



T. C.

ORDU ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KALSİNE MARN KATKILI ÇİMENTO İÇEREN
POLİPROPİLEN ESASLI MİKRO VE MAKRO SENTETİK
LİF TAKVİYELİ HARÇLARIN ÖZELLİKLERİ**

CANSU ÖZDEM BAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI

ORDU 2023

TEZ BİLDİRİMİ

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

Cansu ÖZDEM BAŞ

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

ÖZET

KALSİNE MARN KATKILI ÇİMENTO İÇEREN POLİPROPİLEN ESASLI MİKRO VE MAKRO SENTETİK LİF TAKVİYELİ HARÇLARIN ÖZELLİKLERİ

CANSU ÖZDEM BAŞ

ORDU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ, 82 SAYFA

(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. YASEMİN AKGÜN)

İnşaat sektörü, sürdürülebilirlik ilkesini göz önünde bulundurarak yenilikçi yaklaşımlar gerektirmektedir. Son zamanlarda, bu bağlamda yapı malzemeleri üzerinde oldukça yoğun çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Puzolanik mineral katkıları, çimento ve beton üretiminde enerji tasarrufu, çevre koruma ve performans iyileştirmeleri için odak çalışma alanlarından olmuştur. Puzolanlar, uygun oranlarda kullanılarak çimento üretiminde klinker miktarını azaltarak enerji tüketimini ve CO₂ emisyonlarını azaltmaya yardımcı olur.

Beton gevrek bir yapıya sahiptir ve basınç altında süneklik özelliği zayıftır. Bu nedenle, sabit ve hareketli yüklere maruz kalan betonların lif kullanılarak güçlendirilmeleri gerekmektedir.

Bu tez çalışmasının amacı, çimento üretiminde sürdürülebilir yenilikçi yaklaşımlara yönelik yerel ve kalsine marnın alternatif puzolan olarak kullanımına yönelik bilimsel veri oluşturmaktır. Bu amaçla, çalışmada kalsine marnın ve polipropilen esaslı mikro ve makro sentetik lif takviyelerinin harç numunelerinin fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deney serilerinden elde edilen veriler, karşılaştırma yöntemi kullanılarak irdelenmiştir.

Deney numunelerinde su/çimento oranı ve çimento dozajı sabit tutulmuştur. Kalsine marn %0 (referans numunesi), %10 (düşük), %20 (orta) ve %30 (yüksek) oranlarda çimento ile yer değiştirilmiştir. Katkılı çimento içeren harç numunelere polipropilen esaslı mikro (0.3-0.6 kg/m³) ve makro (2-4 kg/m³) sentetik lif takviyeleri farklı oranlarda yapılmıştır. Malzemeler üzerinde puzolanik aktivite, fiziksel ve kimyasal özellik deneyleri gerçekleştirildikten sonra üretilen numuneler üzerinde de mini slump, özgül ağırlık, su emme, kılcal su emme, ultrasonik ses geçiş hızı, eğilme-basınç dayanımı, aşınma, sülfat direnci gibi deneyler gerçekleştirilmiştir.

Yapılan deneysel çalışma sonuçlarına göre, 0.6 kg/m³' e kadar mikro ve 4 kg/m³' e kadar makro polipropilen esaslı sentetik lif takviyesi ve %30' a kadar kalsine marn yer değiştirmeli katkı çimento içeren harç numunelerin mekanik ve dayanıklılık özelliklerinde olumlu gelişimlerin olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kalsine Marn, Katkılı Çimento, Polipropilen Lif, Harç

ABSTRACT

PROPERTIES OF POLYPROPYLENE BASED MICRO AND MACRO SYNTHETIC FİBER REİNFORCED MORTARS CONTAINING CALCINED MARL BLENDED CEMENT

CANSU ÖZDEM BAŞ

ORDU UNIVERSITY INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

RENEWABLE ENERGY MSC. THESIS, 82 PAGES

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. YASEMİN AKGÜN)

The construction sector requires innovative approaches, taking into account the principle of sustainability. Recently, a great deal of work has been carried out on building materials in this context. Pozzolanic mineral admixtures have been one of the focus areas for energy saving, environmental protection and performance improvements in cement and concrete production. Pozzolans, used in appropriate proportions, help to reduce energy consumption and CO₂ emissions by reducing the amount of clinker in cement production.

Concrete is brittle and has poor ductility under compression. Therefore, concretes exposed to fixed and live loads should be strengthened using fiber.

The aim of this thesis is to provide scientific data on the use of local and calcined marl as an alternative pozzolan for sustainable innovative approaches in cement production. For this purpose, the study investigated the effect of calcined marl and polypropylene based micro and macro synthetic fiber reinforcements on the physical, mechanical and durability properties of mortar specimens. The data obtained from the test series were analyzed using the comparison method.

Water/cement ratio and cement dosage were kept constant. Calcined marl was replaced with cement at 0% (reference specimen), 10% (low), 20% (medium) and 30% (high). Polypropylene based micro (0.3-0.6 kg/m³) and macro (2-4 kg/m³) synthetic fiber reinforcements were applied at different ratios to the mortar specimens containing blended cement.

After the pozzolanic activity, physical and chemical properties tests were carried out on the materials, mini slump, specific gravity, water absorption, capillary water absorption, ultrasonic pulse velocity, flexural-compressive strength, abrasion, freeze-thaw tests were carried out on the produced samples.

According to the results of the experimental study, it was observed that there were positive improvements in the mechanical and durability properties of mortar specimens containing micro with up 0.6 kg/m³ and macro with up 4 kg/m³ polypropylene based synthetic fiber reinforcements and blended cement with up to 30% calcined marl replacement.

Keywords: Calsined Marl, Blended Cement, Micro-Macro Polypropylene Fiber, Mortar

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süreci boyunca bilgilerini ve deneyimlerini benimle paylaşan, değerli rehberliğini ve destekleyici yönlendirmelerini benden esirgemeyen Doç. Dr. Yasemin AKGÜN' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, her zaman yanımda olan ve beni destekleyen, bana her zaman güç veren, hiçbir zaman yalnız bırakmayan canım aileme ve arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEZ BİLDİRİMİ	I
ÖZET.....	II
ABSTRACT	I
TEŞEKKÜR	II
İÇİNDEKİLER	III
ŞEKİL LİSTESİ.....	V
ÇİZELGE LİSTESİ.....	VII
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ.....	VIII
1.GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1 Puzolanlar.....	4
2.2 Puzolanların Sınıflandırılması.....	5
2.2.1 Doğal Puzolanlar	5
2.2.1.1 Volkanik Camlar, Volkanik Tüfler ve Tras	6
2.2.1.2 Isıl İşlem Görmüş Killer ve Şeyller	7
2.2.1.3 Diatomitler	7
2.2.2 Yapay Puzolanlar	8
2.2.2.1 Uçucu Kül	8
2.2.2. Yüksek Fırın Cürufu	9
2.2.2.3 Silis Dumanı.....	9
2.2.2.4 Pirinç Kabuğu Külü.....	9
2.3 Puzolanik Aktivite.....	10
2.4 Doğal Marn	11
2.4.1 Doğal Marnın Kullanım Alanları	12
2.5 Lif Çeşitleri	13
2.5.1 Doğal Lifler.....	13
2.5.2 Sentetik Lifler.....	14
2.5.2.1 Polimer Lifler	15
2.5.2.2 Metalik Lifler	19
2.5.2.3 Karbon ve Alkali Dirençli Cam Lifler	20
2.6 Lifli Betonların Kullanım Alanları.....	21
2.7 Önceki Çalışmalar	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM	31
3.1 Materyal	31
3.1.1 Portland Çimentosu.....	31
3.1.2 Doğal Marn	31
3.1.3 CEN Kumu	32
3.1.4 Lif.....	33
3.1.5 Karışım Suyu.....	35
3.1.6 Süper Akışkanlaştırıcı	35
3.2 Yöntem.....	36
3.2.1 Portland Çimentosu, Doğal Marnın ve Katkılı Çimentoların Karakterizasyonu	37
3.2.2 Doğal Marnın Puzolanik Aktivite Deneyleri	38
3.2.3 Karışım Hesapları, Üretim ve Numunelerin Saklanması	38

3.2.4 Mini Slump(Çökme) Deneyi.....	43
3.2.5 Birim Hacim Ağırlık Deneyleri	44
3.2.6 Su Emme Deneyleri	45
3.2.7 Kılcal Su Emme Deneyleri.....	45
3.2.8 Aşınma (Böhme) Deneyleri	47
3.2.9 Sülfat Direnci Deneyleri	47
3.2.10 Ultrasonik Ses Geçiş Hızı Deneyleri.....	50
3.2.11 Eğilmede Çekme Deneyleri	51
3.2.12 Basınç Deneyleri	52
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	53
4.1 Doğal Marnın Puzolanik Aktivitesi	53
4.2 Harç Numunelerinin Mini Çökme Değerleri	53
4.3 Harç Numunelerinin Birim Hacim Ağırlıkları	55
4.4 Harç Numunelerinin Su Emme Değerleri	58
4.5 Harç Numunelerinin Kılcallık Katsayıları	61
4.6 Harç Numunelerinin Aşınma Deney Bulguları	63
4.7 Harç Numunelerinin Sülfat Direnci Değerleri	65
4.8 Harç Numunelerinin Eğilme, Basınç Dayanımları ve Ultrasonik Ses Geçiş Hızları	67
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	74
6. KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	82

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 Kalsine Marna Ait Bir Görünüm	32
Şekil 3.2 CEN Standart Kumu	33
Şekil 3.3 Numunelerde kullanılan sırasıyla mikrosentetik ve makrosentetik lifler ...	34
Şekil 3.4 Numunelerin üretiminde kullanılan süperakışkanlaştırıcı	36
Şekil 3.5 Bileşenlere ait bir görünüm	39
Şekil 3.6 Bileşenlerin hassas terazide ölçümü	40
Şekil 3.7 Çimento harç karıştırıcı	41
Şekil 3.8 Deney serilerinde kullanılan kalıplar	42
Şekil 3.9 Kalıplara yerleştirilmiş numuneler	42
Şekil 3.10 Kür tankı	43
Şekil 3.11 Mini çökme sonrası ölçme işlemi	44
Şekil 3.12 Özgül Ağırlık Sehпасı	44
Şekil 3.13 Kılcal su emme deneyine ait bir görünüm	46
Şekil 3.14 Aşınma deneyinden bir görünüm	47
Şekil 3.15 Hidrometre ile ölçüm	48
Şekil 3.16 Numunelerin etüvde kurutulma işlemi	48
Şekil 3.17 Numunelerin çözelti içinden görünümü	49
Şekil 3.18 Numunelerin süzülme işlemi	49
Şekil 3.19 Ölçüm anından bir görünüm	51
Şekil 3.20 Eğilme deneylerinden bir görünüm	51
Şekil 3.21 Basınç deneylerinden bir görünüm	52
Şekil 4.1 Mikro ve makro lif ve kalsine marn katkı oranlarına göre harç numunelerin DKY birim hacim ağırlıkları	57
Şekil 4.2 Mikro ve makro lif ve kalsine marn katkı oranlarına göre harç numunelerin kuru birim hacim ağırlıkları	57
Şekil 4.3 Mikro ve makro lif ve kalsine marn katkı oranlarına göre harç numunelerin porozite değerleri	60
Şekil 4.4 Mikro ve makro lif ve kalsine marn katkı oranlarına göre harç numunelerin su emme değerleri	60
Şekil 4.5 Mikro ve makro lif ve kalsine marn katkı oranlarına göre harç numunelerin kılcallık katsayıları	62
Şekil 4.6 Mikro ve makro lif ve kalsine marn katkı oranlarına göre harç numunelerin hacimsel aşınma kayıpları	64
Şekil 4.7 Mikro ve makro lif ve kalsine marn katkı oranlarına göre harç numunelerin ağırlık değişimleri	66
Şekil 4.8 Mikro ve makro lif ve kalsine marn katkı oranlarına göre harç numunelerin dayanım değişimleri	66
Şekil 4.9 Mikro ve makro lif ve kalsine marn katkı oranlarına göre harç numunelerin UPV değişimleri	69
Şekil 4.10 Mikro ve makro lif ve kalsine marn katkı oranlarına göre harç numunelerin eğilme dayanımları	69
Şekil 4.11 Mikro ve makro lif ve kalsine marn katkı oranlarına göre harç numunelerin basınç dayanımları	70
Şekil 4.12 Kırılmış numunelere ait genel görünüm	71

Şekil 4.13 Kırılmış numunelere ait kısmi görünüm.....	72
Şekil 4.14 Kırılmış numunelere ait yakın görünüm.....	72
Şekil 4.15 Kırılmış numunelere ait yakınlaştırılmış görünüm.....	73

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Puzolanların Sınıflandırılması	5
Çizelge 2.2 Bazı doğal puzolanların kimyasal özellikleri (Erdoğan, 2003)	6
Çizelge 2.3 Polipropilen liflerin çeşitleri ve özellikleri (Karahan 2006).....	18
Çizelge 3.1 Portland Çimentosunun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	31
Çizelge 3.2 Doğal Marnın Kimyasal İçeriği ve Fiziksel Özellikleri	32
Çizelge 3.3 CEN Kumuna Ait Granülometrik Dağılım.....	33
Çizelge 3.4 Polipropilen esaslı mikrosentetik lif özellikleri.....	34
Çizelge 3.5 Polipropilen esaslı makrosentetik lif özellikleri	34
Çizelge 3.6 Harç numune etiketleri	37
Çizelge 3.7 Numunelere ait bileşen miktarları	40
Çizelge 4.1 Kalsine marnın puzolanik aktivitesi (Akgün, 2019).....	53
Çizelge 4.2 Mini çökme değerleri.....	54
Çizelge 4.3 Kalsine marn katkılı ve mikro-makro lif takviyeli harç numunelerin DKY ve kuru birim hacim ağırlıkları.....	56
Çizelge 4.4 Kalsine marn katkılı ve mikro-makro lif takviyeli harç numunelerin porozite ve su emme değerleri	59
Çizelge 4.5 Kalsine marn katkılı ve mikro-makro lif takviyeli harç numunelerin kılcal su emme oranları	61
Çizelge 4.6 Kalsine marn katkılı ve mikro-makro lif takviyeli harç numunelerin hacimsel aşınma kayıpları	63
Çizelge 4.7 Kalsine marn katkılı ve mikro-makro lif takviyeli harç numunelerin sülfat direnci değerleri.....	65
Çizelge 4.8 Kalsine marn katkılı ve mineral katkı oranlarına göre harç numunelerin UPV, eğilme ve basınç dayanımları.....	68

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

Al₂O₃	: Alüminyum Oksit
ASTM	: American Society of Testing Materials
µm	: Mikrometre
CaCO₃	: Kalsiyum Karbonat
CAH	: Kalsiyum Alüminat Hidrat
CaO	: Kalsiyum Oksit
CEN	: The European Committee for Standardization
CSH	: Kalsiyum Silikat Hidrat
ÇLTB	: Çelik Lif Takviyeli Beton
DKY	: Doygun Kuru Yüzey
EN	: Avrupa Normları
Fe₂O₃	: Demir Oksit
FRC	: Fiber Reinforced Concrete
LOI	: Kızdırma Kaybı
MgO	: Magnezyum Oksit
MgSO₄	: Magnezyum Sülfat
MLTB	: Metal Lif Takviyeli Beton
NaOH	: Sodyum Hidroksit
PP	: Polipropilen
SiO₂	: Silisyum Dioksit
TS	: Türk Standartları Enstitüsü
UK	: Uçucu Kül
UPV	: Ultrasonik Ses Geçiş Hızı
YFC	: Yüksek Fırın Cürufu

1.GİRİŞ

İnşaat sektörü, dünya enerji tüketiminde yüksek bir paya sahiptir. Aynı zamanda yüksek enerji tüketimi kaynaklı önemli bir sera gazı (CO₂) sorumlusudur. İnşaat sektörü, hem binaların inşası hem de kullanımı sırasında önemli miktarda enerji tüketmektedir. Sektörde enerji verimliliğinin artırılması, enerji tüketiminin azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, çevre dostu ve sürdürülebilir bir inşaat endüstrisi için hayati önem taşımakta ve yenilikçi yaklaşımlara oldukça açıktır. Söz konusu sektörün alt kollarından olan çimento üretim sahası bunlardan birisidir.

Çimento üretimi, yoğun ısı enerjisi kullanımı gerektiren bir endüstriyel süreçtir. Özellikle, ham madde hazırlama, öğütme ve klinker fırını gibi aşamalar, yüksek enerji tüketimi gerektiren aşamalardır. Çimento sektörü, dünya genelinde karbondioksit salınımının yaklaşık %8-10'unu oluşturur ve olumsuz çevresel etkileri mevcuttur. Çimento üretimi sırasında bir ton çimento üretimi için ortalama olarak 0.6-0.7 ton karbondioksit salınımı meydana gelir (Küresel Çimento ve Beton Birliği (GCCA)). Küresel çimento üretimi her yıl artmaktadır ve bu da çimento sektörünün karbondioksit emisyonları üzerindeki etkisini arttırmaktadır. Bu nedenle çimento sektörü, sürdürülebilir bir çimento üretimi için karbondioksit emisyonlarını azaltmaya yönelik ciddi bir çaba göstermek zorundadır. Küresel Çimento ve Beton Birliği (GCCA), 2018 yılında yayınladığı "Sıfır Karbon" stratejisiyle, çimento üretiminde karbon emisyonlarını azaltmayı ve sektörü daha sürdürülebilir hale getirmeyi hedeflemektedir. Çimento klinkerinin belirli bir kısmının mineral katkı ile yer değiştirilmesi uygulamaları en hızlı ve etkili yöntemdir.

Puzolanlar, betonun birçok özelliğini olumlu yönde değiştiren, ekonomik ve beton bileşiminde yüksek oranlarda kullanılabilirlikleri için tercih edilen katkı malzemelerinin başında gelmektedir. Puzolanlar, "tek başına bağlayıcılığı bulunmayan veya çok az bağlayıcılığı bulunan, fakat ince formdayken, suyun bulunduğu ortamda kalsiyum hidroksitle tepkimesinde, hidrolik bağlayıcılık kazanabilen, silikalı ve alüminalı malzemeler" olarak nitelendirilebilir (Aruntaş ve ark., 1996). Çimentoya artan taleple birlikte piyasada bulunan katkı malzemelerinin yetersiz kalmasına neden olabilir. Bu nedenle, bu talebi karşılamak için, belirli

özelliklere sahip alternatif katkı malzemelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Son zamanlarda ilgi gören kaynaklar arasında kalsine killer ve kalsine marnlar bulunmaktadır. Kalsinasyon sonrasında puzolanik aktiviteleri sayesinde katkı malzemesi kullanımında verimli bir malzeme haline getirilebilmektedirler.

Marn, kalsiyum ve silikat mineralleri içeren bir sediment kayasıdır. Marnın mineral içeriği, çimentonun hidrasyon reaksiyonlarında aktif bir rol oynar ve çimentonun sertleşmesini hızlandırır. Ayrıca, marnın içeriğindeki mineraller, çimentonun dayanıklılığını artırır ve dayanımını yükseltir. Marnın içeriğindeki kalsiyum karbonat mineralleri, çimento üretiminde kullanılan kireç taşı hammaddesindeki kalsiyum karbonat mineralleri ile benzerdir. Aynı zamanda, çimento üretimindeki hidrasyon reaksiyonlarında etkin rol oynamaktadır. Bu reaksiyonlarda, kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) ve kalsiyum alüminat hidrat (C-A-H) bileşenleri oluşur ve çimento taneleri arasında bir matris oluşturarak, çimentonun dayanıklılığını artırır. Diğer taraftan, kalsine marnın, doğal kaynaklardan elde edilmesi ve kolayca işlenebilmesi, sürdürülebilir bir çimento üretimi için uygun bir alternatif sağlamaktadır.

İnşaat sektörünün vazgeçilmez yapı malzemesi olan betonun sürdürülebilirlik bağlamında bazı özelliklerinin iyileştirilme ihtiyacı olduğu da bilinmektedir. Betonun çekme gerilmelerindeki zafiyetinin iyileştirilmesi ile çatlak mekanizmasının kontrolü sağlanarak yapı elemanlarının yük altındaki davranış performanslarını geliştirme amaçlı beton bileşimine çok çeşitli türlerde lif bileşeni kullanılmaktadır. Betonun gevrek yapısından dolayı ilk çatlakla birlikte kırılma mekanizması tamamlanır. Ancak, betona lif eklenmesi durumunda kırılma mekanizması ilk çatlakla başlar ve çatlak, lif üzerine aktarılan gerilme enerjisi nedeniyle daha az ilerler. Lif, enerjiyi taşıyana kadar veya kırılana kadar gerilimi azaltarak bu enerjiyi tekrar betona aktarır. Bu mekanizma, betonun çatlama devam etmesi ile ilerler ve nihai çatlak oluşuncaya kadar sürer. Kırılma sonunda betonda paralel çatlaklar meydana gelir. Böylece, betona süneklik özellik kazandırılmış olmaktadır (Yorulmaz, 2014).

Betonda güçlendirme (takviye) amaçlı kullanılan lifler, farklı boyut ve şekillerde olabilen yapı malzemeleridir ve genellikle cam, çelik, polipropilen ve organik polimerlerden üretilirler. En iyi sonuç veren ve en yaygın olarak kullanılan

polipropilen liflerdir. Polipropilen lif betonun içinde yapay bir donatı ortamı oluşturarak betonun kendi doğasında var olan çekme zayıflığını belirli ölçülerde azaltmaktadır. Böylelikle, betonun dayanıklılık performansına ek olarak daha çok enerji yutabilme özelliği ortaya çıkartılmış olacaktır. Bu amaç doğrultusunda çelik lifler ve polipropilen lifler kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı kalsine marn katkılı çimento içeren polipropilen esaslı mikro ve makro sentetik lif takviyeli harçların özelliklerinin incelenmesidir. Bu amaç doğrultusunda optimum sıcaklıkta kalsine edilen puzolanik özellikli doğal marn mineral katkısı içeren ve polipropilen esaslı mikro ve makro sentetik lif takviyeli harç numuneler ile geleneksel harç numuneler üretilmiştir. Kalsine marn katkılı %0 (-), %10 (düşük), %20 (orta) ve %30 (yüksek) yer değiştirme oranlarında üretilen prizmatik (40x40x160mm) ve küp (50x50x50mm) harç numuneler üzerinde eğilme, basınç ve ultrasonik ses geçiş hızı (UPV), kılcal su emme, aşınma, sülfat direnci ve işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney serilerinden elde edilen sonuçlar kendi aralarında ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalardan elde edilen bulgular yardımı ile kalsine marn katkılı çimento ve kullanılan farklı tipteki lif takviyelerinin üretilen harçların fiziksel ve mekanik performanslarını ne yönde etkileyeceği belirlenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Puzolanlar

Puzolanlar, yüksek sıcaklıklarda ergimeye uğramış silikat ve alimino silikatların ani soğutulması sonucu amorf yapıya dönüşen malzemelerdir. Uygun su içeriği ve normal ortam sıcaklığı koşullarında, kireç ile kimyasal reaksiyona girerek bağlayıcı özelliği olan bileşikler haline gelirler (Aytekin ve ark., 2008). Puzolanlar, çoğunlukla ince toz halinde silisli veya silisli ve alüminli maddelerdir ve silikat (SiO_2) esaslı olduğu için kendi kendine bağlayıcılık özelliği çok azdır veya hiç yoktur. Ancak, yapı malzemelerinde kullanıldıklarında, çimento hidrasyonu ile birlikte bağlayıcı özelliği olan bileşiklerin oluşmasına yardımcı olurlar. Bu reaksiyon sonucunda, iç yapıdaki kalsiyum hidroksit portlandit veya serbest kireç Ca(OH)_2 miktarı azalırken, kalsiyum silikat ve alüminat hidratlar (CSH-CAH) artar. Bu bağlayıcı özellikler, yapı malzemelerinin dayanıklılığı ve mukavemeti açısından son derece önemlidir. Puzolanların bu özellikleri, yapı malzemelerinin üretiminde yaygın olarak kullanılmalarına neden olmuştur. Özellikle beton ve çimento esaslı malzemelerde puzolan kullanımı, yapıların dayanıklılığı ve ömrünü önemli ölçüde artırmaktadır.

Puzolanların çimentodaki katkı oranı, betonun özellikleri ve performansı açısından önemlidir. Puzolan, çimentonun yerini alabilen veya çimentonun özelliklerini geliştiren bir katkı maddesidir. Puzolanın çimentoda kullanım oranı, betonun dayanıklılığı, korozyon direnci, sıcaklık etkilerine dayanıklılık ve su geçirmezliği gibi özelliklerini etkiler. Puzolanların çimentoda kullanım oranı, puzolanın özelliklerine, uygulama yöntemlerine ve kullanılan malzemelere bağlı olarak değişebilir. Genellikle, puzolanın çimentoda kullanım oranı %10 ile %50 arasında değişebilir. Ancak bazı durumlarda bu oran %70'e kadar çıkabilir. Bu oranlar, betonun dayanıklılığı ve su geçirmezliğini arttırmak için optimize edilir.

Puzolanlar üç farklı yöntem ile kullanılır. Birinci yöntem, kalsiyum hidroksitle direkt olarak karıştırılarak kullanımdır. İkinci yöntem, katkı çimentoların üretiminde kullanılan bir katkı maddesi olarak kullanımdır. Bu yöntemde puzolan, çimento fabrikalarında Portland çimentosu klinkeri ile birlikte öğütülerek kullanılır. Üçüncü yöntem ise, doğrudan beton karışımına ilave edilerek

kullanımdır. Bu yöntemde puzolan, karışım işlemi sırasında ya da öncesinde beton karışımına bir bileşen olarak eklenir.

