

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**TALK CEVHERİ KATKILI BEYAZ ÇİMENTO TABANLI
HARÇLARA MİKRO LİF ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

EYLÜL DENİZ ACAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Arın YILMAZ (Tez Danışmanı)
Prof. Dr. Fatma Nurhayat DEĞİRMENCİ
Prof. Dr. Mücteba UYSAL

BALIKESİR, ŞUBAT – 2026

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Talk Cevheri Katkılı Beyaz Çimento Tabanlı Harçlara Mikro Lif Etkisinin İncelenmesi**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Eylül Deniz ACAR

ÖZET

**TALK CEVHERİ KATKILI BEYAZ ÇİMENTO TABANLI HARÇLARA MİKRO
LİF ETKİSİNİN İNCELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
EYLÜL DENİZ ACAR
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. ARIN YILMAZ)
(EŞ DANIŞMAN: DOÇ. DR. YURDAKUL AYGÖRMEZ)
BALIKESİR, ŞUBAT - 2026**

Yapısal uygulamalardaki kullanımı henüz yaygın olmayan beyaz çimento daha çok estetik ve dekoratif amaçlı kullanılmaktadır. Fakat mekanik ve durabilite anlamında nasıl davrandığı da merak konusu olduğundan çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada beyaz çimento esaslı beton karışımlarında talk cevheri ve lif kullanımının mekanik ve durabilite özellikleri üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. İlk aşamada lif içermeyen ön döküm numuneleri hazırlanmıştır. Bu kapsamda, kontrol numunesinin yanı sıra çimentoya ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranlarında talk cevheri ilave edilen karışımlar üretilmiş ve bu numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneylerde elde edilen sonuçlara göre %0, %5 ve %10 talk cevheri içeren seriler en iyi sonucu göstermiştir. Bu serilere lif katkısının etkisini incelemek amacıyla %0,3, %0,6 ve %0,9 oranlarında lif ilave edilerek yeni numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde basınç ve eğilmede çekme dayanımı deneyi, donma çözülme deneyi, yüksek sıcaklık deneyi, sülfat etkisi deneyi, su emme deneyi ve ultrases geçiş hızı deneyi uygulanmıştır. Durabilite deneyleri için 28 gün su kürü, mekanik deneyler için 7, 28 ve 90 günlük su kürü uygulanmıştır. Deney sonuçlarına göre talk cevherinin uygun oranlarda kullanılmasının dayanım özelliklerine olumlu etki ettiğini ve ince yapısı sayesinde dolgu etkisi yaparak boşlukları doldurduğunu göstermiştir. Sonuç olarak beyaz çimento tabanlı betonlarda uygun oranlarda talk cevheri ve lif kullanımının mekanik özellikleri iyileştirebildiği tespit edilmiştir. Bu çalışma beyaz çimento tabanlı betonlarda talk cevherinin ve lif kullanımının alternatif olarak kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Beyaz çimento, polipropilen lif, talk cevheri

Bilim Kod / Kodları : 91136

Sayfa Sayısı : 67

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MICROFIBERS ON WHITE CEMENT-BASED MORTARS CONTAINING TALC ORE ADDITIVE

MSC THESIS

EYLÜL DENİZ ACAR

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CIVIL ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. ARIN YILMAZ)

(CO-SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. YURDAKUL AYGÖRMEZ)

BALIKESİR, FEBRUARY - 2026

White cement, which is not widely utilized yet in structural applications, is predominantly employed for aesthetic and architectural purposes. However, due to increasing interest in its mechanical performance and durability, various experimental investigations are being conducted. This study investigates the effects of talc ore and fiber reinforcement on the mechanical and durability properties of white cement-based concrete mixtures. In the initial phase, fiber-free precast specimens were prepared. In addition to the control group, mixtures were produced by incorporating talc ore as a partial cement replacement at weight ratios of 5%, 10%, 15%, and 20%. Based on the experimental data, the series containing 0%, 5%, and 10% talc ore exhibited the most favorable results. In order to evaluate the synergistic effect of fiber reinforcement on these optimal series, new specimens were prepared by adding fibers at volumetric ratios of 0.3%, 0.6%, and 0.9%. The specimens were subjected to a comprehensive experimental program, including: compressive and flexural tensile strength tests, freeze-thaw resistance, high-temperature exposure, sulfate attack resistance, water absorption, Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) measurements. A 28-day water curing regime was implemented for durability assessments, while 7, 28, and 90-day curing periods were applied for mechanical characterization. The experimental results indicated that the utilization of talc ore in appropriate proportions significantly enhances strength properties. Due to its fine particle morphology, talc ore provides a filler effect, effectively densifying the microstructure by filling capillary voids. As a result of this study, it was concluded that the strategic combination of talc ore and fiber reinforcement can substantially improve the mechanical performance of white cement-based concretes. This study demonstrates that talc ore and fibers serve as viable alternative constituents in the formulation of high-performance white cement-based concrete.

KEYWORDS: Polypropylene fiber, talc ore, white cement

Science Code / Codes : 91136

Page Number : 67

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	ix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMASI	4
2.1 Beyaz Çimento	4
2.2 Talk Cevheri	6
2.3 Betonda Kullanılan Lifler	6
2.4 Literatür Taraması	7
3. MALZEMELER VE DENEY YÖNTEMLERİ	19
3.1 Kullanılan Malzemeler	19
3.1.1 Beyaz çimento	19
3.1.2 Talk cevheri	20
3.1.3 Agregası	21
3.1.4 Polipropilen lif	21
3.2 Deneysel Çalışmalar	22
3.2.1 Deneyler	23
3.2.1.1 Basınç ve eğilmede çekme dayanımı deneyi	24
3.2.1.2 Yüksek sıcaklık deneyi	25
3.2.1.3 Donma-çözülme deneyi	26
3.2.1.4 Sülfat etkisi deneyi	27
3.2.1.5 Ultrases geçiş hızı deneyi	28
3.2.1.6 Su emme deneyi	28
4. DENEY SONUÇLARI	29
4.1 Mekanik deneyler ve sonuçları	29
4.1.1 Basınç ve eğilmede çekme dayanımı deneyi	29
4.2 Durabilite deneyleri ve sonuçları	34
4.2.1 Donma-çözülme deneyi	35
4.2.1.1 Donma-çözülme deneyi ultrases geçiş hızı sonuçları	37
4.2.1.2 Donma-çözülme deneyi ağırlık değişimi sonuçları	38
4.2.1.3 Donma-çözülme deneyi sonrası görsel inceleme	39
4.2.2 Yüksek sıcaklık deneyi	40
4.2.2.1 Yüksek sıcaklık deneyi ultrases geçiş hızı sonuçları	43
4.2.2.2 Yüksek sıcaklık deneyi ağırlık değişimi sonuçları	44
4.2.2.3 Yüksek sıcaklık deneyi sonrası görsel inceleme	45
4.2.3 Sülfat etkisi deneyi	46
4.2.3.1 Sülfat etkisi deneyi ultrases geçiş hızı sonuçları	51
4.2.3.2 Sülfat etkisi deneyi ağırlık değişimi sonuçları	54
4.2.3.3 Sülfat etkisi deneyi sonrası görsel inceleme	55

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.2.4 Su emme deneyi.....	57
5. SONUÇ	58
5.1 Değerlendirme.....	58
5.2 Öneriler.....	61
6. KAYNAKLAR.....	62
ÖZGEÇMİŞ.....	67

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Portland çimentolu beton iç yapı	1
Şekil 1.2: Katkılı çimentolu beton iç yapı	2
Şekil 1.3: Şekil 1.1 ve şekil 2.2'nin açıklamaları	2
Şekil 2.1: Roma Jubilee Kilisesi	5
Şekil 2.2: RSA Tower ofis binası	5
Şekil 2.3: Kahramanmaraş Belediyesi yeni hizmet binası	6
Şekil 3.1: Beyaz çimento	19
Şekil 3.2: Talk cevheri	20
Şekil 3.3: Agregası	21
Şekil 3.4: Polipropilen lif	21
Şekil 3.5: Tartım cihazı	23
Şekil 3.6: Prizma kalıp	23
Şekil 3.7: Küp kalıp	23
Şekil 3.8: Beton pres makinesi	24
Şekil 3.9: Basınç dayanımı için kullanılan prizma başlık	24
Şekil 3.10: Basınç dayanımı için kullanılan küp başlık	25
Şekil 3.11: Eğilmede çekme dayanımı için kullanılan başlık	25
Şekil 3.12: Yüksek sıcaklık fırını	26
Şekil 3.13: Yüksek sıcaklık fırınında deney öncesi numuneler	26
Şekil 3.14: Donma-çözülme kabini	26
Şekil 3.15: Magnezyum sülfat	27
Şekil 3.16: Sodyum sülfat	27
Şekil 3.17: Ultrasonik ses cihazı	28
Şekil 4.1: Ön döküm eğilmede çekme dayanımı sonuçları	31
Şekil 4.2: Ön döküm basınç dayanımı sonuçları	31
Şekil 4.3: Eğilmede çekme dayanımı sonuçları	33
Şekil 4.4: Basınç dayanımı sonuçları	34
Şekil 4.5: Donma-çözülme deneyi sonrası eğilmede çekme dayanımı sonuçları	36
Şekil 4.6: Donma-çözülme deneyi sonrası basınç dayanımı sonuçları	37
Şekil 4.7: Donma-çözülme deneyi ultrases geçiş hızı sonuçları	38
Şekil 4.8: Donma-çözülme deneyi ağırlık değişimleri	38
Şekil 4.9: Donma-çözülme deneyi sonrası numuneler a) Küp numuneler b) Prizma numuneler	39
Şekil 4.10: Yüksek sıcaklık deneyi eğilmede çekme dayanımı sonuçları	41
Şekil 4.11: Yüksek sıcaklık deneyi basınç dayanımı sonuçları	42
Şekil 4.12: Yüksek sıcaklık deneyi ultrases geçiş hızı sonuçları	44
Şekil 4.13: Yüksek sıcaklık deneyi ağırlık değişimleri	44
Şekil 4.14: Yüksek sıcaklık deneyi sonrası (250 °C) a) Küp numuneler b) Prizma numuneler	45
Şekil 4.15: Yüksek sıcaklık deneyi sonrası (500 °C) a) Küp numuneler b) Prizma numuneler	45
Şekil 4.16: Yüksek sıcaklık deneyi sonrası (750 °C) a) Küp numuneler b) Prizma numuneler	46
Şekil 4.17: Sülfat etkisi deneyi MgSO ₄ çözeltisi eğilmede çekme dayanımı sonuçları	47
Şekil 4.18: Sülfat etkisi deneyi Na ₂ SO ₄ çözeltisi eğilmede çekme dayanımı sonuçları	48

ŞEKİL LİSTESİ (devam)

Sayfa

Şekil 4.19: Sülfat etkisi deneyi $MgSO_4$ çözeltisi basınç dayanımı sonuçları.....	50
Şekil 4.20: Sülfat etkisi deneyi Na_2SO_4 çözeltisi basınç dayanımı sonuçları.....	51
Şekil 4.21: Sülfat etkisi deneyi $MgSO_4$ çözeltisi ultrases geçiş hızı sonuçları.....	52
Şekil 4.22: Sülfat etkisi deneyi Na_2SO_4 çözeltisi ultrases geçiş hızı sonuçları.....	53
Şekil 4.23: Sülfat etkisi deneyi $MgSO_4$ çözeltisi 2 ay ve 3 ay ağırlık değişimleri.....	54
Şekil 4.24: Sülfat etkisi deneyi Na_2SO_4 çözeltisi 2 ay ve 3 ay ağırlık değişimleri.....	55
Şekil 4.25: 2 ay $MgSO_4$ (magnezyum sülfat) çözeltisinde bekletilen numuneler a) Kontrol numuneleri b) %5 talk içeren numuneler %10 talk içeren numuneler	55
Şekil 4.26: 2 ay Na_2SO_4 (sodyum sülfat) çözeltisinde bekletilen numuneler a) Kontrol numuneleri b) %5 talk içeren numuneler %10 talk içeren numuneler.....	56
Şekil 4.27: 3 ay $MgSO_4$ (magnezyum sülfat) çözeltisinde bekletilen numuneler a) Kontrol numuneleri b) %5 talk içeren numuneler %10 talk içeren numuneler.....	56
Şekil 4.28: 3 ay Na_2SO_4 (magnezyum sülfat) çözeltisinde bekletilen numuneler a) Kontrol numuneleri b) %5 talk içeren numuneler %10 talk içeren numuneler.....	57
Şekil 4.29: Su emme deneyi ağırlık değişimleri.....	57

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1: Karışım oranları.....	13
Tablo 2.2: Isıl işlem uygulaması.....	13
Tablo 3.1: Beyaz çimento kimyasal özellikler.....	19
Tablo 3.2: Talk cevheri kimyasal özellikleri.....	20
Tablo 3.3: Talk cevheri fiziksel özellikleri.....	20
Tablo 3.4: CEN standart kumu elek analizi.....	21
Tablo 3.5: Karışım adları ve karışım oranları.....	22
Tablo 3.6: Deneyde kullanılan karışım isimleri ve karışım oranları.....	22
Tablo 4.1: Ön döküm eğilmede çekme dayanımı sonuçları.....	30
Tablo 4.2: Ön döküm basınç dayanımı sonuçları.....	31
Tablo 4.3: Eğilmede çekme dayanımı sonuçları.....	32
Tablo 4.4: Basınç dayanımı sonuçları.....	34
Tablo 4.5: Donma-çözülme deneyi eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı sonuçları.....	36
Tablo 4.6: Donma-çözülme deneyi ultrases geçiş hızı sonuçları.....	38
Tablo 4.7: Yüksek sıcaklık deneyi eğilmede çekme dayanımı sonuçları.....	40
Tablo 4.8: Yüksek sıcaklık deneyi basınç dayanım sonuçları.....	42
Tablo 4.9: Yüksek sıcaklık deneyi ultrases geçiş hızı sonuçları.....	43
Tablo 4.10: Sülfat etkisi deneyi MgSO ₄ çözeltisi için eğilmede çekme dayanımı sonuçları.....	47
Tablo 4.11: Sülfat etkisi deneyi Na ₂ SO ₄ çözeltisi için eğilmede çekme dayanımı sonuçları.....	48
Tablo 4.12: Sülfat etkisi deneyi MgSO ₄ çözeltisi için eğilmede çekme dayanımı sonuçları.....	49
Tablo 4.13: Sülfat etkisi deneyi Na ₂ SO ₄ çözeltisi için basınç dayanımı sonuçları.....	51
Tablo 4.14: Sülfat etkisi deneyi MgSO ₄ çözeltisi için ultrases geçiş hızı sonuçları.....	52
Tablo 4.15: Sülfat etkisi deneyi Na ₂ SO ₄ çözeltisi için ultrases geçiş hızı sonuçları.....	53

SEMBOL VE KISALTMA LİSTESİ

°C	: Santigrat derece
5T	: %5 talk içeren numune
5T3L	: %5 talk ve %0.3 lif içeren numune
5T6L	: %5 talk ve %0.6 lif içeren numune
5T9L	: %5 talk ve %0.9 lif içeren numune
10T	: %10 talk içeren numune
10T3L	: %10 talk ve %0.3 lif içeren numune
10T6L	: %10 talk ve %0.6 lif içeren numune
10T9L	: %10 talk ve %0.9 lif içeren numune
Al ₂ O ₃	: Alüminyum dioksit
BK	: Kontrol numunesi
BK3L	: %0.3 lif içeren kontrol numunesi
BK6L	: %0.6 lif içeren kontrol numunesi
BK9L	: %0.9 lif içeren kontrol numunesi
C ₃ A	: Trikalsiyum alüminat
CEN	: Avrupa Standartlar Komitesi
H ₂ O	: Su
MgSO ₄	: Magnezyum sülfat
MgO	: Magnezyum oksit
MgCl ₂	: Magnezyum klorür
MgSO ₄	: Magnezyum sülfat
Na ₂ SO ₄	: Sodyum sülfat
SO ₃	: Sülfür trioksit
SiO ₂	: Silisyum dioksit

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim sürecinde, değerli bilgi ve tecrübeleriyle bana rehberlik eden, her aşamada destek ve yönlendirmelerini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Arın YILMAZ'a en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, tez çalışmam boyunca her zaman desteklerini hissettiren, değerli eş danışman hocam Doç. Dr. Yurdakul AYGÖRMEZ'e de saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması kapsamında kullanılan agregaların teminini sağlayan LİMAK Çimento üst yönetimine ve talk cevheri teminini sağlayan Mikrons's şirketine katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Beni her zaman destekleyen eğitim hayatımın her aşamasında yanımda olan, sabır ve sevgilerini eksik etmeyen sevgili annem Yasemin ACAR'A ve sevgili babam Turgay ACAR'a teşekkürü borç bilirim.

Balıkesir, 2026

Eylül Deniz ACAR

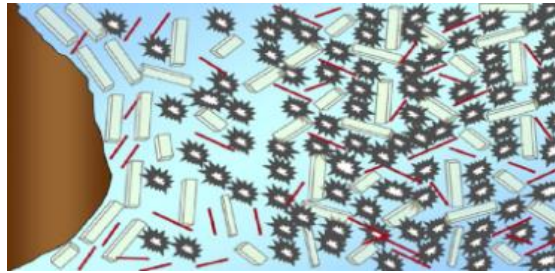
1.GİRİŞ

Beton çağımızda oldukça yaygın olarak kullanılan yapı malzemesidir (Uysal vd., 2011). Gün geçtikçe artan dünya nüfusu barınma ihtiyacını da arttırmaktadır. Bunun bir sonucu olarak yapı üretimi de oldukça fazladır. Bu ihtiyacın karşılanabilmesi için genel olarak betonarme yapılar kullanılmaktadır (Bayraktar, 2021).

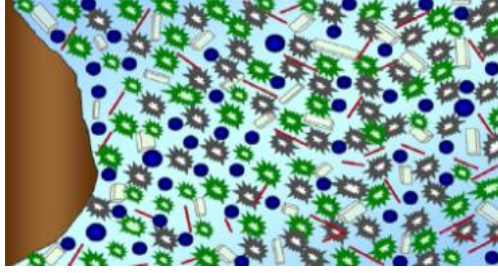
Betonda geleneksel olarak kullanılan portland çimentosunun üretimi çok fazla enerji gerektirdiğinden dolayı atmosfere CO₂ (karbondioksit) salınımı olmaktadır. Çevreye verdiği bu zarardan ötürü alternatif yollar denenmiştir ve denenmeye devam etmektedir (Coşkun ve Sarıışık, 2022; Aygörmez, 2021).

Betonun yüksek kalitede ve dayanımda olması için çeşitli yöntemler denenmektedir. Bunlardan bir tanesi de lif kullanımınıdır. Betonda oluşabilecek mikro çatlaklar ve gevrek yapıda olması gibi olumsuzlukları engellemek için betona lif takviyesi yapılmaktadır. Bu çalışmada da 6 mm boyunda polipropilen lif kullanılmıştır (Alkan, 2004).






Taze ve sertleşmiş beton üzerine oldukça pozitif katkısı olan mineral katkıların en önemli ortak özelliği betonun geçirgenliğini azaltması ve ileri yaş basınç mukavemetini arttırmasıdır. Bunun sebebi su ve çimento reaksiyonu sonucunda oluşan bileşenlerle mineral katkıların tepkime oluşturup yapısını daha da sağlamlaştırmasıdır. Su ve çimento reaksiyonu sonucu Ca(OH)₂ (kalsiyum hidroksit), C-S-H jeli, monosülfohidrat, etrenjit ve çeşitli hidratlar oluşur. Bunlar betona dayanım sağlarlar. Ca(OH)₂ ile tekrardan tepkimeye giren mineral katkıları daha fazla C-S-H oluştururlar. C-S-H miktarının artması ve Ca(OH)₂'in azalması dayanıklılık, dayanım ve agrega-çimento aderansı açısından olumlu etki oluşturmaktadır.



Şekil 1.1: Portland çimentolu beton iç yapı



Şekil 1.2: Katkılı çimentolu beton iç yapısı

	C-S-H (PÇ kaynaklı)
	Ca(OH) ₂
	C-A-S-H (etrenjit)
	C-S-H(cüruf kaynaklı)
	C-S-H(uçucu kül kaynaklı)

Şekil 1.3: Şekil 1.1 ve şekil 2.2'nin açıklamaları

Şekilde de verildiği gibi uçucu kül katkıli çimento ile birlikte üretilen betonun C-S-H miktarı artış gösterip agrega-çimento hamuru arasında Ca(OH)₂ oranı azalma göstermektedir. Sonuç olarak daha kuvvetli aderans oluşmaktadır.

Betonun geçirimsizliğinin ve dayanımının artması dayanıklılık açısından pozitif yönde etki etmektedir. Mineral katkı kullanımı alkali-silika reaksiyonu riskini de azaltır. Mineral katkıları hidrasyon ısısını düşürür. Özellikle sıcak havalarda ve kütle betonu uygulamalarında kullanılır.

Yapılan araştırmalar sonucu çimento üretimi gerçekleştirilirken mineral katkıların kullanılması beton üzerinde olumlu bir etki göstermektedir. Bazı mineral katkıları silis dumanı, uçucu kül, metakaolin, yüksek fırın cürufudur (Engin, 2014). Talk cevheri de mineral bir katkıdır. Fakat talk cevheri puzolonik özellik göstermemektedir. Talk cevherinin betonda kullanımıyla ilgili literatür çalışması çok azdır. Daha fazla çalışma yapılarak literatür zenginleştirilebilir.

Özel bir çimento türü olan süper beyaz çimento ve talk cevheri bu çalışmada kullanılan bağlayıcılardır. Öncelikle talk cevherinin süper beyaz çimento ile ikamesi belirli oranlarda yapıp basınç ve eğilmede çekme dayanımı deneylerinde en iyi sonuç alınan talk cevheri

oranlarıyla çalışmaya devam edilmiştir. %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında talk cevheri ikamesi yapıp, en iyi sonuç veren %0, %5 ve %10 oranlarındaki talk cevheri içeren seriler kullanılmıştır. Bu oranlardaki karışımlara çimento ağırlığının %0,3, %0,6 ve %0,9 oranlarında 6 mm boyutunda polipropilen lif kullanılmıştır. Çalışma kapsamında talk cevheri katkılı özel bir çimento türü olan beyaz çimento bulunan harçlara mikro lif etkisinin mekanik ve durabilite sonuçları araştırılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Beyaz Çimento

Çimsa süper beyaz çimento (CEM I 52,5R) yüksek erken nihai mukavemet, yüksek beyazlık, düşük alkali içeriği ve hızlı imalatı gibi avantajlarından dolayı birçok ülkede tercih edilen bir yapı malzemesidir. İçeriğindeki düşük miktarlarda bulunan demir, mangan ve krom oksitlerden dolayı beyaz renktedir. Üretim süreçleri EN ISO 9001, EN ISO 45001 ve EN ISO 14001 standartlarına göre sertifikalandırılmıştır. Mimari ve dekoratif yapılarda, iç mekan uygulamaları, kaldırım, bordür gibi renkli eleman üretimi yapılacak uygulamalarda, sanatsal yapılarda vb. uygulamalarda kullanılmaktadır. Tedarik ve lojistik zorluklar nedeniyle, yüksek maliyet sebebiyle, kolay kirlenebilirlik ve renk farklılıkları gibi sebeplerden dolayı dezavantaj gösterir (ÇİMSA).

