

Topçu ve diğerleri (2017), yaptıkları çalışma kapsamında hacimce %0,6, %0,8, %0,9, %1,1 oranına sahip polimer esaslı polipropilen lifin beton harcının özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Karışımlarda 450 g CEM I-42.5/R Portland çimentosu, 225 g su, 1350 g standart kum ve dört farklı görünüm oranlarında (%0,6, %0,8 %0,9 ve %1,1) polipropilen

lif kullanılmıştır. Propilen liflerin kodları sırasıyla M03, M06, F12, M19'dur. Kalıplara dökülen harçlar priz aldıktan sonra, 20 ± 2 °C kür havuzunda 27 gün boyunca kür edilmişlerdir. Numuneler etüvde kurutulduktan sonra ultrases geçiş hızları ölçülmüştür. Daha sonra, 24 saat su içerisinde bekletilmiş ve su emme değerleri ölçülmüştür. Numuneler üzerinden ölçülen ultrases geçiş hızı ve birim ağırlık deney sonuçları kullanılarak dinamik elastisite modülleri de belirlenmiştir. Sonuçlara bakıldığında polipropilen lifler harçların birim ağırlık ve işlenebilirlik değerini azaltmışlardır. İşlenebilirliğin azalması liflerin topaklanma yapmasına bağlanmıştır. Ayrıca lifler topaklanma oluşturduğunda harcın kalıba yerleştirmesi daha güç hale gelmiş, harcın yapısında boşluklar oluşmuştur. Dolayısıyla propilen lif miktarı arttıkça, harçtaki boşluklar da artmış ve birim hacim ağırlık değerleri de referans numuneye göre düşük çıkmıştır. En düşük birim ağırlık değeri en fazla lif içeren harçlarda gözlemlenirken, lif tipi bakımından en uzun lif (19 mm) içeren harçlarda gözlemlenmiştir. Basınç dayanım değerleri incelendiğinde, harç içerisinde polipropilen lif kullanımının basınç dayanımını hem artırıp hem de azalttığı gözlemlenmiştir. Bu durumun ilave edilen liflerin harcın işlenebilirliğini azalttığından ya da harç içerisindeki dağılımının ve yöneliminin etkisi sonucu ortaya çıktığı düşünülmektedir. Referans numunenin basınç dayanım değeri 55.72 MPa iken, polipropilen lif katkılı harçların basınç dayanım değerleri 46.31 MPa-53.87 MPa arasında olup %3,3-%17 dayanımın oranında azaldığı görülmüştür. Dolayısıyla lif katkısının basınç dayanımını düşürdüğü söylenebilir. Fakat lif miktarının artması eğilme dayanımını kayda değer ölçüde arttırmıştır. Harç yapısına ilave edilen lif miktarı ve lif tipinin eğilme dayanımı ile doğrudan ilişkili olduğu söylenmiştir. En yüksek su emme değeri %4 oranı ile 19 mm uzunluğundaki polipropilen lifli harçlarda görülürken, en düşük su emme değeri ise %2,7 değeri ile 3 mm uzunluğundaki polipropilen lifleri içeren beton harçlarında görülmüştür. Genel olarak değerlendirildiğinde polipropilen liflerin su emmeyen yapıda olmaları sebebiyle harçlardaki su emme oranlarındaki artışların oldukça düşük miktarlarda olduğu söylenmiştir. Su emme oranlarındaki artışın sebebi beton içerisinde lif kaynaklı oluşan boşluklardan dolayı olduğu söylenmektedir. Polipropilen lifli numunelerin da ultrases geçiş hızları lif miktarının arttırılmasıyla boşluk oranı arttığı için referans numuneye göre daha düşük değerler almıştır. Buna rağmen lifli numunelerin ultrases geçiş hızı 4 km/sn den büyük olduğu için kaliteli beton sınıfında bulunmaktadır. Referans numunenin

elastisite modülü 46 GPa iken, polipropilen liflerin en yüksek oranda kullanıldığı numunelerin elastisite modülleri 41.6-42.63 MPa değerlerindedir. Dolayısıyla lif miktarının artmasıyla elastisite modülünün düştüğü söylenebilir. Harç içerisindeki ürünlerin dağılımı ve aderansı gözlemek için yapılan mikroyapı incelemesinde, referans numuneye kıyasla lifli numunelerde aderansın tamamen sağlanamadığı görülmüştür. Eğilme dayanımlarının lif hacmiyle doğru orantılı şekilde artması aderansın çok düşük olmadığını göstermiştir.



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM: MATERYAL

3.1. Kum

Araştırma kapsamında Limak 1350 gr. CEN standart kum kullanılmıştır. Kullanılan kum, TS EN 196-1'e standartlarına uygun üretilmiştir. Pınarhisar Limak Çimento Fabrikası'ndan temin edilen CEN standart kumun elek analizi Tablo 4'te gösterilmiştir (Doğan vd., 2016)

Tablo 3. CEN Standart Kum Elek Analizi

Kum tanesi çapı (mm)	0.08	0.16	0.5	1.0	1.6	2.0
Kalan (%)	99	87	72	34	6	0
Standart limitleri (%)	99 ± 1	87±5	67±5	33±5	7±5	0

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu



Şekil 6. Çalışmada Kullanılan Kum

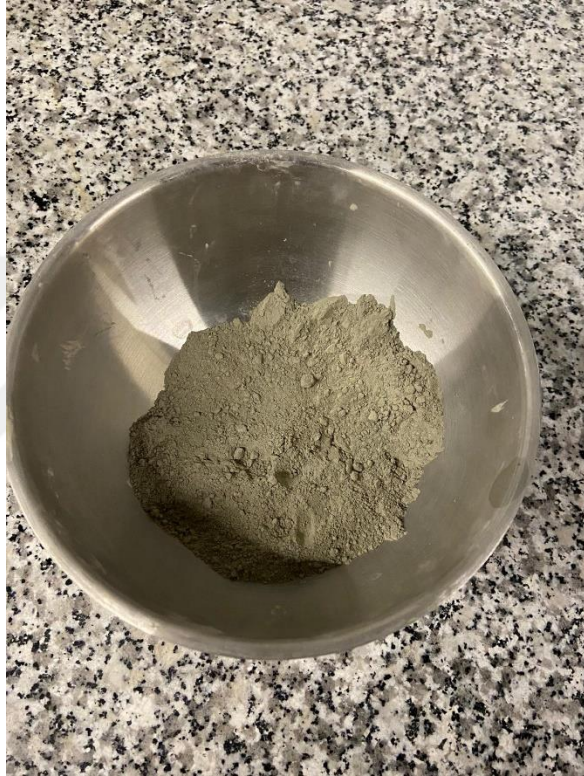
Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

3.2. Su

Araştırma kapsamında karışım suyu olarak İstanbul İli Sarıyer İlçesi temiz şebeke suyu kullanılmıştır.

3.3. Çimento

Araştırma kapsamında standart Portland çimentosu kullanılmıştır Uygun çimento özellikleri dikkate alınarak kullanılan çimentonun bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 4’te gösterilmektedir.



Şekil 7. Çalışmada Kullanılan Portland Çimentosu

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

Tablo 4. Kullanılan Çimentonun Kimyasal, Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Kimyasal Özellikler	%	Fiziksel ve Mekanik Özellikler	
SiO ₂	20,5	Özgül yüzey, cm ² /g	3510
Al ₂ O ₃	4,65	Özgül ağırlık, gr/cm ³	3,12
Fe ₂ O ₃	3,40	Priz başlama periyodu, dakika	153
CaO	62,7	Priz bitiş periyodu, dakika	188
MgO	1,02	Basınç dayanımı	
SO ₃	2,21	2 gün, MPa	30,2
TiO ₂	-	7 gün, MPa	51,1
Na ₂ O	0,18	28 gün, MPa	62,2
K ₂ O	0,41		
Klor (Cl ⁻)	0,01		
Çözünmez kalıntı	0,60		
Kızdırma kaybı	2,15		

Kaynak: Stiren-Bütadien Kopolimer Katkısının Çimento Harçlarına Etkisi

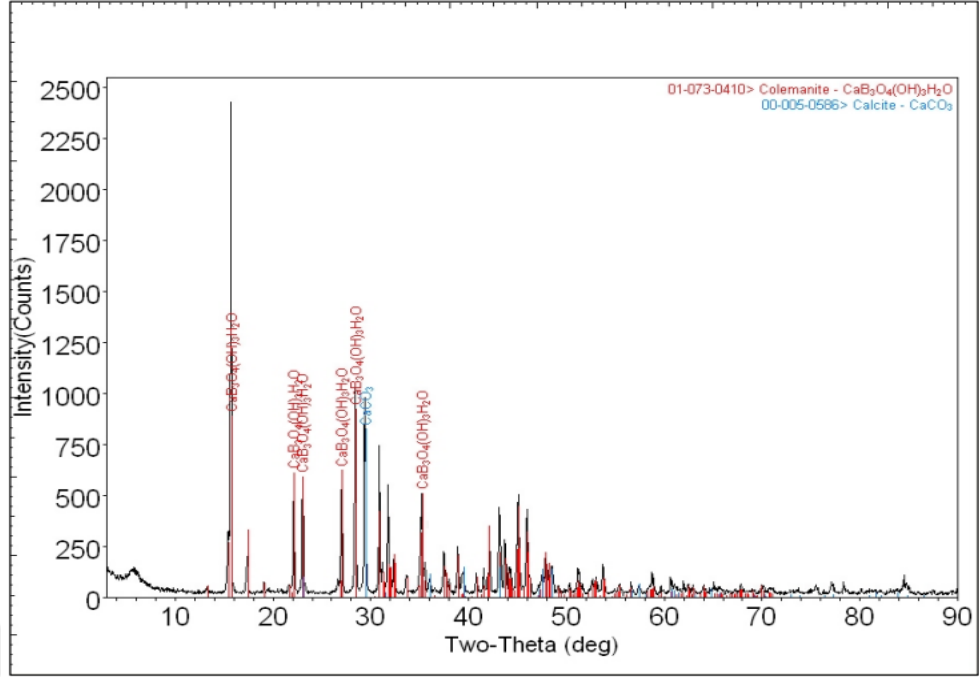
3.4. Kolemanit

Doğada saydam ve renksiz şekilde bulunur. Kimyasal formülü 2CaO.3B₂O₃.5H₂O olup, 4 ile 4.5 aralığında sertlik değerine ve yaklaşık 2.4 gr/cm³ değerinde özgül ağırlığa sahip olan Ca-BORON mineralidir (Çelik, 2019). Araştırma kapsamında kullanılan kolemanit, Etimaden Kütayha'dan temin edilmiştir. Kullanılan kolemanitin kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 5'de X-Ray Kırınım analizi Şekil 8'de verilmiştir.

Tablo 5. Kolemanit Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Kimyasal Özellikler	%	Fiziksel ve Mekanik Özellikler	
CaO	27.00 ± 1.00	Özgül yüzey, m ² /g	3.30
B ₂ O ₃	40.00 ± 0.50	Özgül ağırlık, gr/cm ³	2.50
SiO ₂	4.00 - 6.50	Dökme (yığın) yoğunluğu, gr/cm ³	0.971
SO ₄	0.60 maks	Molekül ağırlığı, g/mol	411.08
Fe ₂ O ₃	0.08 maks	Isı kapasitesi, J/g°C	15.4
Al ₂ O ₃	0.40 maks	Isıl iletkenlik, W/mK	0.526
MgO	3.00 maks	Renk ölçüm testi, (ortalama L değeri)	88.53
SrO	1.50 maks	Yüzey gerilimi, mN/m	64.78
Na ₂ O	0.50 maks		
Nem	1.00 maks		
Kızdırma kaybı	25.00 maks		

Kaynak: Sentetik Liflerle Güçlendirilmiş Bor Atığı Katkılı Metakaolin Tabanlı Geopolimer Kompozitlerin Yüksek Sıcaklık Davranışı ve Mekanik Özellikleri



Şekil 8. Kolemanitin X-Ray Kırınım Analizi

Kaynak: Sentetik Liflerle Güçlendirilmiş Bor Atığı Katkılı Metakaolin Tabanlı Geopolimer Kompozitlerin Yüksek Sıcaklık Davranışı ve Mekanik Özellikleri



Şekil 9. Çalışmada Kullanılan Kolemanit

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

3.5. Polipropilen Lif

Harç numunelerinde kullanılan Polipropilen lifin genel özellikleri Tablo 6’da görseli Şekli 10’da verilmiştir.

Tablo 6. Polipropilen Lifin Özellikleri

Özellik	Polipropilen Lîf
Özgöl Ağırlık (gr/cm ³)	1.14
Uzunluk (mm)	6
Çekme Dayanımı (MPa)	900
Erime Noktası (°C)	260
Su Emme (%)	4-5

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu



Şekil 10. Çalışmada Kullanılan Polipropilen Lif

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM: METOT

4.1. Kalıpların Hazırlanması ve Harçların Üretimi

Beton harçları hazırlanırken TS EN 196-1 standartlarına uygun şekilde hazırlanmıştır. Kullanılan çimento kalıbı 3 üniteli olup, 40x40x160 mm ebatlarına sahiptir. Prizma şeklindeki kalıplar Şekil 11’de gösterildiği gibi parçalara ayrılıp teker teker mala ve tel fırça yardımıyla temizlenip kuru bezle silinmiştir. Temizlenen prizma kalıplar uygun şekilde birleştirilip yağlanmıştır. Çimento kalıbını yeterli ölçüde doldurması için 450 gr. Portland çimento, 1350 gr. Limak kum ve 225 gr. şebeke suyu sabit miktarlar olarak belirlenmiştir. Şahit (referans) numune sabit miktarlara göre üretilmiştir. Yapılan tüm ölçümler hassas terazi yardımıyla daraları da alınmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Her bir numunenin üretilme esnasında çimento kalıpları temizlenmiş, yağlanmış ve Tablo 7 ‘de belirtilen oranlarda karışımlar eklenmiştir. Şekil 12’de verilen, laboratuvar mikseri çalıştırılıp, karıştırma kabına öncelikle katı malzemeler eklenmiştir. Eklenen katı malzemeler mikserde en az 30 sn süre ile karıştırılmış ve homojen kıvama ulaştıktan sonra 22,5 gr. su eklenerek 1 dk süreyle karıştırılmıştır. Karıştırma esnasında su aşama aşama eklenmiştir. Malzemeler öncelikle düşük hızda, sonra yüksek hızda çalıştırılan mikserde karıştırılmıştır. Kap içindeki harç kaşık yardımıyla bir süre daha karıştırılıp olması gereken homojen kıvama ulaştığında kalıplara dökmeye uygun hale getirilmiştir.