2.2 Puzolanların Sınıflandırılması

Puzolanlar doğal ve yapay olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır (Çizelge 2.1). Doğal puzolanlar, volkanik aktiviteler sonucu oluşmuş ve yerine göre volkanik kül, tuf, tras veya santorin gibi adlar alan katmanlar halinde doğada bulunurlar. Yapay puzolanlar ise endüstriyel atıklar veya yan ürünler olarak ortaya çıkarlar ve örneğin tuğla, seramik, pişmiş toprak, silis dumanı ve pirinç kabuğu külü gibi ürünleri içerirler. Doğal puzolanlar, ekseriye genç volkanik kayalardır. Yapay puzolanlar, kömürlü güç santralleri tarafından üretilen kül içermektedir (Rudolf, 1984).

Çizelge 2.1 Puzolanların Sınıflandırılması

Doğal Puzolanlar	Yapay Puzolanlar
Volkanik camlar	Uçucu Kül
Volkanik tüfler ve tras	Yüksek Fırın Cürufu
Isıl İşlem Görmüş Killer ve Şeyller	Silis Dumanı
Diatomitler	Pirinç Kabuğu Külü

2.2.1 Doğal Puzolanlar

Doğal puzolanlar, doğada bulunan, ön işleme veya minimal işlemlerle öğütülerek kullanılabilen minerallerdir. Doğal puzolanlar, farklı minerallerin karışımından oluşur ve bileşimleri kaynaklarına ve bölgesel özelliklere bağlı olarak değişebilir. Ancak, genel olarak doğal puzolanların ana bileşenleri şunlardır:

-Silis Dioksit: Doğal puzolanların çoğunluğu silis dioksit içerir. Silis dioksit, betonun dayanıklılığını artırmak için kullanılan ana mineraldir. Örneğin, tuf ve diatomit gibi puzolanik malzemeler, yüksek miktarda silis dioksit içerir.

-Alüminyum ve Demir Oksitler: Doğal puzolanlar, alüminyum ve demir oksitler gibi diğer mineralleri de içerebilir. Bu mineraller, betonun hidrasyon reaksiyonlarında rol oynar ve betonun dayanıklılığını artırır.

-Kalsiyum Oksit: Bazı doğal puzolanlar, kalsiyum oksit içerebilir. Bu mineral, betonun sertleşme sürecinde önemli bir role sahiptir.

-Potasyum, Sodyum ve Magnezyum Oksitleri: Bazı doğal puzolanlar, potasyum, sodyum ve magnezyum oksitleri gibi diğer mineralleri de içerebilir. Bu mineraller, betonun kimyasal özelliklerini etkileyebilir.

Doğal puzolanların bileşimi kaynaklarına ve bölgesel özelliklere bağlı olarak değişebilir ancak genel olarak silis dioksit, alüminyum ve demir oksitleri, kalsiyum oksit ve potasyum, sodyum ve magnezyum oksitleri gibi mineraller içerir. Bazı doğal puzolanların kimyasal özellikleri Çizelge 2.2’de verilmektedir.

Çizelge 2.2 Bazı doğal puzolanların kimyasal özellikleri (Erdoğan, 2003)

Doğal Puzolanlar	Kimyasal Özellikleri (%)					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Demir Oksit(Fe ₂ O ₃)	Kalsiyum Oksit(CaO)	Magnezyum Oksit(MgO)	Alkali(Na ₂ O + 0,66K ₂ O)
Volkanik Cam	65,1	14,5	5,5	3,0	1,1	6,5
Volkanik Tüf	52,1	18,3	5,8	4,9	1,2	6,6
Diatomlar	86,0	2,3	1,8	-	0,6	0,4

Doğal puzolanların oluşumu, volkanik aktivite ve çökme süreci gibi doğal olayların sonucu olarak gerçekleşir. Volkanik püskürmeler sırasında, magma lavları yeryüzüne fırlar ve soğurken, içlerindeki gazlar ve buharlar, lavın içindeki mineralleri küçük parçalara ayırır. Bu parçalar, soğuyan lavın içindeki boşluklara doluşarak, zamanla kristalleşir ve doğal puzolan mineralleri oluşur. Çökme yoluyla oluşan doğal puzolanlar ise, yüzeydeki suların, volkanik kayalarla etkileşim sonucu oluşan minerallerin taşınmasıyla gerçekleşir. Bu minerallerin, yüzeydeki göl ve nehirlerde birikmesi sonucu, doğal puzolanların oluşumu gerçekleşir.

2.2.1.1 Volkanik Camlar, Volkanik Tüfler ve Tras

Volkanik cam, volkanik püskürmeler sırasında lavların soğuması sonucu oluşan cam benzeri bir madde olarak tanımlanır. Bu cam, volkanik kayaların hızlı soğuması sonucu oluşur ve silis dioksit, alüminyum oksit, demir oksit, magnezyum oksit, potasyum oksit ve sodyum oksit gibi mineraller içerir. Volkanik cam, endüstride çeşitli amaçlarla kullanılır. Optik cam, cam elyafı, yalıtım malzemeleri, seramikler, zımparalar ve boya malzemeleri gibi birçok ürünün üretiminde kullanılır.

Tras, volkanik kayaların öğütülmesi sonucu elde edilen ince toz benzeri bir malzemedir. Tras, silis dioksit, alüminyum oksit, demir oksit, magnezyum oksit, potasyum oksit ve sodyum oksit gibi mineraller içerir. Çimento üretiminde önemli bir katkı maddesi olarak kullanılır. Tras, çimento üretiminde kullanılan klinker miktarını azaltarak, karbondioksit salınımını azaltır ve çimento üretim maliyetlerini düşürür. Ayrıca, trasın betonun dayanıklılığı ve sertliği üzerinde pozitif etkileri vardır.

Volkanik tüfler, volkanik küllerin sıkışması sonucu oluşan bir kaya türüdür. Tüf, silis dioksit, alüminyum oksit, demir oksit, magnezyum oksit, potasyum oksit ve sodyum oksit gibi mineraller içerir. Tüf, inşaat sektöründe yaygın bir şekilde kullanılır. Özellikle tuğla, kiremit ve beton blok gibi yapı malzemelerinin üretiminde kullanılır. Ayrıca, tüf, yalıtım malzemeleri ve asfalt karışımları gibi birçok endüstriyel ürünün üretiminde kullanılır.

2.2.1.2 Isıl İşlem Görmüş Killer ve Şeyller

Isıl işlem görmüş killer, kil minerallerinin yüksek sıcaklıklara maruz kalması sonucu oluşan bir malzeme olarak tanımlanır. Bu işlem, kil minerallerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinde önemli değişikliklere neden olur. Isıl işlem görmüş killerin ana bileşenleri silikat mineralleri ve alüminosilikat mineralleridir. Kil mineralleri, farklı kristalografi yapılarına sahiptir ve bu yapılar, ısı işlem sırasında değişiklik gösterirler. Isıl işlem görmüş killerin özellikleri, işlem sıcaklığına ve süresine bağlı olarak değişir. Yüksek sıcaklıklarda (700-1000°C) işlem gören killer, daha yüksek mukavemet, daha düşük su emme kapasitesi ve daha az termal genişleme gösterirler. Isıl işlem görmüş killer, endüstride çeşitli amaçlarla kullanılır. Örneğin, porselen üretimi, refrakter ürünler, seramikler, emaye, cam ve yalıtım malzemeleri gibi birçok ürünün üretiminde kullanılır.

Şeyller, tortul bir kaya türüdür ve çamur, kum, kil ve organik maddelerin birleşmesiyle oluşur. Şeyllerin mineralojik bileşimi, oluşum koşullarına ve bölgesel farklılıklara bağlı olarak değişebilir. Şeyller, tabakalaşmış bir yapıya sahiptir ve çoğu zaman paralel çizgiler şeklinde görülen tabakaları vardır. Bu tabakalar, şeyllerin çökelti ortamlarının ve çökelti koşullarının bir göstergesi olabilir. Şeyller, endüstriyel işlemlere tabi tutulduklarında farklı özellikler kazanabilirler. Isıl işlem görmüş şeyller, yüksek sıcaklıklarda (800-1200°C) işlem gördüğü için, özellikle yüksek sıcaklık dayanımı ve kimyasal dayanıklılık gibi özellikler bakımından diğer şeyllerden farklıdır. Bu nedenle, ısı işlem görmüş şeyller, refrakter malzeme, yalıtım malzemesi, seramik, cam ve çimento üretiminde kullanılır.

2.2.1.3 Diatomitler

Diatomitler, tek hücreli deniz organizmaları olan diatomların iskeletlerinin birikmesiyle oluşan bir tortul kayaç türüdür. Silisli bir yapıya sahiptir ve sucul

ortamlarda yaşarlar. Genellikle beyaz renkte ve hafif bir yapıya sahiptir. Diatomitlerin mineralojik bileşimi, silisyum dioksit (SiO₂) ve diatom iskeletlerinin içerdiği diğer minerallerden oluşur. Diatomitlerin mineralojik bileşimi, diatom türüne ve çökelti koşullarına bağlı olarak değişebilir. Diatomitlerin mineralojik bileşimindeki değişiklikler, endüstriyel kullanımları üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Diatomitlerin işlenmesi, genellikle yıkama, kurutma ve öğütme işlemlerini içerir. Diatomitlerin işlenmesi, endüstriyel uygulamalar için uygun bir şekilde hazırlanmalarını sağlar ve çevre açısından da önemlidir, çünkü diatomitlerin işlenmesi, toz ve diğer partiküllerin havaya yayılmasına neden olabilir.

2.2.2 Yapay Puzolanlar

Yapay puzolanlar genellikle bir ısıl işlem neticesinde elde edilen silis dumanı, uçucu kül (UK), yüksek fırın cürufu (YFC) vb. gibi atık malzemeler veya özellikle ısıl işleme tabii tutulan kil, şeyl vb. malzemelerdir (Aruntaş, 1996). Yapay puzolanlar, kömürlü güç santralleri tarafından üretilen kül içermektedir (Rudolf, 1984). Uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı, pirinç kabuğu külü yapay puzolanlardır.

2.2.2.1 Uçucu Kül

Toz kömürünün yanması sırasında, büyük miktarı çok ince taneli, bir miktarı ise kısmen daha büyük boyutlu kül taneleri ortaya çıkar. Bu küllerin çoğu, yakıt gazlarıyla birlikte bacadan dışarı çıkmak üzere hareket eden çok ince tanelere sahiptir ve uçucu kül olarak bilinir. Uçucu küller, toz kömürünün yanması sonucu oluşan atık malzemenin yaklaşık %75-80'ini oluşturmaktadır. Uçucu küller, küçük ve %5'i içi boşluklu tanelerden meydana gelirler. Bu küllerin boyutları 1-150 (µm) arasında değişir ve genellikle gri renklidir. Yüksek oranda pişmemiş karbon içeriğine sahip olduklarından dolayı koyulaşırlar. Yoğunlukları genellikle 2.1-2.7 (gr/cm³) arasındadır. ASTM C 618 standardı, uçucu külleri F ve C sınıfları olarak sınıflandırır. F sınıfı, termik santrallerde kullanılan antrasit veya bitümlü kömürlerin yanması sonucu oluşan atıklardan elde edilir. C sınıfı ise, daha düşük kaliteli linyit veya düşük bitümlü kömürlerin yanması sonucu ortaya çıkan küllerdir. C sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliklere sahiptir ve kendiliğinden bir miktar bağlayıcılık özelliği gösterir. Yapılan araştırmaya göre İngiltere'de 22 farklı uçucu kül örneğinin ortalama

yoğunluğu 1,98 - 2,38 (gr/cm³) aralığında ve ortalama özgül yüzey alanı 260 - 595 (m²/kg) aralığında olduğu belirtilmektedir (Kırgız, 2008).

2.2.2. Yüksek Fırın Cürufu

Yüksek fırın cürufu, yüksek fırınların ürettiği yan ürünlerden biridir ve büyük ölçüde demir üretimi sırasında ortaya çıkar. Yüksek fırın cürufu, yüksek fırında metalurjik işlemler sırasında oluşan sıcak cürufun soğutulması ve kristalleşmesi sonucu elde edilir. Yüksek fırın cürufu, büyük miktarda SiO₂ ve Al₂O₃ içerir ve granül yapıda olan amorf cüruf, öğütüldüğünde diğer puzolanlarla benzer özelliklere sahiptir. Çok ince tanelere öğütülen yüksek fırın cürufu, kendiliğinden bir miktar bağlayıcılık özelliği taşıdığı için büyük miktarda CaO içermektedir. Havada yavaş soğutulan kristal yapılı cürufun puzolanik özelliği yoktur.

2.2.2.3 Silis Dumanı

Silisyum metalinin ve silisyumlu metal alaşımlarının üretiminde kullanılan kuvars kok kömürü, yaklaşık 2000°C sıcaklıktaki elektrikli fırınlarda SiO₂ içeren gazları ortaya çıkarmaktadır. Gazlar hızlıca soğutulup yoğunlaştırılarak amorf yapıya dönüştürülür ve %85-%98 kadar silis içeren silis dumanı adı verilen bir malzeme elde edilir (Erdoğan, 2003). Bu malzeme, portland çimentosu üretiminde kullanılabilir ve beton katkı malzemesi olarak da kullanılır. Silis dumanı, beton üretiminde çimento miktarının %10'u ile ikame edilerek kullanılır ve yüksek dayanımlı beton üretiminde su azaltıcı katkı maddesiyle birlikte kullanılması önerilir. Silis dumanının rengi açık veya koyu gri tonlarındadır ve tane boyutu 0.1-0.2 µm'dir. Özgül yüzeyi 130.000-280.000 cm²/g arasında değişir ve özgül ağırlığı 2.2-2.3 g/cm³'tür (Nas, 2015).

2.2.2.4 Pirinç Kabuğu Külü

Pirinç kabuğu külü, pirinç kabuklarının yüksek sıcaklıkta yanması sonucu elde edilen inorganik bir madde olan potasyum, kalsiyum, magnezyum, silis ve diğer minerallerden oluşan bir kül türüdür. Pirinç kabuğu külü, silis ve amorf haldeki silikat mineralleri bakımından zengindir. Silis, çimento ve beton üretiminde önemli bir bileşendir. Ancak, silis yetersizliği, betonun dayanıklılığını ve kalitesini olumsuz yönde etkileyebilir. Pirinç kabuğu külü, silis içeriği sayesinde bu yetersizliği giderebilir. Pirinç kabuğu külü, hidrolik bağlayıcı malzemeler ile birleştirildiğinde,

yüksek dirençli beton üretiminde kullanılabilen yüksek mukavemet ve dayanıklılık özellikleri gösterir.

2.3 Puzolanik Aktivite

Puzolanik aktivite, doğal veya yapay puzolanların, portland çimentosu gibi hidrolik bağlayıcılarla birleştirildiğinde, hidrasyon sürecinde çimento ve puzolanın etkileşime girmesi sonucu hidrolik bağlar oluşturarak çimento esaslı malzemelerin mukavemetini artırma özelliğidir. Puzolanlar, yüksek silika ve alümina içeriği olan malzemelerdir ve genellikle volkanik kül, tuğla tozu, feldispat, diatomit, zeolit gibi doğal kaynaklardan elde edilir. Yapay puzolanlar ise genellikle endüstriyel yan ürünlerden, örneğin uçucu kül, silis dumanı gibi malzemelerden üretilir.

Puzolanik aktivite, çimento esaslı malzemelerin dayanıklılığını artırarak, çevre dostu bir yapı malzemesi olmalarını sağlar. Puzolanik aktiviteli malzemeler aynı zamanda su geçirmezlik özelliğine de sahiptirler ve bu nedenle su yapılarında ve diğer yapı malzemelerinde kullanılırlar.

Bir malzemenin puzolanik özelliğinin veya puzolanik aktivitesinin belirlenmesi için bir dizi teknik ve test yöntemi kullanılabilir. Bu yöntemler, malzemenin doğal veya yapay olup olmadığına bakılmaksızın uygulanabilir. Bazı yöntemler, puzolanik malzemenin mineralojik, kimyasal ve fiziksel özelliklerini doğrudan tespit etmeyi amaçlarken, diğerleri puzolanik malzeme ve bağlayıcı karışımının ve ürünlerinin yapısal ve mekanik özelliklerini değerlendirmek için tasarlanmıştır. Puzolan tipine ve kullanılan bağlayıcı türüne göre, yöntemler farklılık gösterebilir. Bu nedenle, puzolanik aktivitenin mekaniği oldukça karmaşık bir işlemdir. Puzolanik aktivitenin araştırılması için birçok teknik geliştirilmiştir. Hidrasyon sürecinde kireç ve puzolan arasındaki reaksiyonu ve kinetiğini incelemek için çeşitli yöntemler kullanılabilir. Örneğin, kalsiyum iyonu (Ca^{++}) konsantrasyonunu belirlemek için kimyasal tekniklerin yanı sıra izotermal kalorimetri, elektriksel iletkenlik (kondüktometri) veya öz direnç ölçümleri gibi çeşitli fiziksel yöntemler kullanılabilir.

Puzolanik aktivite için gerekli koşullar şunlardır:

-Silis ve alüminyum oksitlerinin yüksek yüzdesi: Puzolanik malzemeler, silis ve alüminyum oksitlerinin yüksek yüzdesine sahip olmalıdır. Bu bileşenlerin yüksek

yüzdesi, hidrasyon sırasında reaktif ürünlerin oluşumunu teşvik eder ve bağlayıcılarla etkileşimini artırır.

-Reaktif silis bileşikleri: Puzolanik malzemelerde bulunan silis bileşikleri, hidrasyon sırasında reaktif olmalıdır. Bu, hidrasyon sırasında reaktif ürünlerin oluşumunu kolaylaştırır ve dayanıklı bir bağlayıcı malzeme elde etmek için önemlidir.

-Mineralojik yapısı: Puzolanik malzemelerin mineralojik yapısı, hidrasyon sürecinde oluşan reaktif bileşiklerin türünü ve miktarını belirler. Puzolanik malzemelerin mineralojik yapısı, hidrasyon sırasında oluşan reaktif ürünlerin miktarını ve özelliklerini etkiler.

-Granülometrik dağılım: Puzolanik malzemelerin granülometrik dağılımı, hidrasyon sırasında reaktif bileşenlerin maksimum etkisini sağlamak için belirli bir boyut dağılımına sahip olmalıdır.

-Isıl aktivasyon: Bazı puzolanik malzemeler, ısı aktivasyon yoluyla hidrasyon özelliklerini artırabilirler. Isıl aktivasyon, malzemenin hidrasyon özelliklerini artırmak için yüksek sıcaklıklarda kısa süreli bir işlem kullanarak malzemeyi aktive etme işlemidir.

Bu koşulların sağlanması, puzolanik aktivitenin daha yüksek olduğu bir malzeme elde etmek için önemlidir.

2.4 Doğal Marn

Doğal marn, kalker taşı (%30-50) ve kil minerallerinin (%50-70) uzun süreli kimyasal reaksiyonu sonucu oluşan bir tortul kayadır. Bu süreçte kalker taşı mineralleri su ve karbondioksit (CO_2) ile reaksiyona girer ve kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) oluşur. Bu karbonat mineralleri, kil mineralleri ve diğer çökeltilerle birleşerek doğal marn oluşur.

Doğal marn, çoğunlukla beyaz veya açık renkli olmakla birlikte, içerdiği mineraller ve diğer faktörlere bağlı olarak gri, siyah, kırmızı veya yeşil gibi renklere de sahip olabilir. Marn, silt ve kil minerallerinden oluştuğu için, ince taneli bir dokuya sahiptir ve genellikle çatlaklara sahip olabilir.

Marn, çimento klinkeri yerine alternatif bir hammadde olarak kullanılabilir. Çimento klinkeri, çimento üretiminde ana bileşen olan kalsiyum silikat hidrat (CSH) oluşumunda önemli bir rol oynayan kalsiyum oksit (CaO) ve silisyum dioksit (SiO₂) gibi minerallerin yüksek sıcaklıklarda pişirilmesiyle elde edilir. Ancak, çimento klinkeri üretimi oldukça enerji yoğun bir işlemdir ve bu nedenle çimento üretimi sürecinde önemli miktarda karbondioksit emisyonuna neden olur. Marn, çimento klinkeri yerine alternatif bir hammadde olarak kullanılabilir çünkü doğal olarak yüksek miktarda kalsiyum karbonat içerir. Marn, kalsiyum karbonatın yanı sıra, diğer mineraller ve katkı maddeleri içerebilir ve bu bileşenler, çimento üretimi için gerekli olan diğer minerallerin yerine geçebilir. Marn, kalsiyum karbonatın termal bozunması sırasında CO₂ salınımı olmadan çimento klinkeri gibi CSH oluşturabilir. Ayrıca, marn, diğer çimento katkı maddeleriyle birlikte kullanıldığında, çimento üretimi sırasında CO₂ emisyonunu azaltmaya yardımcı olabilir. Marnın sertlik derecesi kalkere nazaran daha azdır. Ocak işletmesinin, kırılmasının, öğütülmesinin ve pişirilmesinin kolay oluşu, marnı çimento sektöründe aranan bir hammadde durumuna getirmiştir (Yalnız, 2006).

2.4.1 Doğal Marnın Kullanım Alanları

Doğal marn, çimento endüstrisi dışında da birçok kullanım alanına sahip olan bir doğal kaynaktır. Yüksek oranda kalsiyum karbonat ve kil mineralleri içeren doğal marn, toprak düzenleme, yol yapımı, seramik üretimi, boya pigmenti ve su arıtma gibi farklı endüstrilerde kullanılmaktadır.

Tarım sektöründe, doğal marn toprakların pH değerini düzenlemede kullanılır. Yüksek pH değerine sahip topraklarda kullanılarak asidik özellikleri nedeniyle toprağın pH değerini düşürür. Böylece bitkilerin besinlerden yararlanma kapasitesi artar. Yol yapımında, doğal marn stabilizatör olarak kullanılır. Doğal marn, toprağa karıştırılarak, yola dayanıklılık kazandırılabilir. Seramik endüstrisinde, doğal marn, seramik üretiminde kullanılır. Doğal marn toprağa karıştırılarak, seramik kalitesi arttırılabilir. Boya endüstrisinde, doğal marn pigment olarak kullanılır. Boya üretiminde, doğal marn toprağa özgü renkler elde edilmesinde kullanılır. Su arıtma işleminde, doğal marn suyun içindeki kirleticileri ve ağır metalleri çeker. Su arıtma işleminde, doğal marnın puzolanik aktivitesi sayesinde su kalitesi arttırılabilir. Doğal marnın çimento endüstrisindeki kullanımı da önemlidir. Doğal marn, çimento

üretiminde kullanılarak çimento özelliklerini geliştirir ve çimento üretiminde kullanılan hammadde kaynaklarının çeşitliliğini artırır.

Doğal marnın farklı endüstrilerdeki kullanım alanları, bu doğal kaynağın endüstriyel ve ticari değerini artırır. Ayrıca, doğal marnın çimento endüstrisindeki kullanımının yerini alabilecek bir alternatif olarak, çevresel ve ekonomik faydalar sunması nedeniyle daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

2.5 Lif Çeşitleri

Lif, doğal kaynaklardan elde edilen veya insan eliyle üretilen uzun, ince ve esnek bir malzeme türüdür. Dayanıklılığı ve elastisite modülü, aynı malzemenin büyük hacimli formuna göre daha yüksektir, bu nedenle malzemelerin en geliştirilmiş hallerinden biridir. Lifler, çeşitli türleriyle mevcuttur ve pamuk, yün, keten, kenevir, ipek ve kendir gibi bitkisel lifler ile naylon, polyester, akrilik ve polipropilen gibi sentetik lifler arasında farklılıklar vardır. Her bir tür, özellikleri ve kullanım alanlarına göre farklılıklar gösterir.

Lifler, farklı özelliklerine bağlı olarak betonda çeşitli iyileştirmeler sağlarlar. Örneğin, lifler betonun dayanımını, çatlak kontrolünü, şekil değiştirme kapasitesini, enerji emme kapasitesini ve dayanıklılığını arttırabilirler. Liflerin türü, boyutu, geometrisi, miktarı, çekme dayanımı ve yüzey özellikleri, bu iyileştirmelerde önemli bir rol oynar. Beton, doğası gereği çatlama ve kırılmaya yatkın bir malzemedir. Liflerin betona eklenmesi, betonun sünekliğini arttırarak çatlakların oluşumunu ve yayılımını kontrol altına alır. Bu nedenle, lifler betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerini arttırarak, daha sağlam ve dayanıklı bir yapı oluşturulmasına yardımcı olurlar.

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

2.5.1 Doğal Lifler

Doğal lifler, bitki, hayvan veya mineral kaynaklarından elde edilen doğal malzemelerdir. Sentetik lifler gibi kimyasal işlemlere tabi tutulmadan doğada bulunan hammaddelerden elde edilirler. Doğal lifler, organik bileşiklerden oluşur. Bu

lifler bitkilerin hücrelerinde veya hayvanların dokularında bulunan polimerik yapıları içerir. Çevre dostu bir seçenek olarak kabul edilir. Genellikle biyolojik olarak parçalanabilir ve yenilenebilir kaynaklardan elde edildikleri için çevresel etkileri daha azdır. Doğal liflerin birçoğu hidrofilik yani suyu emebilen yapıya sahiptir. Özellikle pamuk gibi lifler, suyu emerek suyun moleküler düzeyde liflere nüfuz etmesini sağlar. Sentetik liflere kıyasla daha az enerji ve su kullanımı gerektirirler.