Beyaz çimento daha çok dekoratif amaçlı kullanılan bir yapı malzemesidir (Arslan, 2011). Estetik uygulamalarda daha çok önümüze çıkan beyaz çimentonun yük taşıma kapasitesi de oldukça yüksektir. Bu çimento türü sanatsal ürünlerde, mimaride dekor malzemelerinde, harç ve sıva gibi malzemelerde, prefabrikte ve beton uygulamalarında kullanılabilir. Beyaz çimentonun en önemli özellikleri dayanım kazanımının hızlı olması, hammaddenin çok saf olması, üretiminin ileri teknoloji ile yapılması, ince öğütülmesi, yüzeyinin düzgün olması ve görünüş açısından güzel durmasıdır. Teknik açıdan her ne kadar benzerlik gösterebilir de beyaz çimento portland çimentosuna göre daha pahalı olduğu için sıradan beton işlerinde kullanılmamaktadır. Beyazlık en ayırt edici özelliğidir. Beyaz çimentonun yüksek ve değişmeyen beyazlıkta üretimi yapılır. Hem beyaz çimento hem de portland çimentosunun üretim süreçleri aynı olsa da beyaz çimento üretiminde beyazlaştırma ve soğutma işlemlerinin olması başlıca farktır. Bu işlemlerle çimentonun renginde homojenlik sağlanıp, beyaz olması elde edilir. Beyaz çimento erken dayanım sağlar ve normal çimentoya göre yüksek dayanım sağlamaktadır. Yüzeyleri düzgün olur ve farklı renk pigmentleri kullanıldığında parlak ve canlı renkler sağlanır. Beyaz çimentoda miktarı yüksek olan C₃S (trikalsiyum silikat) içeriği ve inceliğinin yüksek oluşu eken ve nihai dayanımlarının yüksek olmasının sebebidir. Göreceli şekilde yüksek oranda C₃A (trikalsiyum alüminat) içeriği bu çimentonun kullanıldığı beton ve harçlarda rötreye sebep olabileceğinden dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu sorunun çözümü olarak kaliteli agrega kullanılması, çimento dozajının düşük tutulması ve s/ç oranının düşük tutulması sağlanabilir. Düşük oranda alkali içermesi alkali agrega reaksiyonuna karşı dirençli olmasını sağlamaktadır. Her yaşta yüksek

dayanıma sahiptirler. Özellikle son yıllarda mimaride beyaz beton kullanımı artış göstermektedir (Kara ve Kara, 2016; Uysal vd., 2011). Beyaz çimento ile üretilen bazı yapılar mevcuttur. İtalya-Roma'daki Roma Jubilee Katedrali (Şekil2.1), ABD. Alabama-Montgomery de bulunan 22 katlı RSA Tower Ofis Binası (Şekil 2.2) ve bir kısmı beyaz çimento kullanılarak üretilen Kahramanmaraş Belediyesi yeni hizmet binası (Şekil 2.3) beyaz çimento kullanılarak üretilen yapılara örnek olarak verilebilir. Roma Jubilee Kilisesi'nin yapımında TiO_2 (Titanyum Dioksit) bulunan beyaz çimento katkılı 346 adet öngermeli prekast yapı elemanları kullanılmıştır. 2000 yılında yapılan bu yapı 22 m yüksekliğine sahiptir. ABD'de bulunan Alabama-Montgomery RSA Tower Ofis Binası ise 1996 yılında inşa edilmiş olup 22 katlıdır ve 114 m yüksekliğindedir. Kahramanmaraş Belediyesi yeni hizmet binası projesinde ise C 30 sınıfı 18.000 m³ normal beton ve 4500 m³ beyaz çimento içeren beton kullanılmıştır. 14 katlı olan bu yapının iç cephesinde bulunan elemanlar normal beton ile üretilmiş, dış cephe kolon ve perde elemanları beyaz çimentolu beton ile üretilmiştir. Yani bu yapı hem geleneksel beton ile hem de beyaz çimentolu beton ile yapılmıştır (Arslan vd., 2011).



Şekil 2.1: Roma Jubilee Kilisesi (Meier, 2007)



Şekil 2.2: RSA Tower ofis binası (Arslan vd., 2011)



Şekil 2.3: Kahramanmaraş Belediyesi yeni hizmet binası (Oyak Beton, 2025)

2.2 Talk Cevheri

Bu çalışmada ikinci bağlayıcı olarak kullanılan talk cevheri filosilikat ailesindedir. Piroksenit, serpantin, tremolit, dolomit yada manyezitin bozunması sonucunda oluşur. Bir diğer adı magnezyum hidro silikattır ($3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (Arthur, 1976; Yıldırım'dan, 2002). İdeal bileşiminde %63.5 SiO_2 , %31.7 MgO ve %4.8 H_2O içerir (DPT, 2001). Yaklaşık olarak 60 endüstri alanında kullanılmakta olan talk önemli ve çok tüketilen doğal bir mineraldir. Kağıt, sabun, kauçuk, boya, çatı kaplama, çimento ve kozmetik endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır (Yıldırım, 2002). Talk fiziksel olarak beyaz, yeşilimsi şeffaf renklerde olup kaygan, masif görümlü ve yumuşaktır. Mohs cetvelinde (sertlik) 1-1,5 arasındadır. Kristal şekli monoklinikdir. Isı ve elektrik iletkenliği zayıf olan talk ateşe dayanıklı bir malzemedir. Yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında katılaşır ve sertleşir. Asitlerle karşılaştığında bozulma göstermez. İdeal bileşiminde %31.7 MgO , %63.5 SiO_2 , %4.8 H_2O barındırır. Ticari olarak kullanılan talk teorik saflığından uzaktır. Bu tür ürünler, saf talk minerali olduğu gibi talk ve talkın parajenezinde bulunan dolomit, kalsit, kuvars, diyopsit, serpantin, magnetit, pirit, tremolit-aktinolit ve mika gibi minerallerin değişik oranlarda karışımı halinde olabilirler. Steatit, lava, sabuntaşı, absestin, Fransız tebeşiri ve renselaerit ticari talkın çeşitleridir (MTA, 2025).

2.3 Betonda Kullanılan Lifler

Tarihsel süreçte mimarlar ve mühendisler tahrip edici durumlara karşı yapıları koruyabilmek için doğal lifler, hayvan kılları ve samanları kullanmışlardır (Latıfı, 2020; Erbaş'tan, 2003). Lifli betonlarla ilgili ilk çalışmalar 1950 ve 1960'lı yıllarda çelik lif takviyesi içeren betonların mekanik davranışlarını incelemek amacıyla yapılmıştır (Türk ve Kına, 2016; Hannant'dan, 1987). İleriki dönemlerde yapay lifler (cam, asbest, plastik gibi) ve doğal lifler (hint keneviri ve bambu gibi) betona eklenerek test edilmiştir. Lifler farklı özellikler

gösterdiğinden değişik üstünlük ve işlevlere sahip oldukları görülmüştür. Polipropilen liflerin beton içerisinde kullanılması 1960 yıllarında Amerikan Silahlı Kuvvetleri Mühendisler Birliği tarafından yapılan araştırmada betonda sınırlı çatlamalara izin verip darbelere ve aşınmalara dirençli olmasının kanıtlanmasıyla kullanıma başlanmıştır. Endüstri açısından sentetik liflerin gelişmesi faydalı bir durum olmuştur. Günümüzde yeni tip lifler birçok farklı projelerde kullanılmaktadır (Latıfı, 2020; Baradan'dan, 2015).

İnşaat sektöründe günümüzde lif takviyesi içeren betonlar, nükleer santrallerin güvenlik yönünden önemli korunak binalarında ve yol kaplamalarında, önemli altyapı elemanlarının ekonomik ömrünün uzatılması ve dayanıklılığının artırılmasında, tünel, köprü, su yapıları, endüstriyel döşemeler, uçak pistleri, askeri yapılar, ön dökümlü beton elemanlar, beton borular gibi çeşitli yerlerde kullanılmaktadır (Türk ve Kına, 2016). Beton inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir. Fakat çekme dayanımının düşük olması, gevrek davranışı, düşük dayanıklılık ve çatlak oluşumu ve ilerlemesine olan yatkınlığı gibi dezavantajlarından dolayı betona lifler eklenmiştir. Yüksek dayanımı olan betondaki çatlakların önüne geçilebilmesi için lif ihtiyacı doğmuştur. Betonun dayanıklılık ve mekanik özelliklerini iyileştirmeye yönelik farklı lifler kullanılmaktadır. Lifler sentetik ve doğal lifler olmak üzere 2 ana grupta toplanmıştır. Liflerin kullanımı beton üzerinde gevrek davranışı azaltıp çatlak oluşumu ve ilerlemesini engellemeye çalışır. Enerji yutma kapasitesini ve sünekliğini arttırmaktadır. Sentetik lifler; çelik, cam, polipropilen, karbon ve plastik liflerdir. Doğal lifler ise; buğday samanı, şeker kamışı, sisal, jüt, bambu lifleridir (Anas et al., 2022).

2.4 Literatür Taraması

Al-Sharhane et al. (2025), yapmış oldukları çalışmada beyaz çimento yerine %10, %15 ve %20 oranlarında seramik atıkları kullanmışlardır. Donatı olarak kancalı uçlu çelik lif, bazalt lif ve bakır kaplı çelik lif olmak üzere üç farklı lif türü tercih etmişlerdir. Beyaz çimento esaslı bu harçların 28 ve 90 günlük kür süresi sonunda basınç ve eğilmede çekme dayanımı sonuçları, 90 gün kür süresi sonunda ise sülfat etkisi, donma-çözülme ve yüksek sıcaklık deneylerine tabi tutularak ağrlık kayıpları ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu deneylerdeki değişimleri inceleyebilmek için SEM, XRD, Micro-CT ve TGA-DTA (termogravimetrik analiz-diferansiyel termal analiz) analizleri yapılmıştır. Sonuçlara göre, %5 ve %10 seramik atık ikamesinde SiO₂ ve Al₂O₃ içeriğindeki artış, pozolanik reaksiyonu yüksek seviyede tutarken dayanımı da arttırmıştır. %15 seramik atık ikamesi durumunda, çimento miktarındaki azalmaya bağlı olarak dayanım azalmıştır. Sonuçlar incelendiğinde

kancalı uçlu çelik lif en yüksek performansı gösterirken, bakır kaplı çelik lif en düşük performansı göstermiştir. %5 seramik tozu ve kancalı uçlu çelik lif bulunan numunelerde, %100 Beyaz Çimento bulunan numunelere (kontrol numunesi) kıyasla eğilmede çekme dayanımı %26, basınç dayanımı ise %17 artmıştır.

Adamopoulou et al. (2011), yapmış oldukları çalışmada beyaz çimento CEM I ile %15, %25 ve %35 oranlarında kireçtaşı ikamesi içeren beyaz kalkerli çimentolar CEM II-LL A ve CEM II-LL B incelenmiştir. Sıcaklık artışına maruz kalma ve sülfat etkisinin gecikmiş etrenjit oluşumunun (DEF) nasıl meydana geldiği araştırılmıştır. 90 gün boyunca 3 farklı çözeltide kalan harç numuneleri incelenmiştir. Doymuş CaOH_2 çözeltisi (50 °C'de), doymuş CaOH_2 çözeltisi (20 °C'de) ve %5 Na_2SO_4 (sodyum sülfat) çözeltisi (50 °C'de) kullanılmıştır. Bu süre zarfında harç numuneleri düzenli olarak gözlemlenip, uzunluk değişimleri mikrometre ile ölçülerek haftalık olarak genleşmeleri belirlenmiştir. 90 günlük sürenin sonunda harçların basınç dayanımlarına bakılıp X-ışını kırınımı (XRD), Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ve termogravimetrik analiz (DTG) ile bozunma ürünleri belirlenmiştir. Bu çalışma sonuçları DEF'in (gecikmiş etrenjit oluşumu) 2 çeşit olarak meydana geldiğini göstermektedir. Etrenjit yapı ve boyut farkı olarak iki çeşit olarak ortaya çıkmaktadır. DEF tip I 10 ila 100 μm arasında değişen uzun çita benzeri kristaller ve birkaç μm kalınlığında olup, düşük hidroksil iyon konsantrasyonlarında (yani gözenek çözeltisinde düşük pH değerlerinde) oluşmaktadır. Önemli miktarda tip I etrenjit kristali içeren hidratlı çimentolarda, bunlar yüksek mukavemet ve genleşmeme sağlar, bu nedenle tip I etrenjit "genleşmeyen" olarak sınıflandırılmaktadır. İkinci tip (tip II) etrenjit ise, yalnızca 1 ila 2 μm uzunluğunda ve 0,1 ila 0,2 μm kalınlığında olan ve yüksek hidroksil iyon konsantrasyonlarında oluşan çubuk benzeri kristal şeklindedir. Bunlar, Portland çimentolarının hidrasyonu sırasında bulunup ve büyük miktarlarda su adsorpsiyonu yoluyla genleşme etkilerine neden olabilen tip II etrenjit kristalleri olarak sınıflandırılmaktadır. Bu çalışma kürlenme koşullarının 90 gün sonra kireçtaşı içeren beyaz çimento harçlarında yüzey hasarına yol açabileceğini göstermiş olup artan sıcaklığın genleşmeye neden olan DEF tip I oluşumuna neden olabileceği göstermektedir. Benzer miktarlarda SO_3 içeren çimentolarda, oluşan DEF miktarının C_3A miktarı ile ilişkili olduğu ve kireçtaşı ikamesi durumunda bu miktarın belirli oranlarda kaldığı belirlenmiştir. SEM analizi sonucunda artan sıcaklık altında oluşan DEF iğne görünümü şeklinde ve yaklaşık 20 μm uzunluğunda olduğu görülmüştür. 50 °C'de kürlenme durumunda ve sülfatların varlığında, DEF daha yüksek konsantrasyonlarda meydana geldiğinden dış sülfat saldırısı gözlenmektedir. DEF tip II oluşumu, yüksek sülfat konsantrasyonu

nedeniyle artmaktadır. Ek olarak, kireçtaşının varlığı etrenjit oluşumuna büyük ölçüde katkı sağlamaktadır. Çünkü kalsit Na_2SO_4 ile reaksiyona girerek ek alçı oluşturmuştur bu da etrenjit oluşumunda tüketilmiştir. Kireçtaşı ikamesi, C_3A miktarını azaltsa da, $50\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta ve sülfat atağında kireçtaşı içeren harçların daha yüksek etrenjit konsantrasyonları gözlenmiştir. Sebebi ise artan kalsit içeriğidir. Özellikle sadece yüksek sıcaklık etkisi altında DEF tip I, yüksek sıcaklık ve sülfat etkisi birlikte olduğunda DEF tip II oluşmaktadır. Her iki etrenjit tipi de harçlarda dış hasara sebep olmuştur. Fakat daha fazla genleşmeye ve hasara yol açan etrenjit şekli DEF Tip II'dir. Bunun sebebi daha küçük kristal boyutta olması ve bundan dolayı oluşum hızının yüksek olmasıdır. Bu konuyla ilgili çalışmalar devam etmekte olup yazarlar aynı dayanım sınıfına sahip harç numunelerinde bu olguları incelemeyi planlamaktadır.

Patsikas et al. (2012), bu çalışmada beyaz çimento CEM I-32,5 ve %15 kireçtaşı ikameli CEM II-A/LL tipi beyaz kireçtaşı çimentosunu incelemiştir. Bu tip çimentolardan harçlar yapılmış ve bu harçların sülfat saldırısına karşı dayanıklılığı ve sıcaklığın ($50\text{ }^\circ\text{C}$) etkisi araştırılmıştır. Deney sırasında harç numuneleri, Heine Delta 20® LED Aydınlatmalı Büyüteç $10\times$ cihazı kullanılarak düzenli olarak görsel olarak gözlemlenmiştir ve 90 günlük bir sürenin ardından harç numunelerinin basınç dayanımı ve dayanıklılığı etkileyen bozulma ürünleri belirlenmiştir. Bozulma ürünlerinin tanımlanması X-ışını Kırınımı (XRD), Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM), Termogravimetri (TG), Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) ve Cıva Porozimetrisi (MP) ile yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda, kireçtaşı ikamesi ile çimentoya sülfat saldırısı oranının saf çimentoya kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu tip çimentonun aynı kategorideki saf çimentodan üç kat daha dayanıklı olduğu gösterilmiştir. Ayrıca bozulmanın nedeninin, mikro çatlaklara ve numunelerin bozulmasına neden olan mikrokristalin ettringit gelişimi olduğu farklı analiz yöntemleriyle belirlenmiştir. Sonuç olarak, kireçtaşı ikameli aynı sınıf çimento tipi kullanıldığı durumda, sülfat iyonlarının nüfuz etmesine izin vermeyen bir mikro yapının geliştirildiği gösterilmiştir. Bu durum harçların maruz kaldığı olumsuz koşullara rağmen daha yüksek mukavemet göstermesiyle belirlenmiştir.

Alcharchafche et al. (2022), yapmış oldukları çalışmada Beyaz Çimento ve kil tuğla tozu (CBP) üç farklı oranda (%5, %10 ve %15) ikame edilerek, liflerin etkisini aynı anda incelemek için %0,4 oranında üç farklı lif türü (bakır kaplı (CC) çelik

lif, kıvrımlı (C) çelik lif ve bazalt (B) lif) kullanılmıştır. Tüm serilerin basınç ve eğilmede çekme dayanımları 28 ve 90 gün kür süreleriyle incelenmiştir. 90 gün sürenin sonunda yüksek sıcaklık deneyi (250, 500 ve 750 °C), donma-çözülme deneyi, ve sülfat etkisi deneyi uygulanmıştır. Dayanıklılık deneyleri sonrasında ağırlık ve mukavemet değerleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca numunelerin dayanıklılık deneyleri öncesi ve sonrası SEM ve XRD analizleri yapılmıştır. %5 tuğla tozu kullanımını daha yüksek Al_2O_3 ve SiO_2 içeriği nedeniyle C-A-S-H ve C-S-H jellerinin oluşumuna bağlı olarak mukavemet değerlerini artırırken, daha yüksek tuğla tozu kullanımını mukavemette azalmaya neden olmuştur. Lifler mukavemet değerlerine olumlu katkı verirken, en yüksek artış kıvrımlı çelik lif içeren numunelerde, en düşük artış ise bakır kaplı çelik lif içeren numunelerde görülmüştür. Kıvrımlı çelik lif ve %5 tuğla tozu katkılı numunelerde basınç dayanımında kontrol numunesine göre %13 artış olurken, eğilmede çekme dayanımında %21 artış olmuştur. Dayanıklılık deneyleri sonucunda numunelerin yapısal kararlılıklarını koruduğu gözlemlenmiştir.

Zhang et al. (2025), yapmış oldukları çalışmada, büyük sıcaklık farklarının (-10 °C ile 40 °C) ve magnezyum tuzu saldırısının (ağırlıkça %10 $MgCl_2$, ağırlıkça %10 $MgSO_4$ ve ağırlıkça %5 $MgCl_2$ + ağırlıkça %5 $MgSO_4$) performans üzerindeki sinerjik etkilerini araştırmaktadır. Eğilme ve basınç dayanımı, kütle değişimi, dinamik elastik modül deneyleri ve XRD, TG-DSC, SEM-EDS, MIP deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde en şiddetli bozunmaya $MgCl_2$ 'ün neden olduğu, bu durumun genişleyen magnezyum oksiklorür ($Mg_2(OH)_3Cl \cdot 4H_2O$) oluşumuna bağlı olarak ara yüzey çatlakları ve hızlanmış mikroyapısal hasarla karakterize edildiğini göstermektedir. $MgSO_4$ etkisinin ise gecikmeli bir bozunmaya neden olduğu, başlangıçta gözenekleri dolduran etrenjit ve jips oluşumuna bağlı olarak dayanım artışının gözlemlendiği, fakat genişlemeye bağlı mikro çatlak oluşumu ilerleyici şekilde gelişmiştir. Karışık çözeltilerde bulunan sülfat iyonlarının, adsorpsiyon ve gözenekleri tıkama etkisiyle bozunmayı azalttığı belirlenmiştir. Isıl çevrimler fiziksel ve kimyasal etkileşimleri arttırmaktadır. Isıl çevrimlerin sebep olduğu hasarlar uygun bakım koşulları sağlandığında kısmen geri döndürülebilir olduğu gözlemlenmiştir. $MgCl_2$ 'ün erken aşamada gözenek yapısını incelttiği ancak ciddi çatlak ilerlemesine etki ettiği gözlemlenmiştir. $MgSO_4$ 'in ise uzun vadede daha yoğun (kompakt) bir yapı oluşumunu desteklediği belirlenmiştir. Sonuç olarak bozunma süreçlerinde iyonlar arası rekabetin

belirleyici olduğunu, tuzlu zeminler ve kıyı altyapıları gibi zorlu çevresel koşullarda kullanılacak çimento esaslı malzemelerin iyileştirilmesine yönelik teorik bir temel sunulmaktadır.

Etili vd. (2024), yapmış oldukları çalışmada, kendiliğinden yerleşen harçların beyaz portland çimentosu yerine mikro-silis ve nano-silis dumanı ile ikame edilerek mekanik, fiziksel ve mikroyapısal özelliklerini incelemişlerdir. Su/bağlayıcı oranı 0.48 ve 0.63 olarak belirlenen kendiliğinden yerleşen betonların işlenebilirlik özelliklerinin belirlenmesi için çökme deneyi ve V hunisi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımı deneyi, eğilmede çekme dayanımı deneyi, donma çözülme deneyi ve SEM analizi deneyi uygulanmıştır. Deney sonuçları kontrol numuneleriyle karşılaştırıldığında beyaz portland çimentosunun silis dumanı ile ikamesi durumunda (özellikle nano-silis dumanı kullanıldığında) basınç ve eğilmede çekme dayanımının arttığı, basınç ve eğilmede çekme dayanımı kayıplarını azaltarak donma-çözülme dayanıklılığını iyileştirdiği belirlenmiştir. SEM analizi incelendiğinde mikro çatlakların daha az sayıda, daha dar ve daha sıkı ve yoğun bir mikroyapı oluşturduğu ortaya konulmuştur. Bu durum mikro-silika ve özellikle nano-silikanın boşluk doldurma etkisi ve üstün puzolanik özelliklerinden kaynaklanmakta olup, geçirgenliğin azalmasına ve buna bağlı olarak kendiliğinden yerleşen harçların dayanım ve dayanıklılık performansının artmasına katkı sağlamıştır.

Aygörmez (2021), yapmış olduğu çalışmada beyaz çimento yerine pirinç kabuğu külü ikame edilmesini araştırmıştır. İkame oranları ağırlıkça %5, %15 ve %25 oranlarında seçilmiştir. Bu durumun maliyeti düşürmesi ve CO₂ salınımını azaltması amaç edinilmiştir ve mekanik özellikleri incelenmiştir. %15 oranında pirinç kabuğu külü içeren harçlar en yüksek dayanıma sahip olan harçlardır. Bu harca Bazalt (B) ve Polivinil alkol (PVA) lifleri hacimce %0.5, %1 ve %1.5 oranlarında eklenmiştir. Bu oranlarda üretimi yapılan 10 serinin 7 ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanımı verileri incelenmiştir. 200 °C, 400 °C ve 600 °C sıcaklık değerlerinde yüksek sıcaklık deneyi uygulanmıştır. Bu deney sonrası görsel durum değişikliklerine bakılmış, ağırlık kayıpları değerlendirilmiş, eğilme ve basınç dayanımları da incelenmiştir. Deney öncesinde ve deney sonrasında Mikro Bilgisayarlı Tomografi (Micro-CT) analizleri yapılmıştır. 7 ve 28 günlük sonuçlara bakıldığında %15 oranındaki pirinç kabuğu külü ikamesine kadar dayanımın arttığı gözlemlenmiştir. Yüksek oranda SiO₂ (silisyum dioksit)+Al₂O₃ (alüminyum oksit) (%81.27) puzolan bulunduran çimento harcında uzun dönemli dayanım artışı olmaktadır. Doğal puzolanın özgül yüzey alanı kısa dönem için

dayanım bakımından birinci olarak etkilidir. Daha yüksek oranlarda kullanılması işlenebilirlik açısından düşüş yaratıp mekanik özellikleri azaltmıştır. Lif kullanımını eğilme dayanımını sürekli arttırmıştır. Basınç dayanımları ise %1 oranına kadar artış gösterirken bu oran yükseldikçe kümelenme sebebiyle dayanımda azalış görülmüştür. Yüksek sıcaklık deneylerinden sonra tahribat oluşumundan dolayı dayanımda düşüş gözlemlenmiş bu kayıplara rağmen harçlar stabilitesini korumuştur.

Dünder (2019), yapmış olduğu çalışmada öğütülmüş profillit tozu ve polipropilen lifin kullanımının harç numunelerinde fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini araştırmıştır. 40x40x160 mm numune boyutlarında, 0-4 mm büyüklüğüne sahip kırma kum agregası kullanılarak üretilen numuneler incelenmiştir. Bu karışımda bağlayıcı olarak CEM I 42.5R portland çimentosu kullanılarak 0.5 oranında su/bağlayıcı oranı seçilip bu oran sabit tutulmuştur. Öğütülmüş profillit tozu çimento ile ikame edilerek ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında kullanılmıştır. Bu üretilen numunelere hacimce %0, %0.1, %0.3 ve %0.5 oranlarında polipropilen lif ilave edilmiştir. Hazırlanan bu karışımdaki harç yayılma değerleri de baz alınarak kalıplara konulmuş daha sonrasında kalıptan çıkarılmış olan numunelere standart kür işlemleri uygulanmıştır. 7 gün sonunda bu numunelerin eğilme ve basınç dayanımları incelenip 28 gün sonunda su emme, porozite ve birim hacim ağırlıkları gibi özellikleri belirlenip eğilme ve basınç değerleri saptanmıştır. Bu çalışmada profillit tozunun mineral katkı olarak fiziksel ve mekanik anlamda olumlu katkı sağladığı, lif ile birlikte daha olumlu bir etki ettiği görülmüştür.

