

**T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**TUĞLA TOZU KATKILI BEYAZ ÇİMENTOLU
KOMPOZİTLERİN MEKANİK VE DURABİLİTE
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Mahmood Anwar Shaker ALCHARCHAFCHE

Danışman

Dr. Öğr Üyesi Mukhallad Mohammed Mawlood

AL-MASHHADANI

Eş Danışman

Arş. Gör. Dr. Yurdakul AYGÖRMEZ

İstanbul-2022

TEZ TANITIM FORMU

Yazar Adı Soyadı : Mahmood Anwar Shaker ALCHARCHAFCHE

Tezin Dili : Türkçe

Tezin Adı : Tuğla Tozu Katkılı Beyaz Çimentolu Kompozitlerin Mekanik ve Durabilite Özelliklerinin Araştırılması

Enstitü : İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Tezin Türü : Yüksek Lisans

Tezin Tarihi : 29.12.2021

Sayfa Sayısı : 69

Tez : Dr. Öğr Üyesi Mukhallad Mohammed Mawlood

Danışmanları : AL-MASHHADANI

Dizin Terimleri : Beyaz Çimento, tuğla tozu, pirinç kaplı çelik lif, zikzaklı çelik lif, bazalt lif, yüksek sıcaklık, donma-çözülme, sülfat etkisi

Türkçe Özet : Bu tez çalışması, tuğla tozu atığının kısmen karışıma dahil edildiği Beyaz Çimento harcının özelliklerinde meydana gelen değişiklikleri incelemeyi amaçlamaktadır.

Dağıtım Listesi : 1. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne
2. YÖK Ulusal Tez Merkezine

İmzası

Mahmood Anwar Shaker ALCHARCHAFCHE

**T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**TUĞLA TOZU KATKILI BEYAZ ÇİMENTOLU
KOMPOZİTLERİN MEKANİK VE DURABİLİTE
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Mahmood Anwar Shaker ALCHARCHAFCHE

Danışman

Dr. Öğr Üyesi Mukhallad Mohammed Mawlood

AL-MASHHADANI

Eş Danışman

Arş. Gör. Dr. Yurdakul AYGÖRMEZ

İstanbul-2022

BEYAN

Bu tezin hazırlanmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğu, kullanılan verilerde herhangi tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez olarak sunulmadığını beyan ederim.

Mahmood Anwar Shaker ALCHARCHAFCHE

.../.../2022



İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Mahmood Anwar Shaker ALCHARCHAFCHE'ın Tuğla Tozu Katkılı Beyaz Çimentolu Kompozitlerin Mekanik ve Durabilite Özelliklerinin Araştırılması adlı tez çalışması, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği anabilim dalı, İnşaat Mühendisliği bilim dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Başkan

*Dr. Öğr Üyesi Mukhallad
Mohammed Mawlood
AL-MASHHADANI
(Danışman)*

Üye

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Anıl NİŞ

Üye

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Furkan ŞAHİN

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

... / ... / 2022

İmzası

Prof. Dr. İzzet GÜMÜŞ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu tez çalışması, tuğla tozu atığının kısmen karışıma dahil edildiği Beyaz Çimento harcının özelliklerinde meydana gelen değişiklikleri incelemeyi amaçlamaktadır. Beyaz Çimentoya %5, %10 ve %15 oranlarındaki tuğla tozu ikameleri yapılmış olup, ayrıca %0,4 oranında lif katkıları (pirinç kaplı çelik lifler, zikzaklı çelik lifler ve bazalt lifler) eklenmiştir. Kullanılan karışımların avantaj ve dezavantajlarını doğrulamak amacıyla bu numunelerin basınç dayanımı ve eğilme dayanımı araştırılmıştır. Ayrıca 90 gün sonra numunelere yüksek sıcaklık, donma-çözülme ve sülfat etkileri uygulanmış ve fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişiklikler araştırılmıştır. Genel olarak, sonuçlar; tuğla tozunun ilave edilmesinin, karışımın basınç ve eğilme dayanımını artıracaklarını, bu yüzden kullanılmasının faydalı olacağını, ancak -karışımın homojenliğine zarar vermemek ve basınç ve eğilme dayanımının azalmaması adına- ilave oranının %5 ile sınırlı tutulmasının uygun olacağını göstermektedir. Lifli serilerde sonuçların olumlu yönde iyileşeceği görülmüştür. En yüksek artışların zikzaklı çelik liflerde olduğu görülürken en düşük artışların pirinç kaplı çelik liflerde olduğu görülmüştür. Durabilite testlerinden sonraki sonuçlarda azalmalar görülürken sonuçların sıralaması durabilite testleri öncesine paralellik göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Beyaz Çimento, tuğla tozu, pirinç kaplı çelik lif, zikzaklı çelik lif, bazalt lif, yüksek sıcaklık, donma-çözülme, sülfat etkisi

SUMMARY

This thesis study aims to examine the changes in the properties of White Cement mortar in which the brick dust waste was partially included in the mixture. Brick powder substitutes of 5%, 10% and 15% were made into White Cement, and fiber additives (crimped steel fibers, copper coated steel fibers and basalt fibers) were added at the rate of 0.4%. In order to verify the advantages and disadvantages of the mixtures used, the compressive strength and flexural strength of these samples were investigated. In addition, after 90 days, high temperature, freeze-thaw and sulfate effects were applied to the samples and the changes in their physical and mechanical properties were investigated. In general, the results; It showed that the addition of brick powder will increase the compressive and flexural strength of the mixture, therefore it will be beneficial to use it, but it would be appropriate to limit the addition rate to 5% in order not to damage the homogeneity of the mixture and not to decrease the compressive and flexural strength. It has been observed that the results will improve positively in fibrous series. The highest increases were observed in crimped steel fibers, while the lowest increases were observed in crimped steel fibers. While decreases were observed in the results after the durability tests, the order of the results showed parallelism before the durability tests.

Keywords: White Cement, brick powder, copper coated steel fiber, crimped steel fiber, basalt fiber, high temperature, freeze-thaw, sulfate effect

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
SUMMARY.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
KISALTMALAR.....	V
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VIII
ÖNSÖZ.....	X
GİRİŞ.....	1

BİRİNCİ BÖLÜM

BEYAZ ÇİMENTOLU HARCIN BİLEŞENLERİ VE KALICILIK ETKİLERİ

1.1 BEYAZ ÇİMENTO.....	3
1.2 TUĞLA ATIKLARI.....	5
1.3 LİFLER.....	8
1.3.1 Prinç Kaplı Çelik Lif	8
1.3.2 Bazalt Lifi.....	9
1.3.3 Zikzaklı Çelik Lifler.....	10
1.4 TERMAL ETKİSİ.....	11
1.5 SÜLFAT ETKİSİ.....	12

İKİNCİ BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1 KULLANILAN MALZEMELER.....	15
2.1.1 Beyaz Çimento.....	15
2.1.2 Kum.....	16
2.1.3 Kil Tuğla Tozu.....	16

2.1.4 Lifler.....	17
2.2 NUMUNELERİN HAZIRLANMASI	18
2.3 SÜLFAT DİRENCİ TESTİ.....	20
2.4 YÜKSEK SICAKLIK TESTİ	21
2.5 DONMA -ÇÖZÜLME TESTİ	22

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 DURABİLİTE TESTLERİ ÖNCESİ SONUÇLAR.....	23
3.2 SULFATE ETKİSİ.....	26
3.3 YÜKSEK SICAKLIK TESTİ.....	32
3.4 DONMA-ÇÖZÜLME ETKİSİ	37
3.5 SEM ANALİZİ.....	43
SONUÇLAR	48
KAYNAKLAR.....	49

KISALTMALAR

Simgeler	Açıklamalar
°C	Santigrad
MPa	Megapaskal
m	Metre
mm	Milimetre
cm	Santimetre
BÇ	Beyaz çimento
TT5	Beyaz çimento %5 kil tuğla tozu ilavesi ile
TT10	Beyaz çimento %10 kil tuğla tozu ilavesi ile
TT15	Beyaz çimento %15 kil tuğla tozu ilavesi ile
BÇP	Beyaz çimento %0.4 prinç kaplı çelik lif ilavesi ile
BÇB	Beyaz çimento %0.4 Bazalt çelik lif ilavesi ile
BÇZ	Beyaz çimento %0.4 Zikzaklı çelik lif ilavesi ile
TTP5	Beyaz çimento %5 kil tuğla tozu ve %0.4 prinç kaplı çelik lif ilavesi ile
TTB5	Beyaz çimento %5 kil tuğla tozu ve %0.4 Bazalt çelik lif ilavesi ile
TTZ5	Beyaz çimento %5 kil tuğla tozu ve %0.4 Zikzaklı çelik lif ilavesi ile
CO₂	Carbon Dioksit
C-H	Carbon-Hidrojen bond
C₃A	Trikalsiyum Alüminat
H₂	Su
(OH)₂	Calcium Hidroksit
NaOH	Sodyum Hidroksit
KOH	Potasyum Hidroksit
Na₂SiO₃	Sodyum Silikat

Na₂SO₄	Sodyum Sülfat
CaSO₄	Calcium Sülfat
C	Karbon
CaO	Kalsiyum oksit(Sönmemiş Kireç)
SO₃	Kükürt trioksit
K₂O	Potasyumoksit
N	Azot
S	Kükürt
H	Hidrojen
SiO₂	Silisyum Dioksit
Na₂O	Sodyum Oksit
PH	Potansiyal hidrojen
Al₂O₃	Alüminyum Oksit
MgO	Magnezyum Oksit
Fe₂O₃	Demir (II) Oksit
Ca	Kalsiyum
SiO₂	Silisyum Hidroksit
H₂SO₄	Sülfürik asit
Kg	kilogram

Kısaltmalar	Açıklamalar
(DSS)	Dış Sülfat Saldırısı
(GEO)	Gecikmeli Etrenjit Oluşumu

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2.1 Kimyasal bileşim	13
Çizelge 2.2 Kum için standart sınır değerler ve derecelendirme	14
Çizelge 2.3 Kil tuğla tozunun kimyasal bileşimleri (kütlece %)	14
Çizelge 2.4 Liflerin Özellikleri	16
Çizelge 2.5 Numunelerin karışım oranları	17
Çizelge 3.1 (28) ve(90) gün sonrası basınç dayanımı sonuçları	21
Çizelge 3.2 28 ve 90 gün sonrası eğilme dayanımı sonuçları	24
Çizelge 3.3 Sülfat etkisi sonrası ağırlık değişimleri	25
Çizelge 3.4 Sülfat etkisi öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişimleri	26
Çizelge 3.5 Sülfat etkisi öncesi ve sonrası eğilme dayanımı değişimleri	28
Çizelge 3.6 Yüksek sıcaklık etkisi sonrası ağırlık kayıpları	30
Çizelge 3.7 Yüksek sıcaklık etkisi öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişimleri	31
Çizelge 3.8 Yüksek sıcaklık etkisi öncesi ve sonrası eğilme dayanımı değişimleri	33
Çizelge 3.9 Donma-çözülme etkisi sonrası ağırlık kayıpları	35
Çizelge 3.10 Donma-çözülme etkisi öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişimleri	37
Çizelge 3.11 Donma-çözülme etkisi öncesi ve sonrası eğilme dayanımı değişimleri	39

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Farklı lif türleri	9
Şekil 2.1 Beyaz Ç imento	13
Şekil 2.2 Kil tuğla tozu	14
Şekil 2.3 Pirinç kaplı çelik lif	15
Şekil 2.4 Bazalt lif	15
Şekil 2.5 Zikzaklı çelik lif	16
Şekil 2.6 Kalıplama işlemi	17
Şekil 2.7 Kalıplama işlemi	18
Şekil 2.8 Su kütleme işlemi	18
Şekil 2.9 Numunelerin sülfat çözeltisine maruz bırakılması	19
Şekil 2.10 Yüksek sıcaklık testi sonrası numuneler	20
Şekil 2.11 Donma-çözülme testinden sonra numuneler	20
Şekil 3.1 Basınç dayanımı test sonuçları	21
Şekil 3.2 Eğilme dayanımı test sonuçları	23
Şekil 3.3 Sülfat testinden sonra ağırlık değişimleri	26
Şekil 3.4 Sülfatın basınç dayanımı üzerindeki etkisi	28
Şekil 3.5 Sülfatın eğilme dayanımı üzerindeki etkisi	30
Şekil 3.6 Ağırlık kayıplarındaki yüksek sıcaklık etkisi	31
Şekil 3.7 Basınç dayanımı üzerindeki yüksek sıcaklık etkisi	33
Şekil 3.8 Eğilme dayanımı üzerindeki yüksek sıcaklık etkisi	34
Şekil 3.9 Ağırlık kaybında donma-çözülme etkisi	36
Şekil 3.10 Basınç dayanımı üzerindeki donma-çözülme etkisi	38
Şekil 3.11 Eğilme dayanımı üzerindeki donma-çözülme etkisi	40
Şekil 3.12 90 gün sonrası	42

Şekil 3.13 Sülfat sonrası	43
Şekil 3.14 750° sıcaklık sonrası	44
Şekil 3.15 Donma-Çözülme sonrası	45



ÖNSÖZ

Bu çalışmanın her sayfasında değerli yardım ve ilgisini esirgemeyen, bilimsel araştırma projesi kapsamında yürütülmesini sağlayan, yönlendirici ve bilgilendirici desteklerinden dolayı danışman hocam Sayın **Dr. Öğr. Üyesi Mukhallad Mohammed Mawlood Al-Mashhadani** ve Eş danışman hocam Sayın **Arş. Gör. Dr. Yurdakul Aygörmez**'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme de sonsuz teşekkürler ederim.

Çalışmalar sırasında destek alınan İstanbul Gelişim Üniversitesi ve Yıldız Teknik Üniversitesi'ne teşekkür ederiz.