Şekil 11. Kalıpların Temizlenmesi ve Yağlanması Aşaması

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

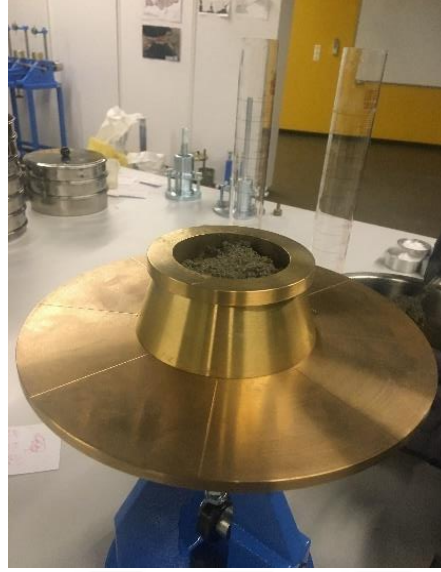


Şekil 12. Harçların Mikserde Karıştırılma Aşaması

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

4.2. Yayılma Deneyi

Üretilen harçlar, kalıplara dökülmeden önce TS EN 1015-3 standardına uygun şekilde yayılma tablası deneyine tabi tutulmuştur. Yayılma tablası önce nemli sonra kuru ve temiz bir bez aracılığı ile silinmiş, üzerine koni kalıp yerleştirilmiştir. Koni şeklindeki kalıba hazırlanan numune harcın bir kısmı eklenerek, tahta çubuk yardımıyla 25 defa vurarak sıkıştırılmış ve kalan kısmı eklendikten sonra da 25 tahta darbesiyle sıkıştırılmıştır. Harç şekil aldıktan sonra koni çıkarılmıştır. Yayılma tablasının pedal 1 saniyede 1 kez olmak üzere 15 defa döndürülmüştür. Yayılan harcın çapı yatay ve dikey olmak üzere iki eksenden ölçülerek ortalaması alınmıştır. Deneyde kullanılan test cihazı Şekil 13’de verilmiştir.



Şekil 13. Yayılma Testi Aşaması

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

Daha önce yağlanan kalıplar sarsma cihazına takılıp öncelikle yarısı harç doldurulup 30 vuruş olacak şekilde yerleştirilmiş ve daha sonra diğer yarısı eklenerek 30 sarsma hareketi daha yerleştirilmiştir. Kalıba dökülen harca 1 dk boyunca sarsma hareketi yapılmış, kalıp cihazdan alınmıştır. Kalıbın üzerindeki fazla beton mala ile düzeltilmiş ve numune kodu üzerine not edilmiştir. Sarsma işlemi biten numuneler 24 saat priz almaya bırakılmıştır. Üretilen numuneler 24 saat numune kalıpta bekletildikten sonra, şebeke suyu ile doldurulan kür havuzunda 20 ± 2 °C sıcaklıkta 28 gün süre ile bekletilmişlerdir (Benli ve Karataş, 2018).



Şekil 14. Harç Numunelerinin Sarsma Tablasına Hazırlık Aşaması

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu



Şekil 15. Harç Numunelerinin Priz Alma Aşaması

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu



Şekil 16. Deneme Numuneleri

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

Şahit numune tamamlandıktan sonra sırasıyla %5, %10 kolemanit ve 0.4, 1.2 polipropilen lif eklenerek çeşitli harçlar elde edilmiştir. Eklenen kolemanit ağırlığı kadar çimento eksiltilerek numuneler üretilmiştir. Bu oranlar dışında %15, %20 ve %25 oranlarında kolemanit karışımları da üretilmiştir fakat numuneler kürde dağıldığı için deneylere tabi tutulamamıştır. Deneme karışımları, başarılı ve başarısız numuneler olmak üzere yaklaşık oranda 234 adet üretilmiştir. Toplamda 8 set ve 165 adet beton numune üzerinde deney yapılmıştır. Hazırlanan numunelere eklenen kolemanit oranı kadar çimentodan azaltılmıştır. Kum ve su oranı ise sabit tutulmuştur. Dolayısıyla %5 kolemanit katkısı içeren K5 numunesi için 22,5 gr. kolemanit ve 427,5 gr. çimento kullanılmıştır. Polipropilen Lif oranlarında ise kum, su ve çimento ana bileşenlerine ek olarak hacimce polipropilen lif katkısı ilave edilmiştir. Araştırma kapsamında %5, %10 ağırlık oranlarında kolemanit, %0,4, %1,2 hacim oranlarında ise polipropilen lif kullanılmıştır. Numuneler içeriğinde bulunan malzemeler ve miktarna göre SH, K5, K10, K5/0.4L, K5/1.2L, K10/0.4L ve K10/1.2L numuneleri olarak kodlandırılmıştır. Numune kodları ve belirlenen karışım oranları Tablo 'de gösterilmiştir.

Tablo 7. Numune Karışım Oranları

Numune Kodu	Kum (gr.)	Çimento (gr.)	Su (gr.)	Kolemanit (%)	Lif Oranı (%)
SH	1350	450	225	-	-
K5	1350	427.5	225	5	-
K10	1350	405	225	10	-
K5/0.4L	1350	427.5	225	5	0.4
K5/1.2L	1350	405	225	5	1.2
K10/0.4L	1350	427.5	225	10	0.4
K10/1.2L	1350	405	225	10	1.2

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu



Şekil 17. Harç Numunelerinin Üretim Aşaması

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

Her deney için bir set numune hazırlanmıştır. Setler farklı tarihlerde parça parça hazırlanıp, 24 saatik priz sürelerini tamamladıktan sonra çıkarılıp Şekil 18'deki gibi su (kür) havuzuna konulmuştur. 28 günlük kür sürelerini tamamlandıktan sonra her numune kendi tarihine göre sırasıyla çıkarılmıştır. Sudan çıkan numunelerin ağırlıkları ölçülmüştür. Daha sonra bir gün boyunca etüvde kuruduktan sonra kuru ağırlıkları

ölçülmüştür. Evütde kuruma aşaması Şekil 19’da gösterilmiştir. Bulunan sonuçlar üzerinden numunelerin su emme oranları hesaplanmıştır.



Şekil 18. Kür Havuzunda Bekleyen Numuneler

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu



Şekil 19. Etüvde Tutulan Numuneler

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

4.3. Kılcallık Deneyi

Kılcallık deneyi aşamasında ise numunelerin beş kenarı alüminyum bant ile kaplanarak tek kenar açık bırakılmıştır. Büyük bir havuz kurulup içerisine ızgara yerleştirilmiştir. Havuz içine numuneye yaklaşık 3 mm degecek seviyede su doldurulmuştur. Numuneler havuza eklenerek 30 sn, 1,2,5,10,30' ar dakika ve 1, 2 saat sureyle bekletilip ağırlıkları ölçülmüş su emme oranları hesaplanmıştır. Kılcallık deneyi görselleri Şekil 20'de verilmiştir.



Şekil 20. Kılcallık Deneyi Yapım Aşaması

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

4.4. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi

Ultrases Geçiş Hızı deneyi için üretilen numuneler, 28 günlük kür süresi tamamlandıktan sonra etüvde kurumaya bırakılmıştır. 1 günlük etüvde bekleme süresi dolan numuneler cihaza yerleştirilmiş ve ultrases geçiş hızı değerleri ölçülmüştür.

Beton numunelere ASTM C 597’de belirtilen şekilde ultrases deneyi uygulanmıştır. Sonuçlar referans numuneler ve katkı içeren numuneler arasında karşılaştırılmıştır (Bahadır, 2010). Ölçülen değerlerin birimi, ultrases cihazı tarafından mikrosaniye olarak verilmiştir. Hızı elde etmek için yol/zaman (m/sn) formülü ile hesaplanarak geçiş hızı değerleri elde edilmiştir.

4.5. Su Emme Deneyi

Su emme deneyi 28 gün kür havuzunda beklemiş numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Havuzdan çıkan numuneler hassas terazi yardımıyla ölçülmüş ve daha sonra etüvde kurumaya bırakılmıştır. Etüvde kuruma süresi de tamamlanan numunelere tekrar ağırlık ölçümü yapılmıştır ve bulunan değerler aşağıdaki ölçümler sayesinde deney neticesini göstermiştir.

$$\text{Su Emme Oranı (\%)} = \frac{(AKYD-AFK)}{AFK} \times 100$$

AFK: Fırın kuru ağırlığı (g) AKYD: Kuru yüzey doygun ağırlığı (g) (Sertbakan, 2023)

4.6. 28 Günlük Eğilme ve Basınç Dayanımı Deneyi

Numunelerin eğilme ve basınç dayanımları deneyleri TS EN 12390-3 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Basınç ve eğilme deneyi için üretilen numune setleri 7,14 ve 28 gün süren kürden çıkarılıp 1 gün süreyle etüvde kuruduktan sonra sırayla teste tabi tutulmuştur. Numuneler beton presinde kırılmıştır. Basınç dayanımı testi yapılırken, numunelerin ilk olarak eğilme dayanımı daha sonra basınç dayanımları ölçülmüştür. Basınç dayanımı, numunenin kırılma yükünün kesit alanına bölünmesiyle bulunmuştur.

$$\sigma = P/A$$

σ : Basınç dayanımı, (N/mm²),

P: Numunenin kırıldığı andaki uygulanan kuvvet (N),

A: Kesit alanı (Arslan, 2019).

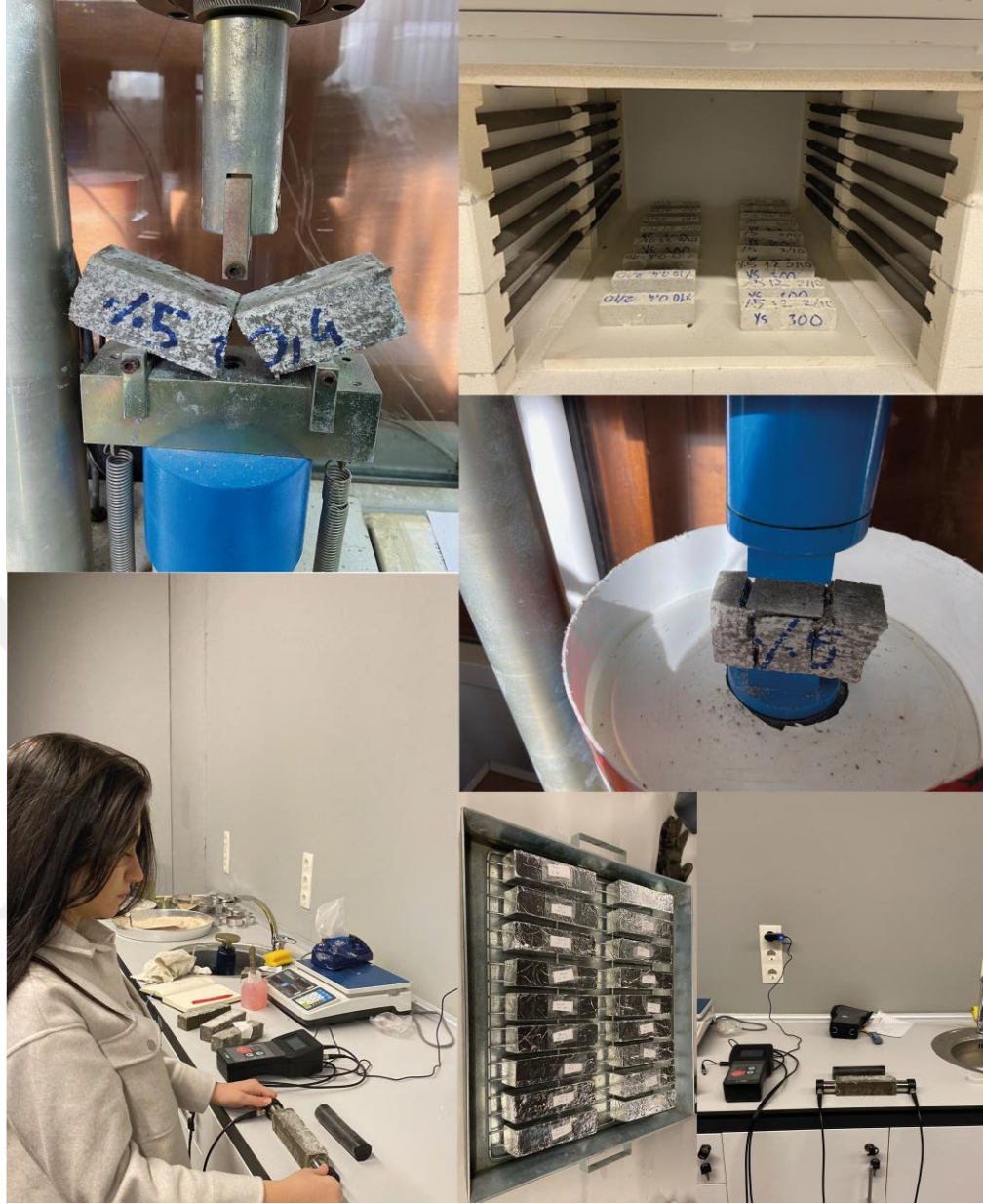
Eğilmede çekme dayanımı σ_c kN cinsinden hesaplanmıştır. Her kalıptan 3 adet 40x40x160 mm boyutlarına sahip numuneler elde edildiğinden üç numuneye ait sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır. $36 \sigma_c = 3PL$

Elde edilen eğilme değerleri kN olup, değerler MPa' ya çevrilmiştir. Sonuçlar 3 numune ortalaması alınarak elde edilmiştir (Bingöl, 2018)



Şekil 21. Kullanılan Beton Presi

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu



Şekil 22. Harç Numuneleri Üzerinde Yapılan Bazı Deneyler

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

4.7. Yüksek Sıcaklık Deneyi

Yüksek sıcaklık deneyi için 40x40x160 mm boyutlarına sahip numuneler üretilmiş ve üretilen numuneler 28 gün küre tabi tutulmuştur. Numuneler etüve koyulmuş ve 24 saat sonra ağırlık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen numuneler 300, 600 ve 900 °C olmak üzere üç farklı derecede sıcaklığa maruz bırakılmışlardır. Numuneler yüksek sıcaklık fırınında 15°C/dakika artış ile hedef sıcaklığa geldikten sonra 120 dakika boyunca o sıcaklıkta kalıp, 15°C/dakika olacak şekilde de soğutularak yüksek sıcaklık deneyi

gerçekleştirilmiştir. Soğuyan numunelere tekrar ağırlık ölçümü gerçekleştirilip ağırlık kaybı test edilmiştir. Daha sonra yüksek sıcaklık aşaması tamamlanan numunelere eğilme ve basınç dayanım testi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.