Kara ve Kara (2016), yapmış oldukları çalışmada Beyaz Portland Çimentosu (BPC) kullanımının farklı soğutma koşulları ve yüksek sıcaklık deneyleri uygulandığında betonda oluşabilecek fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimi incelemişlerdir. Bu deneyler için C30 beton karışımı hazırlanırken kalker kırmataş agregası, süperakışkanlaştırıcı katkı, BPC 52.R çimentosu ve Kırşehir şebeke suyu kullanılmıştır. Beton 12x50x60 cm boyutlarında kalıplara konulmuş 14. günde parça (karot) örnekleri alınmıştır. Bu karot örnekleri standart 5 cm çapında alınarak 360 gün boyunca kür havuzunda bekletilip daha sonrasında etüv kurusu halinde 300, 450, 600, 750 ve 900 °C olmak üzere beş farklı sıcaklık derecelerinde 3 saat boyunca işlem görmüştür. Karşılaştırma yapılabilmesi için standart laboratuvar (20 °C) ortamında bekletilen numuneler alınmış olup beş farklı derecede ısıtılan numunelere kendiliğinden soğuma ve su ile hızlı soğutma işlemleri uygulanmıştır. Bu aşamalardan sonra numuneler üzerinde ultrasonik geçiş hızları, dayanımları ve hacimlerdeki ağırlık kayıpları

saptanmıştır. Sonuç olarak 5 farklı derecelerde yapılan deneylerde sıcaklık artışında beton numunelerin ağırlık kaybının arttığı, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımlarının azaldığı gözlemlenmiştir. Soğutma şartları arasında en belirgin olan sıcaklık değeri 750 °C’de görülmeye başlanmıştır. Aniden soğutmada su ile olan numunelerde ağırlık kaybı %7.74 iken, ultrases geçiş hızı azalma oranı değeri %78.18 olup, basınç dayanım kaybı %84.52’dir. Bu değerler kendiliğinden soğumaya göre daha fazladır. Maksimum sıcaklık olan 900 °C’de su ile yapılmış olan ani soğutmada beton yapısının tamamen bozulmuş olduğu gözlemlenmiştir. Kendiliğinden soğutma uygulanan numunelerde ise 900 °C’deki basınç dayanım değerlerinde %89 oranında azalma olduğu belirlenmiştir.

Aydın ve Egemen (2011), yapmış oldukları çalışmada farklı miktarlarda hazırlanmış yüksek hacimli uçucu kül, kireç, polipropilen elyaf lif, çimento ve kimyasal katkı malzemelerinin bulunduğu çimento hamurunu 1050 °C sıcaklığına getirip sinterlenip son ürünün seramik ürünü olarak kullanımının mühendislik açısından etkilerini incelemişlerdir. Karışım oranları Tablo 2.1’de, ısıtma işleminin uygulandığı değerler Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.1: Karışım oranları

Grup	Uçucu Kül	Çimento	Kireç	Kimyasal Katkı Malzemesi	Polipropilen Lif (%)
1	100	-	-	-	%1, %2
2	80	20	-	-	%1, %2
3	80	15	5	-	%1, %2
4	70	30	0	%0.8	%1, %2
5	75	10	5	%0.8	%1, %2

Tablo 2.2: Isıtma işlem uygulaması

Sıcaklık (°C)	İstenilen Sıcaklığa Erişme Süresi (dk)	Soğuma İçin Geçen Süre (dk)
300	15	20
600	40	60
900	70	135
1050	105	180

Sonuç olarak çıkan ürünün beton malzemesine alternatif olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır. Ayrıca bu atıkların olumlu şekilde değerlendirilip KKTC inşaat sektöründe alternatif olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır. 300 °C ve üstü sıcaklıkta kalan

numuneler %27'ye varan dayanım kaybı yaşamıştır. Numunelerin yüksek sıcaklıklarda patlamaması ise yangın durumunda dayanım yönünden son ürünün kullanılabilceğini göstermektedir. Son ürünün su emme oranı nispeten yüksek olsa da standartlarda belirtilen aralıktadır. Uçucu kül malzemesinin yüksek oranlarda kullanılmasının uygun olduğu, mekanik, fiziksel ve dayanıklılık deneyleri sonucunda kanıtlanmıştır. Fakat bu oranın ağırlıkça %70-75 aralığında tutulmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir. Polipropilen lif kullanılarak çimento hamurunun düşük olan eğilme ve basınç dayanımının artırılacağı sonucuna varılmıştır. Bu çalışma kapsamınca hazırlanmış olan numunelerin eğilme, basınç ve sülfat etkisi altında dayanıklılıklarına bakıldığında son ürünün tuğla, parke, briket, büz ve kiremit gibi yapı malzemelerinin üretilmesinde, ön gerilmeli malzeme üretiminde, birtakım jeoteknik uygulamalarında da kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

Sümer ve Sarıbyık (2013), yapmış oldukları çalışmada, lifler ve mineral katkıların beton özelliklerini iyileştirilebilme özelliği bulunduğundan dolayı silis dumanını kullanmışlardır. Silis dumanının saha betonu olarak kullanılmasının beton üzerindeki etkileri incelenip silis dumanının beton üzerindeki olumsuz etkilerini olumluya çevirmek için polipropilen lif de kullanılarak oluşan betonun üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu sebeple C25/30 beton karışımı kullanılarak katkısız beton üretilmiştir. Bu karışımlara farklı oranlarda polipropilen lifler ve silis dumanı eklenmiştir. Bu betonlara su emme, basınç dayanımı ve çekme deneyleri uygulanmıştır. Sonuç olarak %10 silis dumanı içeren betonlara %0.1, %0.5 ve %1 oranlarında polipropilen lif eklendiğinde su ihtiyacı ise aynı çökme değeri için artmıştır. Kontrol karışımıyla kıyaslandığında farklı dozlarda ve değişik katkılarla hazırlanan numunelerin karışım suyu %2 ile %20 arasında artmıştır. Silis dumanı ince bir malzemedir bu yüzden su ihtiyacını artırır. İşlenebilirliği azaltır. Lif kullanımı da işlenebilirliği azalttığından süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Katkı içeriğine bağlı olarak silis dumanı ve polipropilen lif kullanımı kontrol numunelerine kıyasla basınç dayanımında %23 ile %44 arasında artış sağlamıştır. %10 silis dumanı içeren harçlara %0.1 ve %0.5 oranlarında eklenen polipropilen lifler basınç dayanımını arttırmıştır ancak %1 polipropilen lif oranında artan lif hacimleri ile beton basınç dayanımını azaltma eğiliminde olduğu görülmüştür. Eğilme dayanımı değerlerine bakıldığında %5 ve %10 silis dumanı içeren betonlarda ve %10 silis dumanı+%0.1 polipropilen lif ile %10 silis dumanı+%0.5 polipropilen lif içeren betonlarda kontrol numunesine kıyasla eğilme dayanımında %10 ile %39 arasında artış görülmüştür. %10 silis dumanı+%1 polipropilen lif eklenen betonlarda ise eğilme dayanımında azalma görülmüştür. %1 oranında polipropilen lif kullanımı eğilme dayanımını

olumsuz etkileyerek azaltmıştır. Silis dumanı miktarı arttıkça su emme oranı azalmıştır. Betona katılan silis dumanı arttıkça şahit betona kıyasla su emme oranları azalmıştır. %10 silis dumanı katkılı betona belirli oranlarda polipropilen lif eklenmiş, lif oranı arttıkça su emme oranının %10 silis dumanı eklenen betonla karşılaştırıldığında arttığı, kontrol numunesiyle karşılaştırıldığında azaldığı görülmüştür. Polipropilen lif ve silis dumanının birlikte kullanıldığı zaman lif oranı arttıkça silis dumanının su emme miktarına olumsuz olan etkilerinde azalma gözlemlenmiştir. Polipropilen liflerin saha betonlarında kullanılmasının uygun olduğu deneysel çalışmalarla vurgulanmıştır. Bu deneylerin yapıldığı zaman sonbahar ve kış aylarına denk geldiğinden yüzeysel çatlak durumu izlenememiştir. Bu deneyler yaz aylarında yapılarak yüzeysel çatlakların durumu da izlenebilir.

Coşkun ve Sarıışık (2022), yapmış oldukları çalışmada çimento harçlarına pomza tozunun ikame edilmesi ve polipropilen lif eklenmesinin harcın mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Harç örnekleri için CEM I 42.5 R tipi portland çimento ve standart kum kullanılmıştır. Su/bağlayıcı oranı ise 0.5 olarak seçilmiştir. Pomza tozu ikamesi %10 oranında seçilmiştir. 6 mm uzunluğunda polipropilen lif kullanılmıştır ve hacimce %0, %0.2, %0.4 ve %0.8 oranlarında eklenmiştir. Yapılan kontrol karışımında pomza tozu ve lif kullanılmamıştır. Karışımlar için metal kalıp kullanılıp bunların boyutları 5x5x5 cm ve 4x4x16 cm'dir. Bir gün boyunca bu kalıpta bekletilen numuneler kalıptan çıkartılarak 28 gün su kürü uygulanmıştır. Tüm karışımlar için su emme, ultrases geçiş hızı, yayılma tablası, sertleşmiş birim ağırlık, dinamik elastisite modülü, eğilme ve basınç mukavemeti değerlerine bakılmıştır. Sonuca bakıldığında pomza tozu ilavesinin eğilme ve basınç dayanımını, dinamik elastisite modülünü, ultrases geçiş hızını bir miktar arttırdığı, su emme değerini ise düşürdüğü sonucuna varılmıştır. Lif ilavesinin de eğilme dayanımını optimum lif miktarında arttırmış olduğu fakat basınç dayanımı üzerinde bir miktar azalma olduğu tespit edilmiştir.

Bayraktar (2021), yapmış olduğu çalışmada alçıtaşı ve polipropilen lif kullanarak üretilen harçların mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemiştir. Bu deneyler eğilme ve basınç dayanımı, su emme, porozite ve kuruma büzülmesi davranışı etkisi üzerinedir. Bu bağlamda Türkiye'de üretimi olmayan genleşen çimento için alternatif bir yöntem düşünülmüş ve toplam hacime alçıtaşı dahil edilmiştir ve bundan dolayı agrega miktarı azalmıştır. Tüm karışımlarda su/bağlayıcı oranı 0,25 olarak seçilmiştir. Kuruma büzülmesi davranışı ve dayanım özelliklerini geliştirmek amacıyla karışımlara toplam hacmin %1,5 ve %3'ü

oranlarında polipropilen lif ilavesi yapılmıştır. Harçlarda lif kullanımının işlenilebilirliği olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Bu sebeple lif içeren karışımların sabit yayılma değerlerini elde etmek için lif bulunmayan karışıma göre daha çok su eklenmesi gerekmektedir. Ancak dayanımın olumsuz olarak etkilenmemesi için lif bulunan ve bulunmayan harçlara aynı su miktarı eklenmiştir. Su azaltıcı katkı oranı %2,5 olarak seçilmiştir. Üretilen harçların 28 günlük su emme miktarları ve görünür porozitesi, 1, 7 ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanımları, 90 günlük kuruma büzülmesi değerleri tespit edilmiştir. Sonuç olarak lif kullanılması ile istenilen yayılma değerine ulaşmak için su azaltıcı katkıya gereksinim artmıştır. Ayrıca dayanım, porozite, su emme ve kuruma büzülmesi değerlerinde ciddi oranlarda iyileşme olmamıştır.

Aghabaglou vd. (2017), yapmış oldukları çalışmada polipropilen lif kullanımının dayanım ve ultrases geçiş hızına etkisi araştırılmıştır. Lif içermeyen beton karışımlara hacimce %0.4, %0.8, %1 oranlarında polipropilen lif katılarak karışımlar hazırlanmıştır. 25 mm maksimum tane çapında kırma kireç agregası ve CEM I 42.5 R tipi portland çimento kullanılmıştır. Su/çimento oranı çimento dozajı ve çökme miktarları hepsinde sırasıyla 0.45, 350 kg/m³ ve 130±10 mm olarak ayarlanmıştır. Çökme miktarını istenen düzeyde sağlamak amacıyla polikorboksilat-eter esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanılmıştır. Karışımların 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı, 7 ve 28 günlük yarmada çekme dayanımı ve 28 günlük ultrases geçiş hızları 150 mm küp örneklerinde incelenmiştir. Beton karışımların 7 ve 28 günlük 100x100x600 mm prizma numunelerinde orta nokta yüklemeli eğilme dayanımları saptanmıştır. Araştırmada en verimli lif karışım hacminin %0.8 olduğu, bu oranda yüksek dayanıklılık ve yüksek ultrases geçiş hızına ulaştığı belirlenmiştir. Daha fazla lif kullanımı beton numunelerde dayanımı olumsuz etkilemiştir

Yıldırım ve Ekinci (2006), çalışmalarında 12 çeşit beton numuneleri (lifsiz, cam, polipropilen, çelik ve karışık lifli) hazırlanarak beton üretimi gerçekleştirmişlerdir. Karışımlarda mikro yapıda olan çap boyu 50 µ, boyut oranı 400 olan polipropilen ve çap boyu 14 µ, boyut oranı 857 olan cam lifler ve makro yapıda olan çapı 0.75 mm, boyut oranı 80 olan çelik lifler kullanılmıştır. Beton içerisinde hacimsel oranı %0.1 olan polipropilen ve cam lifler ile hacimsel oran olarak %0.5, %0.75 ve %1 çelik lifler farklı oranlarda kullanılmıştır. ASTM C 666 standardına uygun olarak yapılan bu deneyler hızlı donma-çözülme ortamları göz önüne alınarak yapılmıştır. Donma çözülme deneyinde çevrim sayısı 30 olan bu döngünün sonucunda hazır olan numunelerin ultrases geçiş hızı,

ağırlık değişimi ve dayanıklılık değerlerine bakılmıştır. Sonuç olarak 30 çevrim donma-çözülme deneyi sonunda betonların yüzeylerinin düzgünlüğünü yitirdiği, yuvarlak çukurlar olduğu, beton numunelerinin köşe kısımlarında daha çok hasar meydana geldiği ve beton numunelere yakından bakıldığında özellikle 20-25 çevrim arasında olan numunelerde yer yer süngerimsi bir yapının olduğu gözlemlenmiştir. Numuneler çevrim sayısı düşük olduğunda da yüzeysel olarak tahribata uğramaktadır. Çelik lif içeren betonların köşeleri daha zayıf olduğundan ve lifler köşe kısımlara denk gelirse bu kısımdaki matris donma-çözülme deneyinde kopmalara sebep olmaktadır. Ağırlık azalmalarına köşe kısımlardan kopan parçacıklarda sebep olmuştur. İklim koşulları soğuk olan yerlerde, soğuk hava depolarında ve soğuk hava koşullarında lif ilavesi gerektiren betonlara polipropilen lif içeren betonların kullanılması avantaj sağlamaktadır. Çelik lif kullanımının ise pek bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Bu koşullarda cam liflerin kullanılmaması veya donma-çözülme etkilerine karşı korunması gerekmektedir. Bu deneyde kullanılan çelik liflerin etki yönü olumsuz olduğundan farklı narinliklere sahip, çelik liflerin özellikle daha küçük boyutlu olanlarında donma-çözülme etkisi araştırılmalıdır. Ayrıca hava katkısı kullanımının betonlarda dayanıklılık ile mekanik özellikler arasındaki ilişkiler açısından yapılacak olan çalışmaları daha ilginç hale getirebilir.

Akkaş vd. (2010), yapmış oldukları çalışmada, polipropilen lif içeren yarı hafif betonların üretimi ve basınç dayanımları incelenmiştir. Bu deneysel çalışmada normal dayanımlı betonlar ile aynı karışıma sahip olan fakat çimento ağırlığının %6'sı oranında polipropilen lif içeren yarı hafif betonlar elde edilmiştir. Bu numunelere basınç dayanımı deneyi uygulanıp 7 ve 28 günlük dayanım değerleri incelenmiştir. Sonuç olarak normal betona uygulanan basınç dayanımı deneyi betonda kırılmalara ve parçalanmalara yol açmaktadır. Fakat polimer katkı içeren betonlarda çatlak oluşması durumunda bile yük taşımaya devam ettiği görülmüştür. Polimer katkı ilavesi taze betonun işlenilebilirliğini yüksek ölçüde etkilemektedir.

Topçu vd (2017), yapmış oldukları çalışmada, polimer esaslı olan polipropilen lifli 4 farklı orandaki harçların mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Çimento olarak CEM I 42.5 R seçilmiştir. 40x40x160 mm boyutlarında kalıplar kullanılmıştır. İlk olarak lif katkısı olmayan kontrol numunesi üretimi gerçekleştirilmiştir. Lifler hacimce %0.6, %0.8, %0.9 ve %1.1 oranlarında harçlara eklenmiştir. Numuneler üzerine, eğilme ve basınç dayanımı deneyi, ultrases geçiş hızı ve su emme deneyi, dinamik elastisite modülü ve mikroyapı

incelemesi yapılmıştır. Kontrol numuneleri ile karşılaştırmaları gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak harçların polipropilen lifli olması halinde eğilme dayanımının bir miktar artış gösterdiği, basınç dayanımında bir miktar azalma olduğu, lif tipine göre su emme miktarının değiştiği, genellikle polipropilen miktarı arttıkça ultrases geçiş hızının düştüğü, dinamik elastisite modüllerinin de lif içeriğinin artışıyla azaldığı ve %1.1 lif kullanılan numunelerde kontrol numunesine göre %10 oranında azalma görüldüğü belirlenmiştir.

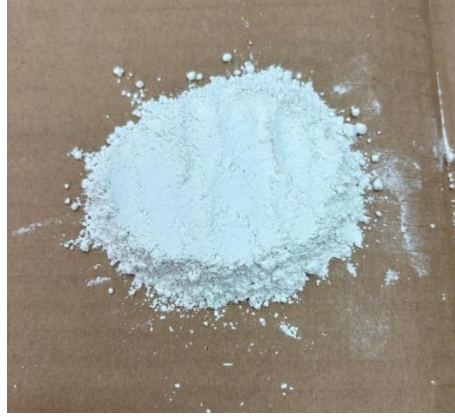
Açıkgenç vd. (2012), yapmış oldukları çalışmada, polipropilen liflerin betona hacimce %1 ve %2 oranlarında ilave edilerek betonun sertleşmiş ve taze özelliklerine yapmış olduğu etkileri araştırmışlardır. Akıcı ve plastik kıvamı olan 300, 350 ve 400 dozajlı polipropilen lif içeren betonlar hazırlanmıştır. Basınç dayanımları için 150x150x150 mm, eğilme-çekme dayanımları için 100x100x500 mm ve durabilite deneyleri için 100x100x100 mm boyutlarında numuneler kullanılmıştır. Betonun dayanımı lif oranı arttıkça artış göstermektedir. Polipropilen lifin betonun kılcal su emme özelliklerini ve betonun aşınma dayanımını da olumlu etkilediği belirlenmiştir. Sonuç olarak taze beton özellikleri ve karışım oranları değişikçe lifin betonun durabilite özellikleri ve dayanım özelliklerinde farklı etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Polipropilen lif kullanımı kıvamı akıcı olan betonlarda çökme miktarını azaltmıştır. Bu durum işlenebilirliğe olumsuz bir etki gibi görülsede taze betonun kohezyonu açısından önem göstermektedir. Ayrıca beton içerisinde polipropilen lif kullanımı betonun mekanik özelliklerini olumlu etkilemişlerdir. Özellikle betonun eğilmede çekme dayanımını arttırıcı özelliklerinden dolayı polipropilen lifler çekme dayanımının önemli olduğu taşıyıcı elemanlarda kullanılabilir.

3. MALZEMELER VE DENEY YÖNTEMLERİ

3.1 Kullanılan Malzemeler

3.1.1 Beyaz çimento

Bu çalışmada kullanılan süper beyaz çimento (CEM I 52.R) ÇİMSA'dan temin edilmiştir. Kullanılan süper beyaz çimento Şekil 3.1'de, kimyasal özellikleri ise Tablo 3.1'de verilmiştir.



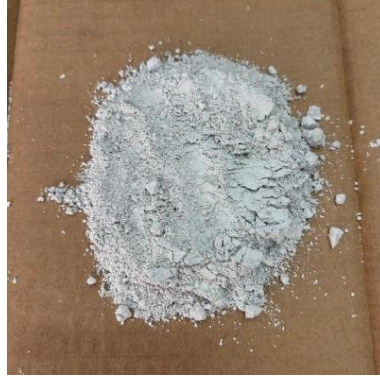
Şekil 3.1: Beyaz çimento

Tablo 3.1: Beyaz çimento kimyasal özellikler (ÇİMSA, 2025)

Özellikler	Çimsa Değerleri	Standart Limiti (EN 197-1)	
		Min.	Max.
Çözünmeyen Kalıntı	% 0.18	-	5.0
SiO ₂	% 21.6	-	-
Al ₂ O ₃	% 4.05	-	-
Fe ₂ O ₃	% 0.26	-	-
CaO	% 65.7	-	-
MgO	% 1.30	-	-
SO ₃	% 3.50	-	4.0
Kızdırma Kaybı	% 3.50	-	5.0
Na ₂ O	% 0.30	-	-
K ₂ O	% 0.35	-	-
Klorür (Cl)	% 0.01	-	0.1
Serbest CaO	% 2.20	-	-

3.1.2 Talk cevheri

Bu çalışmada kullanılan talk cevheri Nevşehir Mikron's şirketinden toz halinde temin edilmiştir. Çimentoya ikame edilerek bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Kullanılan talk cevherinin görünümü Şekil 3.2'de verilmiştir. Çalışmada kullanılan talk cevherinin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.2 ve Tablo 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.2: Talk cevheri

Tablo 3.2: Talk cevheri kimyasal özellikleri (Mikron'S)

KİMYASAL ÖZELLİKLER	
SiO ₂	%51
MgO	%25
CaO	%19
Fe ₂ O ₃	%4
Al ₂ O ₃	%0.20
Kızdırma Kaybı	%15

Tablo 3.3: Talk cevheri fiziksel özellikleri (Mikron'S)

FİZİKSEL ÖZELLİKLER	
SPEŞİFİK YOĞUNLUK	2.78 gr/cm ³
SERTLİK	1 Mohs
KIRILMA İNDEKSİ	1.57
PH DEĞERİ	9
YAĞ EMME	45g/100g
DOP EMME	51g/100g
PAKETLEME YOĞUNLUĞU	0.3g/ml
FABRİKA ÇIKIŞ NEM	%0.4

3.1.3 Agregaya

Bu çalışmada kullanılan agregaya Limak çimentodan temin edilmiştir. Agregaya Şekil 3.3'de verilmiştir. Agreganın CEN standart kumu elek analizi sonuçları Tablo 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.3: Agregaya

Tablo 3.4: CEN Standart kumu elek analizi (LİMAK)

Elek Göz Açıklığı (mm)	Toplam Elekte Kalan
0.08	99 ± 1
0.16	87 ± 5
0.50	67 ± 5
1.00	33 ± 5
1.60	7 ± 5
2.00	0

3.1.4 Polipropilen lif

Bu çalışmada 6 mm boyutunda polipropilen lif kullanılmıştır. Liflerin beton içerisinde dayanıma nasıl bir katkısı olduğu incelenmiştir. Kullanılan polipropilen lif Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Polipropilen Lif

3.2 Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada özel bir çimento türü olan süper beyaz çimento, talk cevheri, agregası, su ve mikrofiber lif kullanılmıştır. Mekanik ve durabilite deneyleri yapıp sonuçları incelenmiştir. İlk olarak yapılan dökümlerde lif kullanılmamış olup çimento yerine %0,%5, %10, %15 ve %20 oranlarında talk ikamesi yapılmıştır. Karışım adları ve karışım oranları Tablo 3.5’de gösterilmiştir. Bu numuneler için 7 ve 28 gün su küründen sonra ayrı ayrı basınç ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Deneyler sonucunda en iyi yani en yüksek sonucu veren numuneler seçilmiştir. Bu numuneler %5 ve %10 oranında talk içeren numunelerdir. Bir sonraki aşamada kontrol numunesi, %5 ve %10 talk içeren numunelere %0, %0.3, %0.6 ve %0.9 oranlarında lif eklenmiştir ve isimlendirilmiştir. Lif içeren karışımlar Tablo 3.6’da gösterilmiştir.