GİRİŞ

Dünyada kentsel alanda ilerlemeler olurken bina ve inşaatların devam eden bir gelişim sürecinde kalması talep edilmektedir. Bu durum karşısında analistler, bir ülkedeki kentsel ilerlemeyi ölçmek için o ülkedeki Portland Çimentosunun yıllık kişi başına tüketim oranını ölçmektedir. Örneğin, İsviçre’de Portland Çimentosunun bireysel tüketim miktarı yaklaşık (584) kg’dır (KAPLAN and BİNİCİ 1996). Portland Çimentosu tüketim oranında ilk sırada İsviçre gelirken, ardından Çin’in ve Amerika’nın geldiği bilinmektedir. Çimento üretimi, Covid-19 nedeniyle son dönem hariç her yıl artmakta ve genel olarak da sürekli artan bir üretim potansiyeli göstermektedir. Bu süreç sonucunda oluşan yüksek oranda çimento malzemesi kullanımı yararlanıcı taraflara zarar verebilir. Bu durum kentsel ilerlemenin önündeki engellerden biri olmaktadır.

Yukarıdaki bilgilere göre çok ciddi bir sorun ortaya çıkmakta ve iklim değişiklikleri ve küresel ısınma üzerinde tehlike alarmı oluşturmaktadır. Çünkü araştırmalar Portland Çimentosu üretiminin, yaklaşık 4 milyarlık üretim süreci nedeniyle küresel ısınmanın nedenlerinden biri olduğunu göstermektedir. Çimento üretimi, CO₂ gazı emisyonunun %18,1’lik bir oranını oluşturan karayolu trafik araçlarından sonra ikinci sırada gelerek %8’ini oluşturmaktadır.

Bu gaz emisyonlarını azaltmak için, zararsız yeni bir çimento türü üreterek veya Portland çimentosunun kısmen yerine geçen tuğla atığı, seramik atığı ve lif türleri gibi yeni bir malzeme deneyerek üretim sürecinde kullanılan çimento miktarını azaltmak için çeşitli testler ve araştırmalar yapılmıştır. Bu durum, aynı zamanda bir çevre sorununu önleyecektir, çünkü her yıl inşaat sürecinde kullanılan ve geri dönüştürülebilir olarak tekrar kullanılabilir tonlarca tuğla atığı bulunmaktadır. Beyaz Çimento ise Portland Çimentosuna göre son zamanlarda daha çok ilgi çekmektedir. Özellikle prekast alanında kullanımı önemli bir alternatif oluşturmaktadır.

Tuğla atığının çimento esaslı matris içinde bağlayıcı veya dolgu maddesi olarak kullanılmasının etkisine yönelik birçok araştırma girişimi mevcuttur, yapılan çalışmalar bu malzemeleri ayrı ayrı incelemiştir. Bununla birlikte, bu tür matris içinde liflerin varlığının değerlendirilmesine dayanan sınırlı çalışmalar yapılmıştır. Bu tez çalışmasının temel amacı, Beyaz Çimento esaslı harç içinde tuğla tozu kullanımının etkisini araştırmak ve kullanılan pirinç kaplı çelik lif, zikzaklı çelik lif

ve bazalt liflerle oluşan farklılıkları karşılaştırmak olacaktır. Normal koşullardaki, yüksek sıcaklık ve donma-çözülme döngüleri ve sülfat etkisi altındaki basınç ve eğilme dayanımları ve numune ağırlıkları karşılaştırılması yapılacaktır.



BİRİNCİ BÖLÜM

BEYAZ ÇİMENTOLU HARCIN BİLEŞENLERİ VE KALICILIK ETKİLERİ

1.1 Beyaz Çimento

Belirli amaçlar için çeşitli normal fiziksel ve kimyasal gereksinimleri karşılamak amacıyla farklı tipte çimentolar üretilmektedir. Beyaz Çimento, mimari ve dekoratif betonda önemli bir bileşendir. Özellikle Beyaz Çimento kullanarak elde edilen beton, sonsuz renk tonu yelpazesine ve estetik özelliklere sahip etkileyici bir malzeme olmakla kalmaz, aynı zamanda yüksek mekanik özellikleri nedeniyle yapısal nitelikleri açısından da dikkate değer bir geçerlilik kazandırır. Çimento rengi, kimyasal bileşimi ve işleme koşullarını yansıtır. Çimento renkleri, daha açık veya daha koyu gri tonları yaygın olmak üzere daha nadiren kahverengi veya devetüyü tonları ile geniş ölçüde değişebilir. Ticari çimentoların yaygın gri ve kahverengimsi renkleri, öncelikle içlerindeki demir bileşikleri ve klinkerin yanması ve söndürülmesi nedeniyledir. Manganez, krom ve vanadyum gibi diğer geçiş metallerinin küçük miktarları da rengi etkiler.

Beyaz çimento genellikle hem prekast hem de yerinde dökme mimari betonda kullanılır. Uygulamalar, prekast perde duvarlar ve cephe panelleri, terrazzo yüzeyler, sıva, çimento boyası, fayans harcı ve dekoratif betonu içerir. Özellikle açıkta kalan agrega cilaları ve pigment ilaveli renkli çimentolar yapmak için uygundur. Beyaz çimento, tipik olarak tip I veya tip III çimentolar için ASTM C150'nin spesifikasyonlarına uyacak şekilde yapılmış bir Portland çimentosudur, ancak üretim süreci, bitmiş ürünün rengi beyaz olacak şekilde kontrol edilir. Bu durum, ihmal edilebilir miktarlarda demir oksit (ağırlıkça %0,5'ten fazla olmayan) ve çimentoya gri rengini veren maddeler olan manganez oksit içeren dikkatli bir hammadde seçimi ile sağlanır (Serpone and Pelizzetti 1989). Uygun hammaddeler, düşük demir içerikli ve beyaz demir içermeyen kil (kaolinit veya çin kili) olan tebeşirler ve kalkerlerdir(Linsebigler, Lu, and Yates Jr 1995) . Gerekli alümina içeriğini elde etmek için genellikle boksit (alüminyum oksit) gerekir.

Demir oksit, yakma işleminde bir eritici olarak hareket ettiğinden, Beyaz Çimento üretim sürecinde bu işlevi gerçekleştirmek için genellikle sodyum alüminyum florür (kriyolit) eklenir. Ayrıca, kömür külüyle kirlenmeyi önlemek için yakma işleminde

toz haline getirilmiş kömür yerine sıklıkla petrol yakıtı kullanılır. Çimento klinkerinin öğütülme sürecinde demir bulaşmasını önlemek için özel bilyalı değirmenler kullanılmalıdır. Hammaddelerin yüksek maliyeti ve üretim prosedürlerindeki değişiklikler, Beyaz Çimentonun fiyatını Geleneksel Portland Çimentosundan çok daha yüksek hale getirir.

Beyaz çimento ile yapılan bir beton için karışım tasarımı, iki temel husus dikkate alınarak geliştirilmelidir:

- estetik veya yüzey kalitesi (sonunda fotokatalitik özellikler dahil);
- güç veya yapısal uygunluk

Başka bir deyişle, karışım bileşenleri arasında hassas bir denge oluşturmak ve elde edilen karışımın reolojik davranışını garanti etmek için doğru malzemelerin seçilmesi gerekir. Yüksek Performanslı Beton (YPB) özel durumunda, hammaddeler şunlardır: Su, çimento ve agregalar (Geleneksel Portland Çimento karışımında olduğu gibi). Bunlara gerektiğinde mineral ve süper akışkanlaştırıcı katkıları eklenebilir. Sonuç olarak, YPB, geleneksel betondan önemli ölçüde farklı bir mikro yapıya sahiptir: Yüksek yoğunluk, düşük gözeneklilik ve çimento hamuru ile agregalar arasında geliştirilmiş ara yüzey bağlanması. Bu nedenle dayanım ve dayanıklılık açısından farklı makro özelliklere yol açar (Cassar et al. 2003).

Dayanım, kimyasal ve fiziksel dayanıklılığın iyileştirilmesi için karışım tasarımına mineral ilaveleri dahil edilebilir. Beyaz Çimento betonu söz konusu olduğunda, ince puzolanik malzemelerin (silis dumanı, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, pirinç kabuğu külü ve metakaolin gibi) beyaz olması gerektiğinden mevcut olan malzemeler arasında ikincisi yüksek fırın cürufu ön plana çıkmaktadır (Cassar et al. 2003; Caldarone, Gruber, and Burg 1994; Wild et al. 1996) . Ayrıca, silis dumanı veya çökeltilmiş silika türleri çok pahalıdır.

Metakaolin doğası gereği beyazdır ve oldukça reaktiftir, bazen silis dumanına geçerli bir alternatif olarak kullanılır. Saf kaolinin belirli bir sıcaklık aralığında kalsinasyonu ile elde edilen alüminyum silikattır. Parçacıkların ortalama boyutu 1,5 mikrondur (Portland çimentosu CEM I 52,5 R'den on kat daha incedir). Metakaolin farklı şekillerde çalışır:

- anında harekete geçen bir dolgu maddesi olarak

- ilk 24 saat içinde daha yüksek yoğunlukta hidrasyonu hızlandırarak

- 7. Ve 28. Günler arasında C-H ile puzolanik reaksiyon yoluyla

Ayrıca, başka avantajlar da elde edilebilir:

- su geçirgenliğini azaltmak

- sınırlı çiçeklenme sorunları

- (CaOH)₂'nin varlığı

- higrometrik büzülme kontrol etmek

- macun/agrega bağının iyileştirilmesi

YPB'deki su ihtiyacı için su talep seviyeleri 0.20-0.35'lik bir su/bağlayıcı oranına karşılık gelir, melamin-formaldehit veya naftalin formaldehit solfonat kondensatları yerine akrilik süper plastikleştiricilerin kullanılması tercih edilir. Beyaz betonun özel durumunda, katkıların seçimi de kesinlikle renkleriyle bağlantılıdır.

Ayrıca, çimento- katkı uyumsuzluğu olasılığı varsa, akıllı ajanın kullanılması kesinlikle gereklidir. Son zamanlarda bu sorun, puzolanik katkı olarak kullanılan metakaolin tarafından desteklenen bir katkı sistemi kullanılarak çözülmüştür (Cassar et al. 2003).

1.2 Tuğla Atıkları

Çimento karışımlarda uçucu kül, silis dumanı veya yüksek fırın cürufu gibi atık malzemelerin çimento ile kısmen değiştirilmesi, oluşan bazı sorunların çözünmesine yardımcı olacak ve çimento malzemelerinin işlenebilirliğinde, dayanımında ve dayanıklılığında iyileşmeye yol açacaktır (Baronio, Binda, and Materials 1997). Atık tuğla tozu bu malzemeler arasındadır. Bu durum aynı zamanda maliyetin düşürülmesi, enerji tasarrufu, ekolojik dengenin desteklenmesi ve doğal kaynakların korunması açısından ek faydalar sağlayacaktır (Kaminskas, Mituzas, and Kaminskas 2006). Kısmi çimento ikame malzemeleri için devam eden araştırmalar, araştırmacıları harç ve beton için bir puzolan olarak atık pişmiş tuğlanın kullanımını araştırmaya yöneltmiştir. Çimento üretimi, endüstriyel sektörden kaynaklanan dünya çapındaki toplam emisyonların yaklaşık %7'sinden sorumlu olduğundan, çimentonun çevresel yönleri büyüyen bir endişe kaynağıdır. Çevresel etkiyi azaltmanın etkili yollarından biri, kısmi çimento ikamesi olarak mineral ilaveleri

kullanmaktır (Uzal, Turanlı, and Research 2003). Bu strateji, maliyetleri düşürme, enerji tasarrufu ve atık minimizasyonu potansiyeline sahip olacaktır. Granüle yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı ve doğal ve yapay puzolanlar gibi mineral katkıları silika esaslı puzolanik malzemelerdir ve kısmen klinkerin yerini alabilirler.

Mineral katkıların kullanılması, hidrasyon süresinin artmasıyla toplam gözenekliliği azalttığından, zamanla harç ve betonların basınç dayanımını ve geçirgenliğini iyileştirir (Wang, Seals, and Roy 2001). Son zamanlarda, duvar endüstrisi için yeni hidrolik malzemelerin üretimi ile uğraşan araştırmacılar tarafından, killerin kalsiyum hidrat ile puzolanik karışımına artan bir ilgi gösterilmiştir. Puzolanların iki temel özelliği genellikle şu şekilde tanımlanır: (a) Kireçle reaksiyona girme yeteneği ve (b) bağlayıcı özelliklere sahip çözünmeyen ürünler oluşturma yeteneği (Wild et al. 1996). Kireç ve su ile karıştırıldığında aynı davranış gösteren birçok malzeme nedeniyle puzolanların tam olarak sınıflandırılması zor olduğundan, puzolanları doğal ve yapay kategorilere ayırmak yaygın olarak kabul edilmektedir. Doğal puzolanlar kullanıldıklarında herhangi bir işlem gerektirmezken, yapay olanlar, başlangıçta puzolanik özelliklere sahip olmayan veya zayıf puzolanik özelliklere sahip malzemelerin kimyasal ve/veya yapısal modifikasyonlarından kaynaklanır.

Yapay puzolanlar, genellikle birincil doğalarını değiştiren uygun ısı işlem uygulandığında puzolanik karakter kazanırlar. Puzolanlar çoğunlukla silika ve alüminadan oluşur. Termal işlemlerden dolayı birleşik su kaybı, kil bileşenlerinin kristal ağının bozulmasına neden olur ve silika ve alümina düzensiz, ancak her durumda kararsız amorf durumda kalır. Tuğlanın kalsinasyonunun, kireç harçlarının hidrolikliği ve puzolanik özelliği üzerinde bir etkisi olabileceği bilinmektedir. Bağlayıcı ile spesifik temas yüzeyini arttırmak için tuğlalar yüksek sıcaklıklarda (900°C'den düşük) pişirilmelidir. Her kil, kristal yapısının bozulmasına ve amorf silika ve alümina oluşumuna neden olan bir optimum kalsinasyon sıcaklık aralığına sahiptir. Bu nedenle ham kilin minerallerinin çeşitlerinin bilinmesinde fayda vardır (Kavas and Olgun 2008). Arıtma, birleşik su kaybı yoluyla, tuğla ve killerin kristalografik puzolaniklerinin çökmesine ve amorf bir durumda veya kafes yapısında düzensizlik ile karakterize edilen bir durumda silika ve alümina oluşumuna neden olur (Sata et al. 2007). Puzolanik malzemeler, Portland Çimentosunun hidrasyonunda bulunan veya serbest bırakılan kalsiyum hidroksit $Ca(OH)_2$ ile

reaksiyona girerek Portland Çimentosu silikat hidrasyon ürünlerine benzeyen hidratlı fazlar oluşturur (Sabir et al. 2001).