Şekil 23. Yüksek Sıcaklık Deney Cihazı

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu



Şekil 24. 300 ve 600°C Derece Sıcaklığa Maruz Kalmış Numuneler

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

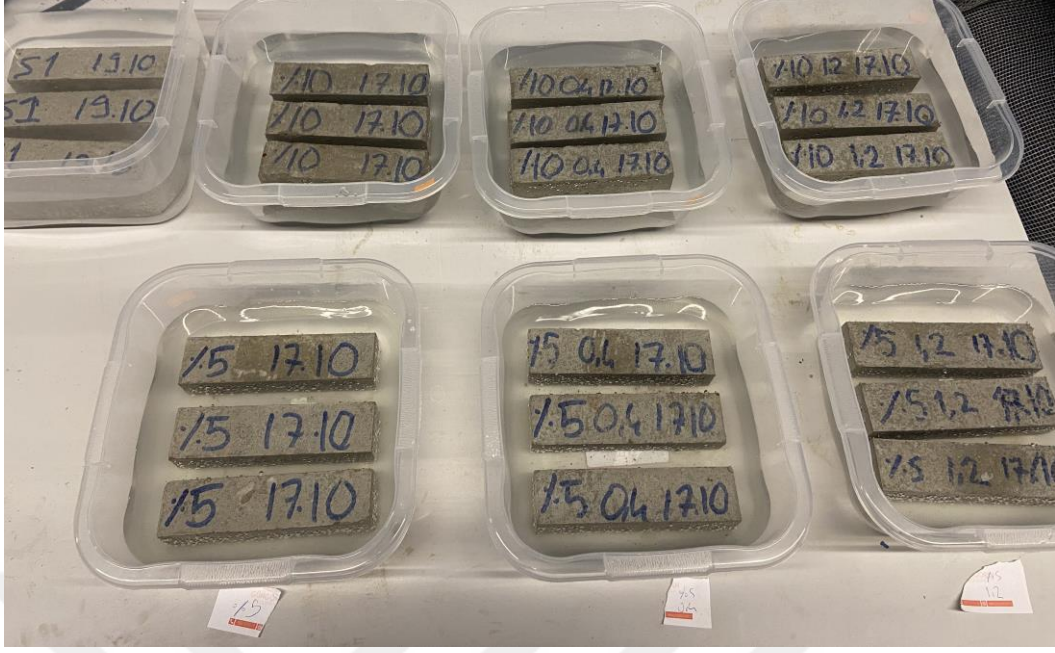


Şekil 25. 900°C Derece Sıcaklığa Maruz Kalmış Numuneler

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

4.8. Islanma Kuruma Deneyi

Islanma Kuruma Deneyi 28 gün havuzda bekletilip etüvde 24 saat boyunca kuruyan numune seti üzerinde gerçekleştirilmiştir. Etüvden çıkan numunelerin ağırlıkları kaydedilmiştir. %5 NaCl tuzlu su çözeltisi hazırlanmıştır. Tuzlu su çözeltisi her numune sınıfına ayrı kalıplarda olacak şekilde 1500 gr. su ve 75 gr. tuz eklenerek hazırlanmıştır. Deney numuneleri etüvden çıkarıldıktan sonra, $20 \pm 5^\circ\text{C}$ sıcaklıkta, su seviyesi numunelerin üst noktasını en az 4 cm geçecek biçimde çözelti içerisine eklenmiştir. Numuneler eşit zaman aralıklarıyla tuzlu çözeltiye ve daha sonra etüve eklenmiştir ve her değişim aşamasında ağırlık ölçümleri kaydedilmiştir. Islanma-Kuruma deneyi görseli Şekil 26'da verilmiştir. Deney 20 gün boyunca devam etmiştir. 20 gün sonunda numuneler referans numune ile karşılaştırılarak kütle değişimleri ve durabilite performansları değerlendirilmiştir. Numunelerin ıslanma-kuruma aşaması bittikten sonra basınç ve eğilme değerleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 26. Islanma-Kuruma Test Aşaması

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

4.9. 7 ve 14 Günlük Eğilme ve Basınç Dayanımı Deneyi

7 ve 14 günlük küre tabi tutulan numune setlerinin basınç ve eğilme dayanımı hakkında bilgi edinmek ve edinilen bilgiler doğrultusunda 28 gün kür uygulanmış numune seti ile karşılaştırma yapılması amaçlanmıştır.

Numuneler 28 gün kür edilen numuneler ile aynı şartlarda üretilmiştir. Kür süresi tamamlandığında Şekil 27’de gösterildiği gibi önce eğilme sonra da basınç dayanımı ölçülmüş, sonuçlar kaydedilmiştir.



Şekil 27. Eğilme Dayanım Testi Uygulanmış 7 ve 14 Günlük Numuneler

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

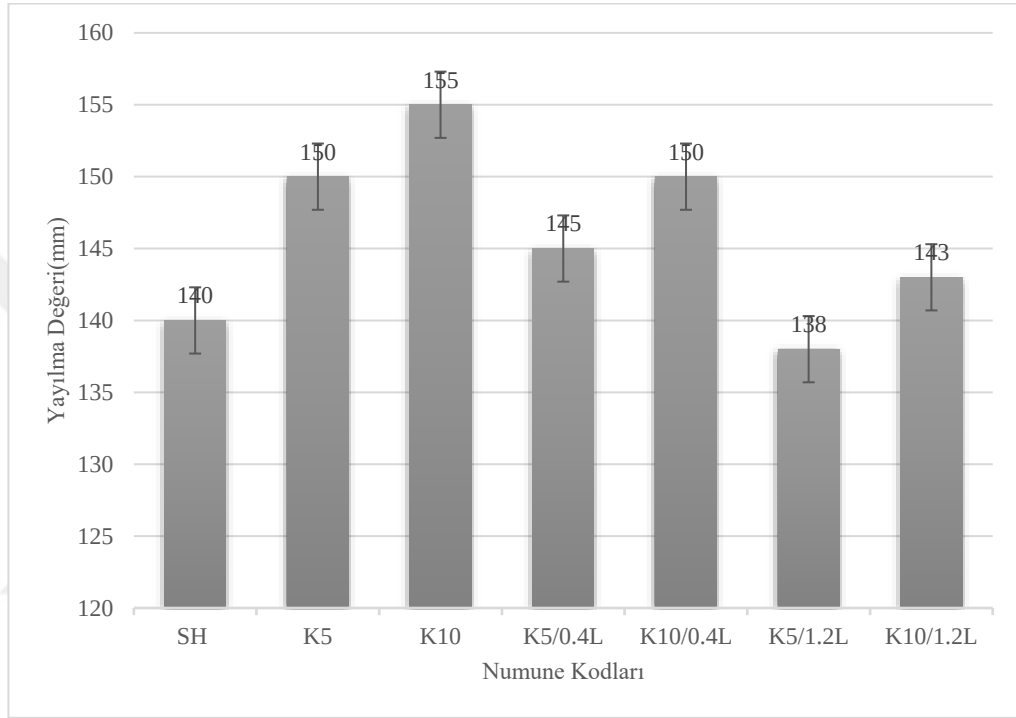
BEŞİNCİ BÖLÜM: BULGULAR VE TARTIŞMA

Görsel gözlem neticesinde kolemanit içeren numunelerin priz süresinin standart numunelere kıyasla daha uzun olduğu gözlemlenmiştir. Numunelerin dayanım alıp sertleşmesi için 2 gün oda sıcaklığında bekletilip daha sonra kür aşamasına geçilmiştir. Bu durum ile ilgili literatürde bazı kanıtlar mevcuttur (Özmal ve vd. 2005), yaptıkları çalışmada kolemanit konsantratör atığının tek başına ve diğer yapay puzolanlarla birlikte katkı maddesi olarak kullanılması durumunda kolemanit konsantratör atığının, uçucu külün ve alünit katkılı çimentonun her türlü birleşiminin priz başlangıcı ve priz sonu sürelerini uzattığını gözlemlemişlerdir. (Kara, 2019) yaptığı araştırmada, kolemanit katkısının betonun priz süresini uzattığını gözlemlemiştir. Beton harçlarındaki kolemanit katkı miktarı arttıkça, priz alma süresi uzadığı için yapılacak diğer araştırmalar için priz hızlandırıcı malzeme kullanılmasını önermektedir. Nano malzemeler ile priz süresini azaltarak, kolemanit katkısı kullanımını tavsiye etmektedir.

5.1.Yayılma Deneyi Sonuçları

Grafik 1'deki Yayılma testi sonuçlarına bakıldığı zaman SH, K5, K10, K5/0.4L, K10/0.4L, K5/1.2L ve K10/1.2L numunelerinin yayılma değeri sırayla 140, 150, 155, 145, 150, 138 ve 143'tür. Şahit numuneye kıyasla K5 harç numunesinin yayılma değerinin bir miktar arttığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde K10 numunesinin de hem K5 numunesine hem de Şahit numuneye kıyasla yayılma değerinin bir miktar arttığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla elde edilen sonuçlar kolemanit miktarının artmasıyla beraber harçların yayılma değerinin arttığını göstermektedir. Polipropilen Lif içeren numuneler değerlendirildiğinde, K5/0.4L numunesinin yayılma değerinin K5 numunesine kıyasla bir miktar azaldığı ve K5/1.2L numunesinin de hem K5 numunesine hem de K5/0.4L numunesine kıyasla daha düşük yayılma değeri verdiği gözlemlenmiştir. Aynı şekilde K10/0.4L ve K10/1.2L numuneleri de K10 numunesine kıyasla daha düşük yayılma değeri göstermektedir. Dolayısıyla Polipropilen Lif bulunan numuneler yayılma değerini azaltmaktadır. Aynı zamanda Polipropilen Lif miktarının artmasıyla beraber harçların yayılma değerinin azaldığı görülmüştür. Literatürde elde edilen bilgiler neticesinde Latıfı (2020), yılında yaptığı çalışmada beton harcına makro sentetik polipropilen lif eklemiştir ve yaptığı yayılma testinde, Polipropilen lif kullanımının yayılma değerini az da olsa arttırdığını gözlemlemiştir. İstenilen yayılma değerini elde

etmek için su azaltıcı katkı malzemesi kullanılabileceğini tavsiye etmiştir. Bideci ve Bideci (2018), CEM I 42,5 R Portland çimentosuna %0, %1, %3, %5, %7 oranlarına sahip öğütülmüş kolemanit ekleyerek, kıvam deneyi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda numunelere eklenen her %1’lik kolemanit miktarına karşılık, karışımların içerisine eklenen su miktarında da 9cc’lik artış gözlenmiştir. Kolemanit miktarı arttıkça yayılma çapının arttığı kaydedilmiştir.



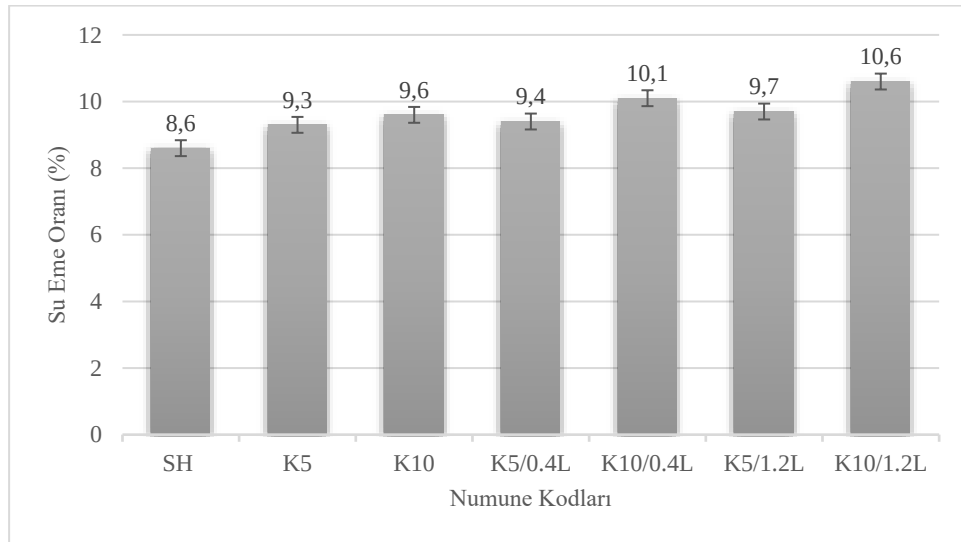
Grafik 1. Yayılma Deneyi Sonuçları

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

5.2. Su Emme Deneyi Sonuçları

Su emme oranı testi için, kür havuzundan çıkan numunelerin ıslak ağırlığı ölçüldükten sonra, etüvde 1 gün süreyle kurutulup tekrardan kuru ağırlığı ölçülmüştür. Ölçülen değerler sonucunda her bir numunenin su emme oranı hesaplanmıştır. Bu sayede numunenin yapısında bulunan boşluk miktarı hakkında bilgi edinmek amaçlanmıştır. Su emme oranları hesaplandığında K5 ve K10 numunesi şahit numuneye kıyasla daha fazla su emmektedir. Aynı şekilde K5/0.4L, K5/1.2L, K10/0.4L ve K10/1.2L numunesi de referans numuneye kıyasla daha fazla su emmektedir. Tablo 10’da elde edilen verilen sonucunda, kolemanit ve polipropilen içeren numunelerin su emme oranlarının referans numuneye oranla daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. En fazla su emme oranına sahip