Bazı doğal lifler, dayanıklılık açısından sentetik liflere kıyasla oldukça iyidir. Örneğin, kenevir ve bambu lifleri, yüksek dayanıklılık ve mukavemet sunar. Bu, inşaat malzemelerinde kullanıldığında yapıların güçlendirilmesine yardımcı olur. Doğal lifler genellikle geri dönüştürülebilir veya kompostlanabilir özelliklere sahiptir. Bu, üretim sürecinde ve kullanım sonrasında atık miktarını azaltabilir ve sürdürülebilir bir döngü oluşturabilir.

Pamuk, jüt, keten, kenevir, ahşap, Hindistan cevizi gibi türleri bulunmaktadır.

2.5.2 Sentetik Lifler

İnşaat sektöründe kullanılan malzemelerin dayanıklılığı ve güvenilirliği, yapıların uzun ömürlü olması ve çeşitli zorlu koşullara karşı direnç göstermesi açısından son derece önemlidir. Geleneksel yapı malzemeleriyle birlikte, sentetik liflerin kullanımı da önemli bir yer tutmaktadır. Sentetik lifler, inşaat sektöründe daha modern bir yaklaşım sunmakta ve çeşitli avantajlar sağlamaktadır.

Sentetik lifler, insan yapımı olarak üretilen liflerdir. Bu lifler, petrokimyasal maddelerden veya diğer sentetik bileşiklerden elde edilir. Sentetik liflerin yapısı, polimer adı verilen büyük moleküllerden oluşur. Bu polimerler, kimyasal işlemlerle elde edilir ve ardından iplik formuna dönüştürülerek kullanım alanlarına yönelik üretim yapılır. Sentetik liflerin en belirgin avantajlarından biri, yüksek dayanıklılık sunmalarıdır. Polyester, polipropilen ve naylon gibi sentetik lifler, gerilme, çekme ve yıpranma gibi mekanik streslere karşı dirençlidir. Bu özellikleri sayesinde, beton ve diğer yapı malzemelerine eklenen sentetik lifler, yapıların dayanıklılığını artırır ve çatlaklara karşı direnç gösterir. Ayrıca, sentetik liflerin korozyona karşı direnci de geleneksel çelik takviyeye kıyasla avantaj sağlar. Betonda polipropilen lif, karbon lif, çelik lifler kullanılmaktadır.

Sentetik liflerin inşaatla yaygın olarak kullanıldığı bir başka alan, çatlak kontrolüdür. Betonun içine eklenen sentetik lifler, plastik çekme özelliklerine sahip olup çatlakların genişlemesini sınırlayabilir. Bu yapıların daha güçlü ve dayanıklı olmasını sağlarken bakım ve onarım maliyetlerini azaltır. Sentetik lifler ayrıca termal çatlakları da kontrol altına alarak, sıcaklık değişimlerine bağlı olarak oluşabilecek çatlakların oluşumunu engeller.

Sentetik lifler, inşaat sektöründe yangın güvenliği açısından da önemli bir rol oynar. Özellikle, alev geciktirici özelliklere sahip sentetik lifler yangın direncini artırabilir. Yanmaz veya yavaş yanar özelliklere sahip sentetik lifler, yangın sırasında alevlerin yayılmasını engelleyerek, insanların güvenliğini sağlar ve maddi hasarı azaltır. Sentetik liflerin farklı tipleri bulunur, örneğin polyester, naylon, akrilik, polipropilen ve polietilen gibi. Her bir sentetik lif türü, özellikleri ve kullanım alanları açısından farklılık gösterir. Sentetik lifler, gelişen teknoloji ve araştırmalarla sürekli olarak iyileştirilmekte ve yeni özelliklere sahip lifler geliştirilmektedir.

2.5.2.1 Polimer Lifler

Polimer lifler, doğal veya sentetik polimerlerden elde edilen uzun ve ince yapılardır. Polimer lifler, yüksek esneklik ve dayanıklılık sunar. Bu lifler, gerilme ve yıpranmaya karşı dirençlidir, bu da uzun ömürlü ve dayanıklı ürünlerin üretilmesini sağlar. Genellikle hafif olup, taşınması ve uygulanması kolaydır. Bu özellikleri, tekstil ürünlerinde ve diğer uygulamalarda kullanımını daha verimli hale getirir. Polimer lifler, yüksek çekme dayanımlarına sahip liflerdir. Ancak aramid lifi hariç, bu liflerin büyük çoğunluğu düşük elastisite modülüne sahiptir. Polimer liflerin nitelikleri, uzunluk ve çap oranlarına bağlı olarak değerlendirilir. Bu liflerin çapları genellikle mikron düzeyindedir ve tekil veya lif hamuru halinde bulunabilirler. Lifli beton uygulamalarında kullanılan polimer liflerin uzunlukları genellikle 12-50 mm arasında değişir. Bazı lif tipleri 1-2 mm'dir fakat çok uzun olanlar da bulunmaktadır.

Polimer liflerin başlıca örnekleri arasında akrilik, aramid, naylon, polyester, polietilen ve polipropilen gibi lifler bulunur.

Akrilik lifler

Yüksek dayanıklılık, yumuşaklık ve renk dayanıklılığı sağlar. Bu lifler, özellikle dış giyim, battaniye ve halı gibi ürünlerde kullanılır.

Aramid lifler

Yüksek mukavemet ve ısı direnci sağlayan sentetik liflerdir. Aramidler, aromatik poliamidler olarak da bilinir. Yüksek çekme dayanımına, yüksek sıcaklık dayanımına, aşınma direncine ve kimyasal dirence sahiptirler. Ayrıca, aramid lifler düşük ağırlığa sahiptir ve modül kombinasyonu sayesinde büyük bir mukavemet-güç oranına sahiptirler.

Poliamid lifler

Yaygın olarak bilinen adıyla naylon lifler, sentetik lifler arasında yer alan ve çeşitli endüstrilerde kullanılan dayanıklı bir lif türüdür. Bu lifler, yapıların uzun ömürlü olmasını sağlar, çatlakları kontrol altında tutar, mukavemeti artırır ve darbe/aşınma direncini iyileştirir. Bu da daha dayanıklı ve kaliteli beton yapıların inşa edilmesini sağlar.

Polyester lifler

Polyester lifler, betonun mukavemetini artırır. Lifler, beton matrisine entegre olur ve çekme dayanımını ve yorulma direncini artırır. Bu, beton yapıların daha yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olmasını sağlar. Betonun darbe ve aşınmaya karşı dayanıklılığını artırır. Lifler, enerji dağılımını iyileştirir ve darbe etkilerini absorbe eder. Ayrıca, aşınmaya karşı direnci artırarak beton yüzeyinin daha uzun süre dayanmasını sağlar. Polyester lifler, betonun işlenebilirliğini etkilemez. Karışım sürecinde kolaylıkla dağılır ve homojen bir şekilde dağıtılır. Betonun yerleştirme ve şekillendirme süreçlerinde sorunsuz bir şekilde kullanılabilir.

Polietilen lifler

Hafiflik, esneklik ve yüksek mukavemet gibi özelliklere sahiptir. Polietilen lifler, betonun plastik çekme özelliklerini iyileştirir. Bu, betonun yerleştirme ve sertleşme sırasında gerilmeleri daha iyi dağıtmasını sağlar ve çatlak oluşumunu azaltır. Çeşitli kimyasallara karşı dayanıklıdır, betonun kimyasal etkilere karşı korunmasını sağlar ve betonun ömrünü uzatır. Polietilen lifler, düşük termal iletim özelliklerine sahiptir. Bu, betonun ısı transferini azaltır, termal şoklara karşı direncini artırır ve beton yapıların ısı yalıtımını iyileştirir.

Polipropilen lifler

Polipropilen, günlük hayatta sıkça kullanılan plastiklerin büyük bir kısmının hammaddesi olan, termoplastiklerin içinde yer alan bir sentetik lif ve hafif bir polimerdir. Bu nedenle, diğer sentetik liflere kıyasla daha ekonomik bir plastik malzeme olarak üretilebilir. Polipropilen lif polimer lifler arasında, düşük maliyeti ve düşük özgül ağırlığıyla dikkat çeken, yüksek asit ve korozyon direncine sahip, üstün tokluk özellikleri ve çatlak gelişimini engelleyebilme kabiliyeti nedeniyle yaygın olarak tercih edilen bir lif türüdür. Bu lifler, beton karışımlarında genellikle toplam hacmin %0,1 ila %2'si arasında kullanılabilir. Polipropilen lifler bir katkı maddesi olarak beton, sıva, harç ve püskürtme beton uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanımında ilave işçilik gerektirmeyen, kolay uygulanabilen, betonun ve sıvanın kalitesini artırmak için kullanılan çürümeyen bir üründür. Polimer liflerden betona katılan ve en iyi sonucu veren ve en yaygın kullanılanı polipropilen liflerdir (Karahana, 2006).

Polipropilen lifler, genellikle çekme kaynaklı yüzey çatlaklarını azaltmak için betonda kullanılır. Lif kullanımı hem makro hem de mikro çatlakların oluşumunu engellemede etkili bir yöntemdir. Betona eklenen lifler, oluşan çatlaklar arasında düşey ve paralel bir davranış gösterir. Düşey durumda, lifler çatlak yüzleri arasında bir dikiş görevi görerek betonun büzülme deplasmanlarını kontrol eder, çekme ve eğilme dayanıklılığını artırarak yük transferini sağlar. Bu sayede, beton karışımlarında çatlak açılmasını engeller ve deplasmanları sınırlar, aynı zamanda betonun enerji emme kapasitesini artırır. Polipropilen lifler ayrıca beton karışımının sünekliğini ve kohezyonunu artırır, ancak işlenebilirlik ve çökme değerini azaltır. Polipropilen lifler, yapılar için en hafif mikro donatı sistemlerinden biri olan hasır demir olarak kullanılır. Metrekare başına ağırlığı 90 gram ile 200 gram arasında değişir. Bu olağanüstü hafiflik, yapıya diğer donatı sistemlerinin ağırlığını vermeden uygulanabilme avantajı sağlar.

Polipropilen liflerin özellikleri:

- Polipropilen lifler, düşük yoğunluğa sahip olup son derece hafiftir. Bu özellikleri, yapı malzemelerinde kullanıldığında ağırlık artışını minimize eder.

-Yüksek mukavemet değerlerine sahiptir. Çekme, bükülme ve kopma gibi kuvvetlere karşı dayanıklıdır.

- Birçok kimyasala karşı dirençlidir. Asitlere, alkollere, bazlara ve çoğu çözeltiliye karşı dayanıklı olması, çeşitli uygulamalarda kullanılmasını sağlar.

- Suya karşı dirençlidir ve neme maruz kaldığında bozulma veya zayıflama göstermez. Bu özellikleri, dış mekan uygulamalarında veya nemli ortamlarda kullanımları için avantaj sağlar.

- Genellikle yüksek sıcaklık ortamlarında stabil kalabilen bir termal dirence sahiptir. Yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında bile fiziksel özelliklerini korurlar.

- Polipropilen lifler, kolayca geri dönüştürülebilir ve tekrar kullanılabilir.

- İşlenmesi ve şekillendirilmesi kolaydır. Bu özellikleri, farklı uygulamalarda esneklik ve çeşitlilik sağlar.

- Polipropilen lifler, diğer sentetik liflere kıyasla genellikle daha ekonomiktir. Bu nedenle, birçok endüstride tercih edilen bir seçenektir.

Polipropilen lifler, iki türde üretilir: F-fibrilize lifler ve M-multifilament lifler. M tipi lifler, şap yüzeyinde ince olduğu için görünmezler ve bu nedenle özellikle iç mekan şaplarında tercih edilirler. F tipi polipropilen lifler ise ağır hizmete maruz kalan endüstriyel zeminlerde daha dayanıklı ve esnek oldukları için şap ve beton uygulamalarında daha uygun bir seçenektir. Bu şekilde, farklı tipleriyle polipropilen lifler, çeşitli uygulama alanlarında optimal sonuçlar elde etmek için kullanılabilir. Polipropilen liflerin çeşitleri ve özellikleri Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3 Polipropilen liflerin çeşitleri ve özellikleri (Karahan 2006)

Lif Çeşitleri	Fibrilize	Multifilament	Fibrilize
Polipropilen (%)	100	100	92
Ürün Çeşidi	Standart F	Standart M	Paint
Özgül Ağırlık (kg/lt)	0.91	0.91	1.00
Kesit	Karesel	Yuvarlak	Karesel
Kalınlık (µ)	36	18	-
Çekme Dayanımı(N/mm ²)	500	700	500
Uzama (%)	Max. 10	Max. 100	-

ASTM C 1116 standardına göre, %100 saf polipropilen ham maddesinden üretilen liflerin, betonda kullanım oranı hacimce %0,1'dir. 1 litre lif, 1 m³ beton için

yeterlidir. Polipropilen maddesinin yoğunluğu 0,9 kg/l olduğundan, önerilen lif miktarı en az 0.9 kg/l olmalıdır. Bu oranlar genellikle %0.05 ila %2 arasında değişebilir ve hatta bazı durumlarda %5'e kadar çıkabilir. Polipropilen lifler, beton ve harç uygulamalarında kullanıldığında, içerdikleri özel katkıları sayesinde beton santrallerinde, şap pompalarında, betoniyelerde, transmikserlerde, püskürtme makinelerinde ve her türlü mekanik karıştırma ekipmanında kolayca karıştırılabilirler. Bu sayede betonun homojenliği ve işlenebilirliği artırılırken, topaklanma sorunu da önlenmiş olur. Polipropilen lifli betonun yerleştirilmesi kolay ve ekonomiktir. Fazla karıştırma, liflerin performansını olumsuz etkilemez. Polipropilen lifler, yüksek aşınma direnci gereken ve yoğun mikro donatıya ihtiyaç duyulan bölgelerde, hacimce %0,2'ye kadar artırılacak dozlarda kullanılabilir.

Polipropilen lifler, sıva ve harç betonu için genellikle ton başına 2 kg olarak ilave edilir. Ancak özel amaçlı yapıştırıcılar, tamir harçları ve derz dolguları gibi uygulamalarda bu oran 5 kg seviyesine kadar artırılabilir. Kuru karışıma eklenen polipropilen lifler kolaylıkla homojen bir şekilde dağılır ve topaklanma sorunu yaşatmaz. Polipropilen liflerin iki farklı yapıda üretildiği görülmektedir. Birinci yapıdaki lifler, ince ve uzun yapıda olan monofilament liflerdir. Çap/boy oranı yaklaşık olarak 1/60'dır ve boyları genellikle 4-8 cm arasında değişir. Bu lifler sert bir yapıya sahiptir ve beton içinde homojen bir şekilde dağılırlar. İkinci yapıdaki lifler ise staple fiber olarak bilinir ve elyaf görünümlüdür. Bu lifler, ince ve kısa parçalardan oluşurlar ve genellikle kareye yakın bir şekle sahiptirler. Boyutları 1-3 cm arasında değişir. Bu tür lifler betona karışım suyu ile birlikte verilebilir.

2.5.2.2 Metalik Lifler

Metalik lifler, çeşitli metaller veya metal kaplamalardan oluşan ince tellerdir. Bu teller genellikle polyester, naylon veya pamuk gibi diğer liflerin üzerine uygulanarak üretilir. Farklı metallerin veya metal kaplamalarının kullanılmasıyla çeşitlilik gösterir. Örneğin, alüminyum, bakır, gümüş veya altın gibi metallerin kullanıldığı metalik lifler mevcuttur. Ayrıca, farklı renklerde ve kaplamalarda da bulunabilirler. Metalik lifler, dayanıklı ve uzun ömürlüdür. Diğer liflerle birleştirildiklerinde, malzemenin mukavemetini artırır ve aşınma direncini sağlar. Bu özellikleri, metalik lifleri tekstil endüstrisinde, özellikle de sürekli kullanılan ve yıpranmaya maruz kalan ürünlerde tercih edilen bir malzeme haline getirir. Metal

liflerin mühendislik uygulamalarında tercih edilmesinin nedenleri arasında yüksek mukavemet, dayanıklılık, şekillendirilebilirlik, elektrik iletkenliği ve termal özellikleri bulunmaktadır. Bu özellikler, metal liflerin yapısal ve fonksiyonel gereksinimleri karşılama da etkili bir şekilde kullanılabilmesini sağlar.

Metal lifler arasında, betona eklenen ve en çok tercih edilenlerden biri çelik liflerdir. Betona çelik liflerin eklenmesiyle oluşturulan ürün, genellikle MLTB (Metal Lif Takviyeli Beton) veya ÇLTB (Çelik Lif Takviyeli Beton) olarak adlandırılır. Çelik lifler, polimer ve cam liflere göre daha sert ve kalındır, bu nedenle betona daha yüksek dayanıklılık sağlarlar. Genellikle 0,2 ila 1,0 mm çaplarına sahip olan çelik liflerin uzunlukları ise genellikle 20 ila 50 mm arasında değişir. Çelik lifler, amorf yapıda şerit biçiminde veya eritilip çekme yöntemiyle üretilebilir. Bu üretim yöntemine bağlı olarak farklı şekillerde ve boyutlarda çelik lifler bulunur. Örneğin, yaklaşık 1,8 mm genişliğe ve 0,025 mm ila 0,100 mm kalınlığa sahip düz kesitli yonga yapıda çelik lifler, 10 ila 60 mm arasında değişen boylarda üretilebilir. Çelik lifler, betonun çekme dayanımını artırır, çatlakların oluşumunu kontrol eder ve enerji absorpsiyonunu sağlar. Ayrıca, çelik liflerin yüksek sıcaklık dayanımı, korozyona karşı direnç gibi avantajları da bulunur. Bu nedenlerle çelik lifler, genellikle inşaat sektöründe köprüler, tüneller, endüstriyel zeminler, dökme duvarlar ve diğer yapısal uygulamalarda tercih edilen bir takviye malzemesidir.

2.5.2.3 Karbon ve Alkali Dirençli Cam Lifler

Cam lifler, temel olarak silisyum dioksit (SiO_2) içeren bir malzeme grubudur. Silisyum, cam liflerinin ana bileşenidir ve bu elemente ek olarak sodyum, kalsiyum, alüminyum, bor ve demir gibi çeşitli elementler de cam liflerinin yapısında bulunabilir. Cam liflerinin üretimi, silisyum ve diğer elementlerin yüksek sıcaklıkta eritilerek hızlı bir şekilde soğutulmasıyla gerçekleşir. Bu süreç, cam liflerinin oluşmasını sağlar. Üretim sürecinin bir parçası olarak, cam lifleri üzerine bazen kaplama uygulaması yapılır. Bu kaplama işlemi, liflerin dayanıklılığını, yapışma özelliklerini veya diğer özelliklerini iyileştirmek amacıyla gerçekleştirilir. Daha sonra cam lifleri demetler halinde rulolar halinde sarılarak depolanır. Bu şekilde, cam lifleri kullanılmak üzere uygun bir şekilde saklanabilir ve dağıtılabilir.

Karbon içeriği, liflerin dayanıklılığını artırır ve yüksek gerilmelere karşı dirençli olmalarını sağlar. Karbon dirençli cam lifleri, asitlere, bazlara ve çeşitli kimyasal maddelere karşı dayanıklıdır. Bu lifler yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklıdır ve termal şoklara karşı mükemmel bir performans sergiler. Alkali dirençli cam lifleri, alkalilere, özellikle sodyum hidroksit (NaOH) gibi güçlü alkali maddelere karşı dayanıklıdır. Bu lifler, çimento matrisine mükemmel bir şekilde yapışır ve takviye etkinliğini artırır. Alkali dirençli cam lifleri, çimento matrisiyle etkileşime girdiklerinde kimyasal bozulmaya karşı dayanıklılık gösterir ve uzun süreli kullanımlarda bile performanslarını korurlar.

2.6 Lifli Betonların Kullanım Alanları

Lifli kompozitler, günümüzde hem sanayi hem de inşaat sektöründe geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak, her lifin her tür matrisle uyumlu olmayacağı gibi, her lifli kompozit de her uygulamada kullanılamaz. Dolayısıyla, farklı lifli kompozit malzemeler farklı uygulama alanlarında tercih edilir. Lifli kompozit malzemeler, iki temel bileşenden oluşur: bunlar matris ve lif takviyeleridir. Matris, kompozitin yapısal dayanıklılığını sağlayan bir bağlayıcıdır, genellikle polimer veya seramik tabanlı bir malzemedir. Lif takviyeleri ise matris içerisine yerleştirilen güçlendirici elemanlardır ve mukavemet, rijitlik ve direnç gibi özelliklerini kompozite aktarırlar.

Farklı lifler, farklı özelliklere ve avantajlara sahiptir ve bu da farklı uygulama alanlarına yönelik tercihleri belirler. Örneğin, cam lifleri hafiflikleri, kimyasal dirençleri ve yangına dayanıklılıkları nedeniyle otomotiv, havacılık, denizcilik ve yapı sektöründe kullanılır. Karbon lifleri ise yüksek mukavemet ve rijitlikleri nedeniyle spor malzemeleri, otomotiv, havacılık ve uzay endüstrisi gibi alanlarda tercih edilir. Aramid lifleri ise yüksek darbe dayanımı ve enerji emilimi özellikleri sayesinde kişisel koruyucu ekipmanlar, denizcilik ve otomotiv gibi alanlarda kullanılır. Diğer lifli kompozit türleri arasında doğal lifler (örneğin, ahşap elyafları), bazalt lifleri, polietilen lifler ve polipropilen lifler gibi seçenekler bulunur. Bu lifler de farklı uygulama alanlarında kullanılırlar, örneğin inşaat malzemeleri, ambalaj endüstrisi ve çevresel sürdürülebilirlik projeleri gibi alanlarda tercih edilebilirler.

Lifli betonlar, yol ve köprülerin inşasında kullanılır. Lifler, betonun çatlak oluşumunu önler ve çekme dayanımını artırır. Bu sayede, yollarda ve köprülerde

daha dayanıklı ve uzun ömürlü yapılar elde edilir. Fabrikalar, depolar, otoparklar gibi yoğun trafik alanları için lifli betonlar tercih edilir. Lifler, zeminlerin yüksek dayanıklılık, çatlak kontrolü ve aşınma direnci gibi özelliklere sahip olmasını sağlar. Lifli betonlar, yüzme havuzlarının inşasında kullanılır. Lifler, havuzların suya dayanıklılığını artırır ve çatlak oluşumunu engeller. Ayrıca, lifli betonlar daha düşük su geçirgenliği sağlar ve havuzların su sızdirmasını önler. Tünel inşaatlarında kullanılır. Lifler, tünellerde oluşabilecek çatlakları kontrol altına alır ve betonun dayanıklılığını artırır. Ayrıca, lifli betonlar yangın direncini de artırabilir, bu da tünellerin güvenliğini sağlar. Limanlar, rıhtımlar, mendirekler gibi deniz yapılarında lifli betonlar kullanılır. Lifler, tuzlu suya, dalgaların etkisine ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılığı artırır. Bu sayede, deniz yapılarının uzun ömürlü olması sağlanır. Lifli betonlar, prefabrik elemanların üretiminde de kullanılır. Lifler, prefabrik yapı elemanlarının mukavemetini artırır ve çatlaklara karşı direnç sağlar. Böylece, daha dayanıklı ve güvenli yapılar elde edilir.

Lifli kompozit malzemeler, çok çeşitli uygulama alanlarında kullanılır ve her bir lifli kompozit malzemenin belirli bir uygulama için optimize edilmesi önemlidir. Lif ve matris kombinasyonunun doğru seçimi, istenen özelliklerin elde edilmesini ve belirlenen uygulama gereksinimlerinin karşılanmasını sağlar.

2.7 Önceki Çalışmalar

Yiğiter, (2022) çalışmasında, betonarme donatıların korozyon etkilerine karşı korunması için alternatif bir yöntem incelemiştir. Referans olarak geleneksel olarak üretilmiş betonarme numunelerin yanı sıra, mineral katkılı çimento bulamacı kullanılarak kaplanmış donatılarla üretilen betonarme numuneler hazırlamıştır. Mineral katkılı çimento bulamaçlarında, kütlece %30 oranında silis dumanına ek olarak yüksek fırın cürufu kütlece %25 ve %50 oranları kullanmıştır. Bulamaç kaplama uygulamasının deney sonuçlarına göre, ıslanma-kuruma etkisine maruz kalan numunelerde donatıların korozyon potansiyelini azalttığı ve korozyon akım yoğunluğu değerlerini düşürdüğü görülmüştür, özellikle sodyum klorür çözeltisi ile yapılan deneylerde etkisi daha belirgin hale gelmiştir.

Ünsever ve ark., (2020) çalışmalarında, düşük plastisiteli kil bir zemine ağırlıkça %5, %10 çimento ve %0,5, %1, %1,5 polipropilen lif ilave edilerek 12

farklı karışım hazırlanmıştır. Bu karışımların serbest basınç, özgül ağırlık, kıvam limitleri, CBR ve şişme deneyleri yapılarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, çimento kullanımının düşük plastisiteli kil zeminlerin stabilizasyonunda etkili olduğu belirlenmiştir. Polipropilen lif tek başına zemin iyileştirmesi açısından yeterli etkiyi sağlamazken, çimento ile birlikte düşük yüzdelerde (%0.5 ile %1.0 arasında) kullanıldığında çimentonun etkisini artırdığı görülmüştür. Bu nedenle, çimento ve polipropilen lifin uyumlu bir şekilde bir arada kullanılabilceği ve zemin iyileştirmesi için faydalı olabileceği sonucuna varılmıştır.