Tablo 3.5: Karışım adları ve karışım oranları

Karışım Adı	Agregası (g)	Talk Cevheri (g)	Çimento (g)	Su (g)	Su/bağlayıcı oranı
BK	1170	0	450	202.5	0.45
%5	1170	22.5	427.5	202.5	0.45
%10	1170	45	405	202.5	0.45
%15	1170	67.5	382.5	202.5	0.45
%20	1170	90	360	202.5	0.45

Tablo 3.6: Deneyde kullanılan karışım isimleri ve karışım oranları

Karışım Adı	Agregası (g)	Talk Cevheri (g)	Çimento (g)	Su (g)	Su/bağlayıcı oranı	Lif miktarı (g)
BK	1170	0	450	202.5	0.45	0
BK3L	1170	0	450	202.5	0.45	1.35
BK6L	1170	0	450	202.5	0.45	2.70
BK9L	1170	0	450	202.5	0.45	4.05
5T	1170	22.5	427.5	202.5	0.45	0
5T3L	1170	22.5	427.5	202.5	0.45	1.35
5T6L	1170	22.5	427.5	202.5	0.45	2.70
5T9L	1170	22.5	427.5	202.5	0.45	4.05
10T	1170	45	405	202.5	0.45	0
10T3L	1170	45	405	202.5	0.45	1.35
10T6L	1170	45	405	202.5	0.45	2.70
10T9L	1170	45	405	202.5	0.45	4.05

3.2.1 Deneyler

Deneyler için kullanılan malzemelerin tartımının yapıldığı cihaz Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.5: Tartım cihazı

Harç karışımı için kullanılan prizma kalıp Şekil 3.6’da, küp kalıp Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Prizma numuneler için kullanılan kalıpların boyutu 40x40x160 mm’dir. Küp numuneler için kullanılan kalıpların boyutu 50x50x50 mm’dir.



Şekil 3.6: Prizma kalıp



Şekil 3.7: Küp kalıp

3.2.1.1 Basınç ve eğilmede çekme dayanımı deneyi

Malzemelerin taşıma kapasitesini ve dayanımını ölçmek için yapılan basınç deneyi standartlarda belirtilen yükleme hızlarına göre tüm serilerdeki küp ve prizma numunelere uygulanmıştır. Kullanılan deney aleti Şekil 3.8’de, prizma numunler için yapılan basınç dayanımı deneyinde kullanılan başlık Şekil 3.9’da ve küp numuneler için kullanılan kırma başlığı Şekil 3.10’da gösterilmiştir. Prizmaya uygulanan basınç dayanımı deneyi eğilmede çekme dayanımı deneyi yapıldıktan sonra iki parçaya ayrılan numunelere ayrı ayrı uygulanmıştır. Eğilmede çekme dayanımı deneyi ise 40x40x160 mm boyutlarında prizma numunelere uygulanmıştır. Bu deney için kullanılan başlık Şekil 3.11’de verilmiştir. Dökümün yapıldığı tarihten itibaren 7, 28 ve 90 gün boyunca su küründe bekletilen numunelere basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır. Uygulanan yükler küp numuneler için 3.75 kN/s, prizma numuneler için 2.40 kN/s’dir. Küp numunelerin boyutu ise 50x50x50 mm’dir.



Şekil 3.8: Beton pres makinesi



Şekil 3.9: Basınç dayanımı için kullanılan prizma başlık



Şekil 3.10: Basınç dayanımı için kullanılan küp başlık



Şekil 3.11: Eğilmede çekme dayanımı için kullanılan başlık

3.2.1.2 Yüksek sıcaklık deneyi

Malzemelerin yüksek sıcaklık koşullarında mekanik ve fiziksel özelliklerindeki değişimleri incelemek amacıyla yapılan bu deneyde 28 gün su kürü uygulanan numuneler kullanılıp deney öncesi ve sonrası numune ağırlıkları ve ultrases geçiş hızları not edilmiştir. Deney düzeneğinde her bir sıcaklık değeri için dakikada 5 °C artacak şekilde hazırlanan deney aleti 60 dk boyunca hedeflenen sıcaklıkta bekletilmiştir. 250 °C, 500 °C ve 750 °C’de gerçekleşen bu deneyler için her bir seriden ikişer numune kullanılarak belirlenen sıcaklıklarda deney gerçekleştirilmiştir. Deney sonrasında ağırlıklar ve ultrases geçiş hızı sonuçlarına bakılıp eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Deneyde kullanılan yüksek sıcaklık fırını Şekil 3.12’de ve deneyden önce yüksek sıcaklık fırınındaki numuneler Şekil 3.13’de verilmiştir.



Şekil 3.12: Yüksek sıcaklık fırını



Şekil 3.13: Yüksek sıcaklık fırınında deney öncesi numuneler

3.2.1.3 Donma çözülme deneyi

Tekrarlı donma çözölmeye bağlı olarak betonun dayanımının test edildiği bu deneyde her bir seriden ikişer numune olacak şekilde küp ve prizma numuneler kullanılmıştır. Deneyde 28 gün boyunca su kuru uygulanan numunelere 100 çevrim olacak şekilde 4 saat +20 °C ve 4 saat -20 °C sıcaklık döngüsünde geçen bu süre 1 çevrim olarak kabul edilmiştir. Deneyde kullanılan donma-çözölme kabini Şekil 3.14’de verilmiştir. Tüm numunelerin deney öncesi ve deney sonrası ağırlıkları ve ultrases geçiş hızı değerleri not edilmiştir. Eğilme ve basınç dayanımlarına bakılmıştır.



Şekil 3.14: Donma-çözölme kabini

3.2.1.4 Sulfat etkisi deneyi

Bu deney malzemenin kimyasal etkiler altında davranışını belirlemek için yapılır. 2 ay ve 3 ay olarak yapılan bu deneyde plastik kap içerisinde bekletilen numuneler %10 derişimli Magnezyum sulfat çözeltisi ($MgSO_4$) ve %10 derişimli Sodyum Sulfat (Na_2SO_4) çözeltisi içerisinde tutulmuştur. Deney öncesinde ve deney sonrasında tüm serilerin ağırlık değerleri ve ultrases geçiş hızı değerleri not edilmiştir. Eğilme ve basınç dayanım değerlerine bakılmıştır. Kullanılan $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 Şekil 3.15’de ve Şekil 3.16’da verilmiştir.



Şekil 3.15: Magnezyum sulfat



Şekil 3.16: Sodyum sulfat

3.2.1.5 Ultrases geçiş hızı deneyi

Betonun homojenlik, çatlak, iç yapı ve yoğunluğu hakkında bilgi sahibi olmak için yapılan bu deney betona zarar vermeden yapılır. Vericiden alınan dalgalar betonda yayılır ve alıcı prob tarafından kaydedilir. Bu değer alıcı ve verici arasındaki geçen süreyi hesaplar. Deney yapılmadan önce alıcı ve verici proba jel sürülerek deney gerçekleştirilir. Dalganın yol aldığı mesafe (m), geçiş hızına (s) bölünerek ultrases geçiş hızı (m/s) bulunur. Bu tez çalışmasında kullanılan ultrases geçiş hızı deney aleti Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



Şekil 3.17: Ultrasonik ses cihaz

3.2.1.6 Su emme deneyi

Bu deney numunelerin kuru ve doğun ağırlıkları arasındaki farktan malzemenin gözeneklilik özelliğini ve suya karşı dayanımını belirlemek için yapılır. 28 günlük su krnden karılan numuneler kurumaya bırakılıp ağırlıklarına bakılmıştır. Daha sonra su içerisine yerleştirilip 24 saat boyunca bekletilmiştir. 24 saat sonunda tekrardan ağırlıklarına bakılıp not edilmiştir. Tüm seriler için ikişer numune olacak Şekilde bu deney uygulanmıştır.

4.DENEY SONUÇLARI

4.1 Mekanik Deneyler ve Sonuçları

Çalışma kapsamında üretilen numunelerin mekanik performansının değerlendirilmesi amacıyla basınç ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Bu deneyler malzemenin çatlak oluşumunun değerlendirilmesi ve taşıma kapasitesinin değerlendirilmesi için oldukça önemlidir. Farklı karışım oranlarının mekanik özellikler üzerindeki etkisinin incelendiği basınç ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri için 7, 28 ve 90 günlük su kürü uygulandıktan sonra küp ve prizma numuneler için bu deneyler uygulanmıştır. Mekanik deneylerin sonuçları için prizma numunelerin verileri kullanılmıştır.

4.1.1 Basınç ve eğilmede çekme dayanımı deneyi

Başlangıçta farklı oranlarda talk cevheri kullanılarak üretilen numunelerin basınç ve eğilmede çekme dayanımı deneylerine bakılarak çıkan sonuçlara göre hangi oranlarda talk cevheri içeren numunelerin kullanılacağı ön dökümler ile belirlenmiştir. Çimentoya ikame olarak %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında talk cevheri kullanılıp su/bağlayıcı oranı 0.45 olarak seçilmiştir. Kullanılan agrega miktarı da sabit olup 1170 gram agrega kullanılmıştır. Bu ön dökümler ile 7, 28 ve 90 günlük basınç ve eğilmede çekme dayanımı deneylerinin sonuçları incelenmiştir.

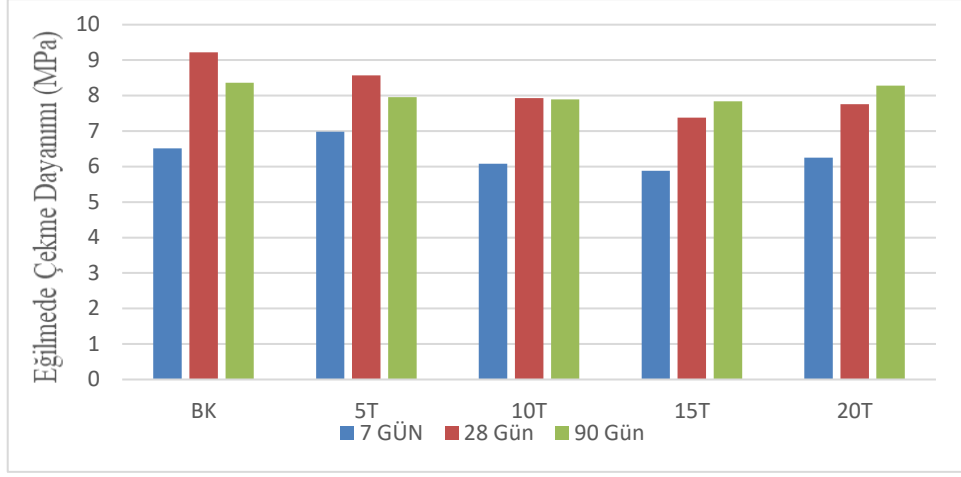
Bu sonuçlara göre 7 günlük eğilmede çekme dayanımı verilerine bakıldığında 5T serisi en yüksek dayanıma sahipken, 10T, 15T ve 20T serilerinde BK serisine kıyasla azalış gözlemlenmiştir. En düşük eğilmede çekme dayanımı değeri %-9.68 azalışla 15T serisinde görülmüştür. 28 günlük sonuçlara bakıldığında en yüksek eğilmede çekme dayanımı değeri BK serisinde görülmüştür. En düşük eğilmede çekme dayanımı değeri ise %-19.96 azalışla 15T serisinde görülmüştür. Tüm serilerde BK serisine kıyasla azalma olmuştur. 90 günlük sonuçlar incelendiğinde ise en yüksek eğilmede çekme dayanımı değeri BK serisinde görülmüştür. En düşük eğilmede çekme dayanımı değeri %-6.22 azalışla 15T serisinde görülmüştür. Tüm serilerde BK serisine kıyasla azalma olmuştur. 7, 28 ve 90 günlük eğilmede çekme dayanımı sonuçlarına bakıldığında 7 günlük eğilmede çekme dayanımı sonuçlarına kıyasla kür süresi arttıkça eğilmede çekme dayanımı sonuçlarında artış gözlemlenmiştir. Deney sonuçları Tablo 4.1'de ve Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Basınç dayanımı sonuçlarına incelendiğinde 7 günlük basınç dayanım sonuçları için en yüksek basınç dayanım değeri BK serisinde görülmüştür. En düşük basınç dayanım değeri %-55.45 azalışla 20T serisinde görülmüştür. 28 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde BK serisine göre en yüksek basınç dayanım değeri 5T serisinde görülmüştür. Artış oranı %33.91'dir. 10T serisinde kontrol serisine göre bir miktar (%0.99) artış gözlemlenmiştir. 15T ve 20T serilerinde ise BK serisine göre azalma görülmüş olup en düşük basınç dayanım değeri %-12.59 azalma oranıyla 20T serisindedir. 90 günlük basınç dayanım değerlerine bakıldığında ise en yüksek basınç dayanım değeri BK serisine göre %3.32 artışla 5T serisinde görülmüştür. BK serisine kıyasla 10T, 15T ve 20T serilerinde ise kontrol serisine göre azalma görülmüş olup en düşük basınç dayanım değeri BK serisine göre %-14.11 azalışla 20T serisinde görülmüştür. 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında 7 günlük basınç dayanımına kıyasla kür süresi arttıkça basınç dayanımlarında artış görülmüştür. Basınç dayanım sonuçları Tablo 4.2'de ve Şekil 4.2'de verilmiştir.

Mineral katkıların yüksek oranda kullanılması durumunda basınç dayanım değerlerinde düşüş görülebilmektedir (Güçlüer vd., 2019). Beyaz çimento özellikle 28 günde dayanımını kazandığı için BK serisinin 28 gün su küründe bekletildiğinde eğilmede çekme dayanımının en yüksek sonucu vermesi bu şekilde açıklanabilir (ÇİMSA).

Tablo 4.1: Ön döküm eğilmede çekme dayanımı sonuçları

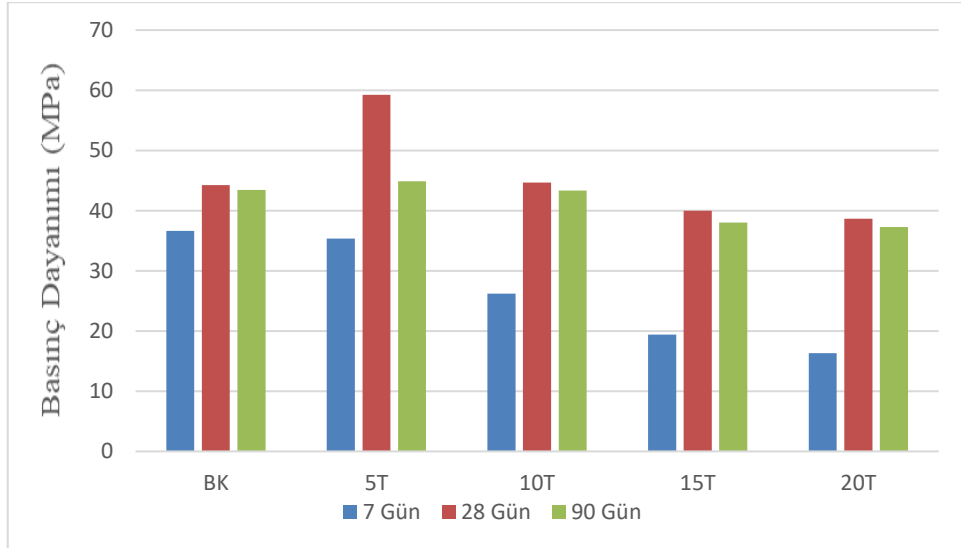
Karışım Adı	7 GÜN		28 Gün		90 Gün	
	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Değişme Oranı (%)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Değişme Oranı (%)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Değişme Oranı (%)
BK	6.51	-	9.22	-	8.36	-
5T	6.98	7.22	8.57	-7.05	7.96	-4.78
10T	6.08	-6.61	7.93	-13.99	7.89	-5.62
15T	5.88	-9.68	7.38	-19.96	7.84	-6.22
20T	6.25	-3.99	7.76	-15.84	8.28	-0.96



Şekil 4.1: Ön döküm eğilmede çekme dayanımı sonuçları

Tablo 4.2: Ön döküm basınç dayanımı sonuçları

Karışım Adı	7 Gün		28 Gün		90 Gün	
	Basınç Dayanımı (MPa)	Değişme Oranı (%)	Basınç Dayanımı (MPa)	Değişme Oranı (%)	Basınç Dayanımı (MPa)	Değişme Oranı (%)
BK	36.63	-	44.24	-	43.43	-
5T	35.36	-3.47	59.24	33.91	44.87	3.32
10T	26.21	-28.45	44.68	0.99	43.35	-0.18
15T	19.42	-46.99	39.97	-9.65	38.03	-12.43
20T	16.32	-55.45	38.67	-12.59	37.30	-14.11



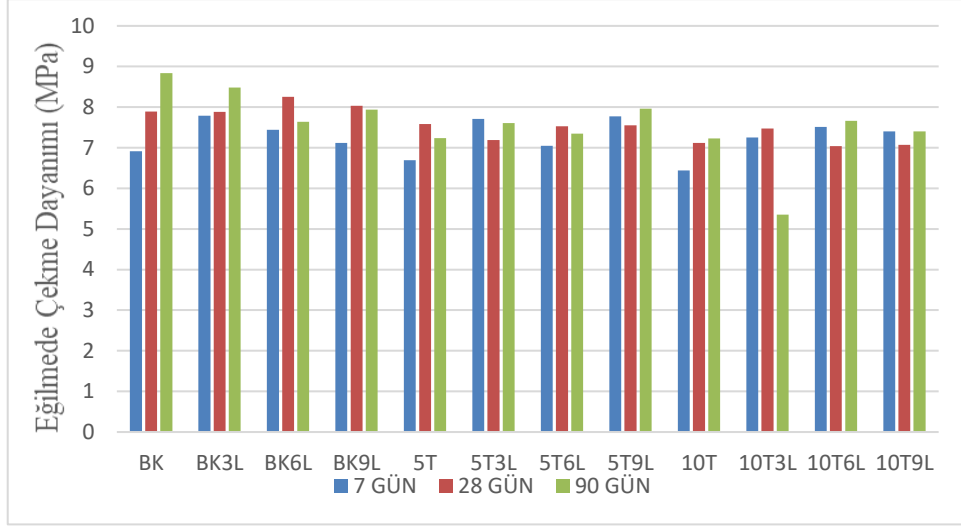
Şekil 4.2: Ön döküm basınç dayanımı sonuçları

Ön döküm sonuçları göz önüne alınarak BK, 5T ve 10T serileri bu çalışma için üretilecek seriler olarak seçilmiştir. Bu serilere %0, %0.3, %0.6 ve %0.9 oranlarında lif ilave edilmiştir. Üretimi yapılan numunelerin mekanik performanslarının incelenebilmesi için eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. 7, 28, ve 90 gün su kürtü uygulanan numunelerin sonuçları incelenmiştir.

7 günlük eğilmede çekme dayanımı sonuçlarına göre en yüksek dayanım BK serisine göre %12.73 artışla BK3L serisinde görülmüştür. BK, 5T ve 10T serilerine bakıldığında bu serilere lif eklendikçe kendilerine kıyasla dayanımda artış olmuştur. En düşük dayanım ise %-6.80 ile 10T serisinde gözlemlenmiştir. 28 günlük eğilmede çekme dayanımı sonuçlarına göre en yüksek dayanım BK serisine göre %4.56 artışla BK6L serisinde gözlemlenmiştir. En düşük dayanım değeri ise %-10.77 azalışla 10T6L serisinde gözlemlenmiştir. 90 günlük eğilmede çekme dayanımı sonuçlarına göre BK serisi en yüksek dayanım değerini vermiştir. En düşük dayanım değeri ise BK serisi ile kıyaslandığında %-39.48 azalışla 10T3L serisinde gözlemlenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.3’de ve Şekil 4.3’de gösterilmiştir.

Tablo 4.3: Eğilmede çekme dayanımı sonuçları

Karışım Adı	7 GÜN		28 GÜN		90 GÜN	
	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Değişme Oranı (%)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Değişme Oranı (%)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Değişme Oranı (%)
BK	6.91	-	7.89	-	8.84	-
BK3L	7.79	12.73	7.88	-0.13	8.48	-4.07
BK6L	7.44	7.67	8.25	4.56	7.64	-13.57
BK9L	7.12	3.04	8.03	1.77	7.94	-10.18
5T	6.69	-3.18	7.58	-3.93	7.24	-18.10
5T3L	7.71	11.58	7.19	-8.87	7.61	-13.91
5T6L	7.05	2.03	7.53	-4.56	7.35	-16.85
5T9L	7.77	12.45	7.55	-4.31	7.96	-9.95
10T	6.44	-6.80	7.12	-9.76	7.23	-18.21
10T3L	7.25	4.92	7.47	-5.32	5.35	-39.48
10T6L	7.51	8.68	7.04	-10.77	7.66	-13.35
10T9L	7.40	7.09	7.07	-10.39	7.40	-16.29

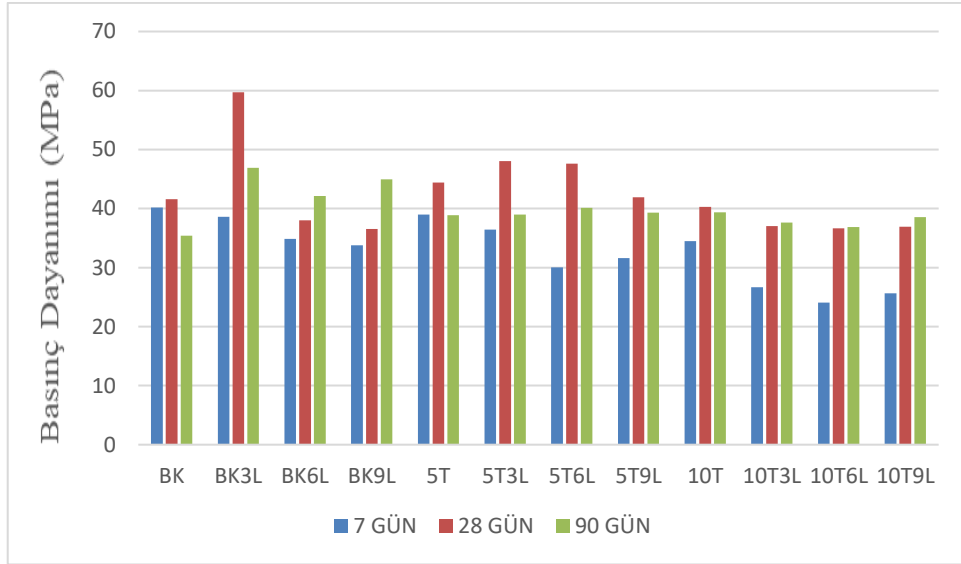


Şekil 4.3: Eğilmede çekme dayanımı sonuçları

Basınç dayanım değerleri incelendiğinde 7 günlük basınç dayanım değerleri sonuçları için en yüksek basınç dayanım değeri BK serisinde görülmüştür. En düşük basınç dayanım değeri ise BK serisine göre %-40.07 azalışla 10T6L serisinde görülmüştür. 28 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde en yüksek basınç dayanım değeri BK serisine göre kıyaslandığında %43.62 artışla BK3L serisinde görülmüştür. En düşük basınç dayanım değeri ise BK serisine göre %-12.12 azalışla BK9L serisinde görülmüştür. 90 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde en yüksek basınç dayanım değeri BK serisine kıyasla %32.42 artışla BK3L serisinde gözlemlenmiştir. En düşük basınç dayanım değeri ise BK serisinde görülmüştür. Sonuçlar Tablo 4.4’de ve Şekil 4.4’de verilmiştir. Talkın içeriğinde de bulunan SiO_2 ve MgO reaksiyona girerek M-S-H (Magnezyum Silikat Hidrat) jeli oluşturur. C-S-H jeline benzeyen M-S-H jeli gözenek yapısını azaltır, mikro yapıyı yoğunlaştırır ve basınç dayanımını artırabilir (Jia vd., 2024).

Tablo 4.4: Basınç dayanımı sonuçları

Karışım Adı	7 GÜN		28 GÜN		90 GÜN	
	Basınç Dayanımı (MPa)	Değişme Oranı (%)	Basınç Dayanımı (MPa)	Değişme Oranı (%)	Basınç Dayanımı (MPa)	Değişme Oranı (%)
BK	40.18	-	41.59	-	35.41	-
BK3L	38.58	-3.98	59.73	43.62	46.89	32.42
BK6L	34.84	-13.29	37.99	-8.66	42.11	18.92
BK9L	33.76	-15.98	36.55	-12.12	44.94	26.91
5T	38.97	-3.01	44.43	6.83	38.89	9.83
5T3L	36.42	-9.36	48.02	15.46	38.99	10.11
5T6L	30.02	-25.29	47.62	14.50	40.12	13.30
5T9L	31.62	-21.30	41.89	0.72	39.29	10.96
10T	34.46	-14.24	40.31	-3.08	39.35	11.13
10T3L	26.65	-33.67	37.04	-10.94	37.65	6.33
10T6L	24.08	-40.07	36.67	-11.83	36.87	4.12
10T9L	25.66	-36.14	36.93	-11.20	38.57	8.92

**Şekil 4.4:** Basınç dayanımı sonuçları

4.2 Durabilite Deneyleri ve Sonuçları

Durabilite betonun yapısının servis ömrü boyunca içten ve dıştan gelebilecek fiziksel ve kimyasal durumlara olan dayanıklılığıdır (Çelik, 2025). Durabilite deneyleri için donma-çözülme, yüksek sıcaklık, sülfat etkisi ve su emme etkilerine bakılmıştır. Bu deneylerden önce ve sonra ultrases geçiş hızı deneyi yapılmış ve ağırlıklarına bakılmıştır. Eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanım değerleri incelenmiştir. Durabilite deneyleri sonuçları için prizma numunelerin verileri kullanılmıştır.