numune (referans numune tenzih edilerek) K10/1.2L iken, en az su emme oranına sahip olan numune K5 numunesidir. Kolemanit ve Polipropilen Lifin su emme oranını kendi arasında kıyaslamak gerekirse, verilen değerler sonucunda kolemanit ve lif içeren numunelerin yalnızca kolemanit içeren numunelere kıyasla daha fazla su emdiği gözlemlenmektedir. Literatürden elde edilen sonuçlara göre Latıfı (2020), yılında yaptığı çalışmada beton harcına makro sentetik polipropilen lif ekleyerek Polipropilen lif kullanımı su emme değerlerini azalttığını ve lif oranı arttıkça su emme miktarının azaldığını gözlemlemiştir. Topçu ve diğerleri (2017), yaptıkları çalışma kapsamında hacimce %0,6, %0,8, %0,9, %1,1 oranına sahip polimer esaslı polipropilen lifin beton harcının özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Yaptıkları su emme deneyi neticesinde en yüksek su emme değeri %4 oranı ile 19 mm uzunluğundaki polipropilen lifli harçlarda görülürken, en düşük su emme değeri ise %2,7 değeri ile 3 mm uzunluğundaki polipropilen lifleri içeren beton harçlarında görülmüştür. Genel olarak değerlendirildiğinde polipropilen liflerin su emmeyen yapıda olmaları sebebiyle harçlardaki su emme oranlarındaki artışların oldukça düşük miktarlarda olduğu söylenmiştir. Su emme oranlarındaki artışın sebebi beton içerisinde lif kaynaklı oluşan boşluklardan dolayı olduğu söylenmektedir. Yaltay (2015), %0, %0,4, %0,6, %0,8, %1 ve %2 oranlarında kolemanit katkısına sahip pomza agregalı hafif betonlar üretmiş ve su emme deneyleri neticesinde kolemanit miktarının artmasıyla, beton yapısındaki boşlukların dolduğunu ve su emme miktarının bu sebeple azaldığını gözlemlemiştir.



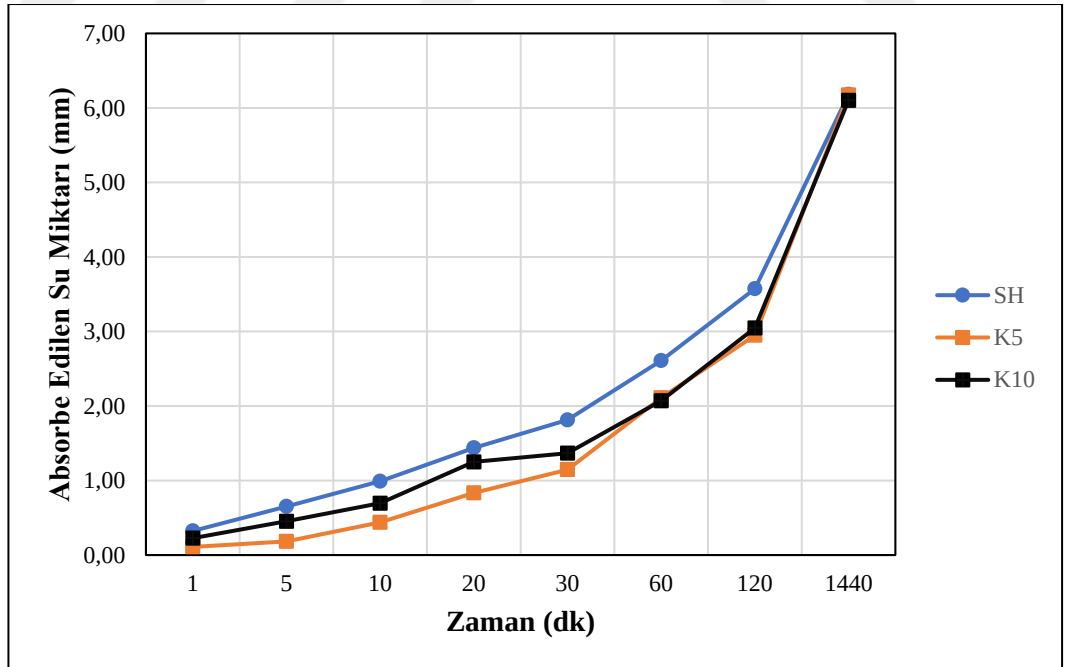
Grafik 2. Su Emme Deney Sonuçları

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

5.3. Kılcallık Deneyi Sonuçları

Yapılan kılcallık deneyi neticesinde absorbe edilen su miktarı hakkında bilgi edinmek amaçlanmıştır. Tüm numune çeşitleri deneye tabi tutulduktan sonra sonuçlar Grafik 3 ve Grafik 4 'e kaydedilmiştir. Grafik 3'te elde edilen veriler incelendiğinde tüm numunelerde zaman (dk) arttıkça numunelerin absorbe ettikleri su miktarının da doğru orantılı biçimde arttığı gözlemlenmektedir. Dolayısıyla numunelerin suda bekleme süresi absorbe edilen su miktarını arttırmaktadır.

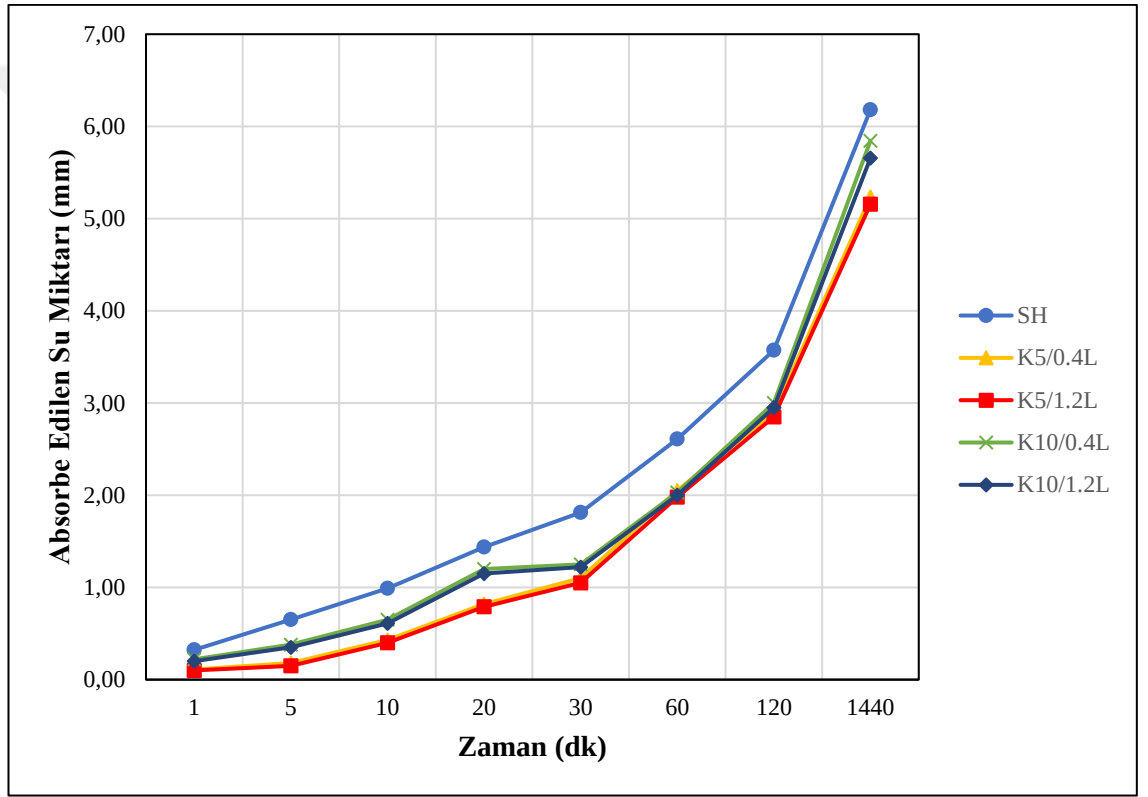
SH numunesinin zaman absorbe ettiği su miktarı doğrusal bir biçimde artmaktadır. K5 numunesinin zaman içerisinde absorbe ettiği su miktarı şahit numuneye kıyasla daha az olup, K10 numunesinde ise 60. Dk dan itibaren K5 numunesine yaklaşmak suretiyle SH ve K5 numunesinde göre absorbe ettiği su miktarının azaldığı gözlemlenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda kolemanit içeren numunelerin kolemanit içermeyen numuneye kıyasla bir miktar daha az su absorbe ettiği yorumu yapılabilmektedir. Kolemanit miktarının artmasıyla belirli bir süreye kadar absorbe edilen su miktarı azalmaktadır. Dolayısıyla absorbe edilen su miktarı ile kolemanit miktarı arasında ters bir ilişki olduğu söylenebilir.



Grafik 3. Farklı Oranda Kolemanit İlavesinin Absorbe Edilen Su Miktarına Etkisi

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

Grafik 4'te verilen şahit numune ile kolemanit + polipropilen lif içeren numunelerin absorbe edilen su miktarı incelendiğinde K5/0.4L, K10/0.4L, K5/1.2L ve K10/1.2L numunelerinin SH numunesine kıyasla yapısına daha az su absorbe ettiği kaydedilmiştir. Numuneler kendi aralarında değerlendirildiğinde artan lif miktarının absorbe edilen su miktarında kayda değer değişiklik oluşturmadığı gözlemlenmiştir. Toplanan veriler neticesinde, K5/0.4-K5/1.2 ile K10/0.4L-K10/1.2L numuneleri arasında su absorbe miktarının birbirine çok yakın değerler olduğu görülmüştür. En yüksek değere sahip olan numune SH olup, K10/0.4L-K10/1.2L numuneleri daha az su absorbe etmiş ve en az değer K5/0.4-K5/1.2 numunelerinde elde edilmiştir.



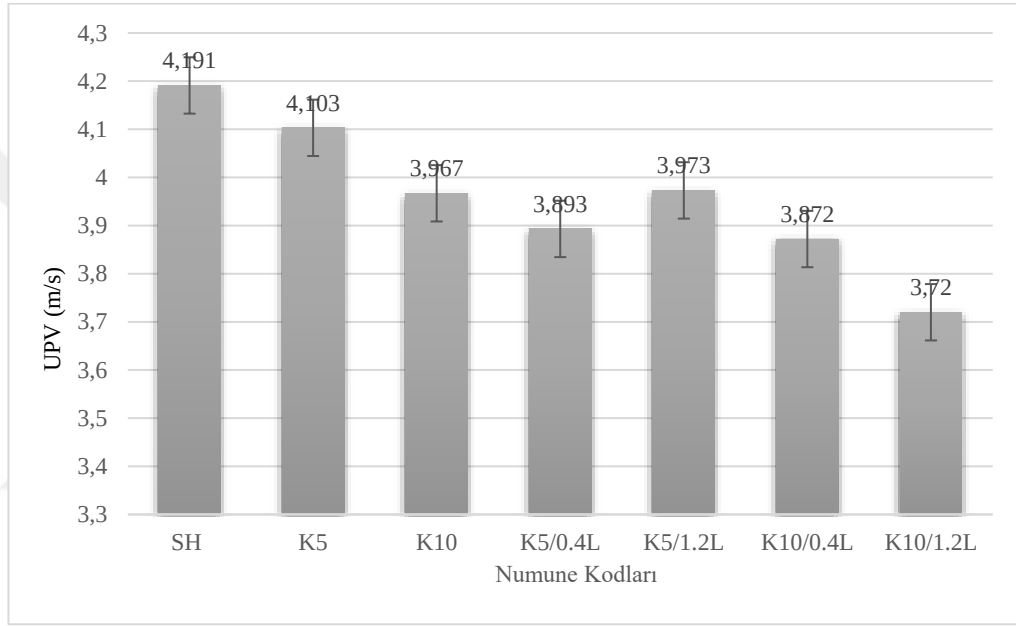
Grafik 4. Farklı Oranda Kolemanit ve Lif İlavesinin Absorbe Edilen Su Miktarına Etkisi

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

5.4. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi Sonuçları

Ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları değerlendirildiğinde, Kolemanit katkısının %5 oranında kolemanit eklenerek üretilen K5 numunesi şahit numune ile karşılaştırıldığında ultrases geçiş hızı değerini düşürmemektedir. Ancak K5 ve K10 numunelerinin sonuçları arasında bir değerlendirme yapıldığında kolemanit miktarı arttıkça ultrases geçiş hızının

düşüğü kaydedilmiştir. İçerisinde lif bulunan K5/0.4L, K5/1.2L, K10/0.4L ve K10/1.2L numunelerinde de ultrases geçiş hızı değerleri referans numuneye kıyasla çok az da olsa düşük değerler göstermiştir. Literatürde Topçu vd. (2017) yaptığı çalışmada Polipropilen lif numune içerisinde boşluklar oluşturmuştur. Polipropilen lif katkısı içeren harçlarda topaklanma meydana gelmekte ve kalıplara zor yerleştiği iddia edilmiştir. Aynı zamanda bu durumun işlenebilirliği de azalttığı gözlemlenmiştir. Topaklanan numune harç yapısında boşluklar meydana gelmiştir ve meydana gelen bu boşluklar sonucunda ultra ses geçiş hızları da az da olsa referans numuneye kıyasla düşük değerler vermiştir.



Grafik 5. Harç Numunelerinin UPV Sonuçları

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

5.5. 28 Günlük Basınç ve Eğilme Dayanımı Sonuçları

Numunelerin 28 günlük basınç dayanım verileri değerlendirildiğinde, K5 numunesinin yapısına eklenen %0,4 polipropilen lifin basınç dayanımını arttırdığını fakat %1,2 oranında eklenen polipropilen lifin basınç dayanımını azalttığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla kendi arasında değerlendirilen kolemanit içeren K5, K5/0.4L ve K5/1.2L numunelerinden en yüksek basınç dayanımını K5/0.4L numunesi göstermiştir. K5, K5/0.4L ve K5/1.2L numunelerinin eğilme dayanımı performansları incelendiğinde ise en yüksek eğilme dayanımını K5 numunesi verirken, en düşük eğilme dayanımı K5/1.2L numunesinden elde edilmiştir.