Ayaz ve ark., (2020) çalışmalarında, polipropilen lif katkılı kerpiç tuğla üretimi için farklı oranlarda (0%, 0.5%, 1%, 1.5%) ve boylarda (6mm, 12mm, 19mm) lif kullanılmıştır. 10 farklı karışım üretilmiş ve her bir karışımdan 3 adet numune üretilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, lif oranı ve boyu arttıkça hacim kaybının %8.57 - %37.25 arasında azaldığı, birim hacim ağırlığının %1.54 - %7.25 arasında azaldığı görülmüştür. Basınç dayanımı ise lif oranı ve boyu arttıkça %11.67 - %44.93 arasında artmıştır. Eğilme hasar yükleri ise katkısız numunelere göre %43.19 - %250.05 arasında artış göstermiştir.

Bayraktar (2021), çalışmasında polipropilen lif ve alçıtaşı kullanımının, harçların dayanım, porozite, su emme kapasitesi ve kuruma büzülmesi davranışı üzerindeki etkisini incelemiştir. Tüm harç karışımlarında su/bağlayıcı oranı sabit tutularak (%0,25), dayanım özelliklerinin ve kuruma büzülmesi davranışlarının iyileştirilmesi için harç karışımlarına toplam hacmin %1,5 ve %3,0 oranlarında polipropilen lif eklenmiştir. Lif ilavesi, işlenebilirliği azaltırken su azaltıcı katkı gereksinimini artırmıştır. PP lif ve alçıtaşı ilavesi arttıkça yayılma çapı ve taze birim hacim ağırlığı düşmüştür. Basınç dayanımı 7 ve 28 günlük sürelerde azalmıştır. Kuruma büzülmesi, hem PP lif hem de alçıtaşı ilavesine bağlı olarak azalmıştır. Görünür porozite ve kapilarite değerleri, PP lif ve alçıtaşı ilavesine bağlı olarak farklı düzeylerde değişmiştir. En yüksek kapilarite ve görünür porozite değeri %5 alçıtaşı ilavesi yapılan numunelerde elde edilmiştir.

Yarar (2021), çalışmasında taban külü içeren ince agregalar ve polipropilen liflerden oluşan köpük betonun taze, fiziksel, mekanik, termal ve dayanıklılık özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. İki farklı çimento dozajı (300 ve 400

kg/m³), üç farklı köpük maddesi dozajı (40, 50 ve 60 kg/m³) ve üç farklı polipropilen lif içeriği (hacimce %0, 0.5 ve 1) kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Artan köpük içeriği, porozite, su emme ve kapilarite artışına neden olurken, ısıl iletkenlik, gözeneklilik ve büzülme azalmıştır. Yüksek sıcaklığa maruz kalındığında, köpük betonun kütle kaybında azalma ve dayanıklılığında artış gözlenmiştir. Tüm karışımlar orta mukavemetli beton olarak kullanılabilir ve sürdürülebilir yapı tasarımına katkı sağlayabilir. Köpük beton karışımlarında ince agregalar ve polipropilen lifler ile taban külü kullanımının, orta mukavemetli beton ihtiyacı olan yapılar için uygun olduğu ve sürdürülebilir yapı tasarımına katkı sağlayabileceği sonucuna varılmıştır.

Öncel (2021), çalışmasında çelik ve polipropilen lif ilavesinin lif oranı ve betonun darbe davranışı arasındaki ilişki incelemiştir. Çimento dozajı sabit tutularak üç çelik lif, üç polipropilen lif ve bir adet yalın beton numunesi olacak şekilde yedi farklı karışımdan numuneler hazırlanmıştır. Basınç dayanımı, çatlak genişliği ve aletli ağırlık düşürme deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar lif ilavesinin betonun dayanım ve çatlak genişliği özelliklerini arttırdığını göstermiştir. Çelik lifin betonun statik ve dinamik özellikleri üzerinde olumlu bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Lif ilavesi, betonun eğilmede çekme dayanımını arttırmıştır. Çelik lif ve polipropilen lif ilaveli betonlar, aletli ağırlık düşürme deneyinde ani kırılmaya karşı daha dirençli olmuştur.

Kaya ve ark., (2022) çalışmalarında yüksek sıcaklığa maruz kalan Horasan harcının özellikleri üzerinde polipropilen lif takviyesinin etkisini araştırmışlardır. Kontrol karışımına ek olarak farklı oranlarda (0,4%, 0,6% ve 0,8%) 3 mm uzunluğunda polipropilen lif içeren 4 ayrı harç karışımı hazırlanmıştır. Numuneler 90 gün boyunca bekletildikten sonra, başlangıç durumları ve 300, 600, 900 °C sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra birim hacim ağırlığı, dinamik elastisite modülü ve ultrases geçiş hızı değerleri ölçülmüştür. Deney sonucunda, harç karışımlarında polipropilen lif kullanımı ve dozajının artmasıyla birlikte hedef yayılma değerine ulaşmak için su azaltıcı katkı ihtiyacının arttığı saptanmıştır. Numunelerin başlangıç durumunda ve 300°C sıcaklığa maruz bırakıldıklarında lif içeriğine bağlı olarak söz konusu değerlerinde azalma olduğu gözlenmiştir. Ancak daha yüksek sıcaklıklarda, lifli ve liffsiz numunelerin dinamik elastisite modülü ve ultrases geçiş hızı değerleri açısından benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir.

Yiğit (2021), çalışmasında polipropilen liflerin asfalt aşınma tabakasında kullanılabilirliğini araştırmıştır. 6, 12, 19 ve 54 mm uzunluğunda farklı boyutlarda ve %0,5 ile %2,5 arasında artan karışım oranlarında PP lifler kullanmıştır. Kiriş eğilme testleri sonucunda PP liflerin mukavemet açısından önemli katkı sağlamadığı ancak tabakanın daha fazla sehim yapabileceği gösterilmiştir. 19 mm ve 12 mm PP lif katkılı tabakaların çekme mukavemetleri benzer bulunmuştur. Formülün tek başına yanıtıcı olabileceği belirtilerek, maksimum tekil yükün değerlendirmeye alınması gerektiği ifade edilmiştir. Stabilitate değerleri açısından, alttaki tabakanın sağlam olması şartıyla 19 ve 12 mm PP liflerin aşınma tabakalarında kullanılmasının faydalı olacağı sonucuna varılmıştır.

Danishyar (2021), çalışmasında uçucu kül ve yüksek fırın cürufundan yapılan geopolimer kompozitlerin mekanik ve fiziksel özellikleri incelemiştir. Karışımlara polipropilen lif eklenmiş ve sodyum hidroksit ve sodyum silikat solüsyonları ile aktifleştirilmiştir. Fiziksel özellikler, su emme, porozite, birim hacim ağırlık ve görünür yoğunluk gibi testlerle ölçülmüştür. Mekanik özellikler ise eğilme ve basınç dayanımı testleri ile belirlenmiştir. İdeal karışımlar (% 50 UK ve % 50 ÖGYFC) üzerinde XRD ve SEM-EDX analizleri ile durabilite testleri yapılmıştır. Sonuçlar, % 50 UK ve % 50 ÖGYFC karışımının 3 modül sodyum silikat solüsyonu ve 10 M NaOH ile aktifleştirilmesi durumunda en ideal sonuçları verdiğini göstermiştir. Durabilite testlerinde ise % 1.5 PP lif ilaveli kompozit harçların daha dayanıklı olduğu görülmüştür.

Güteryüz ve ark., (2020) çalışmalarında hava sürükleyici katkı içeren, silis dumanı ve uçucu kül kullanılarak hazırlanan çimento harç karışımlarının taze ve sertleşmiş hal özelliklerini incelemiştir. Harç karışımlarında su/çimento oranı, kum/bağlayıcı oranı ve yayılma değerleri sabit tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre, mineral katkı kullanımı harç karışımlarının 90 günlük su emme değerlerini azaltmış, basınç dayanım değerlerini arttırmıştır. En başarılı karışım, hem uçucu kül hem de silis dumanı kullanılarak hazırlanan üçlü bağlayıcı sisteme sahip olan K-UK-SD-HSK karışımıdır.

Demirhan ve ark., (2021) çalışmalarında uçucu kül ve mikronize kalsit içeren çimento harçlarının sertleşmiş ve mikroyapısal özellikleri incelemiştir. Farklı

uçucu kül-çimento oranları ve mikronize kalsit ikame oranları kullanılarak on iki farklı karışım tasarlanmıştır. Deney sonuçları, mikronize kalsit içeren karışımlarda özellikle uçucu kül ve mikronize kalsit kombinasyonu ile üretilen karışımlarda erken yaş sertleşmiş özelliklerinde belirgin düzeyde bir iyileşme elde edildiğini göstermiştir. Ayrıca, kontrol karışımına kıyasla 90 günlük basınç dayanımında daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Kalsit ve uçucu kül kombinasyonunun çimentonun karbon ayak izinde önemli ölçüde azalma sağladığını göstermiştir.

Tuyan ve ark., (2020) çalışmalarında kalsiyum alüminat çimentosunun yüksek fırın cürufu ve uçucu kül ile kısmi olarak ikame edilmesi sonucu elde edilen harç karışımlarının mekanik, dayanıklılık, termal ve içyapı özellikleri incelemiştir. Karışımların basınç ve eğilme dayanımları belirlenerek, sülfat ve asit direnci, yüksek sıcaklık direnci, termogravimetrik analiz, bilgisayarlı mikro tomografi ve x-ışını foto elektron spektroskopisi analizleri yapılmıştır. Yüksek fırın cürufu ve uçucu kül kullanımıyla, ekolojik verimlilik ve uygun maliyetli bir bağlayıcı yapı malzemesi üretimi mümkün olabileceği sonucuna varılmıştır. Karışımların kimyasal özelliklerinde önemli bir değişiklik olmamakla birlikte, mineral katkı ilavesi nedeniyle gözenek yapısında değişiklikler olmuştur.

Koçak ve ark., (2019) çalışmalarında pirinç kabuğu külünün, katkılı çimentoda su gereksinimi, priz süresi, basınç dayanımı ve hacim genişmesi gibi özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Pirinç kabuğu külü, çimento yerine ağırlıkça %0 ile %10 oranları arasında ikame edilmiştir. Elde edilen veriler, kullanılan hammaddelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre su ihtiyacı ve priz süresinde farklılıklar olduğunu göstermiştir. Pirinç kabuğu külü ikameli çimento harçlarının basınç dayanımı değerleri, kullanılan hammaddelerin özelliklerine, katkı oranlarına ve hidrasyon sürelerine bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca, pirinç kabuğu külü ikameli çimento harçlarının dayanımlarının, referans çimento harçlarına göre daha yavaş fakat artarak geliştiği belirlenmiştir. Pirinç kabuğu külü, çimento harçlarının özgül ağırlığını düşürerek, daha düşük özgül ağırlıklı çimento harçlarının üretimine de olanak sağlamıştır.

Atabey ve ark., (2020) çalışmalarında kalker ve metagabro agrega türleri kullanılarak yüksek dayanımlı betonlar üretilmiş ve agrega türünün beton özellikleri

üzerindeki etkisini incelemişlerdir. İki farklı agrega grubu ve mineral katkıları kullanılarak hazırlanan numunelere birim ağırlık, basınç dayanımı, su emme ve boşluk oranı, ultrases geçiş hızı ve yoğunluk deneyleri uygulanmıştır. Metagabro agrega ile elde edilen betonlar, kalker agrega ile elde edilen betonlara göre daha düşük basınç dayanımı göstermiştir. Ancak, metagabro agrega ve mineral katkıların beraber kullanıldığı karışımlarda en yüksek basınç dayanımı elde edilmiştir. Sonuç olarak, hem metagabro hem de kalker tipi agregalar kullanılarak yüksek dayanımlı beton elde edilebileceği ancak kalker tipi agregaların daha yüksek basınç dayanımı sağladığı belirlenmiştir.

Kurdowski ve ark., (2022) çalışmalarında Opole, Polonya yakınlarındaki Folwark yatağından elde edilen kalsine marnlar üzerinde araştırmalar yapmışlardır. Deneyler, kahverengi ve gri renkteki iki mermerin 900°C ve 950°C'de 60 dakika boyunca kalsine edilmesini içermiştir. Yapılan deneyler, kalsine edilmiş marnlar puzolanik-hidrolik özellikler sergilediğini ve çimentonun bileşiminde granüle yüksek fırın cürufu ve silisli uçucu kül yerine geçebileceğini göstermiştir. En iyi puzolanik-hidrolik özellikler, Folwark marnların 900°C'de kalsinasyonu ile elde edilmiştir.

Awadh ve ark., (2021) çalışmalarında tarım arazilerinin alternatifi olarak Fırat Formasyonu'ndaki marnı incelemişlerdir. Kufa çimento ocağındaki dokuz sondajda 41 marn örneği ve dört kalker örneği alınmıştır. Marn tabakasının ana oksitleri, Portland Çimentosu için ham madde olarak uygun olduğunu gösterilmiştir. Mermer, döner fırın beslemesi için uygun bir ham madde karışımı tasarlanmasında kullanılmış ve onaylanmış özelliklere uygun bir klinker üretilmiştir. Tasarlanan ham karışım, %80,30 marn ve %19,70 kalkerden oluşturulmuştur. Marn tabakasının kullanımı, arazi kilinin ideal alternatifi olarak kullanılabilir ve üretim maliyetlerini, enerji tüketimini ve ekipman aşınmasını azaltabileceği görülmüştür.

Rakhimova ve ark., (2021) çalışmalarında yüksek kalsit/alüminosilikat oranına sahip marnların alkali-aktivasyonlu harmanlanmış sistemler için tamamlayıcı malzeme olarak kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Ham marn yerine 800°C'de kalsine edilmiş marnın daha verimli olduğu tespit edilmiştir. 800°C'deki termal işlem, marnın alüminosilikat hidrat jel oluşturma kabiliyeti kazanmasını sağlamıştır. Oda sıcaklığında sertleştirilen alkali-aktivasyonlu öğütülmüş yüksek fırın

cürufu/kalsine edilmiş marn sistemleri, hidratlı sodyum silikat ile aktive edilmiştir ve yüksek fırın cürufu/kalsine edilmiş marn oranına bağlı olarak 28 günlük basınç dayanımı 27,5-40 MPa arasında değişmiştir. Kalsine marnın, alkali-aktivasyonlu harmanlanmış sistemlerde potansiyel bir tamamlayıcı malzeme olduğu görülmüştür.

Topçuoğlu ve ark., (2022) çalışmalarında tütün puzolanik özelliklerini belirlemek için asidik ve bazik karakterli tüflere kimyasal, mineralojik incelemeler ve puzolanik aktivite deneyleri yapmışlardır. Kızılkaya Formasyonu'na ait asidik tüfler stabilizasyon ve çimento üretimi için uygun olmasına rağmen yeterli basınç dayanımı sağlamamıştır. CaO oranının azlığından kaynaklandığı belirlenmiştir. Bu nedenle, CaO oranını artırmak için kireç katkısı kullanılması gerekmiştir. Karabakır Formasyonu'na ait bazik tüfler ise kimyasal özellikleri nedeniyle puzolanik reaksiyon oluşturmamış ve katkı malzemesi olarak kullanıma uygun görülmemiştir.

Alkayış ve ark., (2021) çalışmalarında betonun darbe dayanımı üzerinde lif içeriği, türü ve incelik oranının etkisini incelemiştir. Çoğu çalışma, çelik liflerin kullanım hacim oranını artırmanın darbe direncini artırdığını göstermiştir. Spiral ve kancalı uçlu çelik lifler, beton karışımına daha iyi kenetlenme sağladığı için tercih edilmiştir. Ayrıca, lif uzunluğunun artması da darbe dayanımını artırmıştır. Darbe dayanımı deneyleri, büyük ölçekli yapı elamanlarında tasarım için tamamen güvenli bir yöntem değildir ve sayısal analiz yöntemleri geliştirilmeye devam edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Lee ve ark., (2021) çalışmalarında amorf metal liflerin, çimento esaslı kompozitlerin eğilme ve çekme özellikleri ile darbe dayanımı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Numuneler, %1,0 veya %2,0 hacimce oranında eklenen 15 mm veya 30 mm uzunluğundaki amorf metalik lifler kullanılarak hazırlanmıştır. Statik eğilme ve çekme testlerinin ardından, yüksek hızlı (170 ve 300 m/s) darbe deneyi için 25 mm çaplı küresel bir mermi kullanılmıştır. Uzunluğu 30 mm olan amorf metalik lifler, gerilmenin emilmesi ve yayılmasını absorbe ederek çimento esaslı kompozitlerin eğilme, gerilme özelliklerini ve darbe direncini önemli ölçüde artırmıştır. Buna karşılık, 15 mm uzunluğundaki lifler daha küçük sonuçlar vermiştir.

Jawada ve ark., (2022) çalışmalarında polipropilen lifler ve geri dönüştürülmüş polipropilen liflerle takviye edilen çimento harçlarının taze ve

mekanik özelliklerini karşılaştırmışlardır. Her iki lif tipi için de takviye oranları, çimento harcının ağırlığının farklı yüzdelere ayarlanmıştır ve numuneler akış testi, basınç ve eğilme dayanımı ve tokluk yoluyla test edilmiştir. Sonuçlar, her iki lif tipinin de harç akışını azalttığını ve mekanik özelliklerini artırdığını göstermiştir. Geri dönüştürülmüş polipropilen lifler, ham polipropilen liflerden elde edilen karışımlarla benzer sonuçlar verirken, yeni polipropilen liflerle yapılan karışımlarla karşılaştırıldığında bükülme mukavemetinde önemli bir artış göstermiştir.

Erkek (2020), çalışmasında çekme ve eğilme dayanımı düşük olan betonun performansını arttırmak için çelik , polipropilen , makro ve karma lifler ekleyerek, yapılan deneysel çalışmalarla, farklı lif türlerinin özelliklerinin yalın betona göre nasıl bir fark yarattığını değerlendirmiştir. Deneylede, farklı narinlikte ve sarfiyat oranlarındaki lifler kullanılarak iki farklı beton üretilmiştir. Sonuçlar, tüm lif türlerinin betonun eğilme dayanımını artırdığını, ancak basınç dayanımını sınırlı bir şekilde etkilediğini göstermiştir. Çelik liflerin diğer liflere göre daha homojen dağıldığı ve beton bağıni bozmadığı tespit edilmiştir. Karma lifler, en yüksek eğilme dayanımı artışına sahip olmuştur. Ayrıca, liflerin betonun kırılmasını engellediği ve lifli betonların ilk çatlamadan sonra daha dayanıklı olduğu görülmüştür.

Latifi (2020), çalışmasında farklı oranlarda makro sentetik polipropilen lif eklenen beton karışımlarının taze ve sertleşmiş hal özelliklerini incelemiştir. Lif kullanımı, su azaltıcı katkı gereksinimini arttırmıştır. Basınç dayanımı ve elastisite modülü üzerinde kayda değer bir etki olmamıştır, ancak çekme, eğilme dayanımı ve sünekliği arttırmıştır. Lif kullanımı, karışımların boyutsal kararlılığı ve durabilite performansını pozitif etkilemiştir. Büzülme kaynaklı boy değişimi ve aşınma sonucu oluşan ağırlık kaybı değerleri azalmıştır.

Aydoğdu (2019), çalışmasında mikro ve makro sentetik lif donatılarının kullanımı ile birlikte, çimento yerine uçucu kül ikamesinin farklı oranlarının (10%, 20% ve 30%) beton karışımlarının özelliklerine etkisi incelemiştir. Taze ve sertleşmiş beton özellikleri için çeşitli deneyler yapılmıştır. Sonuç olarak, sentetik lif donatı kullanımının ve uçucu kül ikamesinin, betonların mekanik ve durabilite özelliklerinde önemli iyileşmeler sağladığı bulunmuştur. Ayrıca, sentetik lif donatılı

betonlarda, çimento yerine %30 oranına kadar uçucu kül ikamesi yapılması mümkün olduğu görülmüştür.

Cingi (2017), çalışmasında çimento esaslı lifli kompozitlerin yangın performansı araştırılarak yangına en dayanıklı reaktif pudra betonlarının (RPB) üretilmesi için deneyler yapmıştır. Çalışmada, silis dumanı ve sarı silis kumu içeren çimento esaslı lifli kompozit numuneleri kullanılmış ve polipropilen lifler ile farklı oranlarda takviye edilmiştir. Deneysel çalışmalar ve mikro yapı analizleri sonucunda, plastik lif oranının artmasıyla birlikte birim ağırlık kayıplarının ve basınç dayanım kayıplarının arttığı gözlemlenmiştir. Yangın ve yüksek sıcaklık ortamlarında plastik liflerin erimesiyle betondaki hava boşlukları artmakta ve basınç dayanım kayıpları yaşanmıştır. Agrega ve çimento arasındaki ara yüzeylerin yangın ile oluşan boşluklar nedeniyle açılması da betonun rijitliğini azaltmıştır.

Bacanlı (2019), çalışmasında sentetik makro liflerin betonların mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Dört farklı sentetik makro lif, belirli oranlarda betona katılarak numuneler üretilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda sentetik lif takviyeli betonların eğilme dayanımı ve tokluğu arttırmada etkili olduğu ancak basınç dayanımını etkilemediği görülmüştür. Ayrıca, sentetik liflerin türüne bağlı olarak eğilme dayanımı ve tokluk üzerinde farklı etkileri olduğu belirlenmiştir.

Pekdemir (2020), çalışmasında polipropilen lif katkısının farklı oranlarda ilavesinin beton numunelerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi deneysel olarak incelemiştir. Numuneler, taze beton birim kütleleri, basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı ve çökme oranları gibi özellikleri açısından değerlendirilmiştir. Sonuçlar, ilave edilen lif oranının artmasıyla basınç dayanımının azaldığını, eğilmede çekme dayanımının ise arttığını göstermiştir. Düşük oranlarda ve kısa uzunlukta PP lif katkısının taze beton kıvamına belirgin bir etkisi olmadığı ve mevcut etkilerin sınırlı kaldığı da belirlenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Portland Çimentosu

Portland çimentosu, yaygın olarak kullanılan bir çimento türüdür. Portland çimentosu, kalker, kil, silis ve demir cevherinden oluşan hammaddelerin öğütülüp karıştırılmasıyla elde edilen hidrolik bir bağlayıcı maddedir. Portland çimentosu üretimi, kalker ve kilin öğütülmesiyle başlayarak, diğer bileşenlerin eklenmesi ve pişirme işlemi ile klinker adı verilen malzemenin oluşmasını sağlar. Elde edilen klinker daha sonra öğütülerek ince bir toz haline getirilir ve çeşitli katkı maddeleriyle birleştirilerek Portland çimentosu üretilir. Portland çimentosu, suyla karıştırıldığında kimyasal reaksiyonlara girerek sertleşir ve dayanım kazanır.

Bu çalışmada TS EN 197-1 standartlarına uygun olarak kullanılan CEM I 42.5 R tipi çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri aşağıdaki Çizelge 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1 Portland Çimentosunun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Bileşenler	wt. (%)	Fiziksel ve Mekanik Özellikler	
SiO ₂	19,68	Yoğunluk, (g/cm ³)	3,11
Al ₂ O ₃	5,37	Priz başı, (dk.)	162
Fe ₂ O ₃	3,36	Priz sonu, (dk.)	268
CaO	62,57	Hacim genleşmesi, (mm)	1,00
MgO	0,96	Blaine (cm ² /g)	3313
SO ₃	2,70	2 günlük basınç dayanımı,	32,10
LOI	4,14	MPa	41,30
		7 günlük basınç dayanımı,	48,70
		MPa	
		28 günlük basınç dayanımı,	
		MPa	

3.1.2 Doğal Marn

Deney serilerinde kullanılan deney numuneleri, Orta Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Sinop ili, Erfelek ilçesinde bulunan doğal marn kaynaklarından temin edilmiştir. Doğal marnın kimyasal içeriği ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.2'de verilmektedir. Bu deney serilerinde, doğal marn optimum sıcaklıkta (800⁰C) kalsine edilerek harç numunelerinin üretimlerinde kullanılmıştır. Kalsinasyon işlemi sonrasında, tezde kullanılan "kalsine marn" olarak adlandırılan numunenin görünümü Şekil 3.1'de aşağıda verilmektedir.



Şekil 3.1 Kalsine Marna Ait Bir Görünüm

Çizelge 3.2 Doğal Marnın Kimyasal İçeriği ve Fiziksel Özellikleri

Bileşenler	wt.(%)	Fiziksel Özellikler	
SiO ₂	56,63	Yoğunluk, (g/cm ³)	2,73
Al ₂ O ₃	12,34	Blaine (cm ² /g)	4630
Fe ₂ O ₃	7,46	Elek üstü (%)	
CaO	12,91	45µm	21,36
MgO	2,83	90 µm	7,80
LOI	7,03	200 µm	1,57

3.1.3 CEN Kumu

Deney çalışmalarında, harçların dayanımını ölçmek amacıyla CEN standart kumu kullanılır. Bu kum, çimento veya diğer bağlayıcı malzemelerle karıştırılarak homojen bir harç elde etmek için tercih edilir. CEN standart kumu, özel olarak seçilmiş ve belirlenen standartlara uygun olarak üretilmiştir. Bu standartlara göre, kumun taneciklerinin homojen, tercihen yuvarlak ve silisyum dioksit içeriğinin en az %98 olması gerekmektedir (Çizelge 3.3). Deneylerde kullanılan CEN standart kumu, Limak Batı Çimento San. ve Tic. A.Ş.'den temin edilmiştir ve TS EN 196-1 standartlarına tam uygunluk göstermektedir. (Şekil 3.2)



Şekil 3.2 CEN Standart Kumu

Çizelge 3.3 CEN Kumuna Ait Granülometrik Dağılım

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

3.1.4 Lif

Lifler, betonun mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılır. Beton, tek başına kullanıldığında çekme, çatlama, yorulma gibi durumlarda yetersiz bir performans sergileyebilir. Bu nedenle, bu özellikleri iyileştirmek amacıyla farklı türlerde üretilmiş lifler kullanılır. Bu çalışmada üretilen numunelerde kullanılan polipropilen esaslı mikrosentetik liflere (Monofilament Polipropilen Mikro Lif) ve makrosentetik (Makro Sentetik Monofilament Kopolimer Lif)'dir. Kullanılan liflere ait bir görünüm Şekil 3.3 ve teknik özellikler ise Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5'de verilmektedir.