Bu reaksiyonun sonucunda, çimentolu bileşikler oluşur. Bu puzolanik reaksiyon, çimentonun ve elde edilen harç veya betonun bazı özelliklerini değiştirir. Bu durum, puzolanikteki amorf silika ile çimento hidrasyon reaksiyonları tarafından üretilen kireç (kalsiyum hidroksit) arasındaki reaksiyondan kaynaklanmaktadır (He, Makovicky, and Osbaeck 1994). Kil mineralinin türüne bağlı olarak, killerin kalsinasyon sıcaklığının puzolanik aktivite üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. Atık tuğla, tuğlanın kullanarak atık hale gelmesi ile elde edilir. Bu nedenle kırma tuğlanın yeni malzemelerin üretiminde kullanılması çevrenin korunmasına yardımcı olacaktır. Son zamanlarda atık tuğlaların ikame malzeme olarak kullanımı araştırılmaktadır. Bu malzeme, değişken miktarlarda yapısal su içeren silikon ve alüminyum oksitler ve hidroksitler açısından zengin çeşitli fillosilikat minerallerinden oluşur. Kil, küçük boyutu, katmanlı şekli, suya afinitesi ve yüksek plastisite eğilimi ile ayırt edilir (He, Makovicky, and Osbaeck 1994). Kil endüstrisinin (tuğla, kiremit, seramik vb.) bugüne kadar işletilmesinden kalan çok yüksek mineral atıkları ile belirli sorunları (maden atıkları) vardır. Atık tuğlalar yapay bir puzolandır ve $\text{Ca}(\text{OH})_2$ varlığında hidratlanabilir.

Serbest kirecin (CaO) puzolan katkısı (AlO_3 , SiO_2 , Fe_2O_3) ile su varlığında reaksiyona girmesi sonucu çimentolu malzeme oluşması hidrasyon olarak bilinir (Shi 2001). Hidratlı kalsiyum silikat jeli veya kalsiyum alüminat jeli (çimentolu malzeme) atıl malzemeyi birbirine bağlayabilir. Kalsine kilin kireç içeriği nispeten düşük olduğundan, atık tuğlanın puzolanı ile hidrasyon reaksiyonu için kireç ilavesi gereklidir. Yukarıdaki reaksiyon hızının sıcaklıkla artması, daha fazla Ca^{2+} ve OH^- iyonu veren $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in çözünmesindeki artıştan kaynaklanıyor olabilir. Kalsine kilde trikalsiyum alüminatın hidrasyonu, birçok kilde birincil çimentolu ürünlerden birini sağlar (O'Farrell et al. 2006) . Kalsine kilin hidrasyon kimyası çok karmaşıktır. Matriste atık tuğla bulunması harcın erken basınç dayanımını artırır ve artan atık tuğla içeriği ile harcın direnci azalır. Harcın erken ve uzun vadeli dayanımı, matrise cüruf ve uçucu kül eklenmesiyle iyileştirilebilir (Lawrence et al. 2003) .

Endüstriyel atık yönetimi en önemli çevre sorunlarından biridir. Bu nedenle endüstriyel atıkların geri dönüşümü ve yeniden kullanımı, hem endüstriyel atık sorununun çözümünde hem de ondan yararlanmada hayati bir rol oynamaktadır. Bu

deneysel çalışma, kırma tuğla, klinker ve alçının karıştırılmasıyla laboratuvarında üretilen katkılı çimentolar üzerine bir çalışma sunmaktadır. Harcın mekanik özellikleri (eğilme ve basınç dayanımları) incelenmiştir.

1.3 Lifler

1.3.1 Pirinç kaplı çelik lif

Beton, gelişen inşaat sektöründe kullanılan ana malzemedir. Bununla birlikte, beton, kırılğan yapısı ile bilinir. Bu durum bilim adamlarını bu sorunu hafifletmek için yöntemler aramaya teşvik etmiştir. Popüler bir çözüm, betonun basınç dayanımının yanı sıra kesme ve kırılma direncini iyileştirme potansiyeline sahip bir toklaştırma malzemesi olan beton matrisinde bir lif takviyesinin kullanılmasıdır. Geçtiğimiz yıllarda, bu alanda yapılmış ve halen devam etmekte olan geniş araştırmalar sayesinde gelişmeler kaydedilmiş ve fiber takviyeli betonun davranışının daha iyi anlaşılması sağlanmıştır. Daha yakın zamanlarda ise bu malzemeler tüm dünyada hidrolik ve sivil binalar için üretilmeye başlanmıştır. Çelik, karbon, cam ve polimer (Yao et al. 2003) . bu liflerin en popüler türleri arasındadır. Polimer lifin en çok kullanılan türü polipropilendir. Bu liflerin çimento üzerindeki etkileri yoğun olarak incelenmiştir. Birçok araştırmacı (Corinaldesi, Nardinocchi, and Materials 2016; Jun et al. 2020; Feng et al. 2018; Aydın 2017) , çimento kompozitlerine lifler eklerken basınç ve eğilme mukavemetinde bir artış olduğunu bildirmiştir. Örneğin Valeria ve Nardinocchi (Corinaldesi, Nardinocchi, and Materials 2016), çimento kompozitlerine fiber eklenmesiyle kuruma büzülmesinde bir azalma gözlemlemiştir. Ayrıca Hwang ve ark. (Hwang et al. 2016) , çimento kompozitlerine doğal liflerin eklenmesiyle artan eğilme mukavemeti, tokluk indeksleri, plastik çatlama ve darbe direncini bildirmiştir.

Bu malzemeler şu anda sadece birkaç tür uygulamada rutin olarak kullanılmaktadır ancak ACI Komitesi 544 (1988), mühendislerin malzemenin faydalı özelliklerinin farkına vardığında ve uygun tasarım prosedürlerine eriştiğinde diğer birçok uygulamanın geliştirileceğine inanmaktadır. Bu raporun içeriği, komitenin şu anda kullanımda olan tasarım prosedürleriyle ilgili deneyimini yansıtmaktadır. Karışımda kullanılan beton normal tiptedir, ancak iyi işlenebilirlik elde etmek ve liflerden tam olarak yararlanmak için oranların değiştirilmesi gerekir.

Bu durum, agrega boyutunun sınırlandırılmasını, gradasyonun optimize edilmesini, çimento içeriğinin arttırılmasını ve işlenebilirliği iyileştirmek için belki de uçucu kül veya diğer katkı maddelerinin eklenmesini gerektirebilir. Lifler birçok şekil alabilir. Enine kesitleri dairesel, dikdörtgen, yarım yuvarlak ve düzensiz veya değişen enine kesitleri içerir. Düz veya bükülmüş, veya çeşitli uzunluklarda olabilirler. Liflerin geometrisini tanımlamak için en boy oranı adı verilen uygun bir sayısal parametre kullanılır. Bu oran, lif uzunluğunun çapa bölümüdür. Kesit yuvarlak değilse, aynı alana sahip dairesel kesitin çapı kullanılır. Eğilme yüklerini taşımak için çelik liflerin çubuksuz kullanıldığı bazı uygulamalar vardır. Bunlar kısa açıklıklı yükseltilmiş döşemelerdir: Örneğin Heathrow Havalimanı'ndaki 3 ft-6 inçlik döşemelere sahip bir otopark; (1.07 m) kare, 21/2 inç (10 cm) kalınlıkta, dört taraftan desteklenmiştir. Bu gibi durumlarda, elemanların güvenilirliği tam ölçekli yük testleri ile kanıtlanmalı ve imalatta katı kalite kontrol uygulanmalıdır.

1.3.2 Bazalt lifi

Bazalt lifi dünya çapında en popüler liflerden biridir. Genellikle bazaltın ince liflerinden yapılan bir malzemedir. Bu lif, şekil olarak cam fibere (CF) benzer. Ancak, GCF'den daha iyi fizikokimyasal özelliklere sahiptir ve betonun özelliklerine daha iyi katkı sağladığı bildirilmiştir (Sun et al. 2019). Ek olarak bazaltın fiyatı karbon fiber ile karşılaştırıldığında daha ucuzdur, bu da onu karbon fiber için ideal bir alternatif haline getirir. Daha yakın zamanlarda, bazalt lifleri inşaat ve hidrolik mühendisliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır(Sun et al. 2019) . Betonla ilgili olarak, bazalt lifinin betonun dayanıklılığı ve dayanımı üzerindeki davranışı üzerine birçok çalışma yapılmıştır. (Khan et al. 2018) bazalt ve çelik lifler ile geliştirilmiş beton karışımlarının özelliklerini araştırmış ve betonun mekanik özelliklerinde bazalt içeriğinin %0,68'ine kadar bir gelişme olduğunu bildirmiştir. Yazarlar ayrıca işlenebilirlikte %74'e varan bir azalma gözlemlemişlerdir. (Sun et al. 2019) ayrıca betona hem kısa hem de uzun bazalt liflerinin eklenmesini araştırmış ve betonun basınç ve yarmada çekme dayanımının lif ilavesiyle birlikte hacimce %2'ye kadar arttığını ve bundan sonra azalmaya başladığını tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, artan lif hacmi ile eğilme mukavemeti artmaya devam etmiştir. Yazarlar ayrıca kısa liflerin betonun mukavemetini arttırmada daha etkili olduğunu bulmuşlardır.(Sim and Park 2005), hızlandırılmış hava koşulları altında bazalt lifin cam liften daha iyi performans gösterdiğini ve sıcaklığa karşı cam lifinkinden daha yüksek direnç

sağladığını bildirmiştir. (Gamal and Chiadighikaobi 2019), beton yapımında bazalt lifin kullanımını ile ilgili bir başka çalışma yürütmüştür. Bu çalışmanın sonucunda, bazalt liflerinin kullanımının, bitkisel ve mineral yağlara maruz kalan betonun dayanımını korumaya ve iyileştirmeye yardımcı olduğu bildirilmiştir. Bazalt elyaf takviyeli beton, betonun dayanımının azalmasına neden olan asidik, kimyasal ve tuzlu etkilere karşı direnç gösterebilir. (Dong et al. 2017), geri dönüştürülmüş deprem atıkları ile yapılan betonun mekanik özelliklerini geliştirmek için bazalt lifleri kullanma potansiyelini değerlendirmiştir.

Yazarlar ayrıca, bazalt liflerinin kullanılmasının, atık değiştirme oranını arttırırken mekanik özelliklerdeki azalmayı telafi edebileceğini bulmuştur. Benzer şekilde, (Wang et al. 2019), geri dönüştürülmüş agregalı betonun mekanik özelliklerini geliştirmek için nanosikalı bazalt elyafın kullanılmasını önermiştir.

(Hanafi, Aydin, and Ekinci 2020), çeşitli oranlarda bazalt lifleri ve silis dumanı içeren harçların su ve yüksek sıcaklık direncini incelemiştir. Bunun sonucunda silis dumanı ve lif miktarını artırarak direncin arttığını ve gözenekliliğin azaldığını bildirmiştir. (Padalu et al. 2018), duvarların güçlendirilmesi için bazalt takviyeli harcın kullanımını araştırmıştır. Güçlendirilmiş duvarlar dört kat daha yüksek kuvvet, 29 kat daha yüksek deforme olabilirlik ve 139 kat daha yüksek enerji emme kapasitesi göstermiştir. (Fenu, Forni, and Cadoni 2016), ayrıca bazalt ve cam elyaflarla güçlendirilmiş harçların dinamik davranışını incelemiş ve bunların enerji absorpsiyon ve çekme mukavemeti üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Liflerin eklenmesiyle yüksek gerinimlerde artan enerji absorpsiyonunu ve dinamik artış faktörünün liflerin eklenmesinden önemli ölçüde etkilenmediğini bildirmişlerdir.

1.3.3 Zikzaklı çelik lif

Zikzaklı lifler ya karbon çeliğinden ya da paslanmaz çelikten yapılır. Metallerin sünekliği, metali art arda küçülen kalıplardan çekerek tele dönüşmelerini mümkün kılar. Oldukça sert malzemelerdir ve bu sertlik, Yüksek Mukavemetli Elyaf Takviyeli Betonun mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Bununla birlikte, malzemelerin esnekliği, en-boy oranına göre enine kesit alanının bir fonksiyonudur. Bir çubuğun çapı yarıya indirildiğinden esnekliği dört kat artar. Çekme mukavemeti 345 ila 1380 Mpa arasında değişmektedir. ASTM'de belirtilen minimum dayanım 345 Mpa'dır. Çelik elyaf için esneklik modülü 200 Gpa'dır. Erime noktası 16000°C'dir. Kıvrımlı

elyaf kesiti dairesel ve kesitlerde dalgalı olabilir. Daha uzun lifler kullanılmış olmasına rağmen lifin uzunluğu normalde 150 mm'den azdır. Uzunluk-çap oranı tipik olarak 30 ila 100 veya daha fazladır. Şekil 1.1'de çalışmada kullanılan farklı lif türleri gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Farklı lif türleri

1.4 Termal Etki

Kür sıcaklığındaki artış, hidrasyonun kimyasal reaksiyonlarını hızlandırarak herhangi bir olumsuz etki olmaksızın betonun erken dayanımını artırır. Bununla birlikte, yerleştirme ve sertleşme sırasında daha yüksek bir sıcaklık, erken dayanımı artırsa da, yaklaşık 7 günden sonra dayanımı olumsuz etkiler. Bunun açıklaması, hızlı bir ilk hidrasyonun, daha zayıf, muhtemelen daha gözenekli fiziksel yapının hidrasyonunun ürününü oluşturması, dolayısıyla gözeneklerin büyük bir bölümünün her zaman doldurulmamış kalması olabilir. Jel/boşluk oranı kuralından, bu durum, daha az gözenekli olsa da, sonunda yüksek bir jel/boşluk oranına ulaşılacağı yavaş hidratlı bir macunla karşılaştırıldığında daha düşük bir kuvvete yol açacaktır.