Aynı şekilde %10 Kolemanit içeren K10, K10/0.4L ve K10/1.2L numuneleri arasında değerlendirme yapıldığında %5 kolemanit içeren numunelere benzer şekilde numunelerin yapısına eklenen %0.4 lif basınç dayanımını arttırmakta, %1.2 lif numunenin basınç dayanımını azaltmaktadır. En yüksek basınç dayanımına K10/0.4 sahip iken ikinci sırada K10 numunesi sahiptir ve en düşük dayanım gösteren numune ise K10/1.2L numunesidir. Numunelerin eğilme dayanımları ise birbirine çok yakın olmakla beraber en yüksek eğilme dayanımı K10 numunesine ait iken, en düşük eğilme dayanımı K10/0.4L numunesine aittir.

Literatürde elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

Bideci ve Bideci (2018), yaptığı çalışmada CEM I 42,5 R Portland çimentosuna %0, %1, %3, %5, %7 oranlarına sahip öğütülmüş kolemanit (KLMT) eklemiştir. Elde edilen değerlere göre kolemanit katkı oranının artmasıyla basınç dayanımının düştüğü gözlemlenmiştir. Kolemanit katkılı numuneler içerisinde en yüksek basınç dayanımına KLMT-1 numunesi sahipken, en düşük basınç dayanımına KLMT-7 numunesi sahiptir. TS EN 197-1 standardına göre 2 günlük numunelerin sağlaması gereken erken dayanım ($\geq 20\text{MPa}$) değerine ulaştığı ve 28 günlük numunelerin istenilen en düşük mekanik özelliği sağladığı belirlenmiştir. Tez sonucunda ise %1, %3 ve %5 oranlarına sahip kolemanit katkısının çimento ikame malzemesi olarak kullanılabileceği öne sürülmüştür.

Sert ve Kara (2018), beton harcına çeşitli oranlarda kolemanit katkısı ekleyerek, geç dayanım kazanan betonların, farklı kür koşullarında basınç dayanımlarına etkisini incelemiştir. Karıştırılan beton numunelerin içerisinde %0, %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarında kolemanit katkısı kullanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre tüm kür koşullarında kolemanit katkısının %4' e kadar kullanılması referans numuneye kıyasla basınç dayanım yüzdesini arttırmaktadır. En yüksek basınç dayanımına sahip olan numunenin %3 kolemanit içeren numunenin olduğu belirtilmiştir.

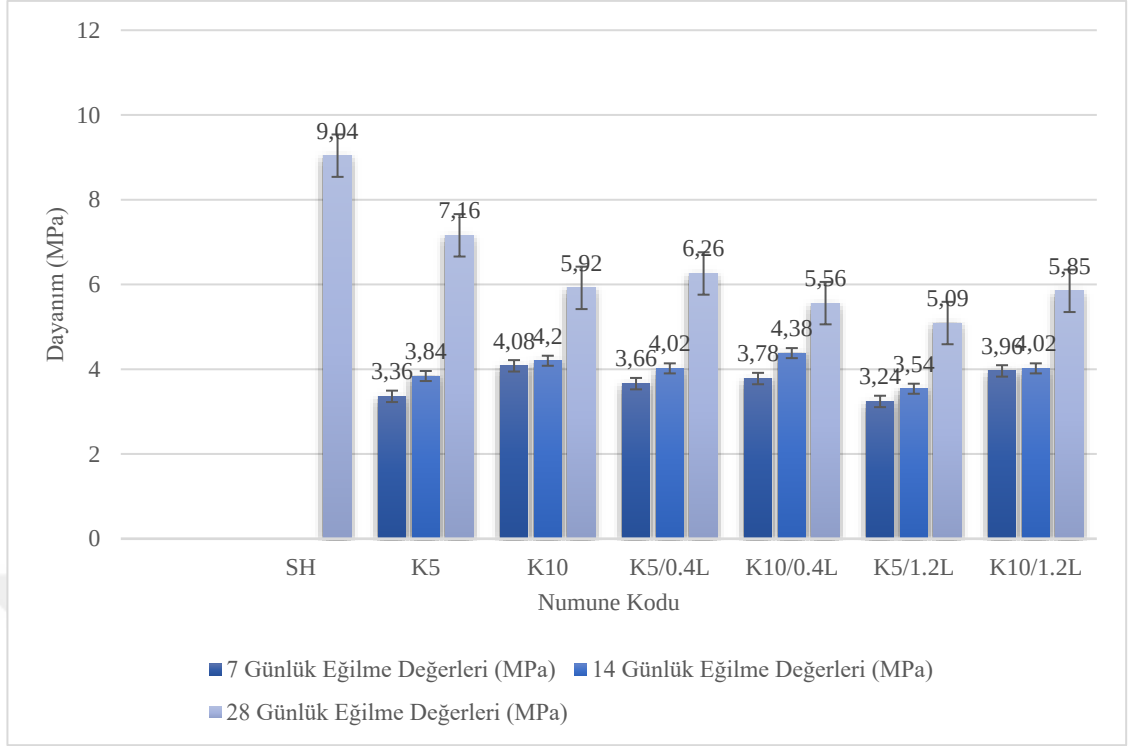
Acun (2020), beton içerisinde polipropilen lif ekleyerek, lifli betonların standart betonlara kıyasla yapısında meydana gelen değişimleri incelemiştir. Çalışma kapsamında 2 cm uzunluğa sahip M20 tipindeki polipropilen lif kullanılmıştır. Lifler üretilen betonlara %0.06, %0.08 ve %0.09 oranlarında eklenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde en yüksek basınç dayanımını %0.06 polipropilen lif bulunduran beton numunesi göstermiştir. Fakat bu değer referans numuneye çok yakın olduğu için basınç dayanımı konusunda

polipropilen lifin beton özelliklerine pek bir katkı sağlayamadığı kaydedilmiştir. Eğilme dayanımı söz konusu olduğunda ise %0.09 oranına sahip lifli betonun referans (lifsiz) betona kıyasla 1,5 kat daha yüksek dayanıma sahip olduğu gözlemlenmiştir.

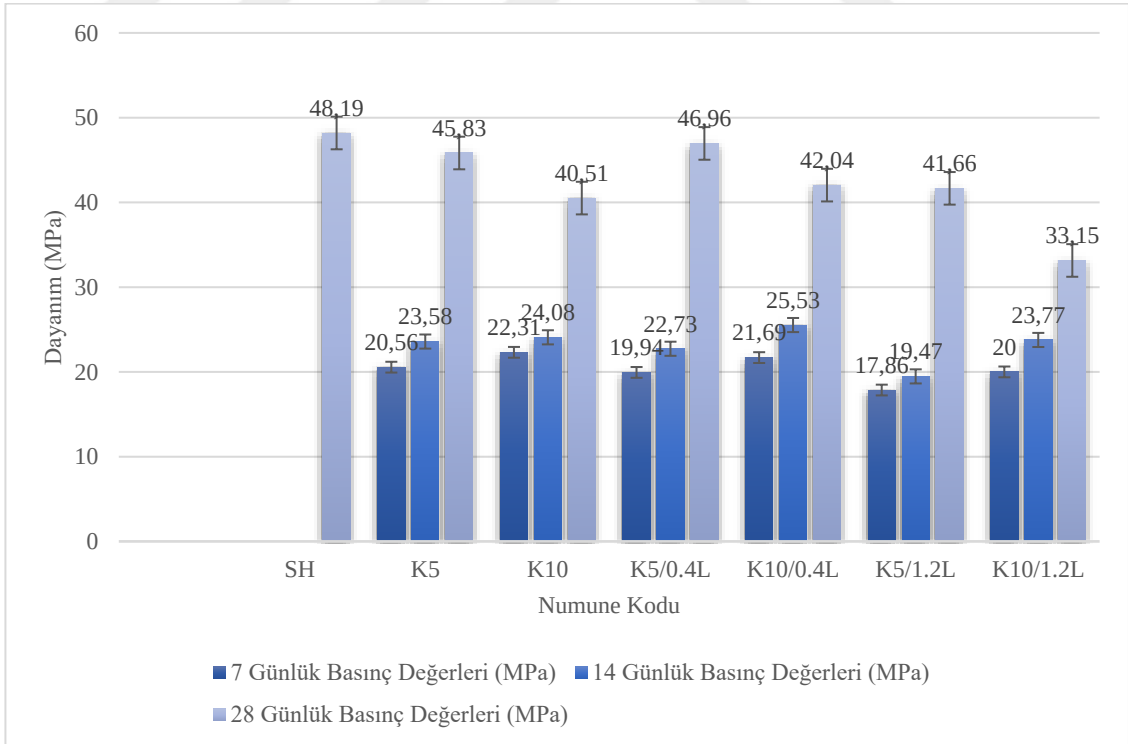
Bahadır (2010), tarafından yürütülen çalışmada polipropilen lifin beton içerisine ikame edilmesi durumunda yapısında meydana gelen mekanik özellikler üzerine araştırma yapılmıştır. Deneyler neticesinde monofilament polipropilen liflerin beton çekme dayanımını arttırdığı, elyaf özellikteki polipropilen liflerin ise betonun boşluk oranını azalttığı aynı zamanda betonun çekme mukavemetine katkı sağladığı tespit edilmiştir.

Latıfı (2020), yılında yaptığı çalışmada beton harcına makro sentetik polipropilen lif eklenerek, taze ve sertleşmiş betonun yapısında meydana gelen değişiklikler ve referans numuneye kıyasla niteliklerindeki farklılıklar incelenmiştir. Hazırlanan numunelerde toplam hacmin %0,1, %0,2, %0,3, %0,4 ve %0,5'i oranlarında polipropilen lif karıştırılmıştır. İstenilenin aksine polipropilen lif numunenin basınç dayanımı sonuçları üzerinde önemli bir etkisi gözlemlenmemiştir. Test sonuçlarına göre makro sentetik polipropilen katkılı harçların yarmada çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve sünekliği ciddi ölçüde artmıştır.

Topçu ve diğerleri (2017), yaptıkları çalışma kapsamında hacimce %0,6, %0,8, %0,9, %1,1 oranına sahip polimer esaslı polipropilen lifin beton harcının özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Basınç dayanım değerleri incelendiğinde, harç içerisinde polipropilen lif kullanımının basınç dayanımını hem arttırıp hem de azalttığı gözlemlenmiştir. Bu durumun ilave edilen liflerin harcın işlenebilirliğini azalttığından ya da harç içerisindeki dağılımının ve yöneliminin etkisi sonucu ortaya çıktığı düşünülmektedir. Referans numunenin basınç dayanım değeri 55.72 MPa iken, polipropilen lif katkılı harçların basınç dayanımı değerleri 46.31 MPa-53.87 MPa arasında olup %3,3-%17 dayanımın oranında azaldığı görülmüştür. Dolayısıyla lif katkısının basınç dayanımını düşürdüğü söylenebilmektedir. Fakat lif miktarının artması eğilme dayanımını kayda değer ölçüde arttırmıştır. Harç yapısına ilave edilen lif miktarı ve lif tipinin eğilme dayanımı ile doğrudan ilişkili olduğu söylenmiştir.



Grafik 6. Harç Numunelerinin 28 Günlük Eğilme Dayanımı Sonuçları
Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu



Grafik 7. Harç Numunelerinin 28 Günlük Basınç Dayanımı Sonuçları
Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

5.6. 14 Günlük Basınç ve Eğilme Dayanımı Sonuçları

14 Günlük eğilme dayanımları incelendiğinde K10 numunesinin K5 den daha yüksek eğilme dayanımı verdiği gözlemlenmiştir. Aynı şekilde K10/0.4L numunesi K5/0.4L numunesinden ve K10/1.2L numunesi de K5/1.2L numunesinden daha yüksek eğilme dayanımı göstermiştir. Elde edilen veriler neticesinde %10 kolemanit içeren numunelerin %5 kolemanit içeren numunelerden daha yüksek eğilme dayanımı verdiği görülmektedir.

K5/0.4L ile K5/1.2L numunesi değerlendirildiğinde K5/0.4L numunesinin 4,02 MPa ile K5/1.2L numunesinin 3,54 MPa olan dayanım değerinden daha yüksek dayanım gösterdiği görülmüştür. K10/0.4 numunesi ile K10/1.2L numunesi arasında da benzer ilişki olmakla beraber, lif oranı daha az olan K10/0.4L numunesinin daha yüksek eğilme dayanımına sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Basınç dayanımı incelenen numunelerde K10, K10/0.4L ve K10/1.2L numunelerinin tıpkı eğilme dayanımında elde edilen verilerdeki gibi K5, K5/0.4L ve K5/1.2L numunelerinden daha yüksek basınç dayanımına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda %10 kolemanit içeren numunelerin %5 kolemanit içeren numunelerden daha yüksek basınç dayanımına sahip olduğu söylenebilir.

K10/0.4L numunesi K10/1.2L numunesinden 1,76 MPa daha yüksek dayanım göstermiştir. K5/0.4L numunesi de K5/1.2L numunesinden 3,26 MPa daha yüksek basınç dayanım değeri vermiştir. Numuneler aynı oranla kolemanit içerirken, farklı oranlarda lif içeren numuneler için bir değerlendirme yapıldığında artan lif miktarının az da olsa basınç dayanımını azalttığı görülmüştür. %5 ve %10 kolemanit içeren numunelerde %0.4 lif içermesi %1.2 lif içermesine kıyasla daha iyi basınç dayanım değeri verdiğini göstermiştir.

5.7. 7 Günlük Basınç ve Eğilme Dayanımı Sonuçları

7 Günlük eğilme dayanımı sonuçlarında %10 Kolemanit içeren numunelerin %5 Kolemanit içeren numunelere kıyasla daha yüksek eğilme ve basınç dayanımı gösterdiği kaydedilmiştir. K10, K10/0.4L ve K10/1.2L numuneleri sırasıyla 4.08, 3.78 ve 3.96 MPa değeriyle, K5, K5/0.4L ve K5/1.2L numunelerinden sırasıyla 3.36, 3.66 ve 3.24 MPa değeriyle daha yüksek eğilme dayanımı sonuçları vermektedir.