Şekil 3.3 Numunelerde kullanılan sırasıyla mikrosentetik ve makrosentetik lifler

Çizelge 3.4 Polipropilen esaslı mikrosentetik lif özellikleri

Renk	Beyaz
Kimyasal Yapı	%100 polipropilen
Özgül ağırlık	0,91
Su emme	Eser miktarda
Lif çapı (μm)	0,18 (nominal)
Lif uzunluğu (mm)	6
Özgül yüzey alanı (m^2/kg)	250
Çekme dayanımı (MPa)	300-400
Elastisite modülü (MPa)	~4000
Ergime noktası ($^{\circ}\text{C}$)	160
Tutuşma sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	365
Isı ve elektrik iletkenliği	Düşük
Asit direnci	Yüksek
Alkali direnci	%100

Çizelge 3.5 Polipropilen esaslı makrosentetik lif özellikleri

Renk	Beyaz
Nominal Yoğunluk (g/cm^3)	0.91 (EN 13392)
Lif Eşdeğer Çapı (mm)	0.450 (EN14889-2)
Lif Uzunluğu (mm)	40 \pm 4
Çekme Dayanımı	>600
Elastite Modülü (MPa)	~8000
Kopma Anındaki Uzama (%)	~9
Ergime Noktası ($^{\circ}\text{C}$)	200
Bozunma Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	365
Isı Ve Elektrik İletkenliği	Düşük
Asit Direnci	Yüksek
Alkali Direnci	Yüksek
Korozyon Direnci	Korozyona uğramaz
Kimyasal Yapı	Sentetik Kopolimer

3.1.5 Karışım Suyu

Deneylerde harç ve beton malzemelerinin işlenebilirliğini artırmak, kolay karıştırılmasını sağlamak, betonun yerleştirilmesi ve sıkışması için kullanılan karışım suyu, Ordu ili, Altınordu ilçesi şebeke suyu olarak tercih edilmiştir. Bu su, içme suyu kalitesine sahip olup asidik özelliklere sahip değildir, sülfat içermez ve tuz miktarı da beton ve donatıya zarar vermeyecek düzeydedir. Bu şekilde, uygun niteliklere sahip olan karışım suyu, deneylerde betonun istenen özelliklerini elde etmek için kullanılmıştır.

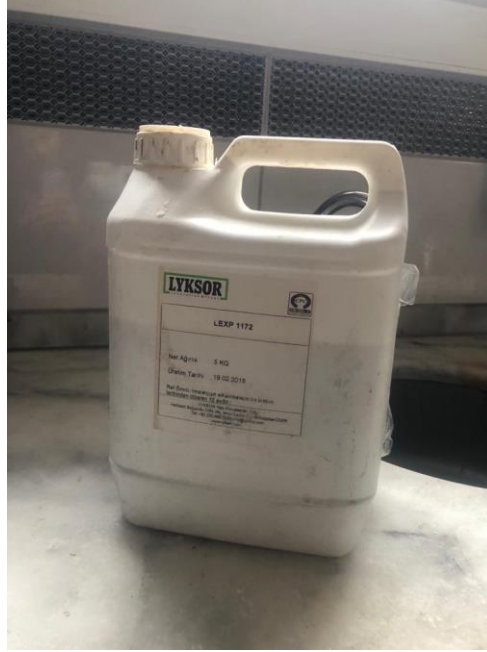
3.1.6 Süper Akışkanlaştırıcı

Geleneksel akışkanlaştırıcılar arasında lignosülfonatlar, sülfone naftalin formaldehit (SNF) ve sülfone melamin formaldehit (SMF) gibi bileşikler yer almaktadır. Yeni nesil süper akışkanlaştırıcılar arasında ise polikarboksilat esterler (PCE) bulunur. PCE' ler, daha yeni ve gelişmiş bir teknolojiye sahiptir. Bu kimyasal bileşikler, polimer zincirlerinden oluşur ve betonun içindeki partiküller arasında itici kuvvetler oluşturarak akışkanlığı artırır. PCE' lerin özel moleküler yapısı, suyun yüzey gerilimini azaltır ve betonun içine daha homojen bir şekilde dağılmasını sağlar. Bu sayede, betonun işlenebilirliği ve pompalanabilirliği iyileşirken su miktarı azaltılabilir, betonun mukavemeti artırılabilir ve dayanıklılık sağlanabilir.

Daha önce yapılan marn-katkı uyumu konulu literatür çalışmasına göre (Usta, 2019), marn içeren katkılı çimentolarla hazırlanan numunelerde, polikarboksilat eter (LEXP1172) olarak bilinen bir süperakışkanlaştırıcı kullanımına karar verilmiştir. Bu süperakışkanlaştırıcı, TS EN 934-2 standartlarına uygun olarak, karışım suyuna ilave edilerek harç bileşimine eklenmiştir. Süperakışkanlaştırıcı, marn yer değiştirme oranına bağlı olarak farklı oranlarda kullanılmıştır. %0, %10, %20 ve %30 marn yer değiştirme oranlarına sahip karışımlarda, çimento ağırlığının sırasıyla %0,8, %1, %1,1 ve %1,2 oranlarında süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır (Şekil 3.4).

Söz konusu süperakışkanlaştırıcı LEXP1172 kod adıyla anılmakta olup, polikarboksilat esaslı süperakışkanlaştırıcı, su azaltıcı ve yüksek performanslı bir beton katkıdır. Daha az su kullanarak betonun dayanımını artırır ve işlenebilirliği iyileştirir. Aynı su/çimento oranında optimum dozajda kullanıldığında daha homojen bir dağılım sağlar. Aynı dayanım, işlenebilirlik ve dayanıklılık seviyelerini korurken

daha düşük miktarda çimento içeren beton karışımları elde edilir. Betonun büzülme ve hidrasyon ısısını azaltırken, işlenebilirliği artırır ve dayanımı geliştirir.



Şekil 3.4 Numunelerin üretiminde kullanılan süperakışkanlaştırıcı

3.2 Yöntem

Bu tez çalışmasının deneysel süreci, Ordu Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Yapı ve Malzeme Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, TS 802 standardına uygun olarak 1m³ harç karışıma girecek bileşen miktarları hesaplanmıştır. Doğal marn 800 °C'de kalsine edilerek kullanılmıştır. Kalsine marn %0, %10, %20 ve %30 ikame oranları ile katkıli çimentolar üretilmiştir. Numunelerin üretiminde kullanılan polipropilen esaslı sentetik mikro (0.3-0.6 kg/m³) ve makro (2-4 kg/m³) liflerin miktarları düşük ve yüksek oranlarda karışımlara ilave edilerek harç numunelerinin üretimi gerçekleştirilmiştir. Harç numunelerinin kıvam deneyleri taze haldeyken yapılan mini çökme (slump) deneyleri ile belirlenmiştir. Numuneler Çizelge 3.6'da verildiği gibi etiketlenmiştir. Üretilen numuneler, kalıplarından 24 saat sonra çıkartılarak 28 gün boyunca sabit sıcaklıkta kür işlemi uygulanmıştır.

Çalışmada kullanılan malzemeler üzerinde puzolanik aktivite, fiziksel, kimyasal özellikler ve üretilen numuneler üzerinde de mini slump, özgül ağırlık, su emme, kılcal su emme, ultrasonik ses geçiş hızı, eğilme-basınç dayanımı, aşınma, sülfat direnci gibi deneyler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.6 Harç numune etiketleri

Çimento türü	Portland çimentolu	Marn katkılı çimentolu		
Yerdeğiştirme oranları	%0	%10	%20	%30
Lif yok	PC00	M100	M200	M300
Mikro lifli (0.3 kg/m ³)	PC003	M1003	M2003	M3003
Makro lifli (2 kg/m ³)	PC02	M102	M202	M302
Mikro lifli (0.6 kg/m ³)	PC006	M1006	M2006	M3006
Makro lifli (4 kg/m ³)	PC04	M104	M204	M304

3.2.1 Portland Çimentosu, Doğal Marnın ve Katkılı Çimentoların Karakterizasyonu

Portland çimentosu, beton ve diğer yapı malzemelerinin üretiminde yaygın olarak kullanılan bir bağlayıcı malzemedir. Fiziksel özellikleri arasında renk, tane büyüklüğü, yoğunluk ve dayanıklılık bulunur. Kimyasal özellikleri ise ana bileşenlerin oranları, mineral bileşimi ve hidratasyon reaksiyonlarıdır. Bu bilgiler, Ünye Çimento Fabrikası'ndan temin edilen örnekler üzerinde yapılan analizlerle elde edilmiştir (Çizelge 3.1).

Doğal marn, kalker veya dolomit minerallerinin metamorfizma sonucu oluşan bir tortul kayadır. Bu çalışmada doğal marnın karakterizasyonunda birim hacim ağırlığı ve Blain inceliği gibi parametreler kullanılmıştır. Birim hacim ağırlığı, malzemenin yoğunluğunu ifade ederken, Blain inceliği ise öğütme işlemi sonucu elde edilen tozun partikül boyutunu belirler. Bu bilgiler, öğütme işleminin yapıldığı firmalardan temin edilen doğal marn örnekleri üzerinde yapılan deneylerle belirlenmiştir (Çizelge 3.2).

Katkılı çimentolar, CEM I Portland çimentosuna kıyasla daha az klinker içermeleri ve çeşitli mineral bileşenlerin eklenmesiyle oluşmalarıyla öne çıkarlar. Bu mineral bileşenler arasında uçucu kül, yüksek fırın cürufu, puzolan ve kireç taşı gibi maddeler bulunabilir. Katkılı çimentoların ana bileşeni olan klinker, geleneksel Portland çimentosunun üretiminde kullanılan temel malzemedir. Ancak katkılı çimentolar, klinkerin yanı sıra çeşitli mineral katkı maddelerini içerir. Bu mineral katkıları, çimentonun performansını ve özelliklerini çeşitli şekillerde iyileştirebilir. Örneğin, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi katkıları, betonun dayanımını artırırken, puzolanlar su gereksinimini azaltabilir ve kireç taşı gibi bileşenler ise hidratasyon sürecini etkileyebilir. Katkılı çimentolar, düşük karbon salınımı ile çevreye daha duyarlı bir ürün sunar. Klinker içeriğinin azalması, karbon salınımını

azaltırken, mineral katkı maddelerinin kullanımı da enerji tasarrufunu teşvik eder. Bu da çimento ve beton üretiminde çevresel etkilerin azaltılmasına yardımcı olur.

3.2.2 Doğal Marnın Puzolanik Aktivite Deneyleri

Puzolanik aktivite, bir malzemenin hidrasyon reaksiyonlarına katılabilme yeteneğini ifade eder. Doğal marnın puzolanik aktivitesini değerlendirmek için genellikle ASTM C311, TS 25 gibi standart yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler, puzolanik malzemelerin hidrasyon reaksiyonlarına katılımını ölçmek için uygun deney prosedürleri sağlamaktadırlar. Deneyler genellikle, puzolanlar (doğal marn) istenilen öğütme değerlerine getirildikten sonra gerçekleştirilir. Deneylerin sonucunda, hidrasyon reaksiyonlarının hızı, kalsiyum hidroksit tüketimi hidrasyon ürünlerinin oluşumu ve mekanik dayanım gibi parametreler değerlendirilmektedir. Bu çalışmada puzolanik aktivite değerlendirmeleri yalnızca mekanik dayanım parametresi kullanılmıştır. Deney sonuçları, doğal marnın puzolanik aktivitesini belirlemek ve potansiyel olarak puzolanik malzeme olarak kullanılabilirliğini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Puzolanik aktivite yüksek olan doğal marnlar, çimento ile birlikte kullanıldığında betonun dayanım ve dayanıklılığını artırdığı, çatlak oluşumunu azalttığı ve kimyasal saldırılara karşı direnç sağladığı daha önce gerçekleştirilmiş literatür çalışmalarından bilinmektedir (Akgün, 2019). Doğal marnın puzolanik aktivite deneyleri, yapı malzemelerinin performansını iyileştirmek ve sürdürülebilir yapılaşmayı desteklemek için önemlidir. Bu deneyler, doğal marnın potansiyel puzolanik özelliklerini belirleyerek, malzeme seçiminde ve beton tasarımında optimum kararlar verilmesine yardımcı olmaktadır.

Doğal marnın puzolanik aktivite deneyleri, TS 25 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde, marnlar belirli bir ince öğütme derecesine getirilerek su ve kalsiyum hidroksitle karıştırılmış ve bu karışımdan elde edilen harç numunelerinin basınç dayanımı değeri ile puzolanik aktivite belirlenmiştir. Marn için TS 25 Standart'ındaki puzolanik aktivite deneyleri için gerekli olan malzeme miktarları ile aktivite deneyleri yapılmıştır.

3.2.3 Karışım Hesapları, Üretim ve Numunelerin Saklanması

Çimento ağırlığının %10, %20 ve %30 oranlarında doğal marn ve polipropilen esaslı sentetik mikro (0.3-0.6 kg/m³) ve makro (2-4 kg/m³) lifler içeren numuneler üretilmiştir. Bu deneysel tez çalışmasında, 20 adet deney serisi

planlanmıştır. Çalışma konusu olarak seçilen fiziksel zellikler, UPV, eğilme-basınç deneyleri için 6 adetx20 (deney serisi) = 120 adet prizma numune, kılcal su emme deneyleri için 3 adetx20 (deney serisi) = 60adet prizma numune, sülfat direnci ve aşınma deneyleri için 6adetx20 (deney serisi) = 120 adet küp numune olmak üzere toplam 300 adet prizma ve küp numune üretilmiştir.

Harç numunelerinin üretiminde kullanılan malzemelerin bileşim hesabı mutlak hacim yöntemi ile TS 802'e uygun olarak yapılmıştır. Numunelere ait bileşen miktarları izelge 3.7'de verilmektedir. Bileşenlere ait bir görünüm şekil 3.5 ve hassas terazide ölçümü şekil 3.6'da verilmektedir.



şekil 3.5 Bileşenlere ait bir görünüm



Şekil 3.6 Bileşenlerin hassas terazide ölçümü

Çizelge 3.7 Numunelere ait bileşen miktarları

Bileşenler	Yer Değiştirme Oranlarına Göre Bileşen Miktarları(kg/m ³)			
	0	10	20	30
Çimento	450	405	360	315
Marn	-	45	90	135
Lif yok	-	-	-	-
Mikro lif miktarı	0.3 ve 0.6	0.3 ve 0.6	0.3 ve 0.6	0.3 ve 0.6
Makro lif miktarı	2.0 ve 4.0	2.0 ve 4.0	2.0 ve 4.0	2.0 ve 4.0
Akışkanlaştırıcı	3.6(%0.8)	4.95(%1.1)	5.4(%1.2)	6.3(%1.4)
CEN	1350	1350	1350	1350
Su	225	225	225	225

TS EN 196-1 standardı gereğince, su ve çimento karıştırma kabına özenle eklenmiş, çimento ve su kaybı engellenerek doğru oranlarda karışım elde edilmiştir. İlk adımda, karıştırma kabında 30 saniye boyunca karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.7). Bu süre sonunda, kesintisiz bir şekilde tamamı kum, 30 saniye içinde kabın içine ilave edilmiştir. Karıştırıcı yüksek hıza getirilip ve 30 saniye daha karıştırma işlemine devam edilmiştir. Ardından karıştırıcı durdurulup ve 90 saniye süreyle beklenmiştir. Bekleme süresinin ilk 30 saniyesinde, kabın iç yüzeyine yapışan harç, elastik veya plastik bir sıyrıcı kullanılarak çeperlerden ve tabandan temizlenip ve ortada toplanmıştır. Karıştırmaya devam ederek, 60 saniye boyunca daha yüksek bir hızda homojen bir harç elde edilmiştir. Lifli karışımlarda bu aşamadan sonra hazırlanan harca lif takviyesi yapılmıştır.



Şekil 3.7 Çimento harç karıştırıcı

Hazırlanan homojen harç numunesi, önceden yağlanmış kalıplara dikkatlice yerleştirilmiştir (Şekil 3.8). Harç, her bir kalıp bölümüne iki tabaka halinde doldurulmuştur. İlk tabaka harç, uygun bir kepçe yardımıyla karıştırma kabından alınarak her bölümde kademe kademe doldurulmuştur. İlk tabakanın tamamen doldurulmasının ardından, aynı yöntemle ikinci tabaka harç eklenmiştir. Bu şekilde, her bir kalıp bölümü düzgün bir şekilde doldurulmuştur. Harç kalıplara doldurulduktan sonra, kalıplar özenle düzleştirilmiş ve yüzeyleri pürüzsüz hale getirilmiştir. Bu işlem genellikle düz bir mala veya benzeri bir alet kullanılarak yapılmıştır. Harç yüzeyinin düzgün ve homojen olması, numunenin sonuçların doğru bir şekilde elde edilmesini sağlamıştır. Harç kalıplara tamamen yerleştirildikten sonra, kalıplar önceden belirlenmiş bir süre boyunca dolu kalıplarda bekletilmiştir (Şekil 3.9). Bu bekletmeyle, harcın zamanla sertleşmesine ve olgunlaşmasına izin verilir. Kalıpların bekletildiği süre genellikle standartlara veya deney protokollerine bağlı olarak belirlenir. 40x40x160 mm boyutlarında prizmatik ve 50x50x50 küp kalıplara yerleştirilen numuneler, 24 saat sonra kalıplardan çıkarılmış ve etiketlenmiştir. Çıkarılan numuneler, kür tankına yerleştirilmiş ve 28 gün bekletilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.8 Deney serilerinde kullanılan kalıplar



Şekil 3.9 Kalıplara yerleştirilmiş numuneler



Şekil 3.10 Kür tankı

3.2.4 Mini Slump(Çökme) Deneyi

Taze harcın işlenebilirlik özelliğini değerlendirmek amacıyla mini çökme deneyi yapılmıştır. TS EN12350-2 standardına göre olarak gerçekleştirilen deneyde standardına uygun boyutlarda kesik bir koni kullanılmıştır. Koni içine, harç eşit şekilde 3 aşamada yerleştirilmiştir. Her aşama sonrasında, eşit sayıda vuruşlar ile malzemenin yerleşmesi sağlanmıştır. Gerekli standart üretim şartları yerine getirildikten sonra koni yukarı doğru dikkatlice çekilmiştir ve harcın çökme miktarı ölçülmüştür (Şekil 3.11). Çökme miktarının artması, harcın kendi ağırlığı altında daha fazla hareket etme yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir. Diğer bir deyişle, çökme miktarı ne kadar yüksekse, işlenebilirlik o kadar iyi olduğu anlamı taşımaktadır.



Şekil 3.11 Mini çökme sonrası ölçme işlemi

3.2.5 Birim Hacim Ağırlık Deneyleri

Harç numuneleri 28 gün boyunca kürlendikten sonra birim hacim ağırlık deneyleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra özgül ağırlık sehpası (Şekil 3.12) kullanılarak numunelerin doymun kuru yüzeyli (DKY) ve kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir.



Şekil 3.12 Özgül Ağırlık Sehpası

3.2.6 Su Emme Deneyleri

Bu çalışma kapsamında harç numuneleri üzerinde su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneydeki amaç, numunenin suyla temas halindeyken iç yapısında oluşacak buz kristallerinin genişleyebileceği potansiyel bir hacim olup olmadığını belirlemektir. Malzemelerin su emme değeri azaldıkça, donma etkisine karşı daha dayanıklı bir yapıya sahip olmaktadır. Bu nedenle, su emme deneyleriyle numunelerin donmaya karşı dayanıklılık seviyeleri değerlendirilmiştir.

W_k : Kuru ağırlık,

W_d : Suya doymuş ağırlığı göstermek üzere,

$$\text{Su emme oranı} = \frac{W_d - W_k}{W_k} \quad (3.1)$$

bağıntısıyla hesaplanmıştır.

Ayrıca, TS EN 772-4' e göre 28 günlük harç numuneler üzerinde yapılan ölçümler ile porozite tespitleri yapılmıştır. Tespitler için harç numunelerin doymuş yüzey kuru ağırlığı (W_{DKY}), sudaki ağırlığı (W_{su}) ile etüv kurutma sonrası kuru ağırlıkları (W_{kuru}) ölçülmüştür. P, poroziteyi (%), W_{DKY} , harç numunelerin doymuş yüzey kuru ağırlıklarını (g), W_{kuru} , harç numunelerin etüv kurusu ağırlıklarını (g), W_{su} , harç numunelerin su altındaki ağırlıklarını (g) göstermek üzere;

$$\text{Porozite (\%)} = (W_{DKY} - W_{kuru}) / (W_{DKY} - W_{su}) \times 100 \quad (3.2)$$

bağıntısıyla porozite değişimleri hesaplanmıştır (Gökçer ve ark., 2013).

3.2.7 Kılcal Su Emme Deneyleri

Kalsine marn katkılı, mikro ve makro lif takviyeli harç numunelerinin geçirimsizliklerini belirlemek amacıyla kılcal su emme değerleri belirlenmiştir. 28 günlük prizmatik harç numuneler üzerinde kılcal su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler ile hem kalsine marnın hem de mikro ve makro lif takviyelerinin numunelerin kılcal geçirgenlikleri üzerindeki etkiler incelenmiştir. Deneyler ASTM C1585 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler 28 günlük iken kür havuzundan alınarak su bileşeninin uzaklaştırılması için etüvde kurutulmuştur. Numunelerin, sadece alt kesitlerinden su geçişi olması için, diğer yüzeyleri epoksi ile kaplanarak su geçişi engellenmiştir (Şekil 3.13). Belirli zaman

aralıklarında (5, 10, 20, 30, 45, 60 ve 1440 dakika), numuneler sudan çıkarılarak hassas terazi ile ağırlıkları ölçülmüştür. Kılcallık katsayıları;

ΔQ : Ağırlık değişimi

A : Su ile temas eden yüzey alanı (cm²)

k : Kılcallık katsayısı

t : Deney süresi(dk)

$$\Delta Q/A = kx - \sqrt{t} \quad (3.3)$$

bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.13 Kılcal su emme deneyine ait bir görünüm

3.2.8 Aşınma (Böhme) Deneyleri

Numunelerin aşındırma işlemi sürtünme ile aşınma kaybı olarak adlandırılan Böhme standart (TS 2824) deneyi ile yapılmıştır (Şekil 3.14). Numunelerin yoğunluklarını belirlemek amacıyla doygun ve kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Aşındırma işlemleri tamamlandıktan sonra, hacimsel aşınma kaybı;

$$\Delta V = \text{Hacimsel kayıp (cm}^3\text{)},$$

$$\Delta m = \text{Ağırlık kaybı (g)},$$

$$\rho = \text{Yoğunluk (g/cm}^3\text{)}$$

$$\Delta V = \Delta m / \rho \quad (3.4)$$

bağıntısına göre hesaplanmıştır.



Şekil 3.14 Aşınma deneyinden bir görünüm

3.2.9 Sülfat Direnci Deneyleri

Numunelerin sülfata karşı direnç davranışlarını değerlendirmek için magnezyum sülfat (MgSO_4) çözeltisi kullanılmıştır. Magnezyum sülfat çözeltisi için 1 litre saf suya 1500g magnezyum sülfat tuzu eklenmiştir. Tuz, çözeltiliye yavaş yavaş ilave edilmiştir. Deneylerde en az 3 litre su kullanılması gerekliliği standartta (TS EN 1367) belirtilmektedir. Sıcaklık 20°C ve 30°C arasında sabit tutulmuştur. Tuz ilave edilirken çözelti iyi şekilde karıştırılmış ve hazır olduğunda sıcaklık $20 \pm 2^\circ\text{C}$ düşürülüp 48 saat boyunca muhafaza edilmiştir. Çözeltinin bir kısmı cam mezüre alınarak çözelti yoğunluğunun $(1,292 \pm 0,008)\text{g/ml}$ 'ye ulaşip ulaşmadığı deneyden önce hidrometre cihazı ile ölçülerek kontrol edilmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 Hidrometre ile ölçüm

Deney numunelerine kurutma-soğutma-çözelti-süzme çevrimleri 5 kez uygulanmıştır (Şekil 3.16 - Şekil 3.18). Kurutma işlemi $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 'lik etüvde (24 ± 1) saat boyunca kurutulmuş ve laboratuvar sıcaklığına getirilmiştir. Kurutma işleminden sonra numuneler 20 mm'lik çözelti ile kaplı olacak şekilde $(17\pm 0,5)$ saat doygun magnezyum sülfat çözeltili kap içerisine daldırılmıştır ve buharlaşma ve kirlenmeden korumak için kabın kapağı kapatılmıştır. Daldırma işleminden sonra numuneler çözülden çıkartılarak $(2\pm 0,25)$ saat suyu süzölmüştür. Takiben numuneler $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 'lik etüvde (24 ± 1) saat kurutulmuş ve $(5\pm 0,25)$ saat laboratuvar sıcaklığına erişmesi için soğutulmuştur.