4.2.1 Donma-çözülme deneyi

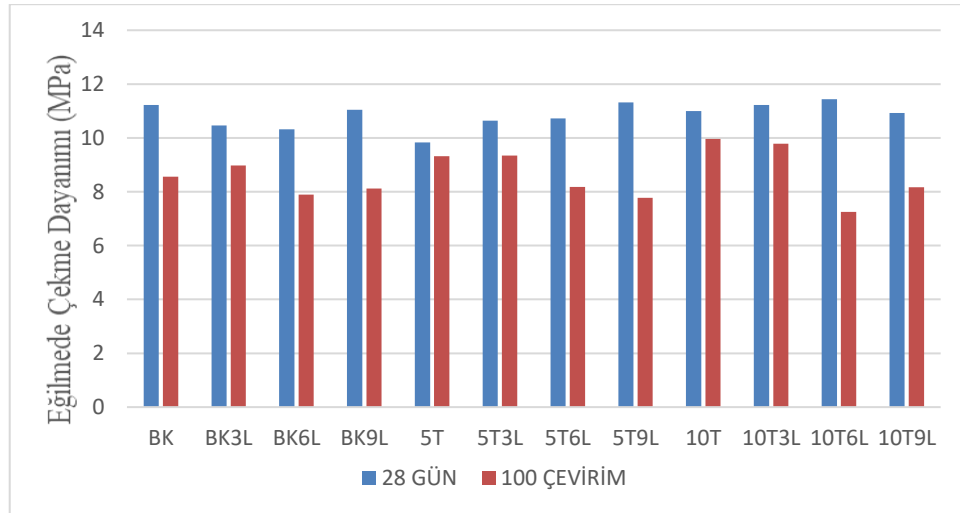
Bu deney için 28 gün su kürü uygulanan numuneler donma-çözülme kabinde 100 çevrim olacak şekilde tutulmuştur. 8 saatlik süre içerisinde 4 saat +20 °C ve 4 saat -20 °C' de olacak şekilde geçen bu döngü 1 çevrim olarak adlandırılmıştır. Deney öncesi ve sonrası ağırlıklar, ultrases geçiş hızları, eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanım değerleri incelenmiştir.

28 günlük eğilmede çekme dayanımı değerleri incelendiğinde en yüksek dayanım değeri 10T6L serisinde gözlemlenmiştir. En düşük dayanım değeri 5T serisindedir. 100 çevrim donma çözülme deneyi sonucunda eğilmede çekme dayanımı sonuçlarında azalma görülmüş olup 10T serisi en yüksek eğilmede çekme dayanımı değerine sahiptir. 100 çevrim sonucunda en düşük eğilmede çekme dayanımı değeri ise 10T6L serisinde görülmüştür.

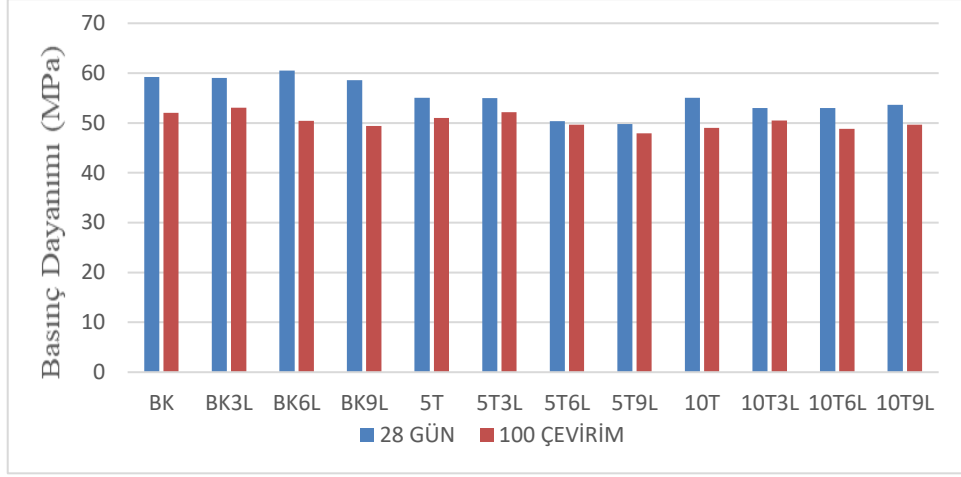
28 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde en yüksek basınç dayanım değeri BK6L serisinde görülmüştür. En düşük basınç dayanım değeri ise 5T9L serisinde görülmüştür. 100 çevrim sonucunda 28 güne kıyasla basınç dayanım değerlerinde azalma görülmüş olup en yüksek basınç dayanım değeri BK3L serisinde görülmüştür. En düşük basınç dayanım değeri ise 5T9L serisinde görülmüştür. Eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı sonuçları Tablo 4.5'de, Şekil 4.5'de ve Şekil 4.6'da verilmiştir. Donma çözülme çevrimine maruz kalan betonların eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı değerleri azalma göstermektedir. Literatürde beyaz çimento içeren betonların donma-çözülme çevrimleri sonrası eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı değerlerinde azalma olduğu da görülmektedir (Alcharchafche et al., 2022).

Tablo 4.5: Donma-çözülme deneyi sonrası eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı sonuçları

Karışım Adı	28 GÜN	100 ÇEVİRİM		28 GÜN	100 ÇEVİRİM	
	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Değişme Oranı (%)	Basınç Dayanımı (MPa)	Basınç Dayanımı (MPa)	Değişme Oranı (%)
BK	11.22	8.56	-23.71	59.23	52.05	12.12
BK3L	10.46	8.98	-14.15	59.05	53.04	10.18
BK6L	10.32	7.89	-23.55	60.51	50.43	16.66
BK9L	11.05	8.12	-26.52	58.57	49.39	15.67
5T	9.83	9.32	-5.19	55.03	50.98	7.36
5T3L	10.64	9.34	-12.22	54.98	52.19	5.07
5T6L	10.72	8.18	-23.69	50.39	49.65	1.47
5T9L	11.32	7.77	-31.36	49.78	47.94	3.70
10T	11.00	9.96	-9.45	55.02	49.04	10.87
10T3L	11.23	9.79	-12.82	52.99	50.48	4.74
10T6L	11.44	7.25	-36.63	53.00	48.84	7.85
10T9L	10.93	8.17	-25.25	53.64	49.65	7.44



Şekil 4.5: Donma-çözülme deneyi sonrası eğilmede çekme dayanımı sonuçları



Şekil 4.6: Donma-çözülme deneyi sonrası basınç dayanımı sonuçları

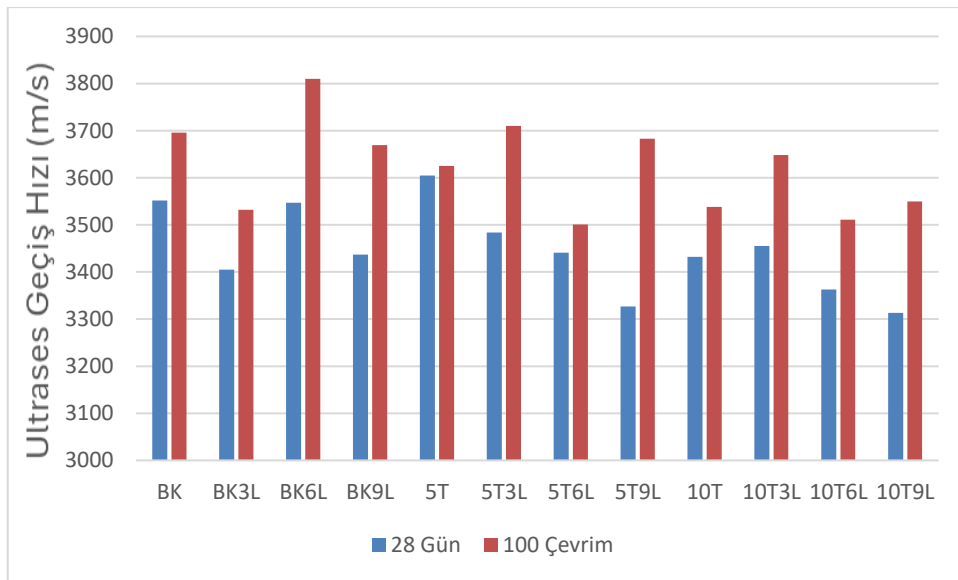
4.2.1.1 Donma-çözülme deneyi ultrases geçiş hızı sonuçları

Donma-çözülme deneyi için yapılan ultrases geçiş hızı değerleri 28 gün su kürü uygulanan numunelere ve deney sonrası 100 çevrim tamamlandığında uygulanmıştır. Bu sonuçlar karşılaştırıldığında ultrases geçiş hızı değerlerinde artış görülmüştür. 28 günlük su küründen sonra ultrases geçiş hızı en yüksek olan seri 5T, en düşük seri ise 10T9L'dir. 100 çevrim sonrası ise en yüksek ultrases geçiş hızı sonucu BK6L serisinde, en düşük sonuç 5T6L serisinde görülmüştür. 100 çevrim sonrasında 28 günlük ultrases geçiş hızı ile kıyaslandığında artış miktarları %0.55 ile %10.70 değerlerinde değişmektedir. Sonuçlar Tablo 4.6'da ve Şekil 4.7'de verilmiştir. Ultrases geçiş hızındaki bu artışın sebebi şu şekilde açıklanabilir:

Donan su hacmi yaklaşık olarak %9 artmaktadır ve kılcal boşluklardaki su boşluk hacminin bir bölümünü doldurursa donan suyun genişebileceği boş bir hacim oluşmaktadır. Suya doymun halde olan beton hacim artışından dolayı boşluklara basınç uygular. Sıcaklığın yükselmesiyle buz çözülür ve bu basınç ortadan kalkar. Donma-çözülme etkisinde sürekli tekrarlanan çevrimler sonucunda betonda hasar oluşmaya başlar ve çatlaklar oluşur (Uysal, 2011). Bu sebeple de ultrases geçiş hızı artış gösterir.

Tablo 4.6: Donma-çözülme deneyi ultrases geçiş hızı sonuçları

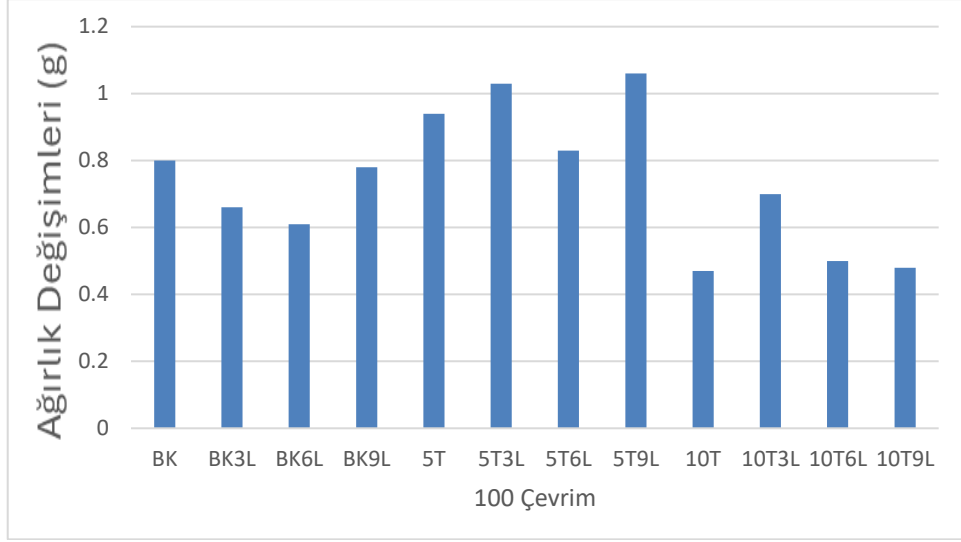
Karışım Adı	28 Gün	100 Çevrim	
	Ultrases Geçiş Hızı (m/s)	Ultrases Geçiş Hızı (m/s)	Değişme Oranı (%)
BK	3552	3696	4.05
BK3L	3405	3532	3.73
BK6L	3547	3810	7.41
BK9L	3437	3669	6.75
5T	3605	3625	0.55
5T3L	3484	3710	6.49
5T6L	3441	3501	1.74
5T9L	3327	3683	10.70
10T	3432	3538	3.09
10T3L	3455	3648	5.59
10T6L	3363	3511	4.40
10T9L	3313	3550	7.15



Şekil 4.7: Donma-çözülme deneyi ultrases geçiş hızı sonuçları

4.2.1.2 Donma-çözülme deneyi ağırlık değişimi sonuçları

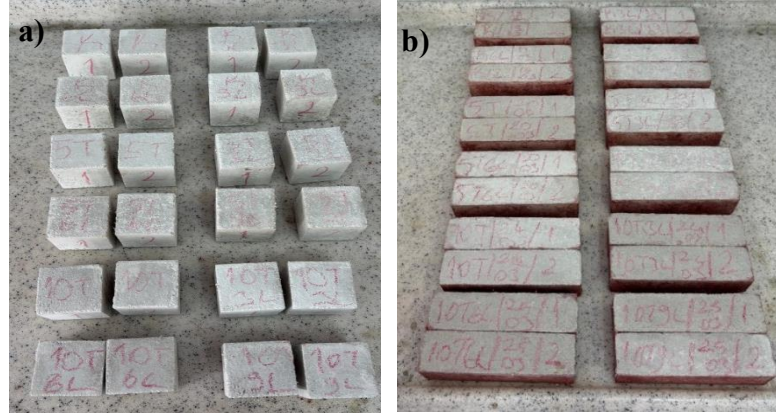
Donma-çözülme deneyi öncesi ve sonrası numunelerin ağırlıkları ölçülmüştür. Deney sonrasında ağırlık değerlerinde artış gözlemlenmiştir. En yüksek ağırlık değişimi %1.06 değeriyle 5T9L serisinde, en düşük ağırlık değişimi ise %0.47 değeriyle 10T serisindedir. Deney sonrası ağırlık değişimleri şekilde verilmiştir. Tüm serilerde deney öncesi ve deney sonrası da lif oranının artması ağırlığı azaltmıştır. Ağırlık değişimleri Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8: Donma-çözülme deneyi ağırlık değişimleri

4.2.1.3 Donma-çözülme deneyi sonrası görsel inceleme

Donma-çözülme çevrimleri sonucunda numuneler üzerinde tüm serilerde çatlak oluşumu ve yüzey bütünlüğü açısından görsel inceleme yapıldığında çıplak gözle görülebilecek herhangi olumsuz bir durum tespit edilmemiştir. Üretilen numunelerin donma-çözülme çevrimlerine yüzeyel olarak yeterli performans gösterdiği görülmektedir. Deney sonrası numuneler Şekil 4.9’da verilmiştir.



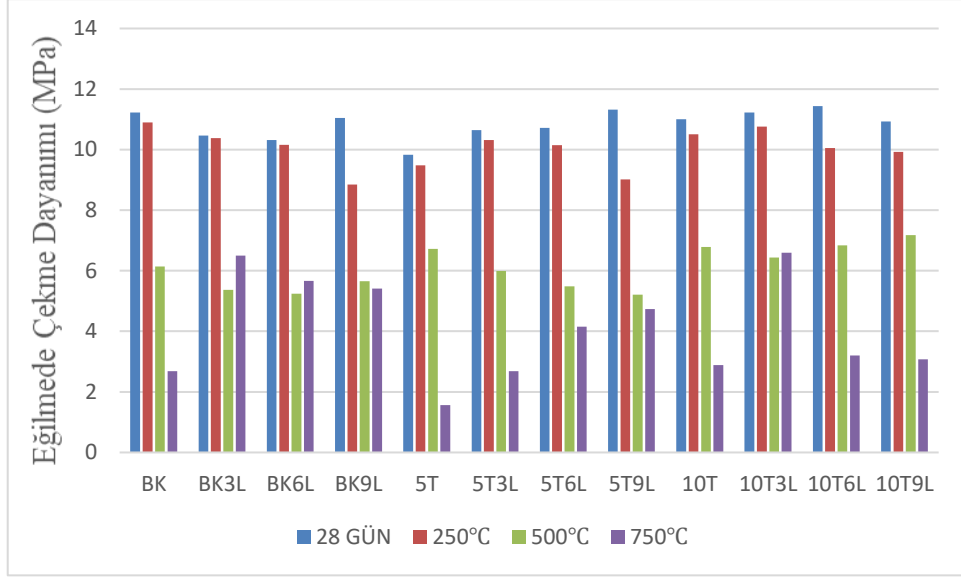
Şekil 4.9: Donma-çözülme deneyi sonrası numuneler a) Küp numuneler b) Prizma numuneler

4.2.2 Yüksek sıcaklık deneyi

Yüksek sıcaklık etkisi deneylerinin amacı artan sıcaklıklar altında malzemedeki fiziksel ve mekanik özelliklerin değişiminin incelenmesidir. Bu deney kontrollü bir şekilde ısıtılma yapılarak gerçekleştirir. Hedeflenen sıcaklığa dakikada 5 °C artacak şekilde, hedef sıcaklığa ulaşıldığında 60 dakika bekleyecek şekilde ısıtılma yapılır. 250 °C, 500 °C ve 750 °C sıcaklık derecesinde gerçekleşen bu deneyler, tüm serilerde 28 günlük eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı değerleri ile karşılaştırılmıştır. Tüm sıcaklık derecelerinde 28 günlük eğilmede çekme dayanımı değerlerine göre düşüş gözlemlenmiştir. 250 °C sıcaklığında 28 günlük eğilmede çekme dayanımı değerleriyle kıyaslandığında %0.76 ile %20.32 oranlarında değişim görülmüştür. En yüksek eğilmede çekme dayanımı 10.90 MPa sonucuyla BK serisinde, en düşük eğilmede çekme dayanımı ise 8.85 MPa sonucuyla BK9L serisinde görülmüştür. 500 °C sıcaklığında 28 günlük eğilmede çekme dayanımı değerleriyle kıyaslandığında %31.64 ile %53.98 oranlarında değişim görülmüştür. En yüksek eğilmede çekme dayanımı 7.18 MPa sonucuyla 10T9L serisinde, en düşük eğilmede çekme dayanımı ise 5.21 MPa sonucuyla 5T9L serisinde görülmüştür. 750 °C sıcaklığında 28 günlük eğilmede çekme dayanımı değerleriyle kıyaslandığında %37.86 ile %84.13 oranlarında değişim görülmüştür. En yüksek eğilmede çekme dayanımı 6.59 MPa sonucuyla 10T3L serisinde, en düşük eğilmede çekme dayanımı ise 1.56 MPa sonucuyla 5T serisinde görülmüştür. Sonuçlar Tablo 4.7’de ve Şekil 4.10’da verilmiştir.

Tablo 4.7: Yüksek sıcaklık deneyi eğilmede çekme dayanımı sonuçları

Karışım Adı	28 GÜN	250 °C		500 °C		750 °C	
	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Değişme Oranı (%)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Değişme Oranı (%)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Değişme Oranı (%)
BK	11.22	10.90	2.85	6.14	45.28	2.68	76.11
BK3L	10.46	10.38	0.76	5.37	48.66	6.50	37.86
BK6L	10.32	10.16	1.55	5.24	49.22	5.66	45.15
BK9L	11.05	8.85	19.91	5.65	48.87	5.41	51.04
5T	9.83	9.48	3.56	6.72	31.64	1.56	84.13
5T3L	10.64	10.32	3.01	5.99	43.70	2.68	74.81
5T6L	10.72	10.15	5.32	5.49	48.79	4.15	61.29
5T9L	11.32	9.02	20.32	5.21	53.98	4.73	58.22
10T	11.00	10.51	4.45	6.79	38.27	2.88	73.82
10T3L	11.23	10.76	4.18	6.44	42.65	6.59	41.32
10T6L	11.44	10.05	12.15	6.84	40.21	3.20	72.03
10T9L	10.93	9.92	9.24	7.18	34.31	3.08	71.82



Şekil 4.10: Yüksek sıcaklık deneyi eğilmede çekme dayanımı sonuçları

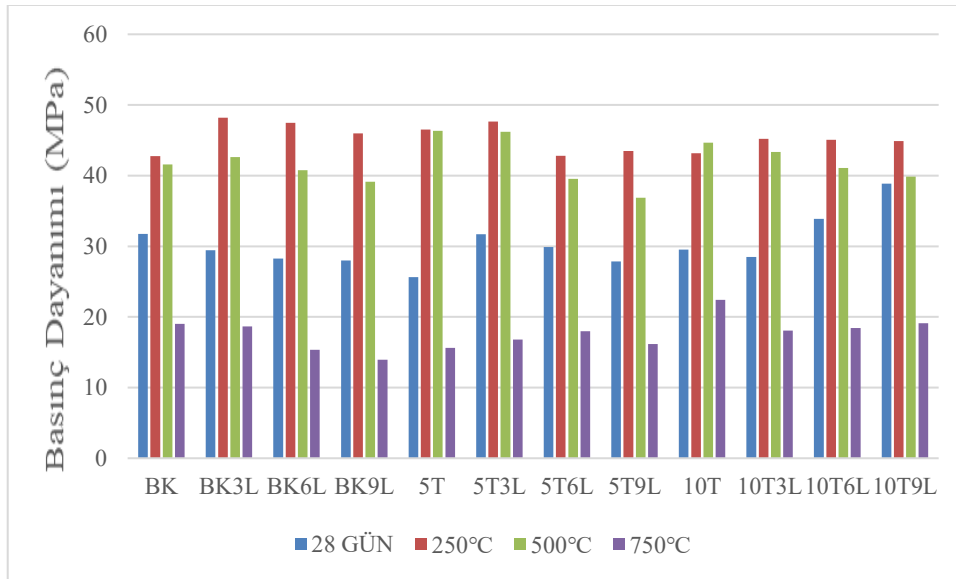
Basınç dayanım değerlerine bakıldığında 28 gün su küründe bekletilen numunelere kıyasla 250 °C’ de ve 500 °C’de bekletilen numunelerin basınç dayanımlarında artış, 750 °C’de bekleyen numunelerde ise ciddi şekilde basınç dayanım kaybı gözlemlenmiştir. 250 °C sıcaklığında 28 günlük basınç dayanım değerleriyle kıyaslandığında %81.69 ile %15.55 değerleri arasında değişim görülmüştür. En yüksek basınç dayanımı 48.20 MPa değeri ile BK3L serisinde, en düşük basınç dayanımı ise 42.74 MPa değeri ile BK serisinde görülmüştür. 500 °C sıcaklığında 28 günlük basınç dayanım değerleriyle kıyaslandığında %2.60 ile %80.87 değerleri arasında değişim görülmüştür. En yüksek basınç dayanımı 46.32 MPa değeri ile 5T serisinde, en düşük basınç dayanımı ise 36.89 MPa değeri ile 5T9L serisinde görülmüştür. 750 °C sıcaklığında 28 günlük basınç dayanım değerleriyle kıyaslandığında %-50.82 ile %-24.16 değerleri arasında değişim görülmüştür. En yüksek basınç dayanımı 22.41 MPa değeri ile 10T serisinde, en düşük basınç dayanımı ise 13.96 MPa değeri ile BK9L serisinde görülmüştür. Sonuçlar Tablo 4.8’de ve Şekil 4.11’de verilmiştir.

Yüksek sıcaklıklara maruz kalan beton yapısı değişmekte olup çimento hamuru ve agrega arasındaki bölgenin dayanımı etkilenmektedir. Yüksek sıcaklığa maruz kalan beton 100 °C’den itibaren 200-300 °C aralığında bünyesindeki suyu buharlaşma ile kaybeder. Bu sıcaklık değeri arttığında, çimento jeli suyunu kaybedip yüzey çatlakları oluşmasına sebebiyet verir. 400 °C’de kalsiyum hidroksitin bir kısmı kalsiyum okside dönüşür ve 600 °C de yüzey çatlakları belirgin hale gelir. Çatlaklar 800 °C’de belirginleşir, kütle kaybı

kademeli şekilde olup, 1000 °C’de önemli ölçüde artar ve 1200 °C’de beton tamamen parçalanır (Sollero vd., 2021). Yüksek sıcaklıkta eriyen polipropilen lifler de betonda boşluklar oluşturur (Sertbaş, 2006). Bu duruma benzer olarak literatürde yüksek sıcaklık etkisi altında basınç dayanımının olumsuz etkilendiği fakat sıcaklığın artmasıyla 100 °C’de basınç dayanımının arttığı sonrasında 300 °C’ye kadar azaldığı, 600 °C’de dayanımın tekrar arttığı fakat 900 °C’de dayanım kaybının azaldığı görülmüştür (Mahsanlar, 2006).