Lif oranları üzerinden yapılan performans sonuçlarında %10 Kolemanit içeren numunelerde lif oranının %0.4'ten %1.2'ye yükselmesiyle eğilme dayanımı artarken, %5 Kolemanit içeren numunelerde lif oranının %0.4'ten %1.2'ye yükselmesi eğilme dayanımını azaltmaktadır.

Yine K10, K10/0.4L ve K10/1.2L numuneleri sırasıyla 22.31, 21.69 ve 20 MPa değeriyle, K5, K5/0.4L ve K5/1.2L numunelerinden sırasıyla 20.56, 19.94 ve 17.86 MPa değeriyle daha yüksek basınç dayanımı sonuçları vermektedir.

Lifli numunelerin basınç dayanım sonuçlarına göre K10/0.4L numunesinin K10/1.2L numunesinden daha yüksek basınç dayanımı göstermesi ve K5/0.4L numunesinin K5/1.2L numunesinden daha yüksek basınç dayanımı göstermesi, lif miktarı arttıkça basınç dayanımının azaldığını göstermektedir. Polipropilen lif içermeyen K5 ve K10 numunelerinin ise Polipropilen Lif içeren K5/0.4L, K5/1.2L, K10/0.4L ve K10/1.2L numunelerinden daha yüksek basınç dayanımı gösterdiği görülmüştür.

Tablo 8. Harç Numunelerinin Basınç ve Eğilme Deneyi Sonuçları

Numune Kodu	7 Günlük Değerler (MPa)		14 Günlük Değerler (MPa)		28 Günlük Değerler (MPa)	
	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç
SH					9,04	48,19
K5	3,36	20,56	3,84	23,58	7,16	45,83
K10	4,08	22,31	4,2	24,08	5,92	40,51
K5/0.4L	3,66	19,94	4,02	22,73	6,26	46,96
K10/0.4L	3,78	21,69	4,38	25,53	5,56	42,04
K5/1.2L	3,24	17,86	3,54	19,47	5,09	41,66
K10/1.2L	3,96	20	4,02	23,77	5,85	33,15

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

5.8. Yüksek Sıcaklık Sonrası Ağırlık Kaybı ve Basınç Dayanımı Sonuçları

Yüksek sıcaklık uygulaması 300, 600 ve 900°C dereceler üzerinde yapılmıştır. Numuneler sıcaklığa maruz bırakılmadan önce ağırlıkları ölçülüp deneyler tamamladığında tekrar ağırlıkları ölçülmüştür.

300 °C derece ısıya maruz bırakılan numuneler değerlendirildiğinde:

En yüksek ağırlık değişimi oranını %3.84 ile şahit numune verirken, en düşük ağırlık kaybı %1.15 ile K5/1.2L numunesinden elde edilmiştir.

Tablo 9. 300°C Derece Sıcaklık Uygulanan Numunelerin Test Sonuçları

Numune Adı	105 Etüv		300 Sıcaklık						
	Ağırlık (gr)	Basınç Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Ağırlık (gr)	Basınç Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Ağırlık Değişimi (%)	Basınç Dayanımı Değişimi (%)	Eğilme Dayanımı Değişimi (%)
SH	533,46	48,19	9,04	512,96	36,87	6,3	3,84	23,48	30,3
K5	493,96	45,83	7,16	487,43	21,74	3,6	1,32	52,56	49,72
K10	478,86	40,51	5,92	472,8	19,13	2,88	1,26	52,77	51,35
K5/0.4L	487,5	46,96	6,26	481	22,73	3,84	1,33	51,59	38,65
K10/0.4L	496,26	42,04	5,56	490,4	21,07	3,12	1,18	49,88	43,88
K5/1.2L	477,33	41,66	5,09	471,8	19,39	3,36	1,15	53,45	33,98
K10/1.2L	485,3	33,15	5,85	479,2	12,32	2,88	1,25	62,83	50,76

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

Basınç dayanım değişimleri incelendiğinde K5 numunesi 300°C derece ısıya maruz kaldıktan sonra 21,74 MPa basınç dayanımı gösterirken, K10 numunesi 19,13 MPa basınç dayanımı göstermektedir. Genel olarak %5 Kolemanit içeren numunelerin %10 Kolemanit içeren numunelere kıyasla daha az basınç dayanım kaybına uğradığı gözlemlenmektedir. 300°C derece sıcaklık uygulandıktan sonra lifli numuneler içerisinde K5/0.4L numunesi 22,73 MPa basınç dayanımı verirken K5/1.2L numunesi 19,39 MPa basınç dayanımı göstermektedir. K10/0.4L numunesi 21,07 MPa basınç dayanımı gösterirken, K10/1.2L numunesi 12,32 MPa basınç dayanımı göstermiştir. Polipropilen lif katkılı numunelerde lif oranı arttıkça basınç dayanım değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. 300°C derece ısıya maruz kalan numuneler içerisinde şahit numuneye en yakın basınç dayanım değeri 22,73 MPa ile K5/0.4L numunesinden elde edilmiştir.

300°C derece sıcaklık uygulanan numunelerin eğilme dayanımı değerlerine göre %5 Kolemanit içeren numuneler tıpkı basınç dayanımında olduğu gibi %10 Kolemanit içeren numunelere kıyasla daha yüksek eğilme dayanımı göstermiştir. En yüksek eğilme dayanımı 3,84 MPa ile K5/0.4L numunesinden elde edilirken en düşük eğilme dayanımı değişim oranı K5/1.2L numunesinden elde edilmiştir.

Tablo 10. 600°C Derece Sıcaklık Uygulanan Numunelerin Test Sonuçları

Numune Adı	105 Etüv		600 Sıcaklık						
	Ağırlık (gr)	Basınç Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Ağırlık (gr)	Basınç Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Ağırlık Değişimi (%)	Basınç Dayanımı Değişimi (%)	Eğilme Dayanımı Değişimi (%)
SH	549,15	48,19	9,04	514,75	15,64	0,81	6,26	67,54	91,03
K5	495,1	45,83	7,16	481,43	9,02	0,36	2,76	80,31	94,97
K10	501,3	40,51	5,92	488,04	10,93	0,6	2,64	73,01	89,86
K5/0.4L	497,16	46,96	6,26	483,17	9,49	0,6	2,81	79,79	90,41
K10/0.4L	497,4	42,04	5,56	484,74	10,68	1,08	2,54	74,59	80,57
K5/1.2L	496,23	41,66	5,09	482,9	8,9	0,54	2,68	78,63	89,39
K10/1.2L	486,2	33,15	5,85	474,2	9,78	1,14	2,46	70,49	80,51

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

600°C derece ısı uygulanan numunelerin ağırlık kaybı oranlarında %5 Kolemanit içeren numunelerin %10 Kolemanit içeren numunelerden daha fazla ağırlık kaybettiği dolayısıyla Kolemanit miktarı arttıkça ağırlık kaybının azaldığı söylenebilmektedir. Lif içeren %5 kolemanit içeren numunelerde %1,2 lif kullanımının ağırlık kaybını azalttığı fakat %0.4 lif kullanımının ağırlık kaybını arttırdığı gözlemlenmektedir. %10 Kolemanit içeren numunelerde ise %0.4 ve %1.2 lif kullanımının ağırlık kaybını azalttığını, lif miktarı arttıkça da ağırlık kaybının azaldığı kaydedilmiştir.

Basınç dayanımları değerlendirildiğinde; 600°C derece ısı uygulaması 300°C derece ısı uygulamasının aksine kolemanit miktarı arttıkça basınç dayanım değerlerinin arttığını yani, K10 (10,93 MPa) numunesinin K5 (9,02 MPa) numunesinden daha yüksek basınç dayanımına sahip olduğunu göstermektedir. Fakat genel olarak lif içeren numunelerin basınç dayanım değerinin düştüğü gözlemlenmektedir. En yüksek basınç dayanımı ise K10 numunesinden elde edilmiştir.

Eğilme dayanımı değerlerine göre en düşük eğilme dayanımı K10 numunesinden elde edilirken, en yüksek eğilme dayanımı K10/0.4L numunesinden elde edilmiştir. Elde edilen sonuca göre polipropilen lifin eğilme dayanımını arttırdığı söylenebilir.

Tablo 11. 900°C Derece Sıcaklık Uygulanan Numunelerin Test Sonuçları

Numune Adı	105 Etüv		900 Sıcaklık						
	Ağırlık (gr)	Basınç Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Ağırlık (gr)	Basınç Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Ağırlık Değişimi (%)	Basınç Dayanımı Değişimi (%)	Eğilme Dayanımı Değişimi (%)
SH	546,43	48,19	9,04	506,05	0	0	7,38	—	—
K5	505,63	45,83	7,16	486,67	0	0	3,74	—	—
K10	502,7	40,51	5,92	483,67	0	0	3,78	—	—
K5/0.4L	498,33	46,96	6,26	477,07	0	0	4,26	—	—
K10/0.4L	499,76	42,04	5,56	480,94	0	0	3,76	—	—
K5/1.2L	495,16	41,66	5,09	473,67	0	0	4,34	—	—
K10/1.2L	488,93	33,15	5,85	469,47	0	0	3,98	—	—

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

Görsel gözlem neticesinde 900°C derece ısı uygulanan numuneler ağırlık ölçümü yapıldıktan sonra dağıldığı için eğilme ve basınç deneyleri uygulanamamıştır. Ağırlık değişimi üzerinden değerlendirme yapıldığında en az ağırlık kaybına uğrayan numunenin %3,74 ile K5 numunesi olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek ağırlık kaybı ise %4,26 ile K5/1.2L numunesinden elde edilmiştir.

Genel olarak tüm derecelerde kolemanit miktarını arttıkça ağırlık kaybı azalmıştır. Aynı şekilde lifli numunelerde meydana gelen ağırlık kaybı lifsiz numunelere kıyasla daha az yaşanmıştır. Literatürde elde edilen sonuçlarda:

Aktaş (2022), yangın direnci için 36 adet çelik lif ve 36 adet polipropilen lif katkısı içeren numuneler üretmiştir. %0.05, %0.10 ve %0.20 oranlarında polipropilen lif kullanılmıştır. Numuneler 300 °C, 600 °C ve 900 °C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Soğuyan numunelere eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Çalışmaların sonucunda harçlarda polipropilen lif kullanımının yangın deneyleri neticesinde eğilme ve basınç dayanımlarını arttırdığını gösteren değerler elde edilmiştir. Harcın içerisine eklenen lif oranının artmasıyla numunelerin eğilme ve basınç mukavemetleri artmış, Yangın direnci parametrelerinde en yüksek basınç dayanımını 300 °C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin sahip olduğu tespit edilmiştir. Tüm sıcaklık değerlerinde kullanılan lif miktarının artması eğilme dayanımını da arttırmıştır. Eğilme dayanımında polipropilen lifli olanlarda 300 °C sıcaklığa maruz kalan numuneler en yüksek mukavemet değerini göstermiştir. Çiçek (2018), yaptığı çalışmada yüksek sıcaklığa maruz bırakılan kolemanit konsantratör atığı katkılı harçlarda eğilme ve basınç deneyleri yapılmıştır. Çimento yerine

%2, %3, %4, %5, %6, %7, %8, %9 ve %10 oranlarında kolemanit konsantratör atığı kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler 20, 150, 300, 450, 600 ve 700 °C sıcaklıklara maruz kalmıştır. Sonuçta referans (katkısız) numunelerde basınç dayanımı kaybı 750°C 'de %68, %10 kolemanit katkı içeren numunelerde %12 olarak gözlemlenmiştir. Kolemanit konsantratör içeren numunelerde düşük sıcaklık seviyelerinde basınç dayanımlarının yükseldiği fakat %4 kolemanit katkısından sonra dayanımın azalma eğiliminde olduğu görülmüştür. Eğilme dayanımı sonuçlarında ise referans numunelerde 750°C 'de %71, %10 kolemanit katkısı içeren numunelerde %59 olarak kaydedilmiştir. Yine düşük sıcaklık seviyelerinde kolemanit konsantratör atığı katkılı numunelerde %5'e kadar eğilme dayanımı artmış fakat %5'ten sonra eğilme dayanımının azaldığı gözlemlenmiştir.

Yaltay (2015) yaptığı çalışmada kolemanit katkılı hafif betonları 400, 600 ve 800 °C derece gibi yüksek sıcaklıklara maruz bırakıp betonların yapısında meydana gelen gelişimi incelenmiştir. Numunelerin hepsinde 400, 600 ve 800°C sıcaklık uygulamasından sonra basınç değerlerinde azalma meydana gelmiş, en düşük basınç dayanım değerleri 800°C'ye maruz kalan numunelerde gözlemlenmiştir.

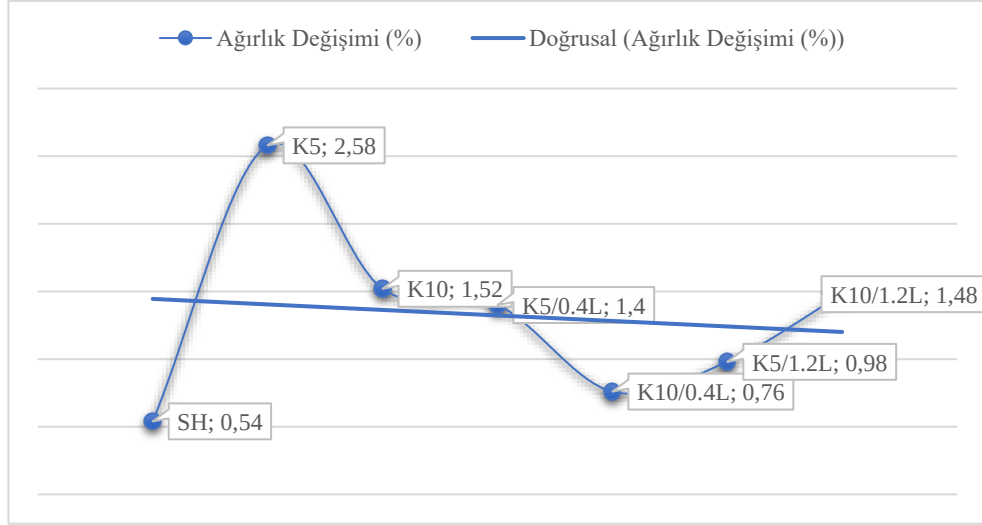
5.9. Islanma-Kuruma Deneyi Sonuçları

Islanma-Kuruma deneyine tabi tutulan numunelerde deney sonucunda ağırlık artışı meydana gelmiştir. %5 Kolemanit içeren numuneler %10 Kolemanit içeren numunelerden daha fazla ağırlık artışı yaşamıştır. Kolemanit miktarı arttıkça ağırlık artışı azalmıştır. En fazla ağırlık artışı %2,58 ile K5 numunesinde görülürken, en düşük ağırlık artışı ise %0,76 il3 K10/0.4L numunesinde görülmüştür.