Şekil 3.16 Numunelerin etüvde kurutulma işlemi



Şekil 3.17 Numunelerin çözelti içinden görünümü



Şekil 3.18 Numunelerin süzülme işlemi

5 çevrim sonrasında numuneler musluk suyu ile yıkanmış ardından etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutma işleminden sonra numunelerin tartılma işlemi yapılmıştır.

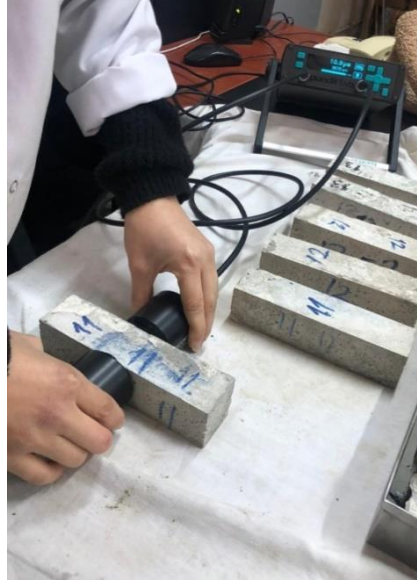
Sülfat direnci deneylerinde kullanılan numuneler deney başlangıcında 120 günlüktü. Çevrimler sonrası harç numunelerinin basınç dayanımları ve ağırlık değişimleri belirlenmiştir. Tüm çevrimlerin ardından harç numunelerinin ağırlıkları belirlenmiş ve ilk ağırlıklarından çıkarılmış ağırlık değişim miktarları % cinsinden aşağıdaki bağıntı (3.5) ile hesaplanmıştır. Benzer şekilde çevrim öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişim değerleri de bağıntı (3.6) ile hesaplanmıştır.

$$\text{Ağırlık değişimi (\%)} = [(Son\ ağırlık - İlk\ ağırlık) / İlk\ ağırlık] \times 100 \quad (3.5)$$

$$\text{Dayanım değişimi (\%)} = \left[\frac{\text{Son dayanım} - \text{ilk dayanım}}{\text{ilk dayanım}} \right] \times 100 \quad (3.6)$$

3.2.10 Ultrasonik Ses Geçiş Hızı Deneyleri

Ultrasonik ses geçiş hızı (Ultrasound Pulse Velocity), (UPV) tespit deneyi, numunelere gönderilen ses dalgalarının geçiş süresini ölçerek gerçekleştirilir. Bu deneyde, ses dalgalarının numuneler içindeki hızı belirlenmektedir. Ses dalgası hızı, genellikle betonun basınç dayanımı ve numunelerin iç yapı boşluk durumu hakkında bilgi sağlamaktadır. Bu çalışmada, UPV deneyi prizmatik numuneler üzerinde gerçekleştirilmiş ve ses dalgalarının geçiş süresi ölçülmüştür. Cihazın alıcı ve verici problemleri arasındaki yol tanımlandıktan sonra cihaz tarafından gönderilen ultrasonik ses dalgası geçiş süresi ve geçiş hızı belirlenmiştir. Ölçüm anından bir görünüm Şekil 3.19'da verilmektedir. Bu verilere göre, kaldırılmalı deney serileri arasında karşılaştırma yöntemi kullanılarak irdelenmeler yapılmıştır. Ses dalgalarının hızı, numunenin özgül ağırlığına, , çatlak yapısına, boşluk durumuna, kullanılan çimento türüne, homojenliğine ve içerdiki katkı maddelerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. TS EN 12504-4 ve ASTM C 597 gibi standartlara uygun olarak tasarlanan UPV ölçüm cihazı söz konusu standartlara uygun olarak kullanılmıştır. Cihaz okuma değerleri, betonun dayanıklılığını ve yapısal bütünlüğünü değerlendirmek için önemlidir. Ses dalgalarının hızı, numunelerin iç yapısındaki kusurları, çatlakları veya boşlukları tespit etmek için kullanılmaktadır. Ayrıca, betonun basınç dayanımı ve genel kalitesi hakkında bilgi vermektedir. UPV deneyi, inşaat sektöründe kullanılan yaygın tahribatsız (non-destructive) bir deney yöntemidir.



Şekil 3.19 Ölçüm anından bir görünüm

3.2.11 Eğilmede Çekme Deneyleri

Elastik malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek ve analiz etmek amacıyla kullanılan eğilmede çekme deneyi yöntemi kullanılmıştır. Harç numuneleri, eğilmede çekme deneyleri TS EN 12390-5'e göre belirlenmiştir. Deneyler için prizmatik numuneler kullanılmıştır. Deney numunelerinin orta noktaları tespit edilip Şekil 3.20'deki deney aletine yerleştirilmiştir. Numunenin üzerine pres yardımıyla düşey yük sabit yükleme hızıyla uygulanmış ve kırılma anındaki yük değeri (F) ve eğilme dayanımı tespit edilmiştir. Deney anında numuneler 28 günlüktü.



Şekil 3.20 Eğilme deneylerinden bir görünüm

3.2.12 Basınç Deneyleri

Harç numunelerin basınç dayanımları deneyleri TS EN 12390-5'e göre belirlenmiştir. Burada eğilmede çekme deneyleri sonrası kırılan parçalar üzerinde basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.21). Yükleme hızı, üniform gerilme artışı sağlayacak şekilde uygulanmıştır. Deney numunesinin kırıldığı andaki en yüksek yük (F) değeri ve basınç dayanımı belirlenmiştir. Deney anında numuneler 28 günlüktü.



Şekil 3.21 Basınç deneylerinden bir görünüm

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Doğal Marnın Puzolanik Aktivitesi

Bu tez çalışmasında kullanılan kalsine marnın puzolanik aktivitesi, daha önce gerçekleştirilen deneysel çalışmada (Akgün, 2019) kullanılan aynı rezerve ait marn malzemesine ait deney sonuçlarından alınmıştır. Buna göre, kalsine marnın puzolanik aktivitesine ilişkin değerler Çizelge 4.1’de verilmektedir. Çizelge 4.1’deki değerlere göre TS 25’in puzolanlar için uygunluk kriterlerinin sağlandığı görülmektedir.

Çizelge 4.1 Kalsine marnın puzolanik aktivitesi (Akgün, 2019)

TS 25 Limit Değerleri	Doğal Marn
Kireç-puzolan karışımı, 7 günlük basınç dayanımı > 4MPa	8.10MPa
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ ağırlıkça içerik >% 70	% 76.43
Özgül yüzey alanı > 3000cm ² /g	4630 cm ² /g

4.2 Harç Numunelerinin Mini Çökme Değerleri

TS EN 12350-2 standardına uygun olarak yapılan beton karışım deney serilerinde, karışımın taze durumdaki numuneler üzerinde mini çökme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Mini slump deneyleri sonucunda her bir karışım için belirlenen çökme değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Mini çökme değerleri

Numune Etiketleri	Lif Miktarı (kg/m³)	Katkı Oranı (%)	Mini Çökme (mm)
Lif yok			
PC00	0	0	25
M100	0	10	22
M200	0	20	20
M300	0	30	19
Mikro lifli (0.3 kg/m³)			
PC003	0.3	0	18
M1003	0.3	10	15
M2003	0.3	20	13
M3003	0.3	30	10
Mikro lifli (0.6 kg/m³)			
PC006	0.6	0	16
M1006	0.6	10	12
M2006	0.6	20	11
M3006	0.6	30	9
Makro lifli (2 kg/m³)			
PC02	2	0	17
M102	2	10	10
M202	2	20	9
M302	2	30	7
Makro lifli (4 kg/m³)			
PC04	4	0	15
M104	4	10	9
M204	4	20	7
M304	4	30	6

Lif içeriği arttıkça karışımın çökme değerlerinin azaldığı bu azalış ile de işlenebilirliğin kötüleştiği literatürden bilinmektedir. Kötüleşen işlenebilirlik bazı durumlarda istenmeyen bir durum gibi değerlendirilse de plastik kıvamdaki karışımların kohezyonu yönünden istenen bir özelliktir (Açıkgeç, 2012 ; Karahan, 2006).

Tüm numunelerdeki ortalama mini çökme değerleri, katkısız ve lifsiz serilerde (PC00) 20-25mm aralığında iken katkılı lifsiz serilerde (M100, M200 ve M300) 22-19mm, katkısız mikro ve makro lifli serilerde (PC003, PC006)-(PC02 ve PC04) sırasıyla 18-16mm, 17-15mm, katkılı mikro lifli serilerde (M1003, M2003 ve M3003)-(M1006, M2006 ve M3006) sırasıyla 15-10mm ve 12-9mm, katkılı makro serilerde (M102, M202 ve M302)-(M104, M204 ve M304) sırasıyla 10-7mm ve 9-6mm, aralığında değişkenlikler göstermiştir. Görüldüğü gibi, lifli ve kalsine marnlı harç karışımlarının slump değerlerinin tamamında düşüşler olmuştur. Lifsiz ve yalnızca kalsine marn yerdeğiştirmeli harç numunelerinde de (PC00, M100, M200 ve M300) kalsine marn miktarının artmasıyla düşüşler olmuştur. Ancak, bu düşüşler lif

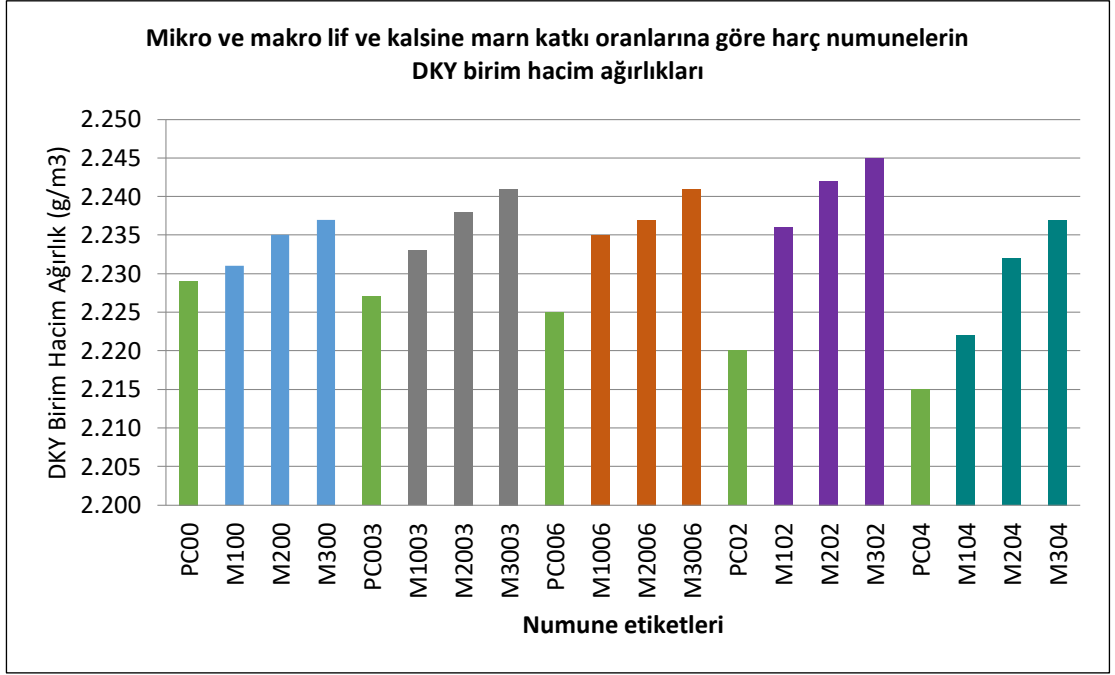
takviyesinde olduğu kadar olmamıştır. Literatürde yapılan çalışmalarda, bu düşüşlerin en önemli nedeni liflerin karışıma giren bileşenlerin karışım sırasında hareketini azalttığı ve işlenebilirliğin de azalması ile sonuçlandığını vurgulanmaktadır (Liu ve ark., 2005). Literatürde yapılan çalışmalarda karışımda kullanılan polipropilen lif takviyesinin karışımın su ihtiyacı üzerinde pek etkili olmadığını belirtmişlerdir (Aulia, 2002) Bu nedenle, slump değerlerindeki bu düşüşlere karşı, ya daha yüksek akışkanlaştırıcı oranlarıyla yapılacak tasarım çalışmaları ya da amaca uygun mineral katkı kullanımları ile giderilebileceğini düşündürmektedir. Bu çalışmada, artan kalsine marn miktarına bağlı olarak işlenebilirlik üzerinde oluşacak olumsuzluklara karşı süperakışkanlaştırıcı karışımlara dahil edilmiş olsa da mikro ve makro lifler karışımın işlenebilirliklerini kontrollü olarak azaltmıştır. Çalışmada kullanılan çimento inceliğinin altında inceliğe sahip kalsine marn işlenebilirliğin kontrollü düşüşünde etkili olduğunu da düşündürmektedir.

4.3 Harç Numunelerinin Birim Hacim Ağırlıkları

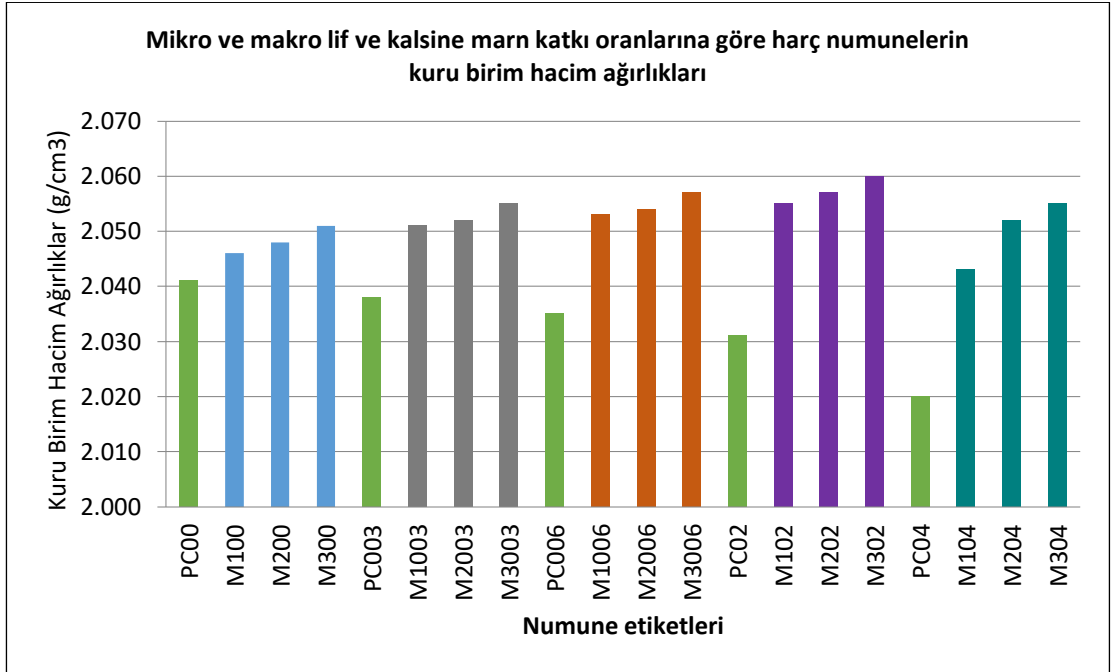
Harç numunelerinin birim hacim ağırlık deney değerleri Çizelge 4.3’de ve katkı ve lif türlerine göre değişim grafikleri ise Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilmiştir. Deney sonuçları, 28 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneylerden elde edilmiştir.

Çizelge 4.3 Kalsine marn katkılı ve mikro-makro lif takviyeli harç numunelerinin DKY ve kuru birim hacim ağırlıkları

Numune Etiketleri	Lif Miktarı(kg/m ³)	Katkı Oranı (%)	DKY Birim Hacim Ağırlıkları(g/cm ³)	Kuru Birim Hacim Ağırlıkları (g/cm ³)
Lif yok				
PC00	0	0	2.229	2.041
M100	0	10	2.231	2.046
M200	0	20	2.235	2.048
M300	0	30	2.237	2.051
Mikro lifli (0.3 kg/m³)				
PC003	0.3	0	2.227	2.038
M1003	0.3	10	2.233	2.051
M2003	0.3	20	2.238	2.052
M3003	0.3	30	2.241	2.055
Mikro lifli (0.6 kg/m³)				
PC006	0.6	0	2.225	2.035
M1006	0.6	10	2.235	2.053
M2006	0.6	20	2.237	2.054
M3006	0.6	30	2.241	2.057
Makro lifli (2 kg/m³)				
PC02	2	0	2.220	2.031
M102	2	10	2.236	2.055
M202	2	20	2.242	2.057
M302	2	30	2.245	2.060
Makro lifli (4 kg/m³)				
PC04	4	0	2.215	2.020
M104	4	10	2.222	2.043
M204	4	20	2.232	2.052
M304	4	30	2.237	2.055



Şekil 4.1 Mikro ve makro lif ve kalsine marn katkı oranlarına göre harç numunelerin DKY birim hacim ağırlıkları



Şekil 4.2 Mikro ve makro lif ve kalsine marn katkı oranlarına göre harç numunelerin kuru birim hacim ağırlıkları

Harç numunelerin birim hacim ağırlıkları karışıma giren tüm bileşenlerin özellikleri ve birim hacim ağırlıkları ile değişimler göstermektedir. Harç numunelerin karışımlarına giren kalsine marnın ile polipropilen liflerin birlikte

kullanıldığı serilerde marn ve lif miktarlarının artışı 28 günlük tüm harçların numunelerin birim hacim ağırlıklarında artışa neden olmuştur. Kalsine marn çimento inceliğinin altında öğütüldükleri için filler etki nedeni ile birim hacim ağırlıklarda yerdeğiştirme miktarının artması ile artış eğilimi göstermişlerdir. Polipropilen lifler harç karışımlarına yüksek miktarlarda dahil olmadıkları ve birim ağırlığının da (0.91g/cm^3) düşük olması nedeniyle söz konusu artış miktarı da az olmaktadır.

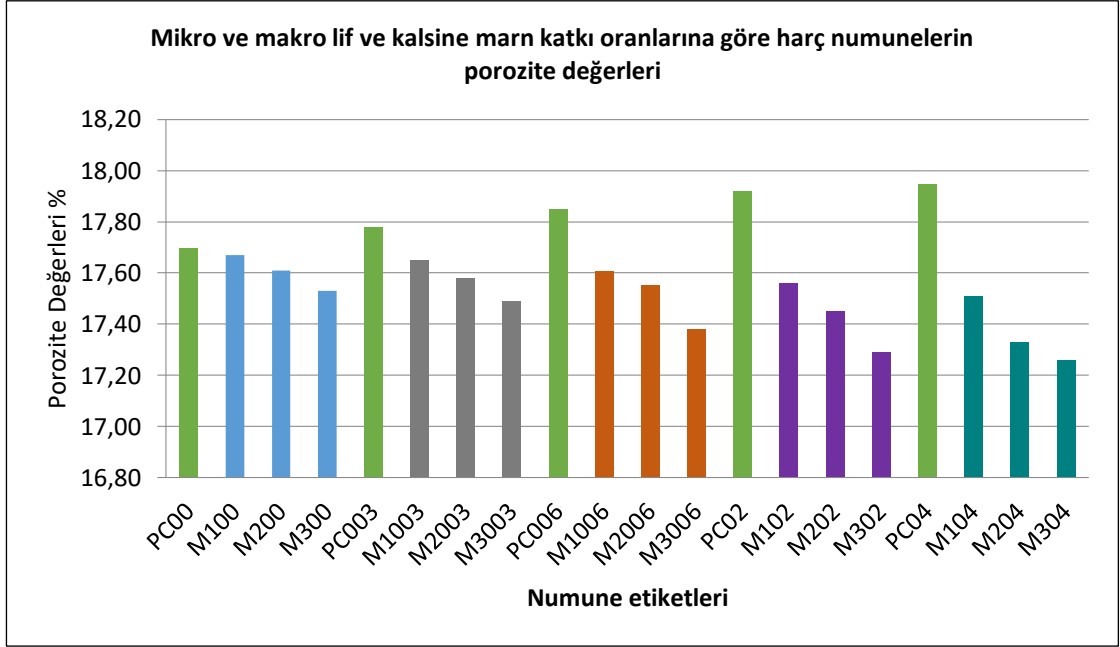
Tüm serilerde liflerin oluşturduğu topaklaşma sonucu meydana gelen boşluklu yapı kalsine marn katkılı çimento hamuru ile telafi edilmiş olduğu düşünülmektedir. Harçların DKY ve kuru birim hacim ağırlıklarının kalsine marn ve polipropilen liflerden nasıl etkilendiği mikro ve makro lifler için sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2' den görülmektedir.

4.4 Harç Numunelerinin Su Emme Değerleri

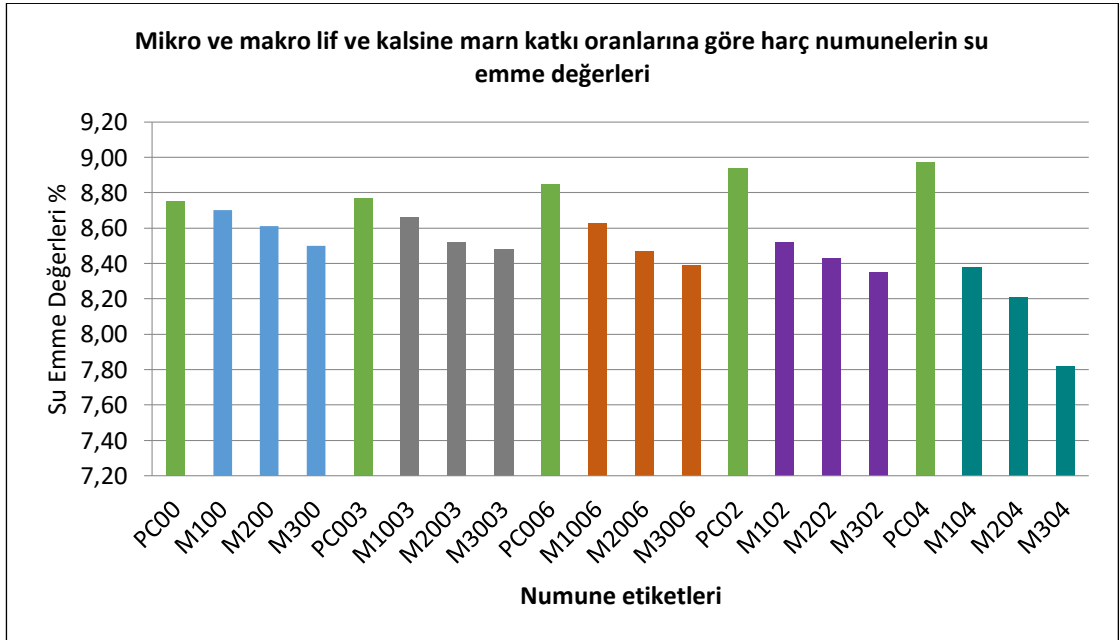
Çalışmada üretilen harç numunelerinin porozite ve su emme değerleri Çizelge 4.4'de ve katkı ve lif türlerine göre değişim grafikleri ise Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de verilmiştir. Deney sonuçları, 28 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneylerden elde edilmiştir.