Betonun dayanımı, ancak hidrasyon reaksiyonu gerçekleştiğinde beton tarafından elde edilebilir. Bu hidrasyon reaksiyonu için sıcaklık bir katalizör görevi görür.

Sıcaklık ne kadar yüksek olursa, hidrasyon reaksiyonu da o kadar hızlı olur ve bunun tersi de geçerlidir.

Betonun sıcaklığı farklı özelliklerini etkiler ve bu konu birçok araştırmacının araştırma konusu olarak kalmıştır. Portland Çimentosunun hidrasyonu, spesifik yüzey alanı, incelik, çimentonun kimyasal bileşimi, kalite, sıcaklık ve karıştırma ve kür koşullarının bağıl nemi gibi birçok değişkenden etkilenir(Escalante-Garcia, Sharp, and research 1998) .

Farklı araştırmacılar farklı şekillerde çalışmış ve sıcaklığın betonun özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Literatüre bakıldığında sıcaklıktaki değişimin betonun özellikleri üzerinde olumlu ve olumsuz etkileri olduğu açıktır. Neville'e göre, kürlenme sıcaklığındaki bir artış, hidrasyon reaksiyonunun hızını artırır ve hidrasyon ürünleri erken oluşur. Daha yüksek bir döküm sıcaklığı betonun ilk dayanımını artırsa da, uzun vadeli dayanımını olumsuz etkileyebilir (Neville 1995).

Bunun nedeni, yüksek başlangıç sıcaklığında hidrasyon reaksiyonunun hızlı olması ve daha fazla doldurulmamış gözeneklerden oluşan daha zayıf bir fiziksel yapıya sahip hidrasyon ürünlerinin homojen olmayan dağılımına yol açmasıdır. Boşluklar betonun dayanımına katkıda bulunmadığından, düşük bir sıcaklık ve düşük bir hızda hidrasyona neden olur, böylece hidrasyon ürünlerinin ara boşluk içinde düzgün bir şekilde dağılmasına ve daha sonraki yaşlarda yüksek dayanımlara neden olur.

(Price 1951)ve (Klieger 1958), 4°C'de dökülen betonun 28 günlük basınç dayanımının 21°C'de dökülen betondan %22 daha düşük olduğunu tespit etmiştir. Aşırı düşük sıcaklıklarda, çimentonun hidrasyonu için eklenen su donduğu için betonun dayanımı tekrar etkilenir. Düşük sıcaklıkta su buz mercceklerine dönüştürülür ve bu da beton içinde bir miktar basınç uygulayarak çatlakların oluşmasına neden olur. Bu buz mercceklerinin daha sonra erimesi, betonun içinde dayanımını daha da azaltan gözenekler oluşmasına neden olur. Bu nedenle, çok yüksek veya aşırı düşük sıcaklıkların olumsuz etkilerinden kaçınmak için ortam sıcaklığında beton dökülmelidir.

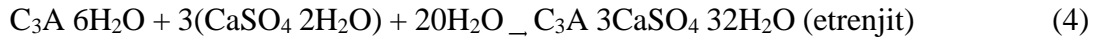
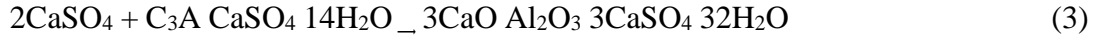
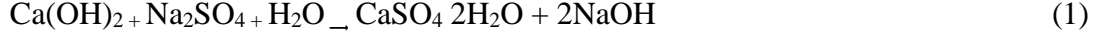
1.5 Sülfat Etkisi

Çimentodaki sülfat saldırısının ana bozulma ajanı olduğu düşünülmüştür; sülfat, çimento esaslı malzemelerin bozulmasının en yaygın ve yıkıcı nedenlerinden biridir. "Sülfat saldırısı" terimi, malzemenin kalitesinin bozulmasıyla (yani, çimento

hidrasyon ürünlerinin genişmesi, çatlakları ve/veya ayrışması ile) ortaya çıkan bir dizi fizikokimyasal reaksiyonu tanımlar ve içerir. Dış Sülfat Saldırısı (DSS), sülfat açısından zengin bir ortam (su veya toprak) ile çimento macununun kendisi arasındaki kimyasal etkileşim tarafından belirlenen hasara neden olur (Katsioti et al. 2011). DSS'nin gerçekleşmesi için aynı anda üç koşulun geçerli olması ve yerine getirilmesi gerekir: (a) Çimento esaslı malzemenin yüksek geçirgenliği, (b) sülfat açısından zengin bir ortam ve (c) su varlığı (Adamopoulou et al. 2011; Collepardi 2005).

Çimentonun hidrasyonu sırasında erken etrenjit oluşumu faydalı kabul edilirken, yüksek sıcaklıklarda oluşan Gecikmiş Etrenjit Oluşumu (GEO) çimentoya zarar verir. Ayrıca, gecikmiş etrenjit, her biri boyutu ve davranışı bakımından farklı olan iki biçimde ortaya çıkar. İlki (Tip I), düşük hidroksil iyon konsantrasyonlarında (pH = 10) oluşan, 10 ile 100 µm arasında değişen ve birkaç µm kalınlığında uzun çıta benzeri kristaller ile karakterize edilir. Önemli miktarlarda Tip I etrenjit kristalleri içeren hidratlı çimento durumunda, bunlar yüksek kuvvet değerlerine ve genişlemeye yol açtığından Tip I etrenjit “genişlemeyen” olarak sınıflandırılmıştır (Collepardi 2005; Collepardi 1999). Gecikmiş etrenjitin ikinci türü (Tip II), yalnızca 1 ile 2 µm uzunluğunda ve 0,1 ile 0,2 µm kalınlığında olan, yüksek hidroksil konsantrasyonlarında (pH>12) oluşan çubuk benzeri kristallerden oluşur ve etrenjitin “genişleyen” formu olarak sınıflandırılmıştır (Wild et al. 1996). Genişleme mekanizması uzun süredir titizlikle çalışılmış ve henüz tam olarak ispatlanmamıştır; karmaşıklığı, kimyasal ve fiziksel faktörlerin eşzamanlı etkileşimlerinde yatmaktadır. Bu hasar mekanizmasının başlamasının, farklı etrenjit modifikasyonu ve oluşum mekanizması ile eşzamanlı olduğu bulunmuştur (Lawrence and research 1995; Glasser and composites 1996). Ayrıca, daha yüksek sıcaklıkların ısı işlemi, donma-çözülme, karbonatlaşma süreçleri, nem ve sıcaklık değişikliklerinin (doğal koşullarda meydana gelmesi gibi) sertleşmiş beton ve harçlarda etrenjit oluşumuna neden olabileceği gösterilmiştir. Bu nedenle, sorunlu durumlardan kaçınmak için kabul edilebilir kür koşullarının tanımlanması ve geliştirilmesi önemlidir (Scrivener et al. 1999; Uchikawa, Uchida, and Research 1974). Aynı zamanda, prekast beton alanında gecikmiş etrenjit oluşumuna pratik bir ilgi vardır (Collepardi 2005; Klemm 1998)

Gecikmiş etrenjit oluşum koşulları (aşırı sülfat iyonları, yüksek sıcaklıkta kürlenme ve su varlığı) ile ilgili mevcut literatüre dayanarak süreci karakterize eden genel reaksiyonlar Denklemler ile tarif edilmektedir (1)–(4) (Petrov and Tagnit-Hamou ; Petrov 2004; Neville and research 2004; Santhanam et al. 2002; Pipilikaki et al. 2009):



Bu çalışmada, Beyaz Çimento CEM I-32,5 ve Beyaz Kalker Çimentosu CEM II-A/LL %15 kalker ikameli (her ikisi de aynı yapıya ait olması için özellikle öğütülmüş) serilere sülfatların ve sıcaklığın etkisi incelenmiştir: (a) %5 Na₂SO₄ çözeltisine ve (b) doymuş Ca(OH)₂ çözeltisine daldırılmış çimento kuvvet sınıfı. Daha önce sunulduğu gibi, çimento üzerinde etrenjit oluşumu zararlı olabilir ve etrenjit oluşum mekanizmaları henüz tam olarak bilinmemektedir.

Kesin olan ve bilimsel olarak kanıtlanmış durum, etrenjit oluşumunun çimento esaslı malzemede bulunan C₃A miktarı ile doğrudan ilişkili olduğudur. Bu nedenle, esasen yüksek C₃A miktarına sahip Beyaz Çimentoda etrenjit oluşumunu incelemek önem taşımaktadır. Ayrıca, bu çalışmanın kapsamı, katkı maddelerinin etrenjit oluşumu üzerindeki etkisini içerecek şekilde genişlemiştir çünkü bu konu, katkılı çimentolar yaygın olarak kullanılmasına rağmen henüz kapsamlı bir şekilde araştırılmamıştır.

Bu çalışmada sunulan tüm veriler, çimento harcı numunelerine dayanan tüm deneysel sonuçlar, kompozit ve çok faktörlü bir malzeme olan betonun araştırılmasına yönelik daha fazla ilerleme için gerekli bilgileri sağlar.

İKİNCİ BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1 Kullanılan Malzemeler

2.1.1 Beyaz Çimento

Bu çalışmada Geleneksel Portland Çimentosu yerine Beyaz Çimento kullanılmıştır (Şekil 2.1). Bu çalışmada kullanılan ana bağlayıcı Beyaz Çimento, Çimsa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den temin edilmiştir. Beyazlık anlaşılır şekilde Beyaz Çimentonun en önemli özelliklerinden biridir. Bu durum, uygun hammaddelerin seçiminde zaten dikkate alınmalıdır. Beyaz çimento, Fe, Mn, Cr ve Ti gibi düşük renklendirici element içeriğine sahip hammaddelerden yapılır. Ağırlıkça 0.15'ten daha az içeren yüksek dereceli kireçtaşı veya tebeşirden yapılmıştır(Cassar et al. 2003; Caldarone, Gruber, and Burg 1994; Wild et al. 1996) . Detaylı kimyasal analizi Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Kimyasal bileşim

Kimyasal bileşimi, %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Serbest CaO	Kızdırma kaybı
Beyaz Çimento	21,60	4,05	0,26	0,35	65,7	1,30	0,35	0,30	3,30	1,60	3,20



Şekil 2.1 Beyaz Çimento .

2.1.2 Kum

Karışımlarda kullanılan kum, aşağıdaki Çizelge 2.2'deki gibi karakteristiktir.

Çizelge 2.2 Kum için standart sınır değerler ve derecelendirme

Özellikler	Tane Büyüklüğü (mm)					
	0,08	0,16	0,5	1,0	1,6	2,0
Kalan (%)	99	87	72	34	6	0
Sınır (%)	99±1	87±5	67±5	33±5	7±5	0

2.1.3 Kil Tuğla Tozu

Kil tuğla tozunun (Şekil 2.2) analizi Çizelge 2.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 Kil tuğla tozunun kimyasal bileşimleri (kütlece %)

Kimyasal analiz, %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃
Kil tuğla tozu	63,6	18,6	9,11	0,35	1,65	1,28	1,82	0,02



Şekil 2.2 Kil tuğla tozu.

2.1.4 Lifler

Çalışma kapsamında numunelerde kullanılan lifler gösterilmiştir (Şekil 2.3-2.5). Bu çalışmada, üretilen matris ile bağlanma derecelerini incelemek için aynı hacimsel yüzdeye sahip üç farklı tip lif kullanılmış, ilgili liflerin özellikleri Çizelge 2.4'te gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Pirinç kaplı çelik lif



Şekil 2.4 Bazalt lif



Şekil 2.5 Zikzaklı çelik lif

Çizelge 2.4 Liflerin Özellikleri

Tür	Boy (mm)	Çap/genişlik (mm or μm)	Özgül ağırlık (gm/cm^3)	Nominal çekme dayanımı (Mpa)	En-boy oranı
Bazalt lif	12	20 μm	2.73	4100	600
Zikzaklı çelik lif	50	2.60	7.85	1189	19.23
Pirinç kaplı çelik lif	6	0.17	7.85	2100	35.29

2.2 Numunelerin Hazırlanması

Bu çalışma için 40 x 40 x 160 mm boyutlarında prizmatik kalıplar ve 50 mm kenarlı kübik kalıplar seçilmiştir. Çimento, kil tuğla tozu, kum, lifler önce karıştırılmış, daha sonra bunlara su-süperakışkanlaştırıcı çözelti ilave edilmiş, karışımlar ve seri detayları Çizelge 2.5'te gösterilmiştir. Homojen bir karışım elde etmek için mikser kullanılmıştır. Harç kalıplara yerleştirilmiş ve sıkışan havayı ortadan kaldırmak ve böylece matris içindeki hava boşluklarını azaltmak için titreşimli bir makine kullanılmıştır. Su/çimento oranı 0.45 ve bağlayıcı/kum oranı 1:2.75 olup, numuneler

suda kür sistemi ile 28 ve 90 gün kürlenmiştir. Kalıplara yerleştirme ve kalıptan çıkarıldıktan sonra numunelerin görünümleri Şekil 2.6-2.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.5 Numunelerin karışım oranları

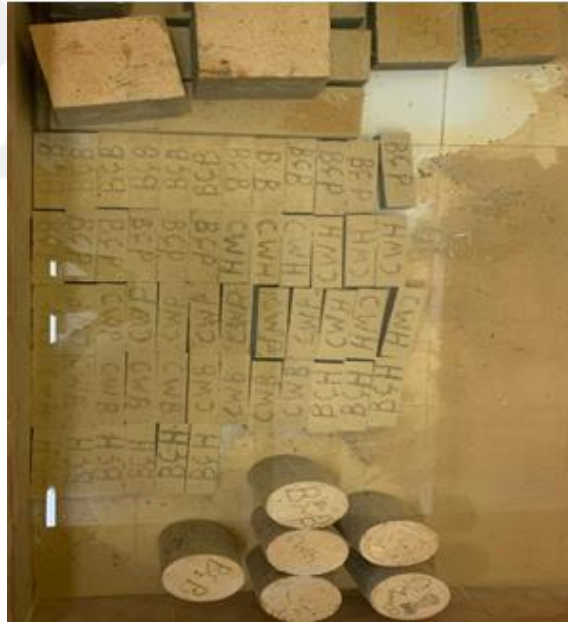
Karışım kimliği	imento (g)	Kum (g)	Tuğla tozu (g)	Su (g)	Süper akışkanlaştırıcı (g)	Lif (%)-
B	450	1237,5	-	202,5	30	-
TT5	427,5	1237,5	22,5	202,5	30	-
TT10	405	1237,5	45	202,5	30	-
TT15	382,5	1237,5	67,5	202,5	30	-
BP	450	1237,5	-	202,5	30	Pirinç kaplı elik lif - %0,4
BB	450	1237,5	-	202,5	30	Bazalt lif - %0,4
BZ	450	1237,5	-	202,5	30	Zikzaklı elik lif - %0,4
TT5P	427,5	1237,5	22,5	202,5	30	Pirinç kaplı elik lif - %0,4
TT5B	427,5	1237,5	22,5	202,5	30	Bazalt lif - %0,4
TT5Z	427,5	1237,5	22,5	202,5	30	Zikzaklı elik lif - %0,4