Tablo 12. Islanma-Kuruma Testi Sonuçları

Numune Kodu	İlk ölçüm (gr)	Son ölçüm (gr)	Ağırlık Değişimi (%)
SH	497,8	500,5	0,54
K5	506,6	513,7	2,58
K10	499,6	507,2	1,52
K5/0.4L	492,8	499,7	1,4
K10/0.4L	496,4	500,2	0,76
K5/1.2L	495,5	500,4	0,98
K10/1.2L	499,5	506,9	1,48

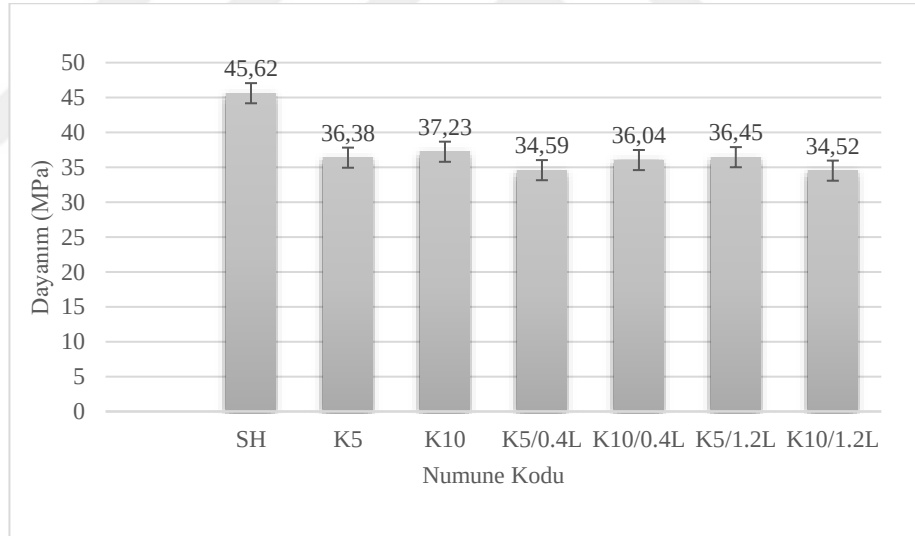
Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu



Grafik 8. Islanma-Kuruma Sonrası Numunelerin Ağırlık Değişimi

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

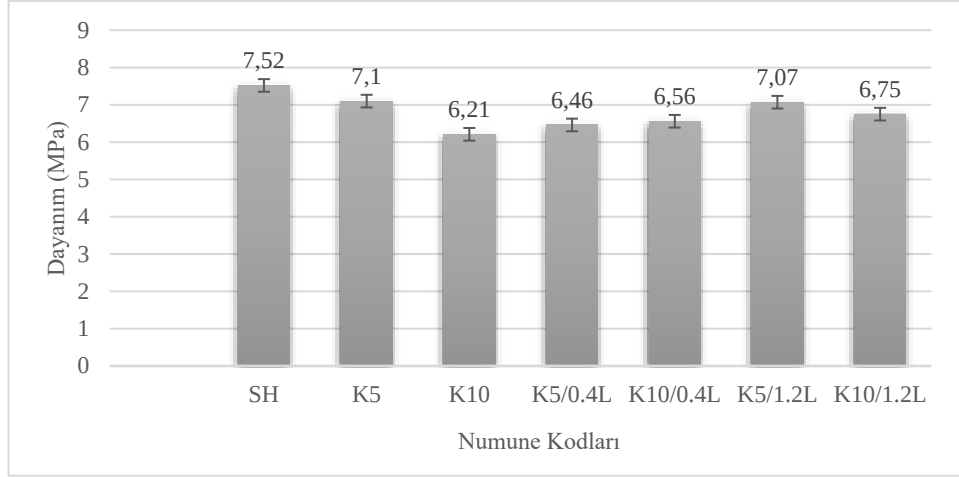
Islanma-Kuruma gerçekleştirilen numuneler üzerinde deney sonunda basınç ve eğilme dayanımı deneyleri de gerçekleştirilmiştir.



Grafik 9. Islanma-Kuruma Sonrası Numunelerin Basınç Dayanımları

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

%10 Kolemanit içeren numunelerin %5 Kolemanit içeren numunelere kıyasla daha yüksek basınç dayanımı verdiği gözlemlenmiştir. Lif içeren numunelerde de genel hatlarıyla lif kullanımı basınç dayanımını azaltmıştır. En yüksek basınç dayanımı 37,23 MPa ile K10 numunesinden elde edilirken en düşük basınç dayanım değeri 34,52 MPa ile K10/1.2L numunesinden elde edilmiştir.



Grafik 10. Islanma-Kuruma Sonrası Numunelerin Eğilme Dayanımları

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

%10 Kolemanit içeren numunelerin %5 Kolemanit içeren numunelere kıyasla daha yüksek basınç dayanımı verdiği gözlemlenmiştir. Lif içeren numunelerde de genel hatlarıyla lif kullanımı basınç dayanımını azaltmıştır. En yüksek basınç dayanımı 37,23 MPa ile K10 numunesinden elde edilirken en düşük basınç dayanım değeri 34,52 MPa ile K10/1.2L numunesinden elde edilmiştir. %5 Kolemanit içeren numunelerin %10 Kolemanit içeren numunelere kıyasla daha yüksek eğilme dayanımı verdiği gözlemlenmiştir. Tüm numunelerde lif oranı arttıkça eğilme dayanımı artmıştır. %1,2 Polipropilen Lif içeren numuneler %0,4 Polipropilen Lif içeren numunelerden daha yüksek eğilme dayanımı performansı göstermiştir. En yüksek eğilme dayanımı 7,07 MPa ile K5/1.2L numunesinden elde edilirken, en düşük eğilme dayanımı 6,21 MPa ile K10 numunesinden elde edilmiştir.

Tablo 13. Numunelerin Islanma-Kuruma Öncesi ve Sonrası Dayanımları

Numune Kodu	28 Günlük Değerler (MPa)		Islanma-Kuruma Sonrası Değerler (MPa)	
	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç
SH	9,04	48,19	7,52	45,62
K5	7,16	45,83	7,1	36,38
K10	5,92	40,51	6,21	37,23
K5/0.4L	6,26	46,96	6,46	34,59
K10/0.4L	5,56	42,04	6,56	36,04
K5/1.2L	5,09	41,66	7,07	36,45
K10/1.2L	5,85	33,15	6,75	34,52

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturuldu

Deney sonrası numunelerde meydana gelen ağırlık artışı, 20 çevrim ıslanma kuruma neticesinde numunelerde oluşan mikro çatlak ve boşlukların tuzlu su ile dolmasına bağlanabilir. Etüvde kurutma sonrası numune bünyesindeki su buharlaşsa da su ile birlikte nüfus eden tozlar mikro çatlak ve boşluklarda kalarak ağırlık artışına sebep olabilir. Deney sonrası numunelerde herhangi yıpranma veya parçalanma söz konusu olmaması ile birlikte basınç dayanımlarındaki yaklaşık %22 azalma numunelerdeki mikro çatlak ve gözenek oluşumunu bariz bir şekilde kanıtlamaktadır. Bununla birlikte ağırlık artışı ile basınç dayanımı sonuçları arasında da ters bir ilişki olması, mikro boşluk oranı yüksek olan numunelerin düşük basınç dayanımına sahip olduklarını açıklamaktadır.



SONUÇ

Bu tez çalışmasında çimento yerine ağırlıkça %5 ve %10 oranlarında kolemanit kullanılarak harçlar üretilmiştir. İkinci etapta bu harçlara hacimce %0.4 ve %1.2 oranlarında polipropilen lif eklenmiştir. Üretilen harçlar üzerinde yayılma, su emme, kılcallık, ultrases, ıslanma-kuruma, yüksek sıcaklık, eğilme ve basınç testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerin neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

Üretilen harçlarda Polipropilen lif miktarı arttıkça yayılma çapı azalırken, Kolemanit miktarı arttıkça yayılma çapı artmıştır. En yüksek yayılma çapı 155 mm ile K10 numunesine ait iken, en düşük yayılma çapı değeri 138 mm ile K5/1.2L numunesinden elde edilmiştir. Referans numunenin 140 mm olan yayılma çapı değerine en yakın yayılma çapı değeri 138 mm ile K5/1.2L numunesinden elde edilmiştir.

Kolemanit ve Polipropilen lif referans numuneye oranla su emme miktarında artış göstermektedir. Kolemanit içeren numunelere lif eklenmesiyle oluşturulan numunelerde lif ilavesi ile su emme oranında artış gözlemlenmiştir. Bu oran lif miktarına bağlı olarak doğru orantılı şekilde yükselmiştir. En yüksek su emme %10,6 oranı ile K10/1.2L numunesinden elde edilirken, en düşük su emme oranına sahip olan numune ise %9,3 değeriyle K5 numunesidir. %8,3 su emme oranına sahip olan referans numuneye en yakın değer K5 numunesinden elde edilmiştir.

%5 Kolemanit içeren numuneler %10 kolemanit içeren numunelere kıyasla daha az su absorbe ederken, numunelere lif eklenmesiyle üretilen yeni numunelerde K10 numunelerinin K5 numunelerinden daha az su absorbe ettiği gözlemlenmiştir.

Ultrases geçiş hızı değerlerinde %5 kolemanit içeren numunelerin %10'dan daha yüksek geçiş hızı değeri verdiği gözlemlenmiştir. Polipropilen lif katkısının ise ultrases geçiş hızı değerlerinde olumlu bir artışa neden olmadığı ve bir miktar da olsa geçiş hızını azalttığı elde edilmiştir. Ultrases geçiş hızı değerleri tüm numunelerde 3-4 m/s aralığında olmasıyla beraber, en yüksek ve şahit numuneye en yakın ultrases geçiş hızının K5 numunesinde olduğu görülmüştür.

28 Gün küre tabi tutulmuş numunelerde, %0.4 Lif kullanımı basınç dayanımını arttırırken %1.2 oranında lif kullanımı basınç dayanımını azaltmıştır. 28 Gün küre tabi tutulmuş

numunelerde, %5 Kolemanit içeren numunelerin %10 kolemanit içeren numunelere kıyasla daha yüksek eğilme ve basınç dayanımı verdiği gözlemlenmiştir. 28 Gün boyunca kür edilen numuneler arasında en yüksek eğilme dayanımı 7,16 MPa ile K5 numunesinden elde edilirken, en yüksek basınç dayanımı 45,83 MPa ile K5/0.4L numunesinden elde edilmiştir.

7 Gün kürlenmiş numunelerde Polipropilen lifin basınç ve eğilme dayanımını düşürdüğü gözlemlenmiştir. 7 Gün küre tabi tutulmuş numunelerde, %10 Kolemanit içeren numunelerin %5 kolemanit içeren numunelere kıyasla daha yüksek eğilme ve basınç dayanımı verdiği gözlemlenmiştir. 7 Gün boyunca kür edilen numuneler arasında en yüksek eğilme dayanımı 4,08 MPa ile K10 numunesinden elde edilirken, en yüksek basınç dayanımı yine 22,31 MPa ile K10 numunesinden elde edilmiştir.

14 Gün küre tabi tutulmuş numunelerde, %0.4 Lif kullanımı eğilme dayanımını arttırırken %1.2 oranında lif kullanımı eğilme dayanımını azaltmıştır. Aynı zamanda %10 kolemanit içeren numuneler %5 kolemanit içeren numunelerden daha yüksek eğilme ve basınç dayanımı elde etmiştir. Polipropilen lif ilavesi K10/0.4L numunesinde K10 numunesine kıyasla daha yüksek basınç dayanımı vermiştir. 14 Gün boyunca kür edilen numuneler arasında en yüksek eğilme dayanımı 4,38 MPa ile K10/0.4L numunesinden elde edilirken, en yüksek basınç dayanımı 25,53 MPa ile yine K10/0.4L numunesinden elde edilmiştir.

300°C derece ısıya maruz kalan numuneler içerisinde şahit numuneye en yakın basınç dayanım değeri 22,73 MPa ile K5/0.4L numunesinden elde edilmiştir. 300°C derece sıcaklık uygulanan numunelerin eğilme dayanımı değerlerine göre En yüksek eğilme dayanımı 3,84 MPa ile K5/0.4L numunesinden elde edilirken en düşük eğilme dayanımı değişim oranı K5/1.2L numunesinden elde edilmiştir. En yüksek ağırlık değişimi oranını %3.84 ile şahit numune verirken, en düşük ağırlık kaybı %1.15 ile K5/1.2L numunesinden elde edilmiştir.

600°C derece ısı uygulanan numunelerin ağırlık kaybı oranlarına göre en az ağırlık kaybına uğrayan numune K10/1.2L numunesidir. 600°C derece ısı uygulanan numuneler için Kolemanit miktarı arttıkça ağırlık kaybının azaldığı ve 1.2 lif kullanımının ağırlık kaybını azalttığı söylenebilmektedir. En yüksek basınç dayanımı ise 10,93 MPa ile K10 numunesinden elde edilmiştir. Kolemanit miktarı arttıkça basınç dayanımı artmış fakat eğilme dayanımı azalmıştır. En yüksek eğilme dayanımı 1,08 MPa ile K10/0.4L

numunesinden elde edilmiştir. Elde edilen sonuca göre polipropilen lifin 600°C derece ısı uygulanan numunelerde eğilme dayanımını arttırdığı söylenebilir.