Tablo 4.8: Yüksek sıcaklık deneyi basınç dayanımı sonuçları

Karışım Adı	28 GÜN	250 °C		500 °C		750 °C	
	Basınç Dayanımı (MPa)	Basınç Dayanımı (MPa)	Değişme Oranı (%)	Basınç Dayanımı (MPa)	Değişme Oranı (%)	Basınç Dayanımı (MPa)	Değişme Oranı (%)
BK	31.74	42.74	34.66	41.56	30.94	19.04	-40.01
BK3L	29.46	48.20	63.61	42.64	44.74	18.66	-36.66
BK6L	28.25	47.49	32.07	40.78	44.35	15.34	-45.70
BK9L	27.98	45.98	64.33	39.12	39.81	13.96	-50.11
5T	25.61	46.53	81.69	46.32	80.87	15.63	-38.97
5T3L	31.70	47.65	50.31	46.20	45.74	16.80	-47.00
5T6L	29.89	42.79	43.16	39.55	32.32	17.99	-39.81
5T9L	27.87	43.48	56.01	36.89	32.36	16.17	-41.98
10T	29.55	43.16	46.06	44.68	51.20	22.41	-24.16
10T3L	28.47	45.19	58.73	43.36	52.30	18.05	-36.60
10T6L	33.90	45.05	32.89	41.09	21.21	18.43	-45.63
10T9L	38.84	44.88	15.55	39.85	2.60	19.10	-50.82



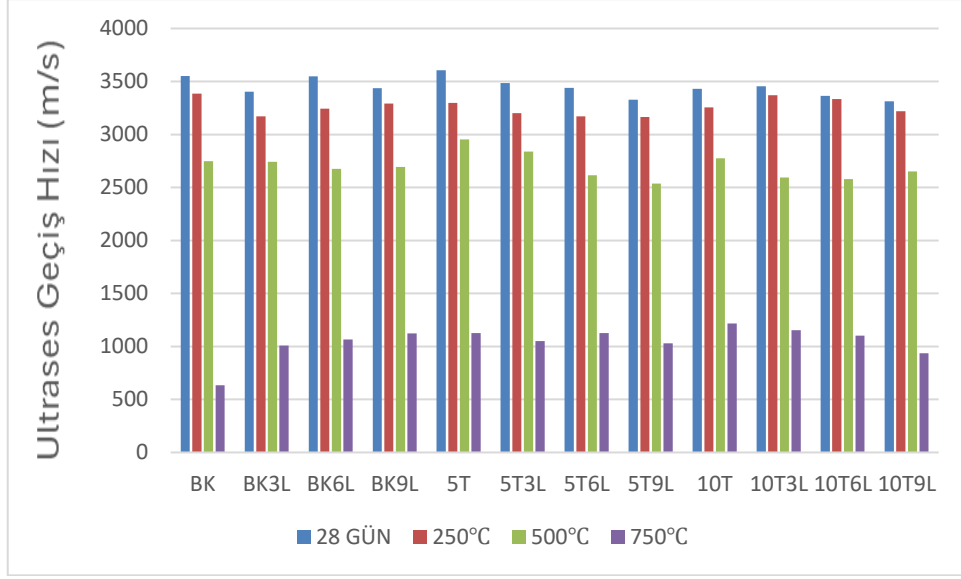
Şekil 4.11: Yüksek sıcaklık deneyi basınç dayanımı sonuçları

4.2.2.1 Yüksek sıcaklık deneyi ultrases geçiş hızı sonuçları

Yüksek sıcaklık deneyinde yüksek sıcaklık etkisinde kalan numunelerin 250 °C, 500 °C ve 750 °C sıcaklıkta ultrases geçiş hızı değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. 250 °C sıcaklığında 28 günlük ultrases geçiş hızı değerleriyle kıyaslandığında %-8.60 ile %-0.89 değerleri arasında değişim görülmüştür. En yüksek ultrases geçiş hızı 3386 m/s değeri ile BK serisinde, en düşük ultrases geçiş hızı ise 3165 m/s değeri ile 5T9L serisinde görülmüştür. 500 °C sıcaklığında 28 günlük ultrases geçiş hızı değerleriyle kıyaslandığında %-24.95 ile %-18.11 değerleri arasında değişim görülmüştür. En yüksek ultrases geçiş hızı 2952 m/s değeri ile 5T serisinde, en düşük ultrases geçiş hızı ise 2537 m/s değeri ile 5T9L serisinde görülmüştür. 750 °C sıcaklığında 28 günlük ultrases geçiş hızı değerleriyle kıyaslandığında %-82.15 ile %-64.51 değerleri arasında değişim görülmüştür. En yüksek ultrases geçiş hızı 1218 m/s değeri ile 10T serisinde, en düşük ultrases geçiş hızı ise 634 m/s değeri ile BK serisinde görülmüştür. Sonuçlar Tablo 4.9'da ve Şekil 4.12'de verilmiştir. Bu durumda yüksek sıcaklık etkisinde agrega ile çimento hamuru arasındaki termal uyumsuzluğun gözenekliliği artırdığını ve dolayısıyla ultrases geçiş hızını düşürdüğü görülmüştür (Yazıcıoğlu vd., 2019).

Tablo 4.9: Yüksek sıcaklık deneyi ultrases geçiş hızı sonuçları

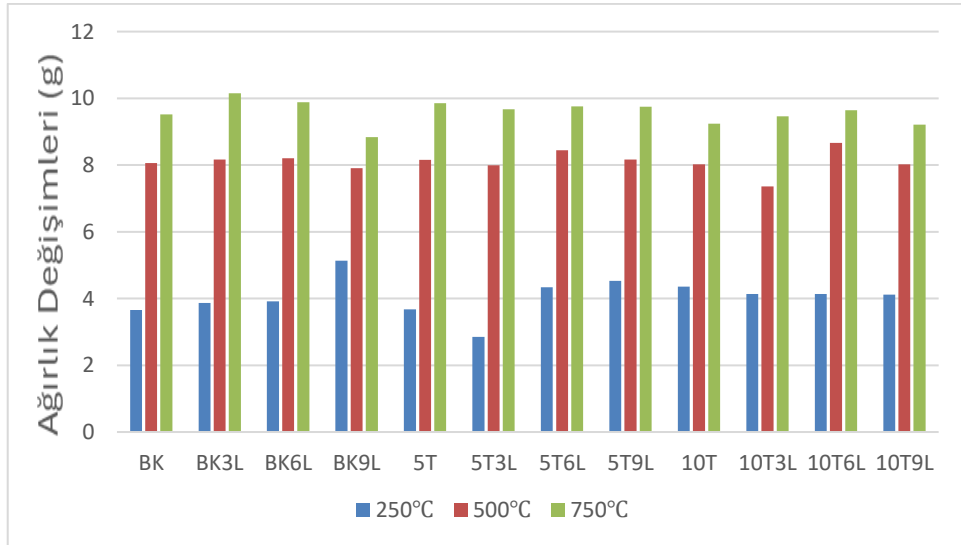
Karışım Adı	28 GÜN	250 °C		500 °C		750 °C	
	Ultrases geçiş hızı (m/s)	Ultrases geçiş hızı (m/s)	Değişme Oranı (%)	Ultrases geçiş hızı (m/s)	Değişme Oranı (%)	Ultrases geçiş hızı (m/s)	Değişme Oranı (%)
BK	3552	3386	-4.67	2747	-22.66	634	-82.15
BK3L	3405	3171	-6.87	2742	-19.47	1008	-70.39
BK6L	3547	3242	-8.60	2675	-24.58	1065	-69.97
BK9L	3437	3292	-4.22	2695	-21.59	1122	-67.35
5T	3605	3298	-8.52	2952	-18.11	1125	-68.79
5T3L	3484	3201	-8.12	2838	-18.54	1050	-69.86
5T6L	3441	3172	-7.82	2614	-24.03	1127	-67.25
5T9L	3327	3165	-4.87	2537	-23.74	1031	-69.01
10T	3432	3255	-5.44	2775	-19.14	1218	-64.51
10T3L	3455	3369	-2.49	2593	-24.95	1153	-66.63
10T6L	3363	3333	-0.89	2580	-23.28	1102	-67.23
10T9L	3313	3219	-2.84	2651	-19.98	935	-71.78



Şekil 4.12: Yüksek sıcaklık deneyi ultrasres geçiş hızı sonuçları

4.2.2.2 Yüksek sıcaklık deneyi ağırlık değişimi sonuçları

Yüksek sıcaklık deneyi öncesi ve sonrası numunelerin ağırlıkları ölçülmüştür. Deney sonrasında ağırlık değerlerinde tüm sıcaklıklar için azalma gözlemlenmiştir. 250 °C sıcaklıkta en yüksek ağırlık değişimi %5.13 değeriyle BK9L serisinde, en düşük ağırlık değişimi ise %2.85 değeriyle 5T3L serisindedir. 500 °C sıcaklıkta en yüksek ağırlık değişimi %8.66 değeriyle 10T6L serisinde, en düşük ağırlık değişimi ise %7.36 değeriyle 10T3L serisindedir. 750 °C sıcaklıkta en yüksek ağırlık değişimi %10.15 değeriyle BK3L serisinde, en düşük ağırlık değişimi ise %9.21 değeriyle 10T9L serisindedir. 750 °C sıcaklıkta en yüksek ağırlık değişimleri görülmüştür. Ağırlık değişimleri Şekil 4.13’de verilmiştir.

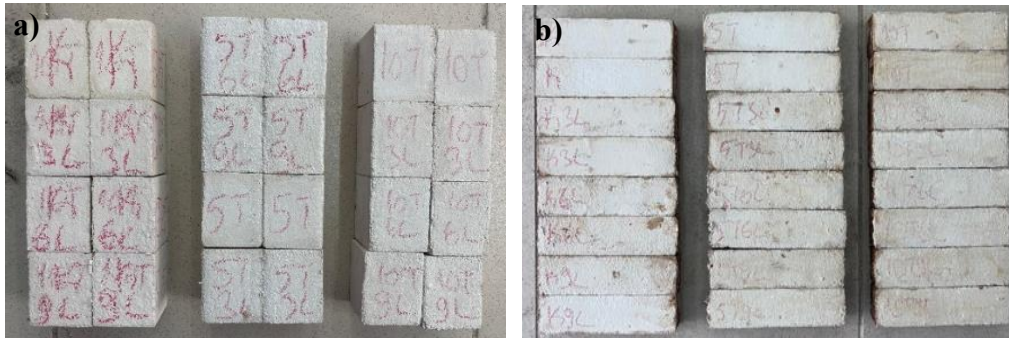


Şekil 4.13: Yüksek sıcaklık deneyi ağırlık değişimleri

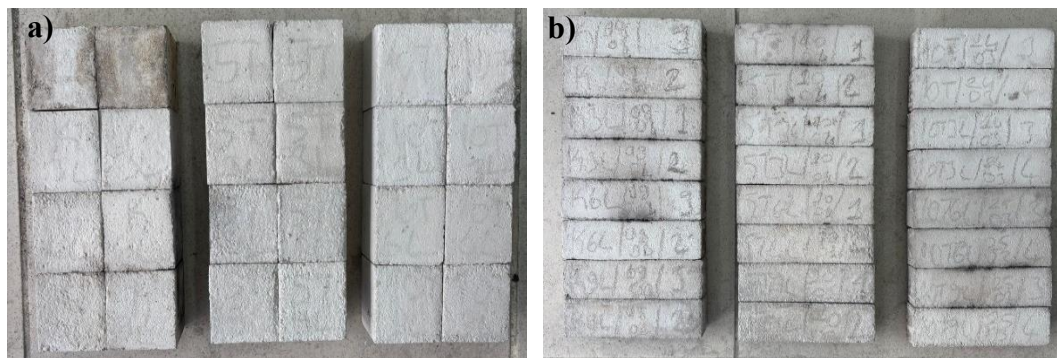
4.2.2.3 Yüksek sıcaklık deneyi sonrası görsel inceleme

Yüksek sıcaklık etkisinin görsel olarak değerlendirilmesi için 250, 500 ve 750 °C sonrası numuneler yüzeysel olarak incelenmiştir. 250°C sıcaklığa maruz kalan numunelerde çıplak gözle görülebilecek renk değişimi ve yüzey bozulması görülmemiştir. 500°C sıcaklığa maruz kalan numunelerde renk değişimi meydana gelmiş olup, numunelerde renk koyulaşması gözlemlenmiştir. Numunelerde bütünlük bozulmamıştır. 750°C sıcaklığa maruz kalan numunelerde ise gözle görülebilecek belirgin farklılıklar gözlemlenmiştir. Numunelerin renkleri daha da beyaz bir görünüm kazanmıştır. Numuneler elle tutulduğunda bile deney öncesine göre belirgin bir ağırlık kaybı olduğu ve elle temas edildiğinde numunelerin kolayca parçalanabileceği tespit edilmiştir.

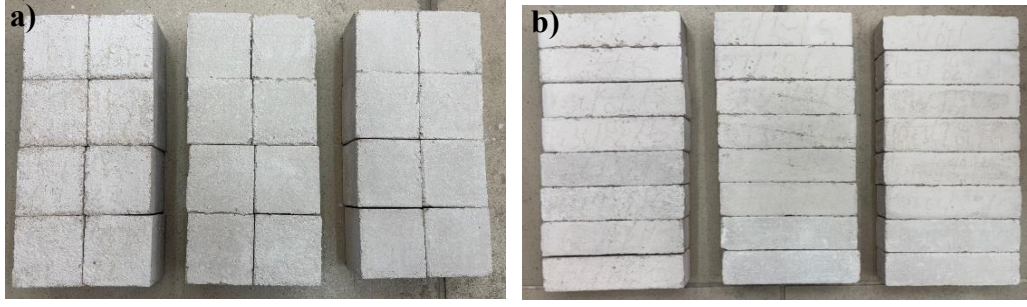
Yüksek sıcaklık deneyi yapıldıktan sonra numunelerin fotoğrafları çekilmiştir. 250 °C sıcaklığa maruz kalan numunelerr Şekil 4.14’de, 500 °C sıcaklığa maruz kalan numuneler Şekil 4.15’de ve 750 °C sıcaklığa maruz kalan numuneler Şekil 4.16’da verilmiştir.



Şekil 4.14: Yüksek sıcaklık deneyi sonrası (250 °C) a) Küp numuneler b) Prizma numuneler



Şekil 4.15: Yüksek sıcaklık deneyi sonrası (500 °C) a) Küp numuneler b) Prizma numuneler



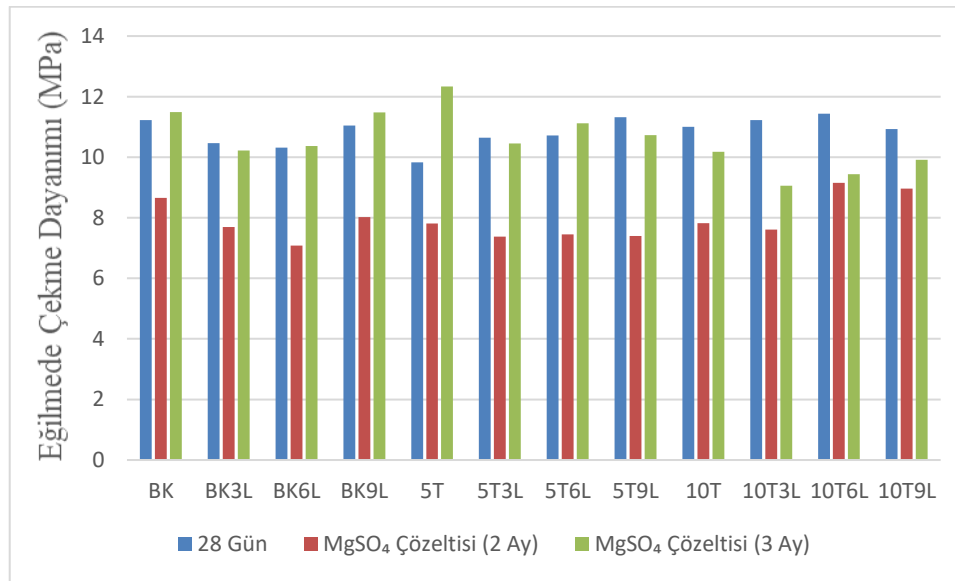
Şekil 4.16: Yüksek sıcaklık deneyi sonrası (750 °C) a) Küp numuneler b) Prizma numuneler

4.2.3 Sülfat etkisi deneyi

Sülfat etkisi deneyleri için toz halinde magnezyum sülfat ($MgSO_4$) ve sodyum sülfat (Na_2SO_4) %10 derişimli olacak şekilde sıvı forma getirilmiştir. Numuneler bu çözeltilerin ikisinde de 2 ay ve 3 ay bekletilmiştir. 2 ay $MgSO_4$ çözeltilisinde bekletilen numuneler 28 gün su küründe bekletilen numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerleriyle karşılaştırıldığında azalma görülmüştür. Değişim oranları %-34.63 ile %-18.02 değerleri arasında değişmektedir. En yüksek eğilmede çekme dayanımı 9.15 MPa sonucuyla 10T6L serisinde iken en düşük eğilmede çekme dayanımı ise 7.08 MPa sonucuyla BK6L serisinde görülmüştür. 3 ay $MgSO_4$ çözeltilisinde bekletilen numuneler 28 gün su küründe bekletilen numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerleriyle karşılaştırıldığında azalmalar ve artışlar görülmüştür. Bu değişim oranları %-19.32 ile %25.43 arasında değişmektedir. En yüksek eğilmede çekme dayanımı 12.33 MPa sonucuyla 5T serisinde, en düşük eğilmede çekme dayanımı sonucu 9.06 MPa değeri ile 10T3L serisindedir. Sonuçlar Tablo 4.10'da ve Şekil 4.17'de verilmiştir.

Tablo 4.10: Sülfat etkisi deneyi MgSO₄ çözeltisi için eğilmede çekme dayanımı sonuçları

Karışım Adı	MgSO ₄ Çözeltisi (2 Ay)			MgSO ₄ Çözeltisi (3 Ay)	
	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Değişme Oranı (%)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Değişme Oranı (%)
BK	11.22	8.66	-22.82	11.49	2.41
BK3L	10.46	7.69	-26.48	10.22	-2.29
BK6L	10.32	7.08	-31.40	10.37	0.48
BK9L	11.05	8.02	-27.42	11.48	3.89
5T	9.83	7.81	-20.55	12.33	25.43
5T3L	10.64	7.38	-30.64	10.45	-1.79
5T6L	10.72	7.45	-30.50	11.12	3.73
5T9L	11.32	7.40	-34.63	10.73	-5.21
10T	11.00	7.82	-28.91	10.18	-7.45
10T3L	11.23	7.61	-32.24	9.06	-19.32
10T6L	11.44	9.15	-20.02	9.44	-17.48
10T9L	10.93	8.96	-18.02	9.91	-9.33



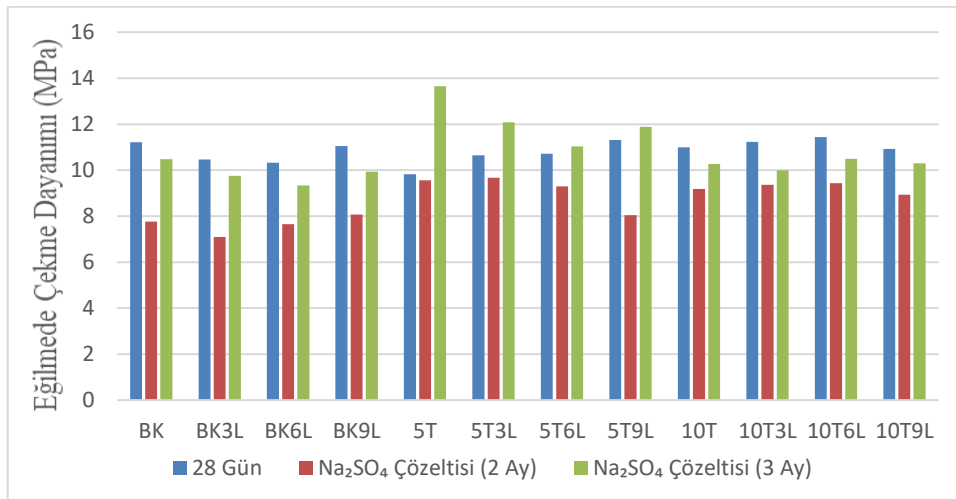
Şekil 4.17: Sülfat etkisi deneyi MgSO₄ çözeltisi eğilmede çekme dayanımı sonuçları

2 ay Na₂SO₄ çözeltisinde bekletilen numuneler 28 gün su küründe bekletilen numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerleriyle karşılaştırıldığında azalma görülmüştür. Değişim oranları %-36.93 ile %-2.75 arasında değişmektedir. En yüksek eğilmede çekme dayanımı 9.67 MPa sonucuyla 5T3L serisinde iken en düşük eğilmede çekme dayanımı ise 7.10 MPa sonucuyla BK3L serisinde görülmüştür.

3 ay Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen numuneler 28 gün su küründe bekletilen numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerleriyle karşılaştırıldığında 5T serisi hariç azalma görülmüştür. Değişim oranları %-11.04 ile %38.86 arasında değişmektedir. En yüksek eğilmede çekme dayanımı 13.65 MPa sonucuyla 5T serisinde, en düşük eğilmede çekme dayanımı sonucu 9.33 MPa ile BK6L serisindedir. Sonuçlar Tablo 4.11’de ve Şekil 4.18’de gösterilmiştir.

Tablo 4.11: Sülfat etkisi deneyi Na_2SO_4 çözeltisi için eğilmede çekme dayanımı sonuçları

Karışım Adı	28 Gün	Na_2SO_4 Çözeltisi (2 Ay)		Na_2SO_4 Çözeltisi (3 Ay)	
	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Değişme Oranı (%)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Değişme Oranı (%)
BK	11.22	7.77	-30.75	10.48	-6.60
BK3L	10.46	7.10	-32.12	9.75	-6.79
BK6L	10.32	7.65	-25.87	9.33	-9.59
BK9L	11.05	8.07	-36.93	9.94	-10.05
5T	9.83	9.56	-2.75	13.65	38.86
5T3L	10.64	9.67	-9.12	12.08	13.53
5T6L	10.72	9.30	-13.25	11.03	2.89
5T9L	11.32	8.04	-28.98	11.89	5.04
10T	11.00	9.18	-16.55	10.27	-6.64
10T3L	11.23	9.37	-16.56	9.99	-11.04
10T6L	11.44	9.43	-17.57	10.49	-8.30
10T9L	10.93	8.93	-18.30	10.30	-5.76

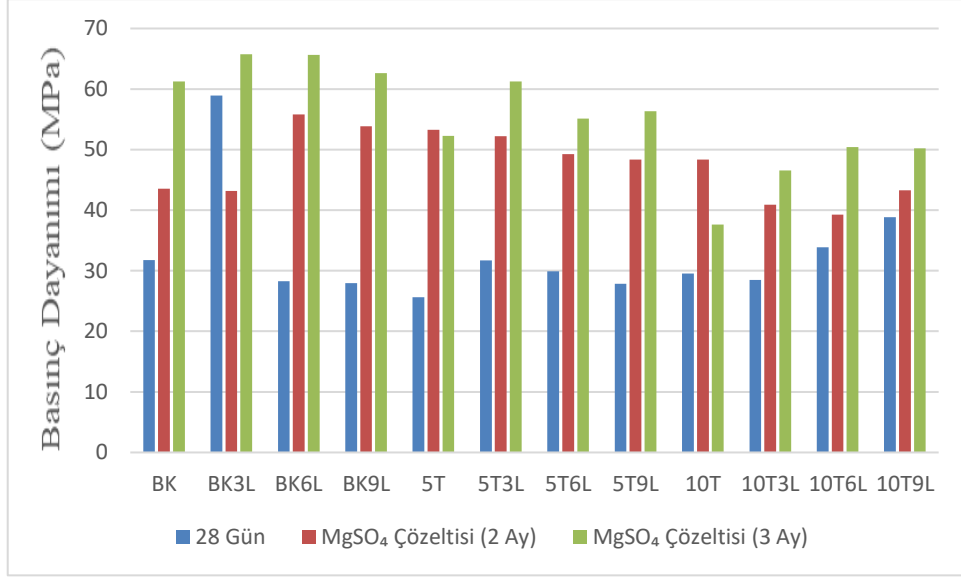


Şekil 4.18: Sülfat etkisi deneyi Na_2SO_4 çözeltisi eğilmede çekme dayanımı sonuçları

2 ay MgSO₄ çözeltisinde bekletilen numuneler 28 gün su küründe bekletilen numunelerin basınç dayanım değerleriyle karşılaştırıldığında artış görülmüştür. Değişim oranları %11.41 ile %107.93 arasında değişmektedir. En yüksek basınç dayanımı 55.81 MPa değeri ile BK6L serisinde iken en düşük basınç dayanımı ise 39.29 MPa ile 10T6L serisinde görülmüştür. 3 ay MgSO₄ çözeltisinde bekletilen numuneler 28 gün su küründe bekletilen numunelerin basınç dayanımı değerleriyle karşılaştırıldığında artış görülmüştür. Değişim oranları %11.61 ile %132.28 arasında değişmektedir. En yüksek basınç dayanımı 65.75 MPa değeri ile BK3L serisinde, en düşük basınç dayanımı sonucu ise 37.64 MPa değeri ile 10T serisindedir. Sonuçlar Tablo 4.12’de ve Şekil 4.19’da gösterilmiştir.