Şekil 2.6 Kalıplama işlemi



Şekil 2.7 Kalıplama işlemi



Şekil 2.8 Su kütleme işlemi

2.3 Sülfat Direnci Testi

90 günlük kürlenme süresinden sonra numunelerin 105°C'de etüv kurusu ağırlığı ölçülmüştür. Sülfat saldırı testi ile ilgili olarak numuneler, 90 gün süreyle magnezyum sülfat çözeltisi içinde bırakılmış, çözeltinin konsantrasyonu %5 olarak alınmış ve çözelti her 30 günde bir değiştirilmiştir. Bu süreden sonra sülfat öncesi ve

sonrası etkilerini karşılaştırmak için ağırlık, basınç ve eğilme dayanımı ölçülmüştür. Numunelerin sülfat etkisindeki görünümü Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9 Numunelerin sülfat çözeltisine maruz bırakılması

2.4 Yüksek Sıcaklık Testi

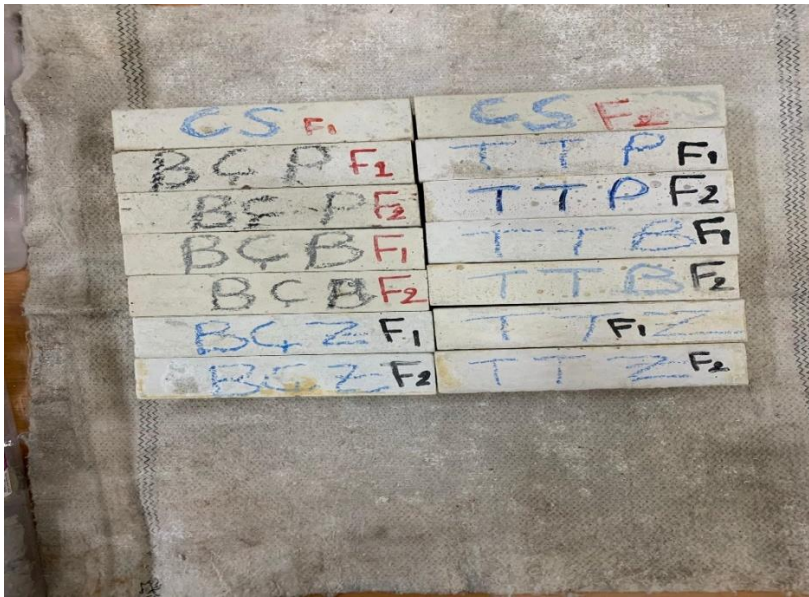
Numunelerin 90 günlük kürlenme sonrasında 105°C'de etüv kurusu ağırlığı ölçülmüş ve ardından numuneler yüksek sıcaklık testine maruz bırakılmıştır. Üç farklı sıcaklık (250, 500, ve 750 °C) uygulanmış olup her sıcaklık sonrası ağırlık, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerleri yüksek sıcaklık testi öncesi sonuçlarla kıyaslanmıştır. Yüksek sıcaklık fırınında sıcaklık artış hızı, gerekli sıcaklığa kadar 5°C/dakika olarak ayarlanmıştır. Daha sonra numuneler yukarıda belirtilen yüksek sıcaklıklarda bir saat süreyle tutulmuştur. Son olarak, sonuçları etkileyebilecek termal şok riskinden kaçınmak için numuneler soğumaya bırakılmıştır. Numunelerin fırındaki görüntüsü Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Yüksek sıcaklık testi sonrası numuneler

2.5 Donma-Çözülme Testi

Bu test, 90 günlük numuneler ağırlıkları tespit edildikten sonra 90 gün boyunca uygulanmıştır. Donma-çözülme testi 12 saat -20°C 'de ve 12 saat $+20^{\circ}\text{C}$ 'de olacak şekilde uygulanmıştır. Test sonrası basınç ve eğilme dayanımları ve ağırlıklar test öncesi durumla kıyaslanmıştır. Numunelerin test sonrası görünümü Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11 Donma-çözülme testinden sonra numuneler.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

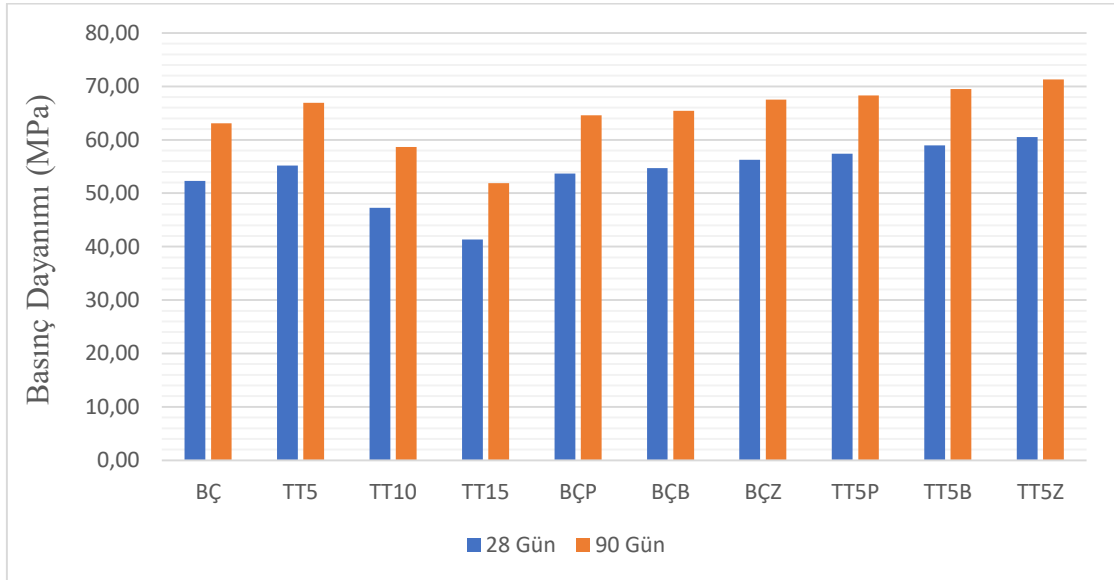
BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Durabilite Testleri Öncesi Sonuçlar

Aşağıda Çizelge 3.1’de ve Şekil 3.1’de numunelerin durabilite testleri öncesi basınç dayanımları gösterilmektedir.

Çizelge 3.1 28 ve 90 gün sonrası basınç dayanımı sonuçları

Numuneler	28 günde basınç dayanımı (Mpa)	90 günde basınç dayanımı (Mpa)
BÇ	52,31	63,11
TT5	55,16	66,93
TT10	47,29	58,63
TT15	41,34	51,91
BÇP	53,68	64,61
BÇB	54,73	65,42
BÇZ	56,25	67,54
TT5P	57,37	68,31
TT5B	58,98	69,52
TT5Z	60,53	71,29



Şekil 3.1 Basınç dayanımı test sonuçları

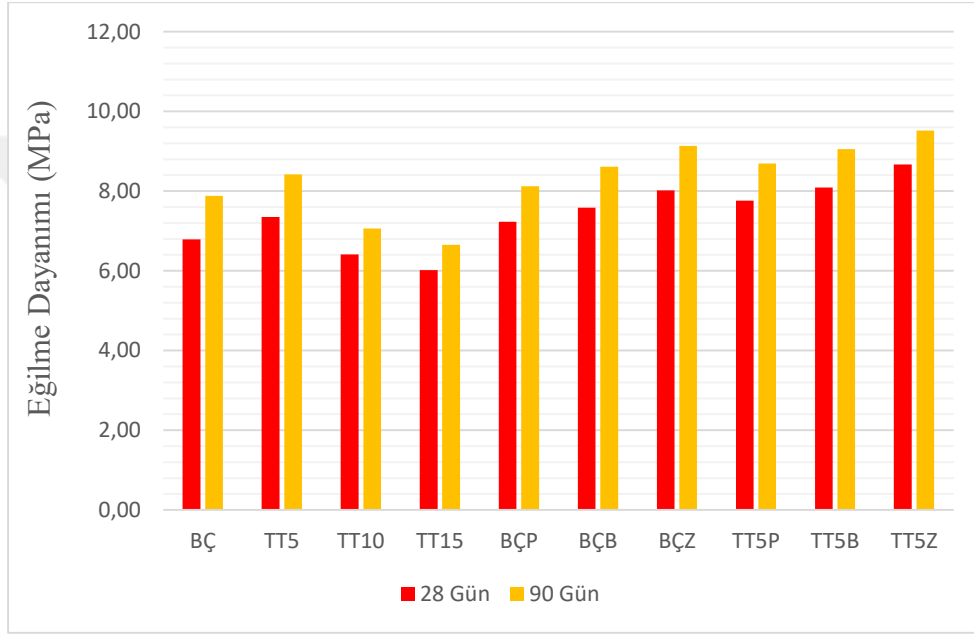
Katkısız Beyaz Çimento tabanlı numuneler için herhangi bir durabilite testi uygulanmadan önce basınç dayanımı testlerinden elde edilen sonuçlar kil tuğla tozu

ve lif ilaveli Beyaz Çimento tabanlı numuneler için yapılan testlerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında %5 kil tuğla tozu ilave edildikten sonra basınç dayanımının arttığı ve ilavesiz Beyaz Çimentoya kıyasla basınç dayanımında iyileşmeler olduğu bulunmuştur. %10 kil tuğla tozu ilavesi basınç dayanımında azalmaya neden olmuştur. %15 kil tuğla tozu ve ilavesiz Beyaz Çimentolu numuneler karşılaştırıldığında ise %15 kil tuğla tozu ilavesinin basınç dayanımında %10, %5 ve katkısız Beyaz Çimentoya göre daha fazla azalmaya neden olduğu görülmüştür. Bu durumda tuğla tozunun puzolanik reaksiyonu önemli rol oynamıştır. Tuğla tozunun içeriğindeki daha yüksek oranda SiO_2 ve Al_2O_3 içeriği CH ile reaksiyona girmeyi kolaylaştırarak hidrasyon ürünlerinin birbirine bağlayan C-A-S-H ve C-A-H jelinin daha fazla üretilmesini sağlamıştır. Ayrıca tuğla tozunun dolgu görevi görmesi ile daha rafine gözenek ağının oluşması da bu durum üzerinde etkili olmuştur. Daha yüksek oranlarda tuğla tozunun kullanılması ise çimento bağıl içeriğinde azalmaya neden olarak CH ve C-S-H jel miktarı gibi hidratasyon ürünlerinin azalmasına yol açmıştır. CH'in azalması da tuğla tozu ile reaksiyonu azaltmıştır. Bu durumdan dolayı dayanım sonuçlarında azalmaya neden olmuştur (Lin et al. 2010; Ortega et al. 2018). Kür süresinin artması ise dayanım sonuçlarında artış oluşturmuştur.

En yüksek sonuç veren %5 tuğla tozu ikamesinde ve kontrol numunesinde liflerin etkisi dayanım sonuçlarında incelenmiştir. Lifle güçlendirilmiş kompozitlerin yapısı incelendiğinde genel olarak basınç dayanımında düşük miktarda artış olmuştur. Artış esasta çatlak gelişimine karşı liflerin oluşturduğu etkiden kaynaklanmaktadır. Çatlaklar ilerleyerek arayüze ulaştığında gerilme transfer edilir ve bu durum etkisiyle lifli kompozitlerin ek basınç kuvvetine direnci artar ve böylece basınç performansı artış gösterir. Düşük miktarda artış olmasının nedeni ise lif kullanım oranının az olması ve genelde liflerin basınç dayanımına kayda değer etkisi olmamasıdır. Lif uzunluğunun basınç dayanımına etkisi incelendiğinde ise lif uzunluğunun artışıyla betonun basınç dayanımının arttığı görülmüştür. Bu duruma göre en yüksek sonuçların zikzaklı çelik lif takviyesinde olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda aynı zamanda zikzaklı çelik lifin yüksek yoğunluğa sahip olması da etkili olmuştur. Lif uzunluğu arttıkça, boşluk miktarını yüksek yoğunluğu sayesinde azalttığından yanal deformasyonları azaltarak basınç dayanımının iyileşmesine yardımcı olmuştur. Pirinç kaplı çelik lif daha kısa olduğundan az da olsa lifli karışımlar arasında en düşük dayanımı oluşturmuştur (Craig et al. 1986; Jalal, Shafiq, and Zahid 2019; Song,

Hwang, and Materials 2004) . Bazalt lifinin etkisi incelendiğinde ise sistematik bir performans gösterdiği tespit edilmiştir. Bazalt lifinin hedeflenen mekanik ve fiziksel özelliklerinde kristal fazların ince ve homojen yapıya sahip olması etkili olmuştur. Hedeflenen mikroyapı ZrO₂, TiO₂ veya P₂O₅ gibi bir çekirdekleştirici ajan ilavesi ile sağlanabilir. Bazalt kayaçları ise erime işlemleri sırasında doğal bir çekirdekleştirici Fe₃O₄ üreterek önemli avantaj sağlar (Sim and Park 2005) .

Çizelge 3.2 ve Şekil 3.2 numunelerin eğilme dayanımları gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Eğilme dayanımı test sonuçları.