Görsel gözlem neticesinde 900°C derece ısı uygulanan numuneler ağırlık ölçümü yapıldıktan sonra dağıldığı için eğilme ve basınç deneyleri uygulanamamıştır. Ağırlık değişimi üzerinden değerlendirme yapıldığında en az ağırlık kaybına uğrayan numunenin %3,74 ile K5 numunesi olduğu gözlemlenmiştir.

Islanma-Kuruma deneyine tabi tutulan numunelerde deney sonucunda ağırlık artışı meydana gelmiştir. En fazla ağırlık artışı %2,58 ile K5 numunesinde görülürken, en düşük ağırlık artışı ise %0,76 il3 K10/0.4L numunesinde görülmüştür.

Islanma-kuruma deneyine maruz kalan numunelerde Kolemanit miktarının artmasıyla basınç dayanımı artarken, Lif içeren numunelerde de genel hatlarıyla lif kullanımı basınç dayanımını azaltmıştır. En yüksek basınç dayanımı 37,23 MPa ile K10 numunesinden elde edilirken en düşük basınç dayanım değeri 34,52 MPa ile K10/1.2L numunesinden elde edilmiştir. Eğilme değerlerinde ise Kolemanit miktarı arttıkça eğilme değeri artmış, Lif miktarı arttıkça ise eğilme değerleri de artmıştır. En yüksek eğilme dayanımı 7,07 MPa ile K5/1.2L numunesinden elde edilirken, en düşük eğilme dayanımı 6,21 MPa ile K10 numunesinden elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Acun, S. (2000). *Yüksek dayanımlı beton üretiminde dizayn parametresi olarak lifsel katkıların irdelenmesi*. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Açıkgenç, M., Arazsu, U., & Esat A. K. (2012). Farklı karışım oranlarına sahip polipropilen lifli betonların dayanım ve durabilite özellikleri. *SDU International Journal of Technologic Science*, 4(3), 41–54.
- Ağar, E., Sütaş, İ., & Öztaş, G. (1998). *Beton yollar (Rijit yol üstyapıları)*. İstanbul: İ. T. Ü İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Arslan, A. A., (2019). *Metakaolin tabanlı geopolimer harçlara farklı kür koşullarının etkisinin incelemesi*. Yüksek lisans tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Akakın, T., Kılınç, C., Işık, A., & Zengin, H. (2013). Hazır beton sektörü ve beton kullanımındaki gelişmeler. *Gaziosmanpaşa Journal of Scientific Research*, 7(3), 01-11.
- Aktaş, T. B. (2022). *Yüksek sıcaklık ve donma-çözülme etkisine maruz kalmış lif içeren ultra yüksek dayanımlı betonların özellikleri*. Yüksek lisans tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Al Bakri, A., Mohammed, H., Kamarudin, H., Niza, I.K., & Zarina, Y. (2011). Review on fly ash-based geopolymers concrete without portland cement. *Journal of Engineering and Technology Research*, 3(1) 1-4.
- Altabeeb, A.S.A. (2021). *Silis dumanı ve çelik lif katkılı hafif beton özelliklerinin incelenmesi*. Yayımlanmamış Yüksek lisans tezi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.
- Ashraf M., Iqbal M. F., Rauf M., Ashraf M. U., Ulhaq A., Muhammad H., & Liu Q. F., (2022). Developing a sustainable concrete incorporating bentonite clay and silica fume: Mechanical and durability performance. *Journal of Cleaner Production*, 337 (2).
- ASTM C597-09. (1999). *Standart test method for pulse velocity through concrete*.
- Atabey, V., (2023). *Agrega gevşek yığın yoğunluğu*. Erişim adresi: <https://volkanatabey.com.tr/agrega-gevsek-yigin-yogunlugu/>. Erişim tarihi: 15 Temmuz 2023.
- Aygörmez, Y. (2018). *Kolemanit atığı ve silis dumanı katkılı metakaolin tabanlı geopolimer harcın mekanik ve durabilite özelliklerinin incelenmesi*. Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bahadır, F. (2010). *Polipropilen lifli betonların mekanik özellikleri*. Yüksek lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Bayar, D. (2001). *Sulu çözeltiden adsorpsiyonla bor giderimi ve deney tasarımı*. Yüksek lisans tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

- Behnood, A., & Ghandehari, M., (2009). Comparison of compressive and splitting tensile strength of high-strength concrete with and without polypropylene fibers heated to high temperatures. *Fire Saf. J.* 44 (8) 1015–1022.
- Benli, A., & M. Karataş (2018). Uçucu kül ve silis dumanı ikameli üçlü karışımlardan üretilen kendiliğinden yerleşen harçların durabilite ve dayanım özellikleri. *Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10(1), 335-345.
- Bingöl, Ş., (2018). *Alkali ile aktive edilmiş yüksek fırın cürufu geopolimer harçların mekanik ve durabilite özelliklerinin araştırılması*. Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Bideci, Ö. S., & Bideci, A., (2018). Öğütülmüş kolemanit katkısının çimento harçlarına etkisi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi*, 30(1), 133-138.
- Binici, H., Sevinç A. H., & Durgun Y. M. (2011). Barit, bazaltik pomza, kolemanit ve yüksek fırın cürufu katkılı betonların özellikleri. *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(1).
- Boyacı, Ö. (2018). *Farklı Kaolenlerin Metakaolen ve Spinel Yapılarda Geopolimer Davranışı*. Yüksek lisans tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Coşkun, O. (2022). *Bor nedir? Nerelerde kullanılır?* Erişim adresi: <https://www.enerjisistemlerimuhendisligi.com/bor/2651/>. Erişim tarihi: 25 Ocak 2023.
- Çiçek, B. G. (2018). *Kolemanit konsantratör atığı katkılı çimento ile üretilen harçların normal portland çimentosu ile üretilen harçla sıcaklık etkisi yönünden karşılaştırılması*. Yüksek lisans tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Çelik, A. (2019). *Sentetik liflerle güçlendirilmiş bor atığı katkılı metakaolin tabanlı geopolimer kompozitlerin yüksek sıcaklık davranışı ve mekanik özellikleri*. Doktora tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Demirel, B., & Nasıroğlu, S. (2017). Bor mineralleri ve atıklarının çimentoda kullanılma stratejileri. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29(1), 95-100.
- Doğan, M., Bideci, A., Çomak, B., Salli Bideci, Ö., & Besli, E. (2016). *Stiren-bütadien kopolimer katkısının çimento harçlarına etkisi*. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4, 67–76.
- Doğangün, A. (2009). *Betonarme yapıların hesap ve tasarımı*. İstanbul: Birsan Yayınevi.
- Durmaz, B. (2007). *Bölgesel basınca maruz lifli betonlarda yatak mukavemeti*. Yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ.
- Erdoğan, T. Y. (2003). *Beton*. Ankara: ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A. Ş. Yayınevi.
- Ersoy U. (1995). *Betonarme*. İstanbul: Evrim Yayınevi.
- Engin, erd Y. (2020). *Özel çimentolar*. Erişim adresi: <https://www.betonvecimento.com/cimento/ozel-cimentolar>. Erişim tarihi: 1 Temmuz 2023.

- Fiber, E. (2021). *Polipropilen elyaf*. Erişim adresi: <https://fiberelyaf.com/polipropilen-elyaf/>. Erişim tarihi: 25 Ocak 2023.
- Güner, M. S., & Süme, V. (2001). *Yapı malzemesi ve beton*. İstanbul: Aktif Yayınevi.
- Helvacı, C., & Kistler, R. B. (1994). *Boron and borates*. İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri enstitüsü, İzmir.
- İstock, (2022). *View of colemanite bor.*, Erişim adresi: <https://www.istockphoto.com/tr/foto%C4%9Fraf/view-of-colemanite-mineral-it-is-a-borate-mineral-found-in-evaporite-deposits-of-gm1397374819-451824525>. Erişim tarihi: 3 Şubat 2023.
- Kara, C. (2019). *Kolemanit ikameli beton yolların durabilite özellikleri*. Yüksek lisans tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize.
- Karabaş, C. (2021). *Yüksek fırın cürufu ve uçucu küllü geopolimer betonların %5 sülfirik asit ortamında durabilitesinin incelenmesi*. Yüksek lisans tezi, İstanbul Gelişim Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Köse, M. D. (2011). *Gümüşhane yöresi kalker örneğinin ince öğütülmüş agrega olarak beton birleşiminde kullanılabilirliği, Taze Betonun Kıvamına ve Beton Basınç Dayanımına Etkisi*. Gümüşhane Üniversitesi, Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.
- Kuder, K. G., & Shah, S. P. (2010). Processing of high-performance fiber-reinforced cement based composites. *Construction and Building Materials*, 24 (2), 181–186.
- Kula, I., Olgun, A., Erdogan, Y., & Sevinc, V. (2001). Effects of colemanite waste, cool bottom ash, and fly ash on the properties of cement. *Cement and Concrete Research*, 31, 491-494.
- Külekçi, G. (2021). Co radyoaktif nokta kaynağı ile uçucu külün gama radyasyon koruma özellikleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 145-151.
- Kütük, T., Kara, C., & Kütük, S. (2020). Öğütülmüş Kolemanit Minerali İkameli Beton Yollardaki Aşınma Kaybının Araştırılması. *Journal of Sciences and Engineering*, 20(2), 287–295.
- Latıfı, M. R. (2020). *Makro sentetik polipropilen lif kullanımının beton karışımlarının taze ve sertleşmiş hal özelliklerine etkisi*. Yüksek lisans tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Macit, S., (2009). *Beton yol inşaatında kendiliğinden yerleşen betonun kullanılması üzerine bir araştırma*. Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Mehranpour, S. (2019). *Comparison of beta, neutron and gamma attenuation properties of pmma/colemanite composites*. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Mehta, P. K., & Paulo, J. M. M. (2006). *Concrete microstructure properties and materials*. 3. New York: McGraw-Hill Companies.

- Mi R., Pan, G., Liew K. M., & Kuang T. (2020). Utilizing recycled aggregate concrete in sustainable construction for a required compressive strength ratio. *Journal of Cleaner Production*, 276.
- Özkul, H., Taşdemir, M.A., Tokyay, M., & Uyan M., (2004). *Her yönüyle beton*. İstanbul: Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını.
- Özmal, F., Erdoğan, Y., Olgun, A., Atar, N., Kula, İ., & Kalfa, O.M., (2005). *1. Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı*. Ankara: Nadir Kitap.
- Polat, H., (2012). Kolemanit’li betonların bazı durabilite özelliklerinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Sert, T. K., & Kara, C., (2018). Farklı kür koşullarının kolemanit ikameli betonların dayanımına etkisi. *Journal of Investigations On Engineering & Technology*. 1-2. (19-23).
- Sertbakan, R. G. (2023). *Yüksek sıcaklık sonrası kür edilen alkali ile aktifleştirilmiş harçların dayanım özellikleri*. Yüksek lisans tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Shalbi, S., Sazali, N., Rosdi, M. A. A., & Idris F. M. (2020). *Study on mechanical and shielding properties of barite colemanite concrete*. Faculty of Mechanical Engineering, University, Malaysia Pahang. Pekan,
- Sevinç, A. H., (2021). Farklı tane boyutuna sahip afşin-elbistan uçucu külünün geopolimer hammaddesi olarak kullanımı. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(2), 751-765.
- Sevinç, A. H., Durgun, M. Y., & Eken, M. (2017). A Taguchi approach for investigating the engineering properties of concretes incorporating barite, colemanite, basaltic pumice and ground blast furnace slag. *Construction and Building Materials*, 135, 343-351.
- Sümer, B. (2012). *Silis dumanı katkılı betonlarda propilen lif kullanımının beton özelliklerine etkilerinin araştırılması*. Yayımlanmamış Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Sümer, B., & M. Sarıbıyık (2013). *Betonda silis dumanı ve polipropilen lif kullanımının beton özellikleri üzerine etkilerinin incelenmesi*. Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Sakarya
- Şahin, F. (2020). *Farklı tür agregalarda üretilen metakaolin tabanlı geopolimer harçların mekanik ve durabilite özelliklerinin incelenmesi*. Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Topçu, İ.B., Boğa, A.R., & Demir, A. (2006). *Bor atıklı çimento harçlarında yüksek sıcaklık etkisinin incelenmesi*. III. Uluslararası Bor Sempozyumu (2-4 Kasım). Ankara, 117-121.
- Topçu, B., Demirel İ. E., & Uygunoğlu O. T., (2017). Polipropilen lif katkılı harçların fiziksel ve mekanik özellikleri. *Journal of Polytechnic*, 20(1), 91–96.

- Topçu, B., & M. Canbaz (2007). Silis dumanının betonda çatlak oluşumuna etkisi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi* 21(2).
- TS 706 EN 12620 (2009). *Beton Agregaları*. Türk Standartları Enstitüsü.
- TSI, TS EN 1015-3. (2000). *Methods of test for mortar for masonry: Part 3.Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)*. Ankara. Turkish Standard Institute.
- TSI, TS EN 12390-3. (2003). *This standard specifies a emthod for the determination of the compressive strength of test specimens of hardened concrete*. Ankara.
- Türkiye Hazır Beton Birliği. (2020). *Türkiye Hazır Beton Sektörü İstatistikleri*.
- Uçar G. (2022). *İki farklı polipropilen lifin rijit kaplamalarda hibrit olarak kullanılabilirliğinin araştırılması*. Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Yaltay, N. (2015). *Kolemanit katkılı çimento ile üretilen pomza agregalı hafif betonun fiziksel özelliklerinin araştırılması*. Doktora tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Yaprak, H., Şimşek, O., & Öneş, A. (2004). Cam ve çelik liflerin bazı beton özelliklerine etkisi. *Politeknik Dergisi*, 7(4), 353-358.
- Yenmez, N. (2009). Stratejik bir maden olarak bor minerallerin Türkiye için önemi. *Coğrafya Dergisi*, (19), 59-94.
- Yıldırım, A. K. (2019). *Alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cürufufları farklı tipteki mikro lifli harçların özelliklerinin araştırılması*. Yüksek lisans tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.