Tablo 4.12: Sülfat etkisi deneyi MgSO₄ çözeltisi için basınç dayanımı sonuçları

Karışım Adı	28 Gün	MgSO ₄ Çözeltisi (2 Ay)		MgSO ₄ Çözeltisi (3 Ay)	
	Basınç Dayanımı (MPa)	Basınç Dayanımı (MPa)	Değişme Oranı (%)	Basınç Dayanımı (MPa)	Değişme Oranı (%)
BK	31.74	43.55	19.68	61.26	93.01
BK3L	58.91	43.20	26.67	65.75	11.61
BK6L	28.25	55.81	97.55	65.62	132.28
BK9L	27.98	53.85	92.46	62.64	123.87
5T	25.61	53.25	107.93	52.28	104.14
5T3L	31.70	52.24	64.79	61.24	93.19
5T6L	29.89	49.24	64.74	55.14	84.48
5T9L	27.87	48.37	73.55	56.34	102.15
10T	29.55	48.37	63.69	37.64	27.38
10T3L	28.47	40.92	43.73	46.56	60.03
10T6L	33.90	39.29	15.90	50.42	48.73
10T9L	38.84	43.27	11.41	50.18	29.20



Şekil 4.19: Sülfat etkisi deneyi MgSO₄ çözeltisi basınç dayanımı sonuçları

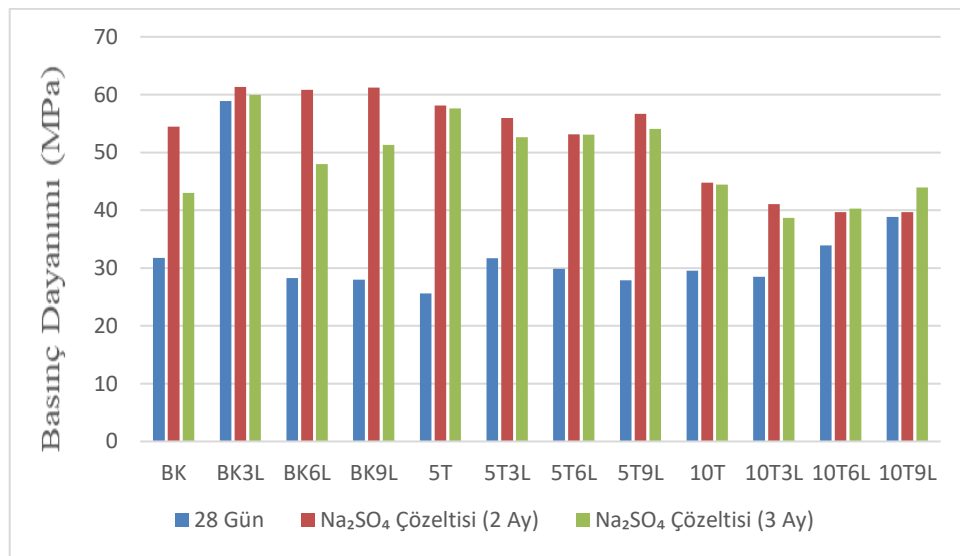
2 ay Na₂SO₄ çözeltisinde bekletilen numuneler 28 gün su küründe bekletilen numunelerin basınç dayanımı değerleriyle karşılaştırıldığında artış görülmüştür. Değişim oranları %2.14 ile %126.90 arasında değişmektedir. En yüksek basınç dayanımı 61.35 MPa değeri ile BK3L serisinde iken en düşük basınç dayanımı ise 39.67 MPa ile 10T6L ve 10T9L serisinde görülmüştür.

3 ay Na₂SO₄ çözeltisinde bekletilen numuneler 28 gün su küründe bekletilen numunelerin basınç dayanımı değerleriyle karşılaştırıldığında artış görülmüştür. Artış oranları %1.73 ile %125.07 arasında değişmektedir. En yüksek basınç dayanımı 57.64 MPa değeri ile 5T serisinde, en düşük basınç dayanımı sonucu ise 38.65 MPa değeri ile 10T3L serisindedir. Sonuçlar Tablo 4.13’de ve Şekil 4.20’de gösterilmiştir.

Literatürde MgSO₄ ve Na₂SO₄ çözeltileri ile kürlenmiş numunelerin standart kür işlemine tabi tutulan numunelere kıyasla basınç dayanım değerinin daha fazla olduğu görülmüştür (Torlak vd., 2025).

Tablo 4.13: Sülfat etkisi deneyi Na₂SO₄ çözeltisi için basınç dayanımı sonuçları

Karışım Adı	28 Gün	Na ₂ SO ₄ Çözeltisi (2 Ay)		Na ₂ SO ₄ Çözeltisi (3 Ay)	
	Basınç Dayanımı (MPa)	Basınç Dayanımı (MPa)	Değişme Oranı (%)	Basınç Dayanımı (MPa)	Değişme Oranı (%)
BK	31.74	54.45	71.55	43.00	35.48
BK3L	58.91	61.35	4.14	59.95	1.73
BK6L	28.25	60.85	115.39	47.96	69.77
BK9L	27.98	61.20	118.73	51.33	83.45
5T	25.61	58.11	126.90	57.64	125.07
5T3L	31.70	55.97	76.56	52.63	66.03
5T6L	29.89	53.14	77.79	53.05	77.48
5T9L	27.87	56.68	103.37	54.08	94.04
10T	29.55	44.77	51.51	44.43	50.36
10T3L	28.47	41.08	44.29	38.65	35.76
10T6L	33.90	39.67	17.02	40.28	18.82
10T9L	38.84	39.67	2.14	43.95	13.16



Şekil 4.20: Sülfat etkisi deneyi Na₂SO₄ çözeltisi basınç dayanımı sonuçları

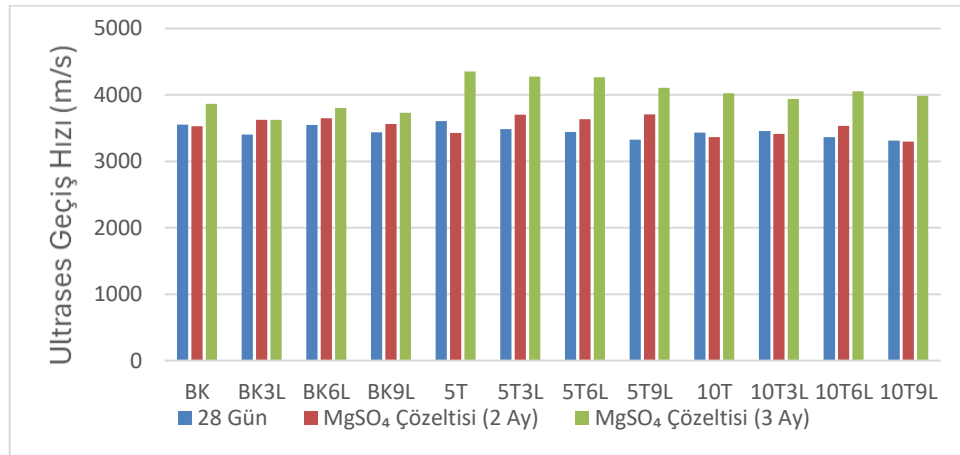
4.2.3.1 Sülfat etkisi deneyi ultrases geçiş hızı sonuçları

2 ay MgSO₄ çözeltisinde bekletilen numuneler 28 günlük ultrases geçiş hızı değerleriyle kıyaslandığında %-4.97 ile %11.42 değerleri arasında değişim görülmüştür. En yüksek ultrases geçiş hızı 3707 m/s değeri ile 5T9L serisinde, en düşük ultrases geçiş hızı ise 3298 m/s değeri ile 10T9L serisinde görülmüştür.

3 ay $MgSO_4$ çözeltilisinde bekletilen numuneler 28 günlük ultrases geçiş hızı değerleriyle kıyaslandığında %0.23 ile %24.03 değerleri arasında değişim görülmüştür. En yüksek ultrases geçiş hızı 4351 m/s değeri ile 5T serisinde, en düşük ultrases geçiş hızı ise 3625 m/s değeri ile BK3L serisinde görülmüştür. Sonuçlar Tablo 4.14’de ve Şekil 4.21’de verilmiştir.

Tablo 4.14: Sülfat etkisi deneyi $MgSO_4$ çözeltilisi için ultrases geçiş hızı sonuçları

Karışım Adı	28 Gün	$MgSO_4$ Çözeltilisi (2 Ay)		$MgSO_4$ Çözeltilisi (3 Ay)	
	Ultrases Geçiş Hızı (m/s)	Ultrases Geçiş Hızı (m/s)	Değişme Oranı (%)	Ultrases Geçiş Hızı (m/s)	Değişme Oranı (%)
BK	3552	3528	-0.68	3867	8.87
BK3L	3405	3627	6.52	3625	6.46
BK6L	3547	3648	2.85	3802	7.19
BK9L	3437	3560	3.58	3733	8.61
5T	3605	3426	-4.97	4351	20.69
5T3L	3484	3703	6.29	4273	22.65
5T6L	3441	3635	5.64	4268	24.03
5T9L	3327	3707	11.42	4107	0.23
10T	3432	3365	-1.95	4027	17.34
10T3L	3455	3412	-1.24	3937	13.95
10T6L	3363	3535	5.11	4055	20.58
10T9L	3313	3298	-0.45	3985	20.28



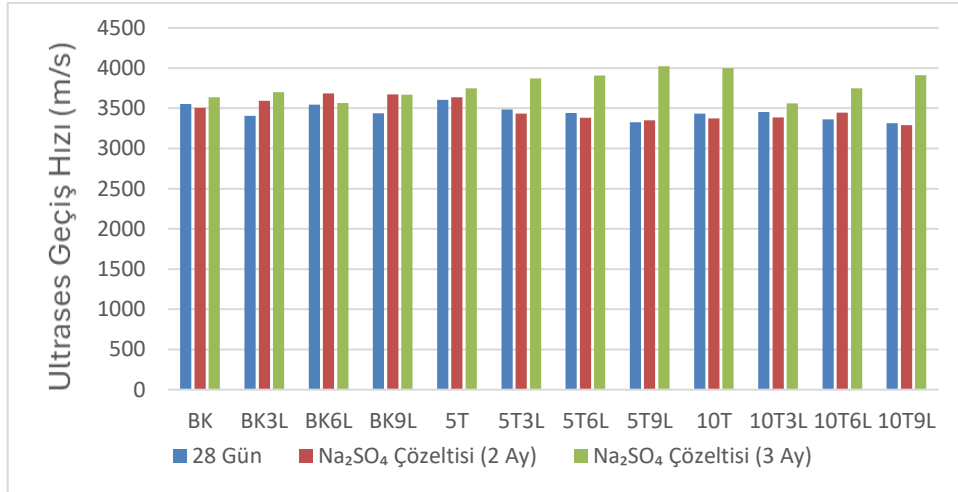
Şekil 4.21: Sülfat etkisi deneyi $MgSO_4$ çözeltilisi ultrases geçiş hızı sonuçları

2 ay Na_2SO_4 çözeltilisinde bekletilen numuneler 28 günlük ultrases geçiş hızı değerleriyle kıyaslandığında %-2.00 ile %6.90 değerleri arasında değişim görülmüştür. En yüksek ultrases geçiş hızı 3686 m/s değeri ile BK6L serisinde, en düşük ultrases geçiş hızı ise 3292 m/s değeri ile 10T9L serisinde görülmüştür.

3 ay Na₂SO₄ çözeltisinde bekletilen numuneler 28 günlük ultrases geçiş hızı değerleriyle kıyaslandığında %0.48 ile %20.89 değerleri arasında değişim görülmüştür. En yüksek ultrases geçiş hızı 4022 m/s değeri ile 5T9L serisinde, en düşük ultrases geçiş hızı ise 3563 m/s değeri ile 10T3L serisinde görülmüştür. Sonuçlar Tablo 4.15’de ve Şekil 4.22’de gösterilmiştir.

Tablo 4.15: Sülfat etkisi deneyi Na₂SO₂ çözeltisi için ultrases geçiş hızı sonuçları

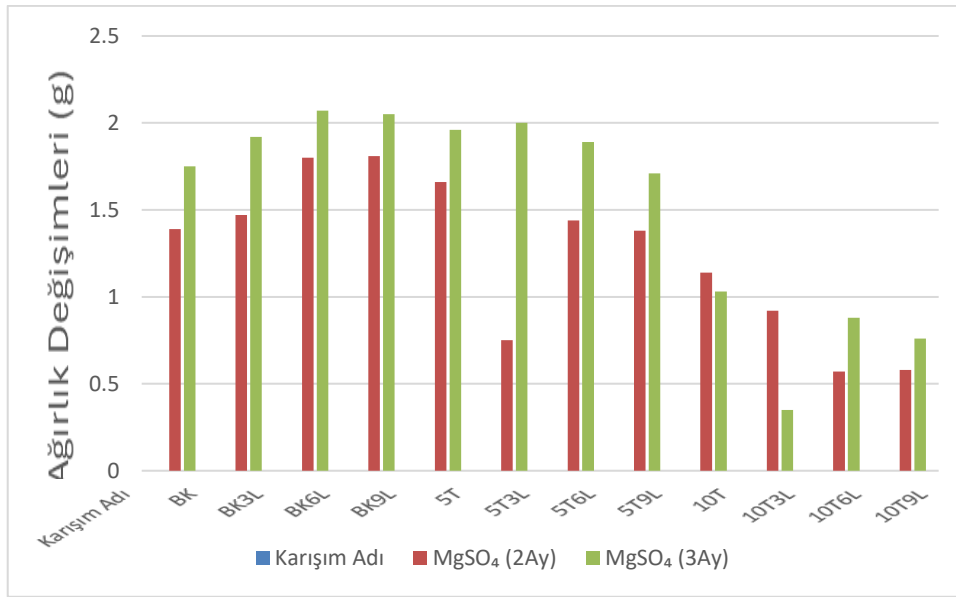
Karışım Adı	28 Gün	Na ₂ SO ₄ Çözeltisi (2 Ay)		Na ₂ SO ₄ Çözeltisi (3 Ay)	
	Ultrases Geçiş Hızı (m/s)	Ultrases Geçiş Hızı (m/s)	Değişme Oranı (%)	Ultrases Geçiş Hızı (m/s)	Değişme Oranı (%)
BK	3552	3504	-1.35	3636	2.36
BK3L	3405	3595	5.58	3699	8.63
BK6L	3547	3686	3.92	3564	0.48
BK9L	3437	3674	6.90	3669	6.75
5T	3605	3636	0.86	3750	4.02
5T3L	3484	3433	-1.46	3873	11.17
5T6L	3441	3382	-1.71	3907	13.54
5T9L	3327	3350	0.69	4022	20.89
10T	3432	3375	-1.66	4000	16.55
10T3L	3455	3386	-2.00	3563	3.13
10T6L	3363	3444	2.41	3747	11.42
10T9L	3313	3292	-0.63	3913	18.11



Şekil 4.22: Sülfat etkisi deneyi Na₂SO₄ çözeltisi ultrases geçiş hızı sonuçları

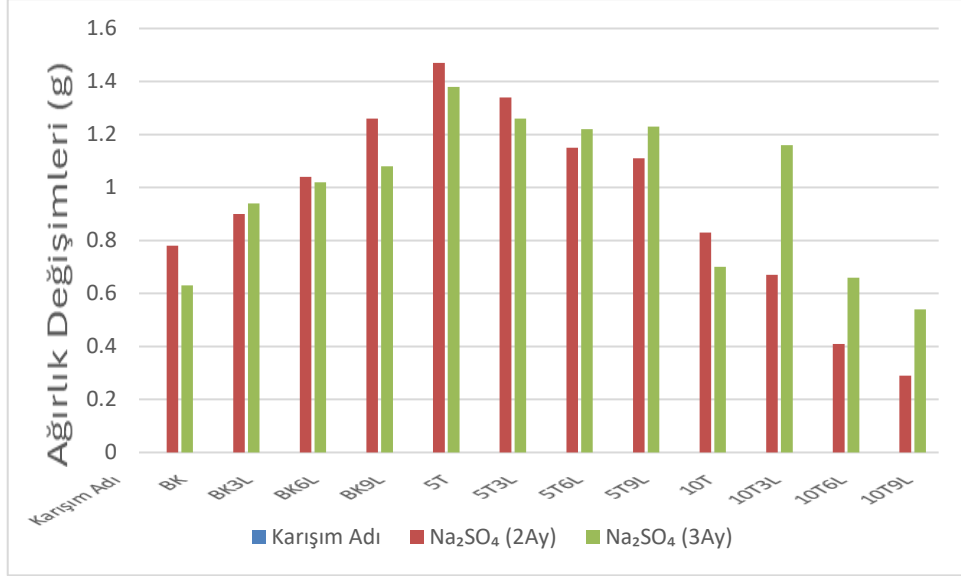
4.2.3.2 Sülfat etkisi deneyi ağırlık değişimi sonuçları

Sülfat etkisi deneyi öncesi ve sonrası numunelerin ağırlıkları ölçülmüştür. Deney sonrasında ağırlık değerlerinde artış gözlemlenmiştir. MgSO₄ Çözeltisinde 2 ay bekleyen numunelerde en yüksek ağırlık değişimi %1.81 değeriyle BK9L serisinde, en düşük ağırlık değişimi ise %0,57 değeriyle 10T6L serisindedir. MgSO₄ çözeltisinde 3 ay bekleyen numunelerde en yüksek ağırlık değişimi %2.07 değeriyle BK6L serisinde, en düşük ağırlık değişimi ise %0.35 değeriyle 10T3L serisindedir. Ağırlık değişimleri Şekil 4.23’de verilmiştir.



Şekil 4.23: Sülfat etkisi deneyi MgSO₄ çözeltisi 2 ay ve 3 ay ağırlık değişimleri

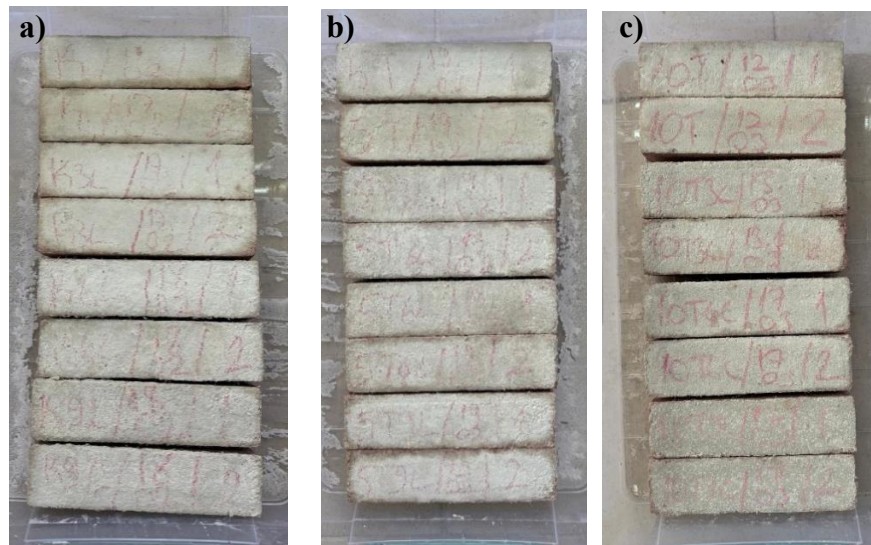
Sülfat etkisi deneyi öncesi ve sonrası numunelerin ağırlıkları ölçülmüştür. Deney sonrasında ağırlık değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Na₂SO₄ çözeltisinde 2 ay bekleyen numunelerde en yüksek ağırlık değişimi %1.47 değeriyle 5T serisinde, en düşük ağırlık değişimi ise %0,29 değeriyle 10T9L serisindedir. MgSO₄ Çözeltisinde 3 ay bekleyen numunelerde en yüksek ağırlık değişimi %1.38 değeriyle 5T serisinde, en düşük ağırlık değişimi ise %0.54 değeriyle 10T9L serisindedir. Ağırlık değişimleri Şekil 4.24’de verilmiştir.



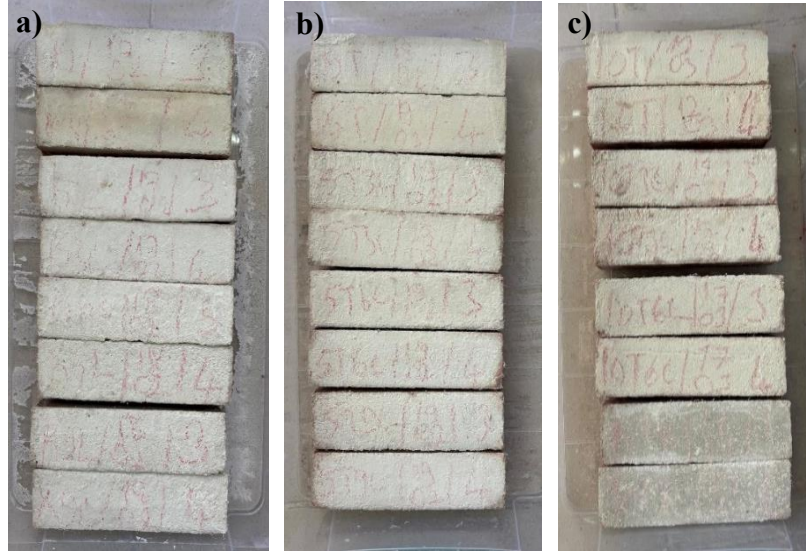
Şekil 4.24: Sülfat etkisi deneyi Na₂SO₄ çözeltisi 2 ay ve 3 ay ağırlık değişimleri

4.2.3.3 Sülfat etkisi deneyi sonrası görsel inceleme

Sülfat etkisi deneyi sonrasında numunelere görsel inceleme yapılmıştır. MgSO₄ ve Na₂SO₄ çözeltilerine maruz kalan numunelerde deney sonrasında çıplak gözle görülebilecek çatlak oluşumu ve yüzeysel deformasyon meydana gelmemiştir. Bu çözeltilere maruz kalan numunelerin özellikle Na₂SO₄ çözeltisinde yüzeylerinde tuzlanma olmuştur. Fakat bu durum yüzeysel olarak meydana gelip gözle görülebilecek olumsuz bir durum yaratmamıştır. Sülfat etkisi deneyleri sonucunda 2 ay MgSO₄ çözeltisinde bekletilen numuneler Şekil 4.25’de, 2 ay Na₂SO₄ çözeltisinde bekletilen numuneler ise Şekil 4.26’da gösterilmiştir.