Çizelge 3.2 28 ve 90 gün sonrası eğilme dayanımı sonuçları

Numuneler	28 günde eğilme dayanımı (Mpa)	90 günde eğilme dayanımı (Mpa)
BÇ	6,79	7,88
TT5	7,35	8,42
TT10	6,41	7,06
TT15	6,02	6,65
BÇP	7,23	8,12
BÇB	7,58	8,61
BÇZ	8,02	9,13
TT5P	7,76	8,69
TT5B	8,09	9,05
TT5Z	8,67	9,52

Katkısız Beyaz Çimento numuneleri için herhangi bir durabilite testi uygulanmadan önce, numunelerin eğilme dayanımı testlerinden elde edilen sonuçlara göre eğilme dayanımı sonuçları, basınç dayanımı davranışının neredeyse bir yansımasıdır. Kil tuğla tozu ve lif ilaveli Beyaz Çimento numuneleri için yapılan testlerde, %5 kil tuğla tozu ilave edildikten sonra eğilme dayanımı sonuçlarında artış olduğu görülürken, %10 kil tuğla tozu ilavesi %5 kil tuğla tozu ve ilavesiz Beyaz Çimento ile karşılaştırıldığında eğilme dayanımında azalmaya neden olmuş, %15 kil tuğla tozu ilavesinde ise eğilme dayanımında daha fazla azalma olmuştur.

Eğilme dayanımı sonuçları incelendiğinde ise liflerle birlikte artış oranlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Bilindiği gibi, lifli karışımlarda eğilme dayanımları kullanılan lifin türüne, uzunluğuna ve karışımda hangi yönde ve nasıl dağıldığına bağlıdır. Zikzaklı çelik lif uzunluğu daha fazla olduğundan ve dolayısıyla liflerin sıyrılması zorlaştığından daha yüksek eğilme dayanımı sonuçları elde edilmiştir. Pirinç kaplı çelik lif daha kısa olduğundan benzer şekilde lifli karışımlar arasında en düşük eğilme dayanımını oluşturmuştur (Craig et al. 1986; Jalal, Shafiq, and Zahid 2019; Song, Hwang, and Materials 2004).

3.2 Sülfat Etkisi

Şekil 3.3 ve Çizelge 3.3'te numunelerin sülfat testi (90 gün sonra) sonrası ağırlık değişimleri gösterilmiştir.

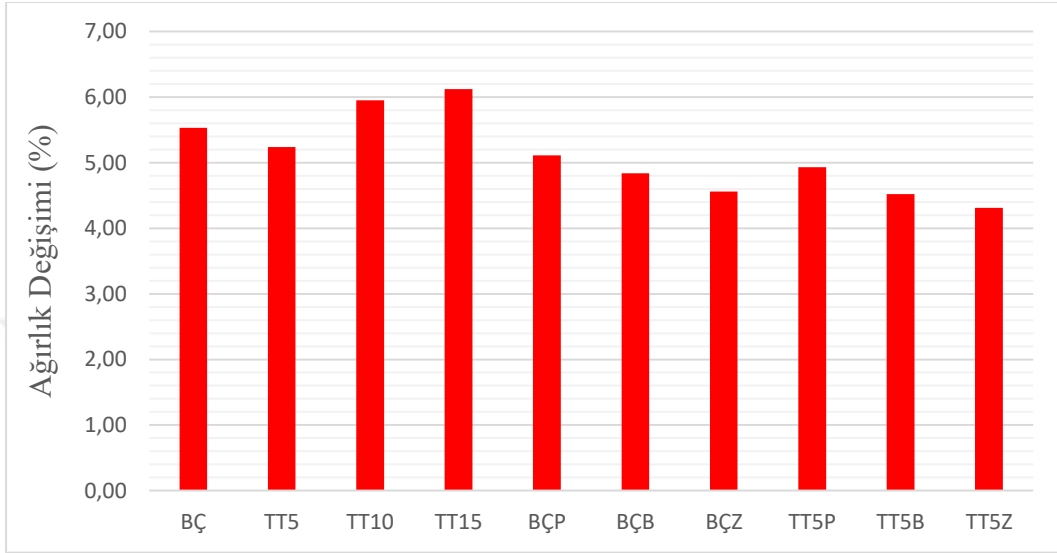
Çizelge 3.3 Sülfat etkisi sonrası ağırlık değişimleri

Numuneler	Ağırlık değişimi (% ile artan)
BÇ	5,53
TT5	5,24
TT10	5,95
TT15	6,12
BÇP	5,11
BÇB	4,84
BÇZ	4,56
TT5P	4,93
TT5B	4,52
TT5Z	4,31

Sülfat deneyi sonuçlarına göre numunelerin ağırlıklarında sülfat çözeltisi testi öncesine göre artış olduğu görülmüştür. Bu durum üzerinde çözeltinin numunelerin gözeneklerini doldurması etkili olmaktadır. Böylece numunelerin ağırlığı artmıştır. Ayrıca numunelerin sülfat testi öncesi etüvde kurutulması da ağırlık artışında etkili olmuştur. Numunelerin ağırlığında artışta bir varyasyon olduğu fark edilirken, ikame oranlarının bu durum üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Daha az gözenekli olduğundan %5 kil tuğla tozunun ilavesinde katkısız Beyaz Çimentodan daha az ağırlık değişimine sahip olduğu görülürken, %10 kil tuğla tozunun ilavesi durumunda Beyaz Çimentolu seriden daha fazla ağırlık artışına sahip olduğu görülmüştür; bununla birlikte, lif takviyesi olmadan en yüksek ağırlık değişimi %15 kil tuğla tozu ikamesinde olmuştur.

Lif takviyeli Beyaz Çimentolu numuneler, katkısız Beyaz Çimentoya göre daha az ağırlık değişimi göstermiştir. Bu bakımdan tuğla tozunun ikame edilmediği lifli serilerde en yüksek ağırlık değişimi pirinç kaplı çelik lif karışımında olmuştur, daha sonra bazalt lifli karışım gelir, en düşük ağırlık değişimi ise zikzaklı çelik lifli seride olmuştur.

Beyaz çimento ile %5 kil tuğla tozu ve üç tip lifli karışım, numunelerde daha fazla iyileştirme sağlar. Bununla birlikte, zikzaklı çelik lifli %5 kil tuğla tozu ikameli numunede, tüm numuneler arasında minimum ağırlık değişimini görülmüştür. %5 kil tuğla tozu ile bazalt liflerinin karışımında ise pirinç kaplı çelik lifli karışımdan biraz daha düşük ağırlık artışı görülmüştür.



Şekil 3.3 Sülfat testinden sonra ağırlık değişimleri

Şekil 3.4 ve Çizelge 3.4'te numunelerin sülfat testi (90 gün sonra) öncesi ve sonrası basınç dayanımları gösterilmiştir.

Çizelge 3.4 Sülfat etkisi öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişimleri

Numuneler	Basınç dayanımı sülfat etkisinden önce (Mpa)	Basınç dayanımı sülfat etkisinden sonra (Mpa)
BÇ	63,11	31,24
TT5	66,93	34,67
TT10	58,63	29,46
TT15	51,91	26,25
BÇP	64,61	33,57
BÇB	65,42	34,91
BÇZ	67,54	36,19
TT5P	68,31	35,82

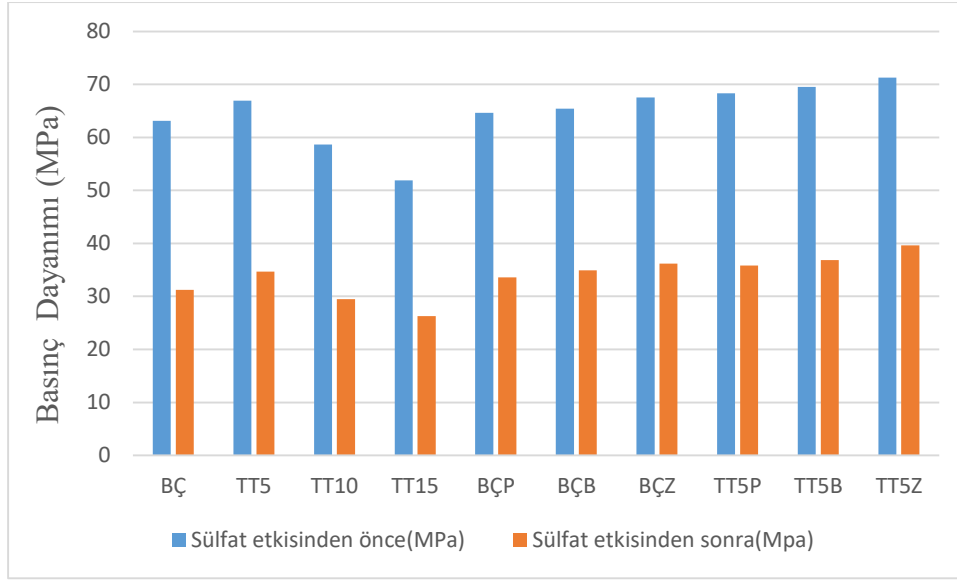
TT5B	69,52	36,86
TT5Z	71,29	39,65

Sonuçlar detaylı bir şekilde incelendiğinde, sülfat etkisi öncesi basınç dayanımında düşük performansa sahip numunelerin sülfat çözeltisinden en fazla etkilenen numuneler olduğu ve dolayısıyla en yüksek ağırlık değişimine sahip oldukları tespit edilmiştir. Basınç dayanımında yüksek performans gösteren numuneler daha az ağırlık değişimine uğramışlardır. En yüksek basınç dayanımı sonuçlarına sahip ikameli numuneler daha homojen ve daha az gözenekli olduğundan, daha az miktarda çözelti gözenekleri doldurmuş ve ağırlıkta daha az değişim olmuştur.

Basınç dayanımı ile ilgili sonuçlarda, sülfatın Beyaz Çimento ile %5 kil tuğla tozu karışımına katkısız Beyaz Çimentolu karışıma göre daha az etki gösterdiği ve basınç dayanımının daha fazla olduğu görülmüştür. %10 kil tuğla tozu ilavesi, katkısız Beyaz Çimentolu karışımdan daha az basınç dayanımına sahipken %15 kil tuğla tozu ilaveli numune minimum basınç dayanımına sahiptir.

Lifler, Beyaz Çimento karışımına eklendikten sonra basınç dayanımında bir iyileşme görülmüştür. Zikzaklı çelik lif ilavesi, Beyaz Çimentoya ilave edilen diğer lif türleri arasında en yüksek basınç dayanımına sahiptir, daha sonra sıralamada bazalt lifi katkılı numune gelir. Sıralamadaki son sırada ise pirinç kaplı çelik lifli numune gelir.

Liflerin %5 kil tuğla tozu ilave edilen numunelere katılması ile basınç dayanımında gelişme görülmüş ve diğer numunelere göre en yüksek basınç dayanımı sonuçları elde edilmiştir, En yüksek sonuçlar zikzaklı çelik lif ilavesinde görülürken daha sonra sıralamada bazalt lifi katkılı numune gelmiştir. Sıralamada son sırada ise pirinç kaplı çelik lifli numune gelmiştir.



Şekil 3.4 Sülfatın basınç dayanımı üzerindeki etkisi

Şekil 3.5 ve Çizelge 3.5'te numunelerin sülfat testi (90 gün sonra) öncesi ve sonrası basınç dayanımları gösterilmiştir.

Çizelge 3.5 Sülfat etkisi öncesi ve sonrası eğilme dayanımı değişimleri

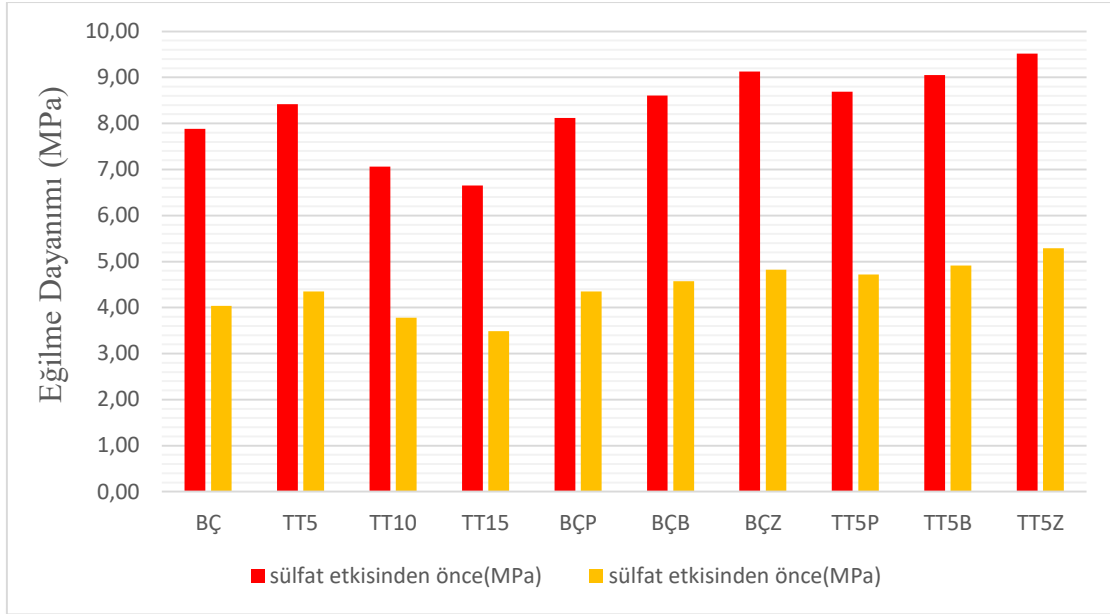
Numuneler	Eğilme dayanımı sülfat etkisinden önce (Mpa)	Eğilme dayanımı sülfat etkisinden sonra (Mpa)
BÇ	7,88	4,04
TT5	8,42	4,35
TT10	7,06	3,78
TT15	6,65	3,49
BÇP	8,12	4,35
BÇB	8,61	4,57
BÇZ	9,13	4,82
TT5P	8,69	4,72
TT5B	9,05	4,91
TT5Z	9,52	5,29

Sonuçlar detaylı bir şekilde incelendiğinde, sülfat etkisi öncesi eğilme dayanımında düşük performansa sahip numunelerin sülfat çözeltisinden en fazla etkilenen numuneler olduğu ve dolayısıyla en yüksek ağırlık değişimine sahip oldukları tespit edilmiştir. Eğilme dayanımında yüksek performans gösteren numuneler daha az ağırlık değişimine uğramışlardır. En yüksek eğilme dayanımı sonuçlarına sahip ikameli numuneler daha homojen ve daha az gözenekli olduğundan, daha az miktarda çözelti gözenekleri doldurmuş ve ağırlıkta daha az değişim olmuştur.