Çizelge 4.4 Kalsine marn katkılı ve mikro-makro lif takviyeli harç numunelerin porozite ve su emme değerleri

Numune Etiketleri	Lif (kg/m ³)	Miktarı	Katkı Oranı (%)	Porozite (%)	Su Emme Oranı (%)
Lif yok					
PC00	0		0	17.70	8.75
M100	0		10	17.67	8.70
M200	0		20	17.61	8.61
M300	0		30	17.53	8.50
Mikro lifli (0.3 kg/m³)					
PC003	0.3		0	17.78	8.77
M1003	0.3		10	17.65	8.66
M2003	0.3		20	17.58	8.52
M3003	0.3		30	17.49	8.48
Mikro lifli (0.6 kg/m³)					
PC006	0.6		0	17.85	8.85
M1006	0.6		10	17.61	8.63
M2006	0.6		20	17.55	8.47
M3006	0.6		30	17.38	8.39
Makro lifli (2 kg/m³)					
PC02	2		0	17.92	8.94
M102	2		10	17.56	8.52
M202	2		20	17.45	8.43
M302	2		30	17.29	8.35
Makro lifli (4 kg/m³)					
PC04	4		0	17.95	8.97
M104	4		10	17.51	8.38
M204	4		20	17.33	8.21
M304	4		30	17.26	7.82



Şekil 4.3 Mikro ve makro lif ve kalsine marn katkı oranlarına göre harç numunelerinin porozite değerleri



Şekil 4.4 Mikro ve makro lif ve kalsine marn katkı oranlarına göre harç numunelerinin su emme değerleri

Deneyleerde, lif içermeyen serilerde kalsine marn miktarı artııkça su emme değęerlerinin azalma eğilimi, görülmüştür. Porozitenin azalmasına bağlı olarak su emme değęerlerinde de azalma meydana gelmiştir. Bu azalma, ince malzeme marn içeriğinin yerdeğiştirme miktarlarındaki artıştan kaynaklanmaktadır. Ayrıca, hem

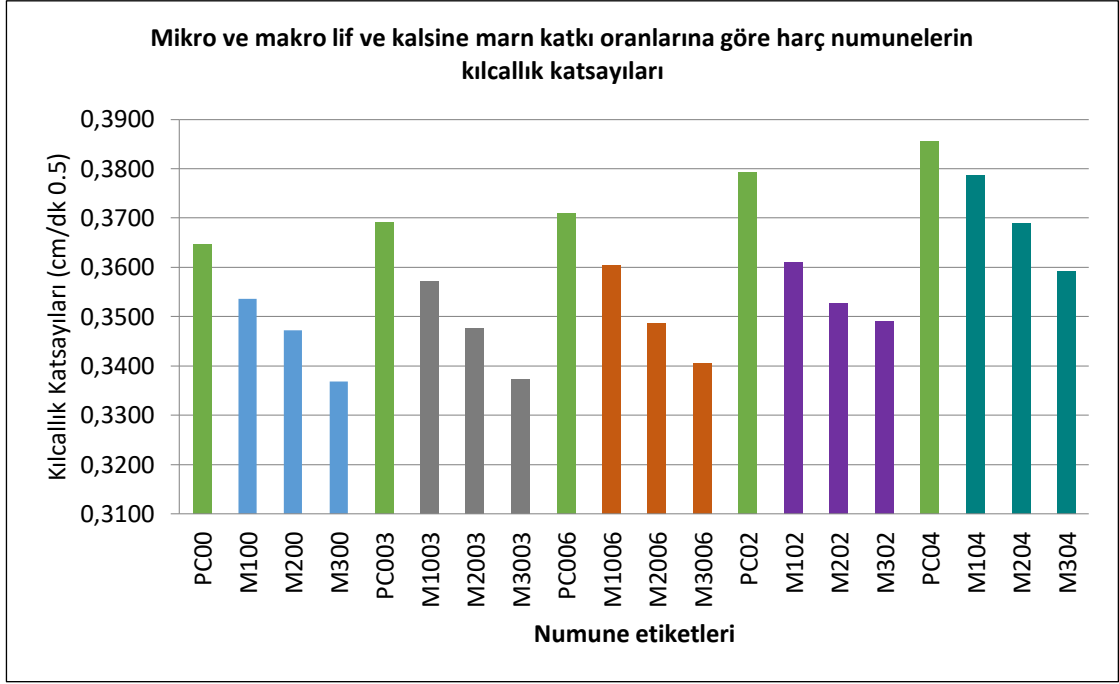
mikro hem de makro lif içeren ve kalsine marnlı serilerde kalsine marn yerdeğiştirme miktarı ve lif takviyesi içeriği artıkça harç numunelerin su emme değerlerinde de azalmalar olmuştur. Lifli serilerdeki durum için ise, kullanılan mikro ve makro liflerin yerleşimi boşlukluluğu bir miktar artırmış olsa da çimento inceliğinin altındaki bir incelikle öğütölmüş olan marnın boşluklara filler takviye yapması ile ilişkili olduğu düşünölmektedir. Su emici özellikte olmayan polipropilen lifler, lif içerikli harç numunelerin su emme değerlerindeki değişimlere olan etkisi kalsine marna göre daha düşüktür. (Ramezianpourve ark., 2013; Zhang ve ark. 2013).

4.5 Harç Numunelerinin Kılcallık Katsayıları

Çalışmada üretilen harç numunelerinin kılcallık katsayıları Çizelge 4.5 de ve katkı ve lif türlerine göre değişim grafikleri ise Şekil 4.5’de verilmiştir. Deney sonuçları, 28 günlük numuneler üzerinde gerçekteştirilen deneylerden elde edilmiştir.

Çizelge 4.5 Kalsine marn katkılı ve mikro-makro lif takviyeli harç numunelerin kılcal su emme oranları

Numune Etiketleri	Lif Miktarı (kg/m ³)	Katkı Oranı (%)	Kılcallık Katsayıları (cm/dk ^{0.5})	Kılcallık Değişimi (%)	Katsayısı
Lif yok					
PC00	0	0	0.3648	100	
M100	0	10	0.3536	96.93	
M200	0	20	0.3472	95.18	
M300	0	30	0.3368	92.32	
Mikro lifli (0.3 kg/m³)					
PC003	0.3	0	0.3692	100	
M1003	0.3	10	0.3572	96.75	
M2003	0.3	20	0.3475	94.12	
M3003	0.3	30	0.3373	91.36	
Mikro lifli (0.6 kg/m³)					
PC006	0.6	0	0.3710	100	
M1006	0.6	10	0.3604	97.14	
M2006	0.6	20	0.3487	93.99	
M3006	0.6	30	0.3406	91.81	
Makro lifli (2 kg/m³)					
PC02	2	0	0.3793	100	
M102	2	10	0.3610	95.18	
M202	2	20	0.3527	92.99	
M302	2	30	0.3491	92.04	
Makro lifli (4 kg/m³)					
PC04	4	0	0.3856	100	
M104	4	10	0.3786	98.18	
M204	4	20	0.3689	95.67	
M304	4	30	0.3592	93.15	



Şekil 4.5 Mikro ve makro lif ve kalsine marn katkı oranlarına göre harç numunelerin kılcallık katsayıları

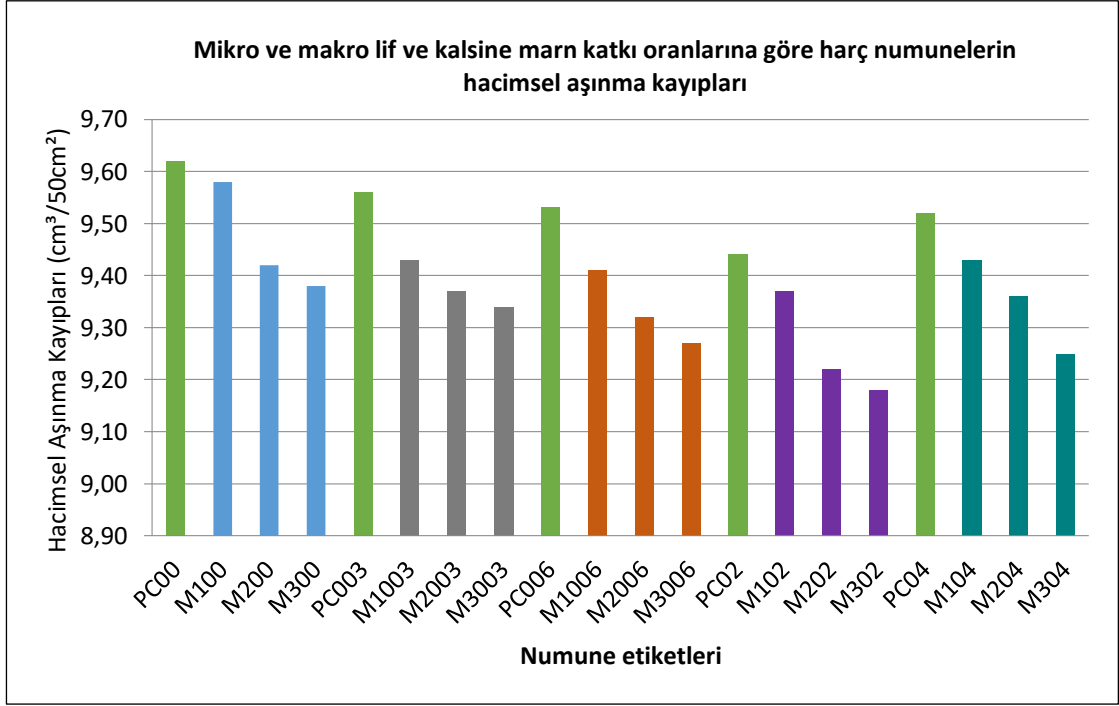
Polipropilen esaslı mikro ve makro sentetik lif ve kalsine marnlı katkılı çimento içeren harç numunelerin kılcallık katsayıları mikro ve makro lifler ve kalsine marn yerdeğiştirme miktarlarındaki değişimler ile birlikte değerlendirilmelidir. Lifsiz ve kalsine marn içerikli serilerde (P00, M100, M200 ve M300), kalsine marnın inceliğindeki artış ile geçirimsizlik artacağından kılcallık katsayıları düşmektedir. Lifli ve kalsine marn içerikli serilerin tümünde, lif miktarındaki artışlara bağlı olarak bir miktar artan boşlukları marnın filler etkisi ile geçirimsizlik meydana gelmesi nedeniyle kılcallık katsayıları azalmaktadır. Kalsine marn miktarındaki artış, kılcallık katsayıları üzerinde marnın inceliği ile ilişkili olarak daha etkili olurken, kılcallık katsayılarını tüm serilerde azaltmaktadır. Ancak, liflerin meydana getirdiği boşluklu yapı, kalsine marn içeriği olmayan serilerde (P003, P006, P02 ve P04) kılcallık katsayıları lifsiz serilerinkine göre (P00) artışa diğer bir deyişle daha geçirimli hale neden olmuştur. Aynı marn içerikli serilerde lif takviye miktarı arttıkça geçirimlilik artmaktadır.

4.6 Harç Numunelerinin Aşınma Deney Bulguları

Çalışmada üretilen harç numunelerinin hacimsel aşınma kayıpları Çizelge 4.6 de ve katkı ve lif türlerine göre değişim grafikleri ise Şekil 4.6' da verilmiştir. Deney sonuçları, 28 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneylerden elde edilmiştir.

Çizelge 4.6 Kalsine marn katkılı ve mikro-makro lif takviyeli harç numunelerinin hacimsel aşınma kayıpları

Numune etiketleri	Lif Miktarı(kg/m ³)	Katkı Oranı (%)	Hacimsel Aşınma Kayıpları (cm ³ /50cm ²)
		Lif yok	
PC00	0	0	9.62
M100	0	10	9.58
M200	0	20	9.42
M300	0	30	9.38
		Mikro lifli (0.3 kg/m³)	
PC003	0.3	0	9.56
M1003	0.3	10	9.43
M2003	0.3	20	9.37
M3003	0.3	30	9.34
		Mikro lifli (0.6 kg/m³)	
PC006	0.6	0	9.53
M1006	0.6	10	9.41
M2006	0.6	20	9.32
M3006	0.6	30	9.27
		Makro lifli (2 kg/m³)	
PC02	2	0	9.44
M102	2	10	9.37
M202	2	20	9.22
M302	2	30	9.18
		Makro lifli (4 kg/m³)	
PC04	4	0	9.52
M104	4	10	9.43
M204	4	20	9.36
M304	4	30	9.25



Şekil 4.6 Mikro ve makro lif ve kalsine marn katkı oranlarına göre harç numunelerinin hacimsel aşınma kayıpları

Mikro ve makro polipropilen liflerle takviye edilen kalsine marn katkılı harç numunelerde aşınma kaybına yönelik deneysel çalışmaların sonuçlarına göre, harç numunelerinin üretiminde kullanılan katkılı çimentodaki kalsine marnın yerdeğiştirme miktarı ve polipropilen lif içeriklerinin artması ile aşınma kayıplarının azaldığı görülmüştür. Diğer bir deyişle, karışımda farklı oranlarda bulunan mikro ve makro lifler ile kalsine marn içeriği harç numunelerinin aşınma direncini iyileştirmiştir. Genellikle, polipropilen lifli karışımlarda kullanılan miktarlara bağlı olarak uçucu kül ve silis dumanı gibi katkıları (Sümer ve ark. 2013 ve Mardani-Aghabaglou ve ark., 2014) ile yapılan karışım tasarımları içeren literatür çalışmalarında da belirtildiği gibi, bu çalışmada kullanılan çimento inceliğinin altında öğütülmüş kalsine marnın filler etkisi sayesinde boşluk yapıdaki azalma ve geçirimsizlik aşınma direncinin iyileşmesine katkı sağlamıştır.

Hacimsel aşınma kayıplarının azalması ile aşınma direncinin iyileşmesi anlamına gelen bu olumlu davranışın nedeni, kalsine marnın puzolanik reaksiyonlarının çimento hamur yapısı ve ince agrega-çimento hamuru ara yüzeyindeki iyileşmeler sayesinde olduğu düşünülmektedir. Söz konusu bu davranışlar literatür ile de uyumludur (Akgün ve ark., 2020). Literatürde lif içeren

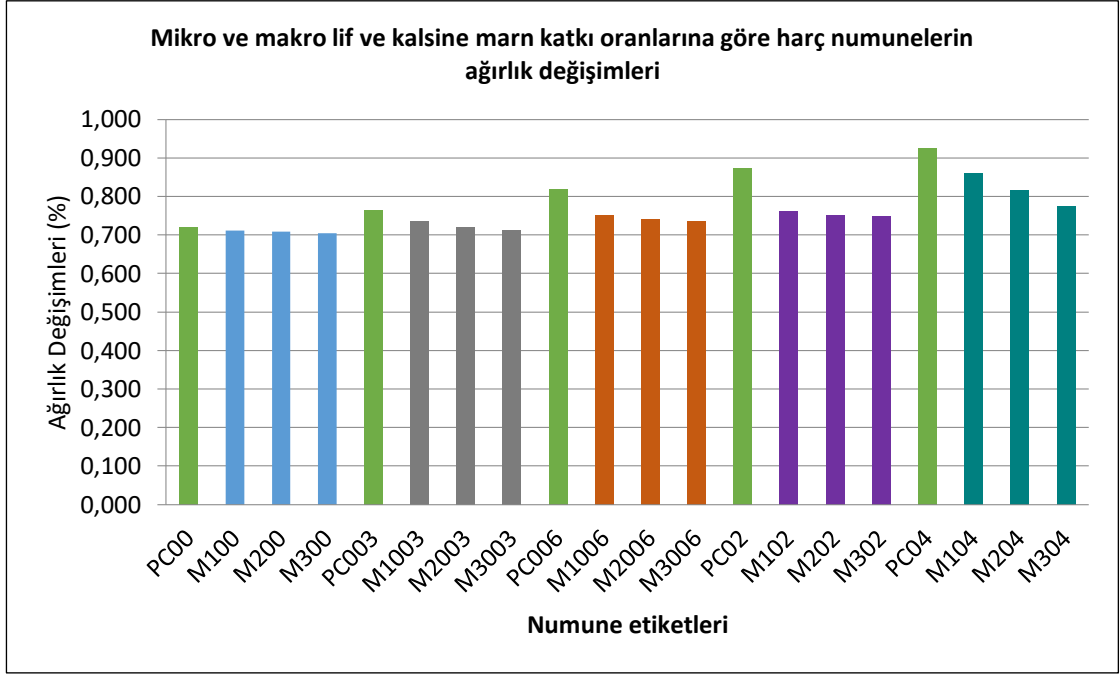
numunelerin aşınma dayanımlarının basınç dayanımları ile ilişkili olduğu da vurgulanmaktadır (Grdic ve ark., 2012) Bu çalışmada da basınç dayanımları yüksek olan harç numunelerin aşınma kayıplarının daha düşük olduğu görülmüştür. Harç numunelerin aşınma kayıplarının tamamı incelendiğinde, numunelerin aşınma direncinde yaklaşık %4.6'lık iyileşme görülmüştür.

4.7 Harç Numunelerinin Sülfat Direnci Değerleri

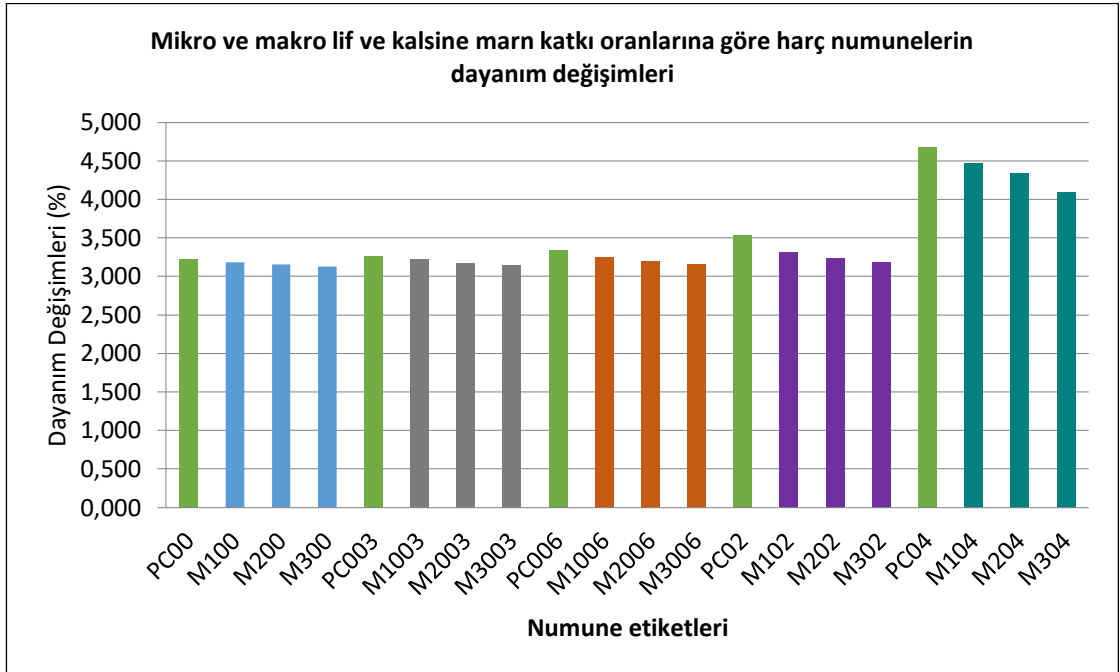
Kalsine marn katkılı çimento ve polipropilen esaslı mikro ve makro lif takviyesi içeren harç numunelerinin sülfat direncinin belirlenmesinde harç numunelerin ağırlık kaybı ve basınç dayanımı değerlerindeki değişim Çizelge 4.7' de ve değişim grafikleri Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de verilmektedir. Deney sonuçları, 120 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneylerden elde edilmiştir.

Çizelge 4.7 Kalsine marn katkılı ve mikro-makro lif takviyeli harç numunelerin sülfat direnci değerleri

Numune Etiketleri	Lif Miktarı (kg/m ³)	Katkı Oranı (%)	Ağırlık değişimi (%)	artışı	Dayanım değişimi (%)	azalışı
Lif yok						
PC00	0	0	0.721		3.221	
M100	0	10	0.712		3.180	
M200	0	20	0.709		3.156	
M300	0	30	0.704		3.124	
Mikro lifli (0.3 kg/m³)						
PC003	0.3	0	0.764		3.267	
M1003	0.3	10	0.736		3.215	
M2003	0.3	20	0.721		3.172	
M3003	0.3	30	0.713		3.143	
Mikro lifli (0.6 kg/m³)						
PC006	0.6	0	0.819		3.341	
M1006	0.6	10	0.752		3.254	
M2006	0.6	20	0.740		3.197	
M3006	0.6	30	0.736		3.162	
Makro lifli (2 kg/m³)						
PC02	2	0	0.873		3.536	
M102	2	10	0.762		3.314	
M202	2	20	0.751		3.232	
M302	2	30	0.747		3.189	
Makro lifli (4 kg/m³)						
PC04	4	0	0.926		4.673	
M104	4	10	0.859		4.465	
M204	4	20	0.815		4.341	
M304	4	30	0.773		4.090	



Şekil 4.7 Mikro ve makro lif ve kalsine marn katkı oranlarına göre harç numunelerin ağırlık değişimleri



Şekil 4.8 Mikro ve makro lif ve kalsine marn katkı oranlarına göre harç numunelerin dayanım değişimleri

Mikro ve makro lif takviyesi ve kalsine marn katkılı çimento içeren sülfata maruz bırakılan harç numunelerinin deneysel incelemeleri sonrasında elde edilen ağırlık ve basınç dayanımı değişimleri bulgularına göre, yalnızca mikro ve makro lif takviyesi içeren Portland çimentolu harç numunelerin ağırlık artışı ve dayanım

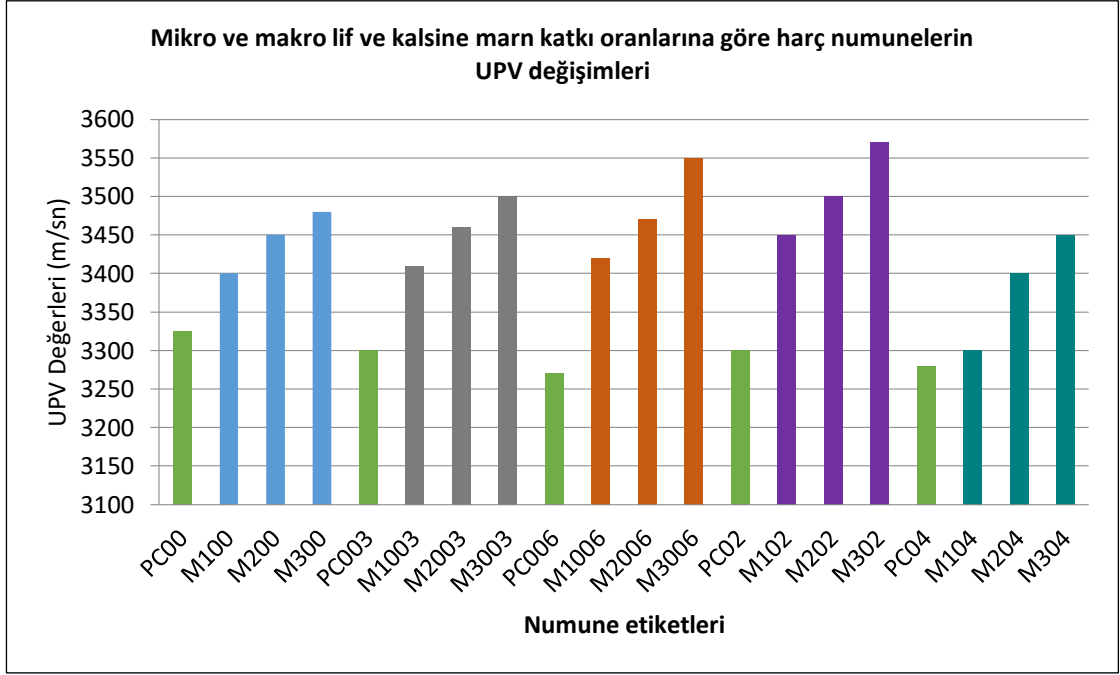
azalışı değişimleri lif artışına bağlı olarak artmıştır. Mikro ve makro lif takviyesi içeren kalsine marn katkılı çimentolu harç numunelerin ağırlık artışı ve dayanım azalışı miktarları kalsine marn yerdeğiştirmesi miktarı artışına bağlı olarak olumlu yönde değişimler göstermiştir. Sülfat direnci deneyleri sonunda bu değişimlerin nedeni, kalsine marnın imento inceliğinin altında öğütölmüş olması ile ince taneli yapısı harç numunelerinin boşluk miktarını azaltması ile geçirimsizlik artmıştır. Böylelikle, harç numunelerinin sülfat direnci dayanıklılıklarının kalsine marn sayesinde iyileşiği görölmektedir.

4.8 Harç Numunelerinin Eğilme, Basınç Dayanımları ve Ultrasonik Ses Geçiş Hızları

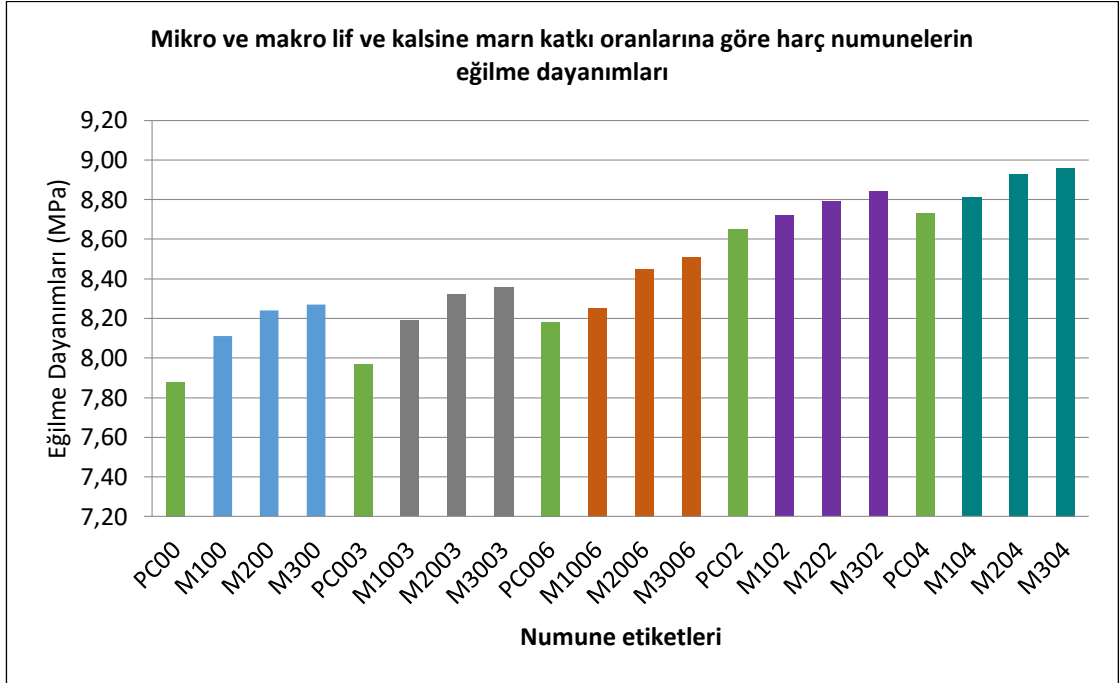
Kalsine marn katkılı imento ve polipropilen esaslı mikro ve makro lif takviyesi içeren harç numunelerinin UPV, eğilme ve basınç dayanımları izelge 4.8’ da ve değişim grafikleri şekil 4.9, şekil 4.10 ve şekil 4.11’de verilmektedir. Eğilme deneyinde kullanılan numunelere ait görünümler şekil 4.12, şekil 4.13, şekil 4.14 ve şekil 4.15’te verilmektedir. Deney sonuçları, 28 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneylerden elde edilmiştir.