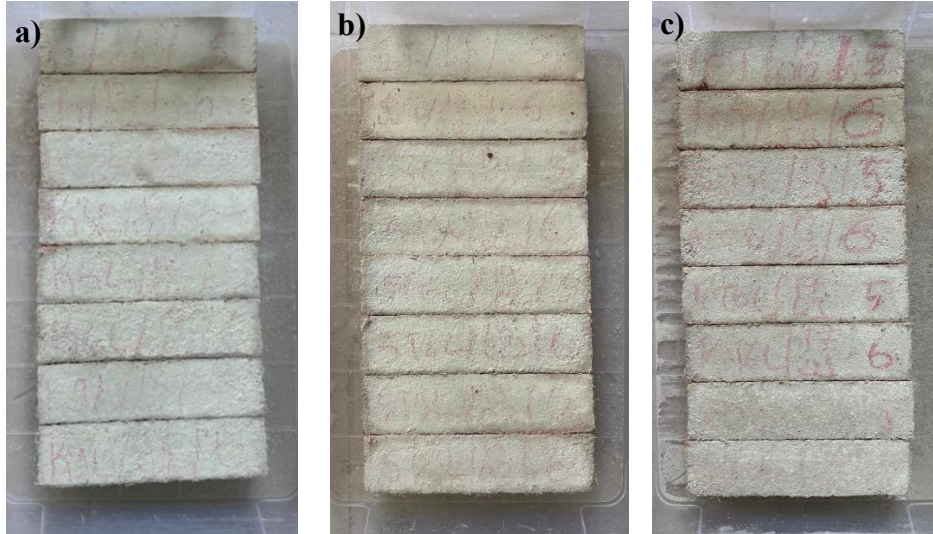


Şekil 4.25: 2 ay MgSO₄ çözeltisinde bekletilen numuneler a) Kontrol numuneleri b)%5 talk içeren numuneler c)%10 talk içeren numuneler

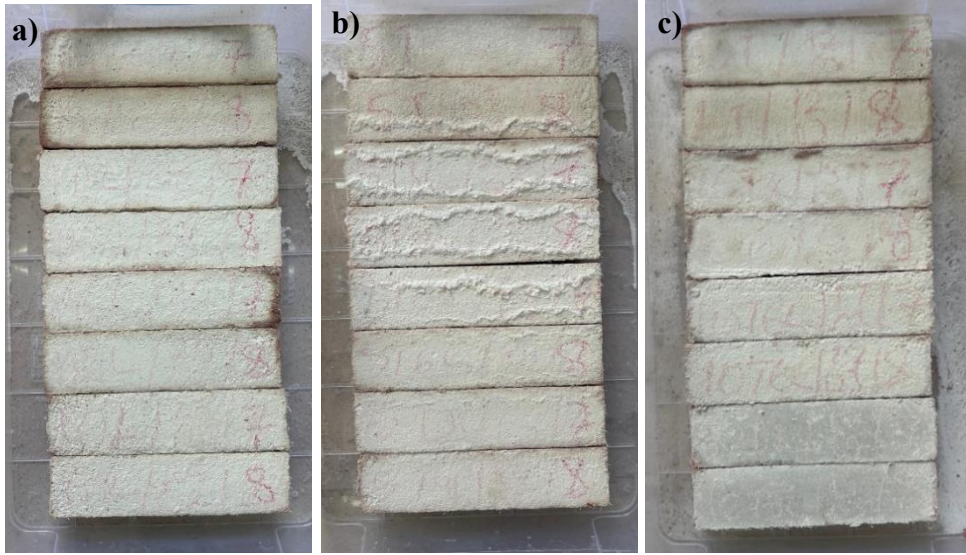


Şekil 4.26: 2 ay Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen numuneler a) Kontrol numuneleri b)%5 talk içeren numuneler c)%10 talk içeren numuneler

Sülfat etkisi deneyleri sonucunda 3 ay MgSO_4 çözeltisinde bekletilen numuneler Şekil 4.27’de, 3 ay Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen numuneler ise Şekil 4.28’de gösterilmiştir.



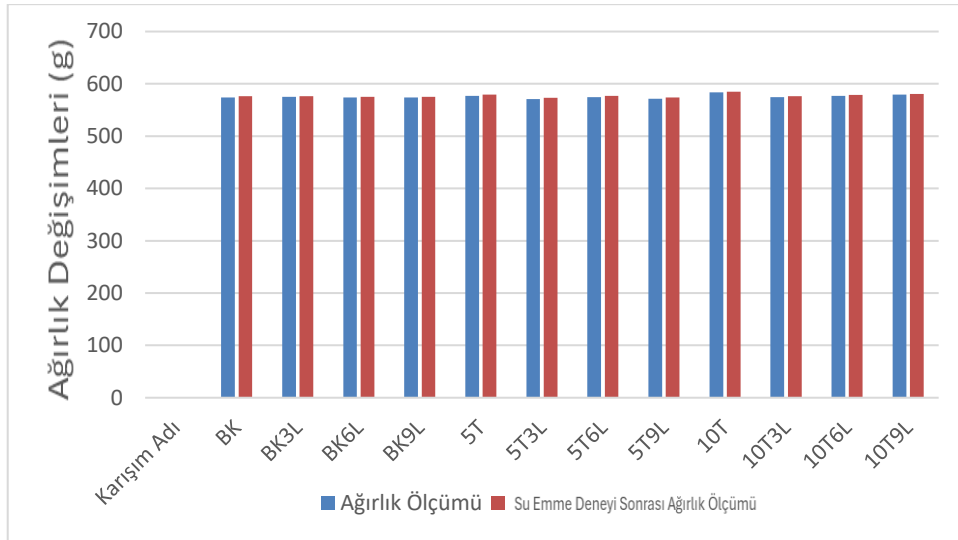
Şekil 4.27: 3 ay MgSO_4 çözeltisinde bekletilen numuneler a) Kontrol numuneleri b)%5 talk içeren numuneler c)%10 talk içeren numuneler



Şekil 4.28: 3 ay Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen numuneler a) Kontrol numuneleri b)%5 talk içeren numuneler c)%10 talk içeren numuneler

4.2.4 Su emme deneyi

Su emme deneyinde tüm serilerde numunelerin kuru ve doymun ağırlıkları arasındaki farklar incelenmiştir. Artış oranları %0.13 ile %0.43 arasında değişmektedir. Sonuçlar Şekil 4.29'da verilmiştir.



Şekil 4.29: Su emme deneyi ağırlık değişimleri

5. SONUÇ

5.1 Değerlendirme

Bu çalışmaya konu olarak talk cevheri katkılı beyaz çimento tabanlı harçlara mikro lif etkisinin incelenmesi araştırılmıştır. Beyaz çimentolu harçlara %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında talk cevheri ikame edilip eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı sonuçları incelenip en iyi sonuç verdiği tespit edilen %0, %5 ve %10 talk içeren numuneler çalışma için üretimi yapılacak numuneler olarak seçilmiştir. Seçilen tüm seriler için %0, %0.3, %0.6 ve %0.9 oranlarında mikrolif eklenmiştir. Mekanik deneyler (eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı) ve durabilite deneyleri (donma-çözülme, yüksek sıcaklık, sülfat etkisi ve su emme) uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- Ön döküm sonuçları incelendiğinde en yüksek eğilmede çekme dayanımı değeri 28 gün su küründe bekletilen BK serisinde en yüksek basınç dayanım değeri ise 28 gün su küründe bekletilen 5T serisinde görülmüştür. En yüksek basınç dayanım değerleri BK, 5T ve 10T serilerinde görülmekle birlikte talk cevheri ikamesi %15 ve %20 olduğunda basınç dayanım değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. Beyaz çimento 28 günde dayanımını kazanmaktadır. Mineral katkıların miktarı basınç dayanım değerleriyle ilişkilidir. Belirli oranlarda kullanıldığında basınç dayanımını olumlu olarak etkilese de fazla miktarda kullanıldığında basınç dayanım değerlerinde düşüş görülebilir.
- Ön döküm sonucunda seçilen ve dökümü yapılmış olan %0, %5 ve %10 talk içeren ve %0, %0.3, %0.6 ve %0.9 oranlarında mikrofiber lif eklenmiş numunelerin 7, 28 ve 90 günlük eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı değerleri incelenmiştir. En yüksek eğilmede çekme dayanımı değeri BK serisinde 90 gün su küründe bekleyen numunelerde ve en yüksek basınç dayanımı değeri BK3L serisinde 90 gün su küründe bekleyen numunelerde görülmüştür.
- Donma çözülme deneyi için 100 çevrim donma-çözülme kabinde bekletilen numunelerde deney sonrası en yüksek eğilmede çekme dayanımı 10T serisinde görülmüş olup en yüksek basınç dayanımı BK3L serisinde görülmüştür. Donma-çözülme deneyi için ultrases geçiş hızı değerleri incelendiğinde tüm serilerde artış görülmüştür. Bu deney sonucunda 100 çevrimi tamamlayan numunelerden en yüksek

ultrases geçiş hızı değeri BK6L serisinde, en dūřuk ultrases geçiş hızı değeri ise 5T6L serisinde grlmūřtır. Donma-zlme çevrimleri tekrarlandıkça mikro çatlaklar artış gösterip ilerlemektedir. Betonun bütüncüllüğü bu durumla bozulduğundan mekanik olarak olumsuz etki oluşturmaktadır. Lifler mikro çatlakların ilerlemesini sınırlandırmaya yardımcı olur.

- Yüksek sıcaklık deneylerine 250, 500 ve 750 °C sıcaklıklarda çalışılmıştır. 250 °C’de en yüksek eğilmede çekme dayanımı değeri BK serisinde, en yüksek basınç dayanımı değeri ise BK3L serisinde grlmūřtır. 500 °C’de en yüksek eğilmede çekme dayanımı değeri 10T9L serisinde, en yüksek basınç dayanımı değeri ise 5T serisinde grlmūřtır. 750 °C’de en yüksek eğilmede çekme dayanımı değeri 10T3L serisinde, en yüksek basınç dayanımı değeri ise 10T serisinde grlmūřtır. Tüm sıcaklık derecelerinde 28 günlük kontrol numunelerine kıyasla dūřuř grlmūřtır.
- Yüksek sıcaklık deneyinde tüm sıcaklık değerlerinde ultrases geçiş hızı değerlerinde azalma grlmūřtır. 250 °C sıcaklığında en yüksek ultrases geçiş hızı değeri BK serisinde, en dūřuk ultrases geçiş hızı değeri ise 5T9L serisinde grlmūřtır. 500 °C sıcaklığında en yüksek ultrases geçiş hızı değeri 5T serisinde, en dūřuk ultrases geçiş hızı değeri ise 5T9L serisinde grlmūřtır. 750 °C sıcaklığında en yüksek ultrases geçiş hızı değeri 10T serisinde, en dūřuk ultrases geçiş hızı değeri ise BK serisinde grlmūřtır. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan betonun yapısı değişir ve dayanım etkilenmektedir. Sıcaklık arttıkça betonun bünyesindeki su buharlaşır. Bir süre sonra yüzey çatlakları da belirgin hale gelmeye başlar. Polipropilen liflerin de yüksek sıcaklık altında erimesi betonda boşluklar oluşturur.
- Sülfat etkisi deneyinde MgSO₄ zltisinde bekletilen numuneler 28 gün su küründe bekletilen numunelerle kıyaslandıkında eęilmede çekme dayanımı deęerlerinde azalma grlmūřtır. 2 ay boyunca MgSO₄ zltisinde bekleyen numunelerin en yüksek eęilmede çekme dayanımı deęeri 10T6L serisinde, en dūřuk eęilmede çekme dayanımı deęeri ise BK6L serisinde grlmūřtır. 3 ay boyunca MgSO₄ zltisinde bekleyen numunelerin en yüksek eęilmede çekme dayanımı deęeri 5T serisinde, en dūřuk eęilmede çekme dayanımı deęeri ise 10T3L serisinde grlmūřtır.

- Sülfat etkisi deneyinde $MgSO_4$ çözeltisinde bekletilen numuneler 28 gün su küründe bekletilen numunelerle kıyaslandığında basınç dayanım deneylerinde artış görülmüştür. 2 ay boyunca $MgSO_4$ çözeltisinde bekleyen numunelerde en yüksek basınç dayanım değeri BK6L serisinde, en düşük basınç dayanım değeri ise 10T6L serisinde görülmüştür. 3 ay boyunca $MgSO_4$ çözeltisinde bekleyen numunelerde en yüksek basınç dayanım değeri BK3L serisinde, en düşük basınç dayanım değeri ise 10T serisinde görülmüştür.
- Sülfat etkisi deneyinde Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen numunelerde 28 gün su küründe bekletilen numunelerle kıyaslandığında eğilmede çekme dayanımı değerlerinde 3 ay Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen 5T serisi hariç azalma görülmüştür. 2 ay boyunca Na_2SO_4 çözeltisinde bekleyen numunelerin en yüksek eğilmede çekme dayanımı değeri 5T3L serisinde, en düşük eğilmede çekme dayanımı değeri ise BK3L serisinde görülmüştür. 3 ay boyunca Na_2SO_4 çözeltisinde bekleyen numunelerin en yüksek eğilmede çekme dayanımı değeri 5T serisinde, en düşük eğilmede çekme dayanımı değeri ise BK6L serisinde görülmüştür.
- Sülfat etkisi deneyinde Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen numuneler 28 gün su küründe bekletilen numunelerle kıyaslandığında basınç dayanım değerlerinde artış görülmüştür. 2 ay boyunca Na_2SO_4 çözeltisinde bekleyen numunelerde en yüksek basınç dayanım değeri BK3L serisinde, en düşük basınç dayanım değeri ise 10T6L ve 10T9L serilerinde görülmüştür. 3 ay boyunca Na_2SO_4 çözeltisinde bekleyen numunelerde en yüksek basınç dayanım değeri 5T serisinde, en düşük basınç dayanım değeri ise 10T3L serisinde görülmüştür.
- Sülfat etkisi deneyinde 2 ay $MgSO_4$ çözeltisinde bekletilen numuneler 28 günlük ultrases geçiş hızı değerleriyle kıyaslandığında %-4.97 ile %11.42 değerleri arasında değişim görülmüştür. En yüksek ultrases geçiş hızı 3707 m/s değeri ile 5T9L serisinde, en düşük ultrases geçiş hızı ise 3298 m/s değeri ile 10T9L serisinde görülmüştür. 3 ay $MgSO_4$ çözeltisinde bekletilen numuneler 28 günlük ultrases geçiş hızı değerleriyle kıyaslandığında %0.23 ile %24.03 değerleri arasında değişim görülmüştür. En yüksek ultrases geçiş hızı 4351 m/s değeri ile 5T serisinde, en düşük ultrases geçiş hızı ise 3625 m/s değeri ile BK3L serisinde görülmüştür. 2 ay Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen numuneler 28 günlük ultrases geçiş hızı değerleriyle

kıyaslandığında %-2.00 ile %6.90 değerleri arasında değişim görülmüştür. En yüksek ultrases geçiş hızı 3686 m/s değeri ile BK6L serisinde, en düşük ultrases geçiş hızı ise 3292 m/s değeri ile 10T9L serisinde görülmüştür. 3 ay Na₂SO₄ çözeltilisinde bekletilen numuneler 28 günlük ultrases geçiş hızı değerleriyle kıyaslandığında %0.48 ile %20.89 değerleri arasında değişim görülmüştür. En yüksek ultrases geçiş hızı 4022 m/s değeri ile 5T9L serisinde, en düşük ultrases geçiş hızı ise 3563 m/s değeri ile 10T3L serisinde görülmüştür.

- Sülfat etkisi deneyinde hem MgSO₄ hem de Na₂SO₄ çözeltileri tüm serilerde numunelere gözle görülür bir dış hasar yaratmamıştır.
- Su emme deneyinde numunelerin kuru ve doygun ağırlıklarında ağırlık değişimleri arasında belirgin bir fark yoktur. Bunun sebebi ise betonun içerisine su emme miktarının kısıtlı olmasıdır. Beyaz çimento, talk ve lif buna sebebiyet vermiştir.

5.2 Öneriler

Beyaz çimentoya talk cevheri ikamesi ve mikrofiber lif eklenmesiyle yapılan bu çalışma kapsamında mekanik ve durabilite deneyleri incelenmiştir. Talkın çimento yerine ikame edilmesi çimentonun verdiği zararlara karşı fayda sağlayabilir. Mikrofiber lif kullanımı belirli noktalara kadar mekanik ve durabilite performansına olumlu katkı sağlayabilir. Literatürde az sayıda bulunan talk cevheri ikamesi ile farklı çalışmalar yapıp literatür zenginleştirilebilir.

6. KAYNAKLAR

- Açıkgeç, M., Arazsu, U., ve Alyamaç, K. E.** (2012). Farklı karışım oranlarına sahip polipropilen lifli betonların dayanım ve durabilite özellikleri. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 4(3), 41–54.
- Adamopoulou, E., Pipilikaki, P., Katsiotis, M. S., Chaniotakis, M., and Katsioti, M.** (2011). Influence of sulfates and increased temperature on delayed ettringite formation (DEF) in white cement mortars. *Construction and Building Materials*, 25(8), 3583–3590.
- Aghabaglou, A. M., Altun, M. G., ve Yılmaz, G.** (2017). Polipropilen lif kullanım oranının beton karışımlarının dayanımına etkisi. 20. Ulusal Mekanik Kongresi, 960–967.
- Akkaş, A., Alpaslan, L., Arabacı, S., ve Başığit, C.** (2010). Polipropilen lif katkılı yarı hafif betonların basınç dayanımı özellikleri. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 2(1), 9–14.
- Alcharchafche, M. A. S., Al-Mashhadani, M. M., and Aygörmez, Y.** (2022). Investigation of mechanical and durability properties of brick powder-added white cement composites with three different fibers. *Construction and Building Materials*, 347, 128548.
- Alkan, G.** (2004). Polipropilen Lifli Betonların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Al-Sharhane, B. A. B., Mehmetoğlu, M., Aygörmez, Y., and Niş, A.** (2025). A short-term durability comprehensive study of ceramic waste-doped white cement composites with hooked-end, basalt and copper-coated fibers. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 45, 102026.
- Anas, M., Khan, M., Bilal, H., Jadoon, S., and Khan, M. N.** (2022). Fiber reinforced concrete: A review. 12th International Civil Engineering Conference (ICEC-2022).
- Arslan, M., Özbebek, H., and Açıık, H.** (2011). Betonarme yapılar için beyaz çimento lu hazır betonun tasarımı ve üretimi. Beton 2011 Hazır Beton Kongresi Bildirileri, Türkiye Hazır Beton Birliği, 459–469.
- Arthur, F. T.** (1976). *Handbook of mineral dressing*. John Wiley & Sons.
- Aydın E., Egemen, M.** (2011). Yüksek sıcaklığın polipropilen lif içeren çimento esaslı kompozitlerin basınç dayanımlarına ve sülfat dirençlerine etkileri. 8. Ulusal Beton Konferansı, İzmir.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Aydın E., Egemen, M.** (2011). Yüksek sıcaklığın polipropilen lif içeren çimento esaslı kompozitlerin basınç dayanımlarına ve sülfat dirençlerine etkileri. 8. Ulusal Beton Konferansı, İzmir.
- Aygörmez, Y.** (2021). Lif takviyeli pirinç kabuğu külü ikameli beyaz çimentolu harçların bazı mekanik özelliklerinin incelenmesi. BAUN Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23(2), 543–559.
- Baradan, B., Yazıcı, H., Aydın, S.** (2015). Beton (ikinci baskı). Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, 413-697.
- Bayraktar, O. Y.** (2021). Yüksek hacimli çimento içerikli kompozitlerde polipropilen lif ve alçıtaşı kullanımının mühendislik özellikleri üzerindeki etkisi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9, 2036–2051.
- Coşkun, A., ve Saruşık, A.** (2022). Polipropilen lif takviyeli pomza tozu içeren harçların fiziksel ve mekanik özellikleri. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11(1), 269–277.
- Çelik, E.** ÇİMSA. “Durabilite Nedir? Durabiliteyi Etkileyen Dış Etmenler Nelerdir?”, <https://cimsa.com.tr/formulhane/beyaz-cimento/durabilite-nedir-durabiliteyi-etkileyen-dis-etmenler-nelerdir/> (Erişim tarihi: Ekim 2025)
- ÇİMSA.** (2021). “Süper Beyaz Teknik Veri Sayfası”, <https://cimsa.com.tr/urun/super-beyaz/> (Erişim tarihi: Ekim 2025)
- Devlet Planlama Teşkilatı.** (2001). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı madencilik ÖİK raporu endüstriyel hammaddeler alt komisyonu toprak sanayii hammaddeleri I çalışma grubu raporu (DPT: 2611 – ÖİK: 622). <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/08/Sekizinci-Bes-Yillik-Kalkinma-Plani-Madencilik-OIK-Raporu-EndustriyelHammaddelerAltKomisyonu-ToprakSanayiHammaddeleri-I-CalismaGrubuRaporu.pdf> (Erişim tarihi: Ocak 2026)
- Dündar, B.** (2019). Profilit katkıli lifli harçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 8(2), 17–27.
- Engin, Y.** (2014). “Çimento üretiminde kullanılan mineral katkıları”, <https://www.betonvecimento.com/surdurulebilirlik/mineral-katkilar> Erişim tarihi: 8 Aralık 2025,
- Erbaş, M.** (2003). Polipropilen lifler ve betonun durabilitesine etkisi. 5. Ulusal Beton Kongresi, IMMO Yayınları, İstanbul.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Etili, S., Yılmaz, T., and Hansu, O.** (2024). Effect of white Portland cement containing micro and nano silica on the mechanical and freeze–thaw properties of self-compacting mortars. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 50, 101614.
- Güçlüer, K., and Günaydın, O.** (2019). Microstructures investigation of mineral additive concretes. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(1), 83-90.
- Hannant, D. J.** (1987). *Fiber cements and fiber concretes*. Chichester, UK: John Wiley & Sons.
- Jia, Y., Zhang, J., Zou, Y., Guo, Q., Li, M., Zhang, T., & Cheeseman, C.** (2024). Development and applications of MgO-activated SiO₂ system—achieving a low carbon footprint: A review. *Green Energy and Resources*, 2(2), 100072.
- Kara, İ. B., ve Kara, C.** (2016). Beyaz çimentolu betonlarda yüksek sıcaklık etkisinin araştırılması. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 32(2).
- Latifi, R. M.** (2020). Makro sentetik polipropilen lif kullanımının beton karışımlarının taze ve sertleşmiş hal özelliklerine etkisi, Yüksek lisans tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Maden Tetkik Arama Müdürlüğü (MTA).** “Talk”, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/talk> (Erişim tarihi: 12 Ekim 2025)
- Mahsanlar, N.** (2006). Yüksek sıcaklık etkisinde beton davranışı, Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Meier, R.** (2007). Wikipedia entry, <https://en.wikipedia.org/w/index.php?curid=36717983> (Erişim tarihi: 21 Aralık 2025)
- Mikron’S Talk.** (2018). Talk cevheri teknik veri sayfası (TDS).
- Oyak Beton.** Teknik görsel, https://assets.oyakcemento.com/uploads/2020-02-24-09-22-20_5e536b9c38be5.jpg (Erişim tarihi: 21 Aralık 2025)
- Patsikas, N., Katsiotis, N., Pipilikaki, P., Papageorgiou, D., Chaniotakis, E., and Beazi-Katsioti, M.** (2012). Durability of mortars of white cement against sulfate attack in elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, 36, 1082–1089.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sertbaş, B.** (2006). Kendiliğinden yerleşen betonlarda polipropilen lif kullanımının işlenebilirliğe etkisi, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sollero, M. B. S., Junior, A. M., & Costa, C. N.** (2021). Residual mechanical strength of concrete exposed to high temperatures–international standardization and influence of coarse aggregates. *Construction and Building Materials*, 287, 122843.
- Sümer, B., ve Sarıbiyık, M.** (2013). Betonda silis dumanı ve polipropilen lif kullanımının beton özellikleri üzerine etkilerinin incelenmesi. *Sakarya University Journal of Science*, 17(2), 217–224.
- Topçu, İ. B., Demirel, O. E., ve Uygunoğlu, T.** (2017). Polipropilen lif katkılı harçların fiziksel ve mekanik özellikleri. *Politeknik Dergisi*, 20(1), 91–96.
- Torlak, İ., and Pekgöz, M.** (2025). Effects of sulfate exposure on the mechanical and microstructural properties of concretes produced with artificial aggregates. *Türk Mühendislik Araştırma ve Eğitimi Dergisi*, 4(2), 183-196.
- Türk, K., ve Kına, C.** (2016). Çimento esaslı kompozitlerde karma lif kullanımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(6), 671–678.
- Uysal, M., Mercan, N., ve Yılmaz, K.** (2011). Farklı dozlarda üretilen beyaz betonların basınç dayanımına farklı kür şartlarının etkisi. *SAÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 15(2), 139–145.
- Uysal, M.** (2011). Mineral katkılı betonların donma-çözülme etkisi altındaki davranışının incelenmesi. THBB kongresi.
- Yazıcıoğlu, S., Demirel, B., Tuğla, R., and Ay, S.** (2019). Determination of mechanical properties of the concrete affected by high temperature by destructive and non-destructive test methods. *Turkish Journal of Science and Technology*, 14(2), 91-99.
- Yıldırım, M.** (2002). Yalazı/Balıkesir talk cevherinin zenginleştirilmesi. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 41(1), 16-21.
- Yıldırım, S. T., ve Ekinci, C. E.** (2006). Çelik, cam ve polipropilen lifli betonlarda donma-çözülme etkilerinin araştırılması. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(3), 359–366.

Zhang, A., Liu, X., Liu, Y., Li, H., Hong, B., and Ge, Y. (2025). Performance degradation of semi-immersed cement mortar under the combined effect of large temperature difference and magnesium salt attack. *Construction and Building Materials*, 491, 142721.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Eylül Deniz ACAR

Doğum tarihi ve yeri :

e-posta :

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/ İnşaat Mühendisliği	2026
Lisans	Balıkesir Üniversitesi/ İnşaat Mühendisliği	2022
Lise	Cenap Düzgün Başarı Temel Lisesi	2018