Eğilme dayanımı ile ilgili sonuçlarda, sülfatın Beyaz Çimento ile %5 kil tuğla tozu karışımına katkısız Beyaz Çimentolu karışıma göre daha az etki gösterdiği ve eğilme dayanımının daha fazla olduğu görülmüştür. %10 kil tuğla tozu ilavesi, katkısız Beyaz Çimentolu karışımdan daha az eğilme dayanımına sahipken %15 kil tuğla tozu ilaveli numune minimum eğilme dayanımına sahiptir.

Lifler, Beyaz Çimento karışımına eklendikten sonra eğilme dayanımında bir iyileşme görülmüştür. Zikzaklı çelik lif ilavesi, Beyaz Çimentoya ilave edilen diğer lif türleri arasında en yüksek eğilme dayanımına sahiptir, daha sonra sıralamada bazalt lifi katkılı numune gelir. Sıralamadaki son sırada ise pirinç kaplı çelik lifli numune gelir.

Liflerin %5 kil tuğla tozu ilave edilen numunelere katılması ile eğilme dayanımında gelişme görülmüş ve diğer numunelere göre en yüksek eğilme dayanımı sonuçları elde edilmiştir, En yüksek sonuçlar zikzaklı çelik lif ilavesinde görülürken daha sonra sıralamada bazalt lifi katkılı numune gelmiştir. Sıralamada son sırada ise pirinç kaplı çelik lifli numune gelmiştir. Bu sonuçlara göre eğilme ve basınç dayanımlarının paralellik gösterdiği görülmüştür. Basınç ve eğilme dayanımlarında azalışın temel nedeni magnezyum sülfat etkisi nedeniyle gözeneklerde oluşan etrenjit ve alçıtaşı etkisiyle mikro-çatlakların oluşmasıdır (Bakharev and research 2005; Thokchom et al. 2010) .



Şekil 3.5 Sülfatın eğilme dayanımı üzerindeki etkisi

3.3 Yüksek Sıcaklık Testi

Şekil 3.6 ve Çizelge 3.6'da numunelerin yüksek sıcaklık etkisi sonrası ağırlık kayıpları gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 Yüksek sıcaklık etkisi sonrası ağırlık kayıpları

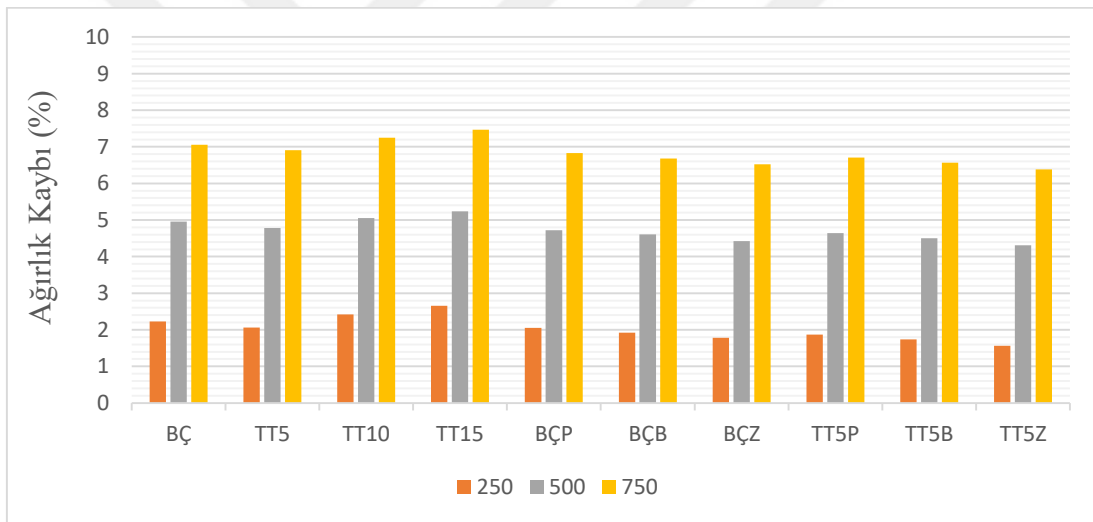
Numuneler	250°C'de ağırlık kaybı (%)	500°C'de ağırlık kaybı (%)	750°C'de ağırlık kaybı (%)
BÇ	2,23	4,96	7,06
TT5	2,06	4,78	6,91
TT10	2,42	5,05	7,25
TT15	2,66	5,24	7,47
BÇP	2,05	4,72	6,83
BÇB	1,92	4,61	6,68
BÇZ	1,78	4,42	6,52
TT5P	1,87	4,64	6,71
TT5B	1,74	4,5	6,57
TT5Z	1,56	4,31	6,38

Yüksek sıcaklık, numunelerin nem içeriğinin buharlaşmasına neden olarak numunelerin ağırlığının azalmasına yol açmaktadır. Bu durum da numuneler için homojen kompozisyon çeşitliliği nedeniyle ağırlıklarının çeşitli değerlerde azalması demektir. Sonuçlar incelendiğinde %5 kil tuğla tozlu numunenin katkısız Beyaz Çimentoya göre daha az ağırlık kaybına uğradığı, ancak %10 kil tuğla tozunun

katkısız Beyaz Çimentoya göre daha fazla ağırlık kaybına uğradığı tespit edilmiştir. En yüksek ağırlık kaybı %15 kil tuğla tozu ikameli numunede olmuştur.

Lif katkılı Beyaz Çimentolu numuneler, lifsiz Beyaz Çimentoya kıyasla daha az ağırlık kaybına uğramıştır. Beyaz Çimento ve lifli numunelerde en fazla ağırlık kaybı Beyaz Çimento ve pirinç kaplı çelik lif karışımında olmuştur. Bunu Beyaz Çimento ve bazalt lif karışımı izlemiştir. Son olarak, ağırlıktaki en az kayıp Beyaz Çimento ve zikzaklı çelik lifli karışımında olmuştur.

Beyaz çimento ile %5 kil tuğla tozunun karışımı ve üç tip lif takviyesi, numunelere daha fazla iyileştirme sağlamıştır. Zikzaklı çelik lifli %5 kil tuğla tozlu numune, tüm karışımlara kıyasla minimum ağırlık kaybına uğramıştır. Ardından %5 kil tuğla tozlu bazalt lifli karışım gelirken %5 kil tuğla tozlu pirinç kaplı çelik lifli numunede daha fazla ağırlık kaybı olmuştur.



Şekil 3.6 Ağırlık kayıplarındaki yüksek sıcaklık etkisi

Şekil 3.7 ve Çizelge 3.7’de numunelerin yüksek sıcaklık etkileri öncesi ve sonrası basınç dayanımları gösterilmiştir.

Çizelge 3.7 Yüksek sıcaklık etkisi öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişimleri

Numuneler	Yüksek sıcaklık etkisinden önce basınç dayanımı (Mpa)	250°C yüksek sıcaklık etkisinden sonra basınç dayanımı (Mpa)	500°C yüksek sıcaklık etkisinden sonra basınç dayanımı (Mpa)	750°C yüksek sıcaklık etkisinden sonra basınç dayanımı (Mpa)
BÇ	63,11	67,43	30,55	11,25
TT5	66,93	70,15	33,26	14,32
TT10	58,63	61,94	26,41	9,78
TT15	51,91	55,76	24,57	7,27
BÇP	64,61	68,47	32,72	12,84

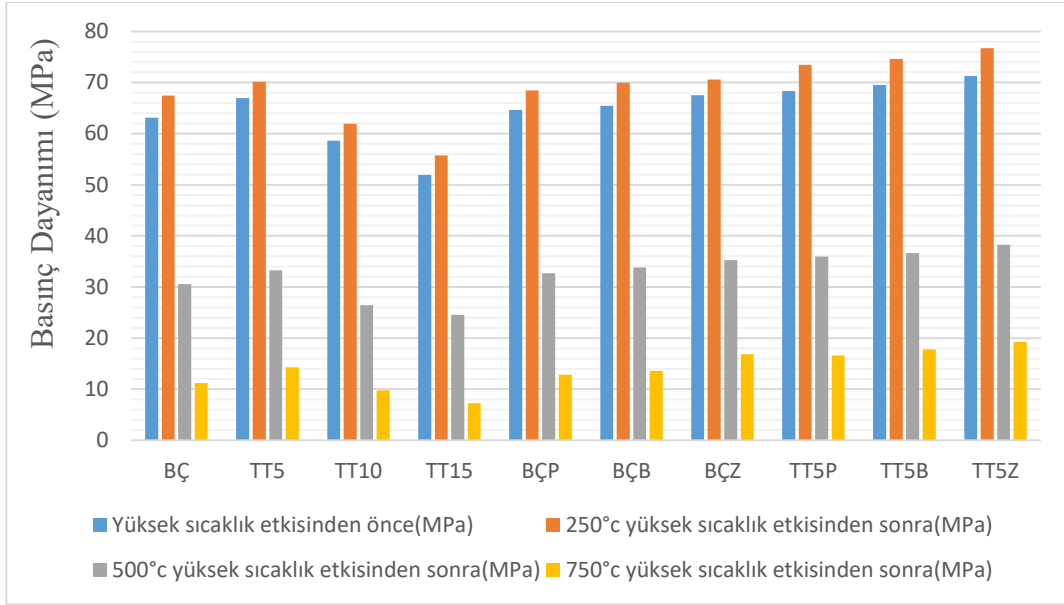
BÇB	65,42	69,95	33,83	13,57
BÇZ	67,54	70,56	35,25	16,84
TT5P	68,31	73,44	35,97	16,63
TT5B	69,52	74,57	36,64	17,79
TT5Z	71,29	76,74	38,29	19,25

Basınç dayanımı 250°C sıcaklıktan sonra bir artış göstermiştir; çünkü bu sıcaklık karışımın hidrasyonunu hızlandırmış ve bu durum, numunelerin büzülmesine yol açmıştır. Bu büzülme etkisi de, Van Der Waals kuvvetlerini artırarak moleküllerin yakınsamasına neden olmuş ve aderansın gelişmesinde rol oynamıştır. 500 ve 750 °C'den sonra ise numuneler, çimentonun kimyasal reaksiyonu üzerindeki yüksek sıcaklık etkisinden dolayı basınç dayanımını kaybetmeye başlamıştır. Bunun sebebi, bileşimin aşırı ısınmasına neden olarak basınç dayanımını kaybetmesidir (Aygörmez et al. 2020) .

%5 kil tuğla tozu ilaveli numuneler, ilavesiz Beyaz Çimento'ya göre daha yüksek basınç dayanımına sahiptir. %10 kil tuğla tozu ilavesi, ilavesiz Beyaz Çimentonun basınç dayanımından daha az değerlere sahiptir. Numuneye ayrıca %15 kil tuğla ilavesi, ilavesiz Beyaz Çimento ve diğer tüm numunelere kıyasla basınç dayanımında daha fazla azalmaya neden olur.

Beyaz çimento karışımına lif eklenmesi, basınç dayanımında iyileşmeler gösterir. Zikzaklı çelik lif ilavesi, diğer lif ilaveli türler arasında ve ilavesiz Beyaz Çimentodan daha yüksek basınç dayanımına sahip olmuştur. Daha sonra sıralamada bazalt çelik lifli seri gelirken diğer lif türleri arasında en düşük basınç dayanımına sahip olan pirinç kaplı çelik lifli serilerdir.

Beyaz çimentonun %5 kil tuğla tozu ilavesi ve çeşitli liflerle karıştırılmasının sonuçları incelendiğinde, zikzaklı çelik lifli numune diğerlerine kıyasla basınç dayanımı performansı açısından en iyi seri olduğu görülmüştür. Ardından %5 kil tuğla tozlu bazalt lifli seri gelirken son olarak pirinç kaplı çelik lif ilavesi gelmiştir.



Şekil 3.7 Basınç dayanımı üzerindeki yüksek sıcaklık etkisi

Şekil 3.8 ve Çizelge 3.8’de numunelerin yüksek sıcaklık etkileri öncesi ve sonrası eğilme dayanımları gösterilmiştir.