Çizelge 4.8 Kalsine marn katkılı ve mineral katkı oranlarına göre harç numunelerin UPV, eğilme ve basınç dayanımları

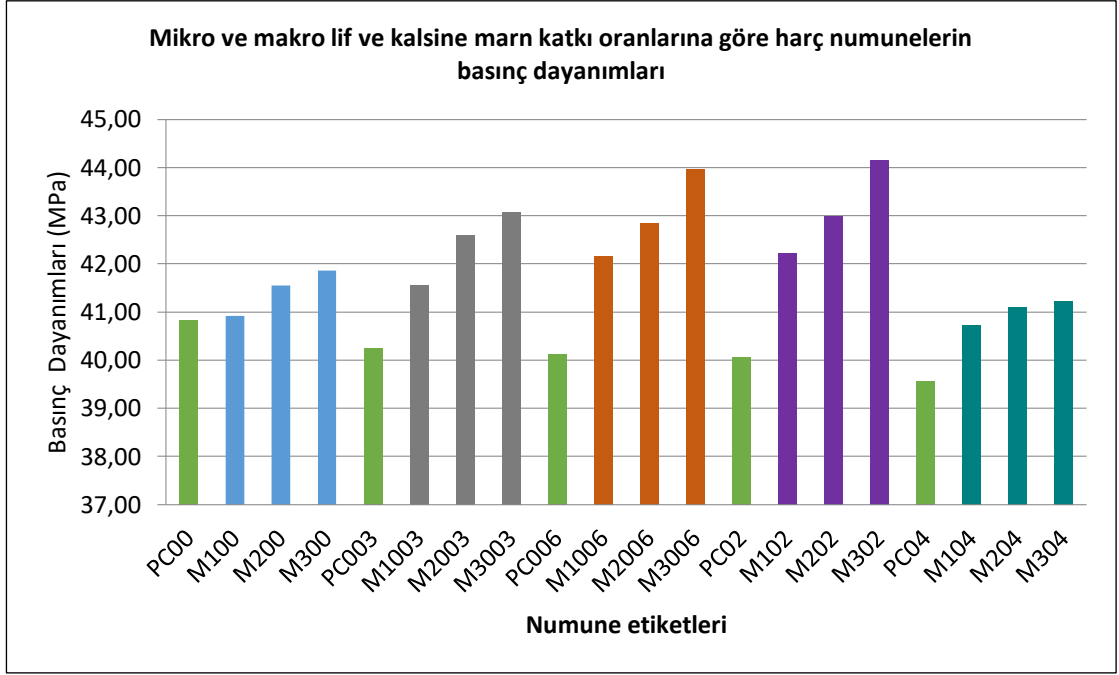
Numune Etiketleri	Lif Miktarı (kg/m ³)	Katkı Oranı (%)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Basınç dayanımı (MPa)	UPV Değerleri (m/sn)
Lif yok					
PC00	0	0	7.88	40.83	3325
M100	0	10	8.11	40.92	3400
M200	0	20	8.24	41.55	3450
M300	0	30	8.27	41.86	3480
Mikro lifli (0.3 kg/m³)					
PC003	0.3	0	7.97	40.24	3300
M1003	0.3	10	8.19	41.56	3410
M2003	0.3	20	8.32	42.59	3460
M3003	0.3	30	8.36	43.08	3500
Mikro lifli (0.6 kg/m³)					
PC006	0.6	0	8.18	40.12	3270
M1006	0.6	10	8.25	42.15	3420
M2006	0.6	20	8.45	42.83	3470
M3006	0.6	30	8.51	43.97	3550
Makro lifli (2 kg/m³)					
PC02	2	0	8.65	40.05	3300
M102	2	10	8.72	42.23	3450
M202	2	20	8.79	42.98	3500
M302	2	30	8.84	44.14	3570
Makro lifli (4 kg/m³)					
PC04	4	0	8.73	39.56	3280
M104	4	10	8.81	40.72	3300
M204	4	20	8.93	41.10	3400
M304	4	30	8.96	41.22	3450



Şekil 4.9 Mikro ve makro lif ve kalsine marn katkı oranlarına göre harç numunelerinin UPV değişimleri



Şekil 4.10 Mikro ve makro lif ve kalsine marn katkı oranlarına göre harç numunelerinin eğilme dayanımları



Şekil 4.11 Mikro ve makro lif ve kalsine marn katkı oranlarına göre harç numunelerin basınç dayanımları

Bu çalışmada, deney serilerindeki tüm harç numunelerin basınç dayanımları (4kg/m³ makro lif içerikliler hariç) kalsine marn ve lif içeriğine bağlı olarak artış eğilimi ile sonuçlanmıştır. Ancak, kalsine marn içermeyen P003, P006, P02 ve P04 serilerde kalsine marnın olmayışı ve liflerin meydana getirdiği boşluk nedeniyle basınç dayanımları P00 serilerine göre düşüşler göstermiştir (Song ve ark., 2005). Ayrıca 4 kg/m³ içerikli makro lifler içeren M104, M204 ve M304 seriler, M102, M202 ve M302 serilere göre basınç dayanımlarında düşüş göstermiş olsa da karışıma dahil olan kalsine marn ile söz konusu düşüş eğilimi M104, M204 ve M304 serilerde makro liflerin meydana getirdiği 2 kg/m³ makro lif içerikli serilere göre daha boşluklu yapıyı telafi etmeye başladığı görülmüştür. Yüksek makro lif içerikli serilerdeki bu dayanım düşüşleri olmasına rağmen 28 günlük yaşlardaki harç numunelerin basınç dayanımları yine de kabul edilebilir düzeydedir. Bu durum, harç numunelerin 28 günlük basınç dayanımlarının sonuçları olup kalsine marnın yüksek puzolanik özelliği sayesinde ileri yaşlardaki basınç dayanımlarını ilave bağlayıcılar sayesinde geliştireceği düşünülmektedir (Akgün ve ark., 2020).

Diğer taraftan, mikro ve makro polipropilen lif takviyesi harç numunelerin eğilme dayanımı değerlerini geliştirmiştir. Makro liflerin eğilme dayanımını geliştirmesi, donatı amaçlı takviye görevi nedeniyle, mikro liflere göre daha fazla

olmuştur. Makro liflerin eğilme etkisi altında oluşan çatlaklar üzerinde köprü etkisi oluşturarak betonun çatlama sonrası yük taşıma kapasitesini artırma davranışı literatür ile uyumludur (Song ve ark., 2005).

Harç numunelerin eğilmede çekme dayanımını arttıran polipropilen lifler, amacına uygun olarak ya mikro lifler ile kılcal çatlak kontrolü ya da makro lifler ile çatlak donatısı olarak, taşıyıcı elemanlarda kullanılabilirliği yapılan bu deneysel çalışma sonuçlarından görülmüştür.

Harç numunelerin kalsine marn içeriği sayesindeki boşluk yapısındaki azalma, ultrasonik ses dalga hızını artırmaktadır. UPV ölçüm yöntemi ile numunenin boşluk durumu ve kalitesi ile ilgili tahmini bir bilgi sağlanmaktadır. UPV değerlerindeki değişimlerin nedeni, karışıma giren kalsine marn ve polipropilen liflerin etkisi ile meydana gelmiştir. Tüm numunelerin UPV değerlerindeki değişimler basınç dayanımları ile benzer değişimler göstermiştir.



Şekil 4.12 Kırılmış numunelere ait genel görünüm



Şekil 4.13 Kırılmış numunelere ait kısmi görünüm



Şekil 4.14 Kırılmış numunelere ait yakın görünüm



Şekil 4.15 Kırılmış numunelere ait yakınlaştırılmış görünüm

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, lif takviyesi içeren karışım tasarımlarının iyileştirilmesi amacı ile harç numuneler üzerinde fiziksel, mekanik ve dayanıklılık ile ilgili parametrelerle dayalı deneysel incelemeler yapılmıştır. İki farklı polipropilen lif ve puzolanik mineral katkı farklı yerdeğiştirme miktarları ile deney serileri oluşturulmuştur. Deney serilerinden elde edilen bulgular kendi içlerinde ve birbirleriyle olmak üzere karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmadan elde edilen bazı sonuçlar aşağıda verilmektedir.

Yalnızca mikro ve makro polipropilen lif içeren serilerde olduğu gibi, hem kalsine marn hem de lif içeren serilerin üretimlerinde kullanılan taze haldeki harçların çökme miktarları lif ve kalsine marn değişimlerine bağlı olarak azalmıştır.

Çalışmadaki harç numunelerin doygun kuru yüzeyli ve kuru birim hacim ağırlıkları yalnızca lif içeren serilerde azalırken, lifin kalsine marn ile birlikte kullanılan serilerde kalsine marnın filler etkisi ile artmıştır.

Harç numunelerin porozite değişimleri, yalnızca lif içeren serilerde artarken, lifin kalsine marn ile birlikte kullanılan serilerde kalsine marnın inceliğinin Portland çimentosuna göre daha ince olması nedeniyle lifin meydana getirdiği boşluklu yapının telafi edilmesi ile azalmaktadır. Bu değişimler harç numunelerin su emme değerlerini kalsine marnsız serilerde artış kalsine marnlı serilerde azalış eğilimli olarak etkilemiştir.

Harç numunelerin geçirimsizlik özelliği belirlemeleri için elde edilen kılcallık katsayısı değişimlerinde yalnızca lif içerikli serilerde, lif miktarının artması ve lif tipinin değişimiyle mikro ve makro liflerin her ikisinde de geçirimsizlik artmıştır. Kalsine marn ve lif içeren serilerde ise, kalsine marn ve liflerin içeriklerinin artışıyla geçirimsizlik azalmıştır.

Harç numunelerin basınç dayanımları birim hacim ağırlıklardaki değişimlerle paralel eğilimler göstermiştir. Lif ve kalsine marn kullanımı harç numunelerin basınç dayanımlarını lif takviye miktarlarına ve kalsine marn yerdeğiştirme oranlarına bağlı olarak iyileştirmiştir. Basınç dayanımı bulgularında kalsine marn katkılı çimento içermeyen serilerin dayanımlarının düşmesi şeklinde meydana gelen durum, lif içerikli serilerin dayanımlarının geliştirilebilmesi için puzolanik mineral katkı

kullanımının gerekliliğini göstermektedir. Kalsine marn katkılı çimento içeren harç numunelerinin hem lifsiz hem de lifli serilerdeki dayanımlarındaki artış doğal marnın kalsinasyonu, onun kimyasal ve mineral içeriği, çimento inceliğinin altında oluşu gibi özellikleri sayesinde puzolanik aktivitesinin yüksekliği ile ilişkilidir (Danner ve ark., 2018; Akgün, 2019; 2020; 2021).

Çalışmadaki, polipropilen lif takviyeleri ile birlikte kalsine marn katkı kullanımı, harç numunelerin eğilmede çekme dayanımlarını da olumlu yönde geliştirmiştir. Çekme dayanımlarının yüksek olması beklentili taşıyıcı elemanlarda ya mikro lifler ile kılcal çatlak kontrolü ya da makro lifler ile çatlak donatısı olarak kullanılabilir olduğu deneysel bulgulardan görülebilmektedir.

Harç numunelerin ultrasonik ses dalga hızlarındaki değişimler, numunelerin boşluk yapısı ile ilişkilidir. Boşluksuz yapı UPV' yi artırmaktadır. UPV değerlerindeki değişimler, karışıma giren kalsine marn ve polipropilen liflerin miktarlarına bağlı olarak meydana gelmiştir. Tüm numunelerin UPV değerlerindeki değişimler basınç dayanımları ile benzer değişimler göstermiştir.

Mikro ve makro polipropilen liflerle takviye edilen kalsine marn katkılı çimento içeren harç numunelerde aşınma kaybına yönelik deneysel çalışmaların sonuçlarına göre, harç numunelerin üretiminde kullanılan katkılı çimentodaki kalsine marnın yerdeğiştirme miktarı ve polipropilen lif içeriklerinin artması ile aşınma kayıplarının azaldığı görülmüştür.

Kalsine marn katkılı çimento içeren harç numunelerin sülfat direncine dayanıklılıkları iyileşmektedir. Bu iyileşmenin nedeni, kalsine marnın çimento inceliğinin altında öğütülmüş olması ile ince taneli yapısı harç numunelerinin boşluk miktarını azaltması ile geçirimsizlik meydana gelmesidir.

Bu çalışmada, yüksek makro lif içerikli (4 kg/m^3) serilerde görülen dayanım düşüşlerindeki durum için her ne kadar ileri yaş basınç dayanımlarının kalsine marnın yüksek puzolanik özelliği sayesinde puzolanik aktivite ile ilave bağlayıcılar sayesinde gelişeceği literatürden öngörülebilse de, harç numunelerin 28 günlük basınç dayanımlarının sonuçları kabul edilebilir düzeyde olsa da bu durumun erken yaşlarda da giderilebilmesi için makro liflerin $2-4 \text{ kg/m}^3$ aralığı farklı karışım tasarımları ile de daha sonraki araştırma çalışmalarında incelenmelidir.

Özetle yapılan deneysel çalışma sonuçlarına göre, 0.6 kg/m³' e kadar mikro ve 4 kg/m³' e kadar makro polipropilen esaslı sentetik lif takviyesi ve %30' a kadar kalsine marn yerdeştirmeli katkılı çimento içeren harç numunelerin dayanım ve dayanıklılık özelliklerinde olumlu gelişimlerin olduğu gözlemlenmiştir. Buna göre, mikro ve makro lif kullanımlarında, çimento inceliğinin altında öğütölmüş puzolan özellikli mineral katkı kullanılmasının, elde edilen ürünün performansının iyileştirilmesi yönünden, önemli olduğu belirlenmiştir.

6. 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., & Alyamaç, K. E. (2012). Farklı karışım oranlarına sahip polipropilen lifli betonların dayanım ve durabilite özellikleri. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 4(3), 41-54.
- Akgün Y. (2020). Behavior of concrete containing alternative pozzolan calcined marl blended cement. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 64, (4), 1087-1099
- Akgün Y. (2021). Thermal performance of mortars/concretes containing calcined marl as alternative pozzolan. *Emerging Materials Research*, 10, (3), 246-256.
- Akgün, Y. (2019). Alternatif puzolan kalsine marn içeren sürdürülebilir katkıli çimentolar. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10(2), 779-789.
- Akgün, Y., & Yazıcıoğlu, Ö. F. (2020). Experimental research on alternative pozzolan analcime to clinoptilolite. *Revista Romana de Materiale*, 50(4), 502-509.
- Alkayış, M. H., & Başıyigit, C. (2021). Lif Katkısının Beton Darbe Dayanımına Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 455-462.
- Aruntas, HY., & Tokyay, M. (1996). Katkılı çimento üretiminde diatomitin puzolanik malzeme olarak kullanılabilirliği. *Çimento Ve Beton Dünyası*, Ankara, 1(4):33- 41.
- ASTM C 311. (1994). Standart Test Method for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use a Mineral Admixtural Portland – Cement Concrete. American Society for Testing Materials (ASTM), Philadelphia, USA.
- ASTM C 597. (1998). Standard test method for pulse velocitythrough concrete. American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, USA.
- ASTM C 618. (1994). Standart specification for coal fly ash and raw or calcined natural puzolan for use as a mineral admixture in Portland cement concrete. American Society for Testing Materials (ASTM), Philadelphia, USA.
- ASTM C-1116, “Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete,” American Society for Testing and Materials, USA
- ASTM C1585. Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes, Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, USA, 2007.
- Atabey, İ. İ., Çelikten, S., & Ümit, Y. U. R. T. (2020). Farklı mineral katkıli yüksek dayanımlı betonlarda metagabro agregalarının kullanılabilirliğinin araştırılması. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 8(3), 514-522.

- Aulia, T. B. (2002). Effects of polypropylene fibers on the properties of high-strength concretes. Institutes for Massivbau and Baustofftechnologie, University Leipzig, Lacer, 7.
- Awadh, S. M., & Al-Owaidi, M. R. (2021). Designing Raw Mix for Manufacturing Portland Cement using Euphrates Formation Marl Instead of Clays. *The Iraqi Geological Journal*, 87-97.
- Aydoğdu, A. (2019). Mikro ve makro sentetik fiber donatılı Kangal Termik Santrali uçucu kül ikameli betonların bazı mekanik ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Aytekin, S., Güneyli, H., & Yüksel, Ö. (2008). Uçucu küllerin killi zeminler üzerindeki etkileri. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(2), 207-217.
- Bacanli, C. (2019). Polimer esaslı sentetik makro lif takviyeli betonların mekanik özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Yozgat Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yozgat.
- Bayraktar, O. Y. (2021). Yüksek Hacimli Çimento İçerikli Kompozitlerde Polipropilen Lif ve Alçıtaşı Kullanımının Mühendislik Özellikleri Üzerindeki Etkisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(5), 2036-2051.
- Berkgil, M., & Yaşar, A. Y. A. Z. (2020). polipropilen lif katkılı kerpiç tuğlaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 13(1), 105-114.
- Chen, B., & Liu, J. (2005). Contribution of hybrid fibers on the properties of the high-strength lightweight concrete having good workability. *Cement and Concrete Research*, 35(5), 913-917.
- Cingi, R. (2017). Çimento esaslı lifli kompozitlerin yüksek sıcaklık ve yangın etkisinde davranışı. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Danishyar, F. (2021). Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu esaslı geopolimer kompozit malzeme özelliklerine polipropilen lif katkısının etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyonkarahisar.
- Danner, T., Norden, G., & Justnes, H. (2018). Characterisation of calcined raw clays suitable as supplementary cementitious materials. *Applied Clay Science*, 162, 391-402.
- Demirel, Ö., & Demirhan, S. (2021). Investigation of microstructural properties of high-volume fly ash blended cement mortars including micronized calcite. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36(4), 2255-2269.
- EN, T. (2011). 1367-2, "Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler Bölüm 2: Magnezyum sülfat deneyi". Türk Standartları Enstitüsü. Erdoğan, T.Y., 2003. Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş.,

- Erdoğan, T.Y. Mineral katkı maddeleri, S. 169 – 208, 2003, Portland çimentoları ve diğer çimento türleri, S. 17 – 37, 2003. [Editörler: Erdoğan, T.Y. Beton, 741 S., ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., Ankara].
- Erkek, O. (2020). Lifli betonların davranışının deneysel olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yapı Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Gökçer, B., Yıldız, S., & Keleştemur, O. (2013). Atık mermer tozu ve cam lif katkılı harç numunelerinin yüksek sıcaklık altındaki davranışları. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 5(2), 42-55.
- Grdic, Z. J., Curcic, G. A. T., Ristic, N. S., & Despotovic, I. M. (2012). Abrasion resistance of concrete micro-reinforced with polypropylene fibers. *Construction and Building Materials*, 27(1), 305-312.
- Güleryüz, E., Süleyman, Ö. Z. E. N., & Mardani-Aghabaglou, A. (2020). Mineral katkı kullanımının hava sürükleyici katkılı çimentolu harçların taze ve sertleşmiş hal özelliklerine etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(6), 1053-1061.
- Jawad, H. S., & Al-Haydari, I. S. (2022). Sustainable Use of Polypropylene Fibers as a Cement Mortar Reinforcement. *International Journal of Engineering*, 35(8), 1494-1500.
- Karahan, O. (2006). Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- Kaya, T. İ., Karakuzu, K., Mardani, A. L. İ., & Doğançün, A. D. E. M. (2022). Yüksek sıcaklığın polipropilen lif takviyeli horasan harcının bazı özelliklerine etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (37), 96-101.
- Kırgız, M. S. (2008). Mineralojik Katkıların Çeşitli Tanımları, Sınıfları, Özellikleri Ve Kullanım Alanları (Bölüm 1). *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(2), 118-127.
- Kurdowski, W., & Baran, T. (2022). Margiel prazony jako potencjalny składnik główny cementu. *Cement Wapno Beton*, 27(5), 346-354.
- Latfı, 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, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Lee, S., Kim, G., Kim, H., Son, M., Choe, G., Kobayashi, K., & Nam, J. (2021). Impact resistance, flexural and tensile properties of amorphous metallic fiber-reinforced cementitious composites according to fiber length. *Construction and Building Materials*, 271, 121872.
- Mardani-Aghabaglou, A., Hosseinezhad, H., Boyacı, O. C., Ariöz, Ö., Yaman, İ. Ö., & Ramyar, K. (2014, September). Abrasion resistance and transport properties of road concrete. In *12th International Symposium on Concrete Roads* (pp. 23-26).

- Nas, M. (2015). Zeolit ve Metakaolin İçeren Betonların Bazı Dayanım ve Dayanıklılık Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- Öncel, F. A. (2021). Çelik ve polipropilen lif ilavesinin betonun davranışına etkisi: Statik ve dinamik değerlendirme. Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adıyaman.
- Özdemir, İ., & KOÇAK, Y. (2020). Pirinç Kabuğu Külü İkameli Çimentoların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. *El-Cezeri*, 7(1), 160-168.
- Öztürk Yarar, D. (2021). Polipropilen lif ile güçlendirilmiş köpük betonlarda taban külünün hafif agrega olarak kullanımının araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Kastamonu.
- Pekdemir, N. R. (2020). Polipropilen lif oranının betonun eğilmede çekme ve basınç dayanımına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gümüşhane.
- Rakhimova, N., Rakhimov, R., Morozov, V., Potapova, L., & Osin, Y. (2021). Marl as a supplementary material to alkali-activated blended cements. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 25(13), 2491-2508.
- Ramezaniyanpour A.A., Esmaeili M., Ghahari S.A. & Najafi M.H. (2013). Laboratory study on the effect of polypropylene fiber on durability, and physical and mechanical characteristic of concrete for application in sleepers. *Construction and Building Materials*, 44: 411-418.
- Rudolf, D. (1984). Türkiye'deki Doğal Puzolanların Çimento Katkı Maddesi Olarak Kullanımı Üzerine İncelemeler. *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği*, Ankara
- Song, P. S., Hwang, S., & Sheu, B. C. (2005). Strength properties of nylon-and polypropylene-fiber-reinforced concretes. *Cement and concrete research*, 35(8), 1546-1550.
- Sümer, B., & SARIBIYIK, M. (2013). Betonda silis dumanı ve polipropilen lif kullanımının beton özellikleri üzerine etkilerinin incelenmesi. *Sakarya University Journal of Science*, 17(2), 217-224.
- Şahbaz, İ., & ÜNSEVER, Y. S. (2020). Çimento ve polipropilen lif kullanarak düşük plastisiteli kil zeminlerin iyileştirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(3), 1409-1420.
- Topçuoğlu, Y. A., & Gürocak, Z. (2022). Asidik ve bazik karakterli tüflerin puzolanik özelliklerinin araştırılması. Elazığ ve Gümüşhane yörelerinden örnek bir çalışma. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(4).
- TS 25. (2008). Doğal puzolan (tras)-Çimento ve betonda kullanılan-Tarifler, gerekler ve uygunluk kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü.

- TS 2824 EN 1338, 2005, Zemin Döşemesi İçin Beton Kaplama Blokları-Gerekli Şartlar ve Deneysel Metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS 802 (2009) “Beton Karışımı Hesap Esasları”, Türk Standardı Enstitüsü.
- TS EN 12350-2. (2010). Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 12390-5 “Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 5 : Deneysel Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini” , Türk Standartları Enstitüsü, 2019.
- TS EN 12504-4 “Yapılarda Beton Deneyleri – Bölüm 4 : Ultrasonik Atımlı Dalga Hızının Tayini” , Türk Standartları Enstitüsü, 2021.
- TS EN 196-1. (2009). Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Ankara.
- TS EN 197-1 “Genel Çimentolar- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri”, Türk Standartları Enstitüsü, 2002.
- TS EN 934-2, 2002. Kimyasal Katkılar- Beton, Harç ve Şerbet İçin- Bölüm 2: Beton Katkıları- Tarifler ve Özellikler, Uygunluk, 117 Cilt/Volume: 7, Sayı/Issue:2. 2012 İşaretleme ve Etiketleme, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tuyan, M., Soykan, K. S., Namal, İ., & ÇAKIR, Ö. A. (2020). Mineral katkı içeren kalsiyum alüminat çimento esaslı harçların mekanik, dayanıklılık, termal ve yapı özelliklerinin araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 23(2), 311-320.
- Usta, M. (2019). Kalsine Marn Katkılı Çimentoya Uygun Kimyasal Katkıların Belirlenmesi. Yüksek Lisans, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı, Ordu.
- Yalnız H., 2006. Çimento Sanayi Hammaddesi Ocağı Üretim Planlanması. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden İşletme Anabilim Dalı, İzmir.
- Yiğit, N. (2020). Polipropilen Lif Boyutlarının Asfalt Aşınma Tabakası Taşıma Kapasitesine Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- Yiğiter, H. (2022). Mineral Katkılı Çimento Bulamacı Kaplanmış Betonarme Donatıların Korozyon Performansının İncelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 24(72), 869-874.
- Yorulmaz, B. Farklı Tipteki Poliolefin Liflerin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zhang, P., & Li, Q. F. (2013). Effect of polypropylene fiber on durability of concrete composite containing fly ash and silica fume. *Composites Part B: Engineering*, 45(1), 1587-1594.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Cansu ÖZDEM BAŞ
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	
E-Posta Adresi	
Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Karabük Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	İnşaat Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2017