Çizelge 3.8 Yüksek sıcaklık etkisi öncesi ve sonrası eğilme dayanımı değişimleri

Numuneler	Yüksek sıcaklık etkisinden önce eğilme dayanımı (Mpa)	250°C yüksek sıcaklık etkisinden sonra eğilme dayanımı (Mpa)	500°C yüksek sıcaklık etkisinden sonra eğilme dayanımı (Mpa)	750°C yüksek sıcaklık etkisinden sonra eğilme dayanımı (Mpa)
BÇ	7,88	5,16	3,06	1,11
TT5	8,42	5,85	3,61	1,35
TT10	7,06	4,62	2,78	0,94
TT15	6,65	4,05	2,52	0,76
BÇP	8,12	5,66	3,44	1,35
BÇB	8,61	5,93	3,84	1,59
BÇZ	9,13	6,39	4,25	1,82
TT5P	8,69	6,37	4,16	1,62
TT5B	9,05	6,64	4,39	1,81
TT5Z	9,52	6,97	4,72	1,97

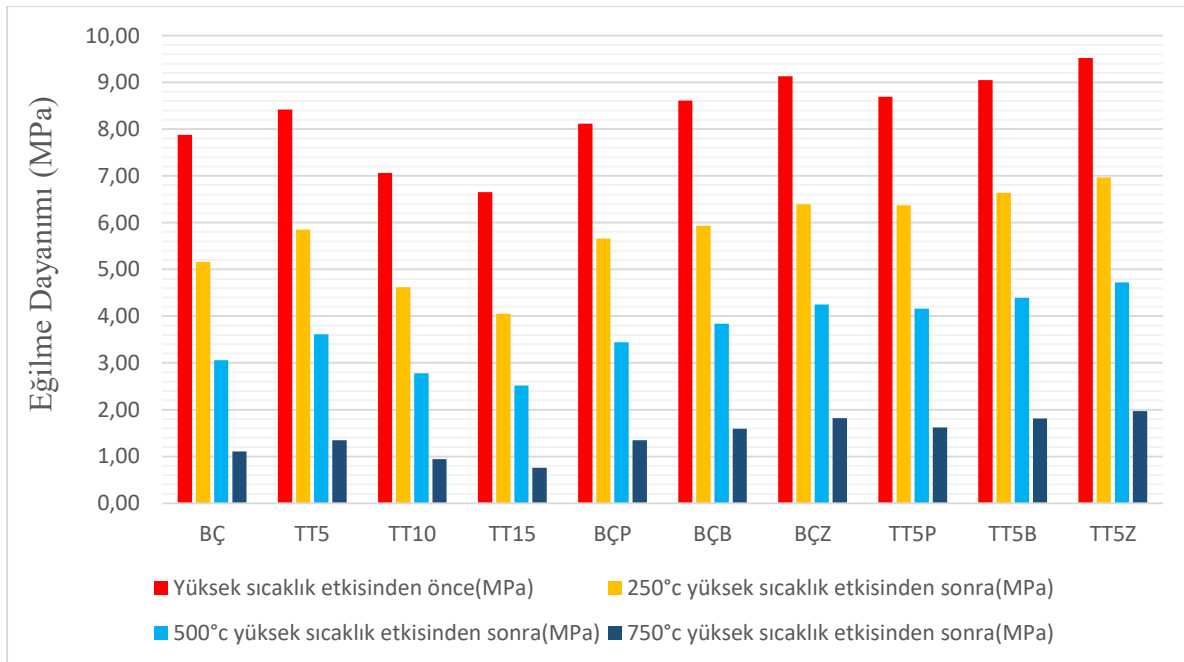
Eğilme dayanımı üzerindeki yüksek sıcaklık etkisi, 250°C’den başlayarak düşürmeye başlamıştır ve bu durum 500 ve 750 °C sıcaklıklarında artarak devam etmiştir. Bu duruma göre eğilme dayanımı üzerindeki yüksek sıcaklık etkisinin basınç dayanımı üzerindeki etkisinden daha belirgin olduğu fark edilmiştir. Bu durum, eğilme dayanımı testinde numuneler üzerindeki çekme dayanımı etkisinin en belirleyici faktör olduğu üzerinden açıklanabilir. Hatta bu etki, mikro çatlakların neden olduğu

numunelerin kırılma noktasına varmasına yol açacaktır. Yüksek sıcaklıktaki eğilme dayanımı testi, basınç dayanımı testinden daha fazla etki gösterir (Vijai, Kumutha, and Vishnuram 2010), aynı zamanda aşırı ısınma bileşimin kimyasal reaksiyonuna zarar verir.

%5 kil tuğla tozu ilaveli numuneler, ilavesiz Beyaz Çimentoya göre daha yüksek eğilme dayanımına sahiptir. %10 kil tuğla tozu ilavesi, ilavesiz Beyaz Çimentonun eğilme dayanımından daha az değerlere sahiptir. Numuneye ayrıca %15 kil tuğla ilavesi, ilavesiz Beyaz Çimento ve diğer tüm numunelere kıyasla eğilme dayanımında daha fazla azalmaya neden olur.

Beyaz çimento karışımına lif eklenmesi, eğilme dayanımında önemli iyileşmeler gösterir. Zikzaklı çelik lif ilavesi, diğer lif ilaveli türler arasında ve ilavesiz Beyaz Çimentodan daha yüksek eğilme dayanımına sahip olmuştur. Daha sonra sıralamada bazalt çelik lifli seri gelirken diğer lif türleri arasında en düşük eğilme dayanımına sahip olan pirinç kaplı çelik lifli serilerdir.

Beyaz çimentonun %5 kil tuğla tozu ilavesi ve çeşitli liflerle karıştırılmasının sonuçları incelendiğinde, zikzaklı çelik lifli numune diğerlerine kıyasla eğilme dayanımı performansı açısından en iyi seri olduğu görülmüştür. Ardından %5 kil tuğla tozlu bazalt lifli seri gelirken son olarak pirinç kaplı çelik lif ilavesi gelmiştir.



Şekil 3.8 Eğilme dayanımı üzerindeki yüksek sıcaklık etkisi

3.4 Donma-Çözülme Etkisi

Şekil 3.9 ve Çizelge 3.9’da numunelerin donma-çözülme etkisi sonrası ağırlık kayıpları gösterilmiştir.

Çizelge 3.9 Donma-çözülme etkisi sonrası ağırlık kayıpları

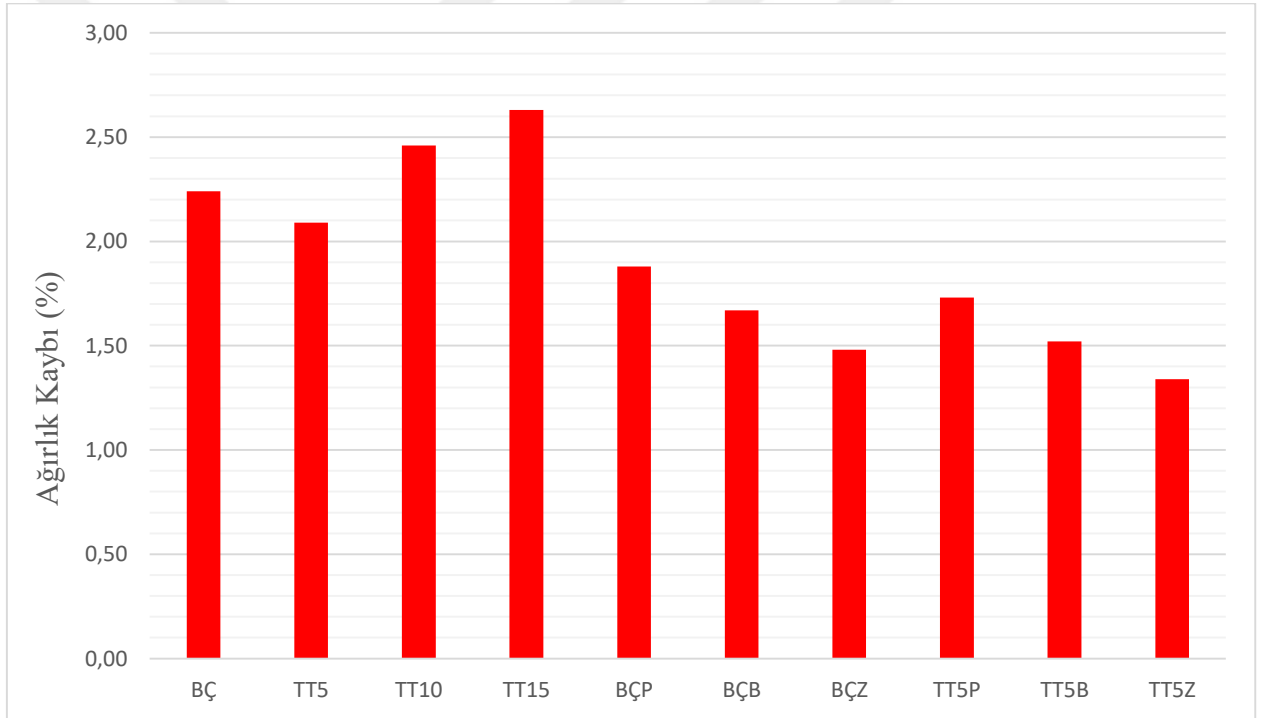
Numuneler	Ağırlık kaybı (%)
BÇ	2,24
TT5	2,09
TT10	2,46
TT15	2,63
BÇP	1,88
BÇB	1,67
BÇZ	1,48
TT5P	1,73
TT5B	1,52
TT5Z	1,34

Numuneler donma-çözülme testine maruz bırakıldığında ağırlık kayıpları gözlemlenmiştir ve ayrıca donma sıcaklığı karışım bileşimindeki kimyasal reaksiyonu engellemiştir. Bunun yanı sıra donma sıcaklığı, nem içeriğini donduracağı ve numuneler için bileşimin homojenliğine zarar vereceği için basınç ve eğilme dayanımını da azaltmıştır. Bu durumla beraber, numuneler için homojenlik derecesine bağlı olarak ağırlık yüzdesini kaybetmede bazı farklılıklar vardır.

%5 kil tuğla tozlu numunenin ilave karışım olmayan Beyaz Çimentolu seriye göre daha az ağırlık kaybına uğradığı tespit edilmiştir. %10 kil tuğla tozu ise katkısız Beyaz Çimentolu seriye göre daha fazla ağırlık kaybına uğramıştır. En yüksek ağırlık kaybı ise %15 kil tuğla tozunda olmuştur. Bu durum gözenekliliğin artması ile direncin azalmasından kaynaklanmaktadır (Aygörmez et al. 2020).

Beyaz Çimento ve lifli numuneler, ilave karışımı olmayan Beyaz Çimentolu seriye kıyasla daha az ağırlık kaybı göstermiştir. Beyaz çimento ve lifli numuneler arasında en fazla ağırlık kaybı pirinç kaplı çelik lif karışımında olmuştur. Bunu bazalt lif karışımı izlemiştir. Son olarak, ağırlıktaki en az kayıp zikzaklı çelik liflerin karışımında olmuştur.

Beyaz çimento ile %5 kil tuğla tozunun karışımı ve üç tip lif, numunelere daha fazla iyileştirme sağlar. Zikzaklı çelik lifli %5 kil tuğla tozlu numunenin, diğer karışımlara kıyasla minimum ağırlık kaybına uğradığı görülmüştür. Bunun ardından %5 kil tuğla tozlu bazalt lifli karışım gelirken lifli ve %5 kil tuğla tozlu numunelerde en fazla ağırlık kaybı pirinç kaplı çelik lifli karışımında olmuştur. (Vijai, Kumutha, and Vishnuram 2010)



Şekil 3.9 Ağırlık kaybında donma-çözülme etkisi

Şekil 3.10 ve Çizelge 3.10'da numunelerin donma-çözülme etkileri öncesi ve sonrası basınç dayanımları gösterilmiştir.

Çizelge 3.10 Donma-çözülme etkisi öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişimleri

Numuneler	Donma-çözülme etkisi öncesi basınç dayanımı (Mpa)	Donma-çözülme etkisi sonrası basınç dayanımı (Mpa)
BÇ	63,11	43,62
TT5	66,93	46,31
TT10	58,63	39,46
TT15	51,91	35,82
BÇP	64,61	45,23
BÇB	65,42	46,87
BÇZ	67,54	48,59
TT5P	68,31	48,87
TT5B	69,52	49,62
TT5Z	71,29	50,74

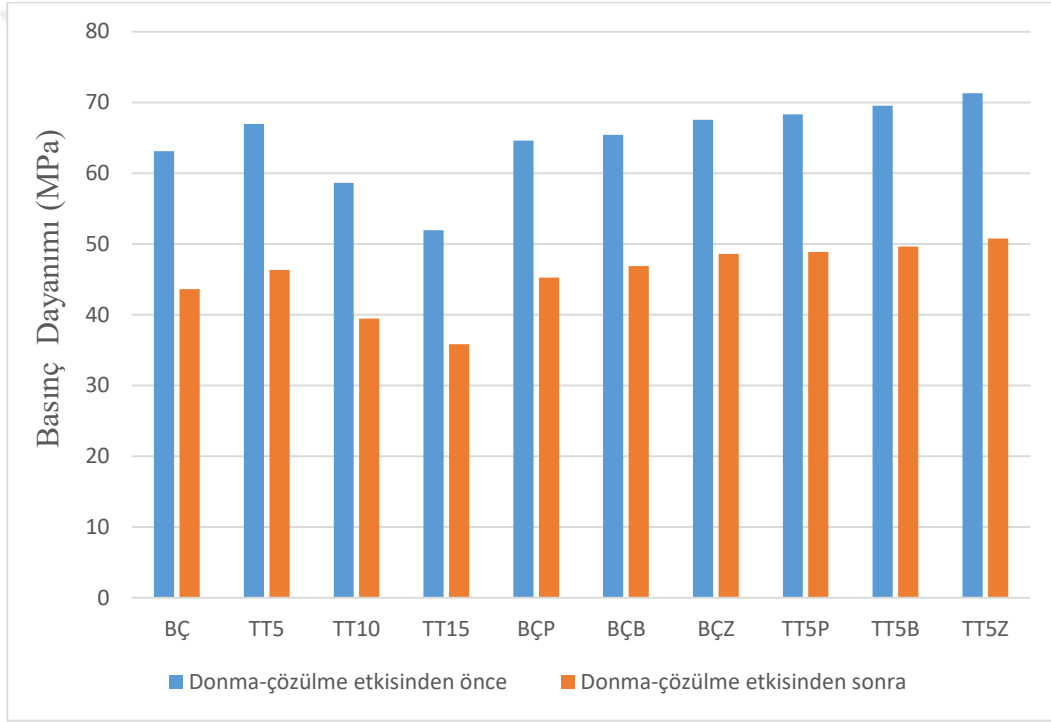
Donma sıcaklığı, karışım bileşimindeki kimyasal reaksiyonu engeller ve basınç dayanımını azaltır. Donma sıcaklığı numuneler için nem içeriğini dondurarak bileşimin homojenliğine zarar vermektedir. Bu durumla beraber numunelerin homojenlik derecesine bağlı olarak basınç dayanımı sonuçlarında bazı farklılıklar vardır. Bu durum gözenekliliğin artması ile direncin azalmasından kaynaklanmaktadır (Aygörmez et al. 2020).

Beyaz Çimento ve %5 kil tuğla tozunun zikzaklı çelik liflerle karışımı en yüksek basınç ve eğilme dayanımı değerine sahipken, en düşük değerler %15 kil tuğla tozunun Beyaz Çimento ile karışımında olmuştur.

%5 kil tuğla tozu ilaveli numuneler, ilavesiz Beyaz Çimentoya göre daha yüksek basınç dayanımına sahiptir. %10 kil tuğla ilavesi numunelerin basınç dayanımını azaltmıştır, bu durumda ilavesiz Beyaz Çimentoya göre daha düşük basınç dayanımları gözlenmiştir. Ayrıca %15 kil tuğla ilavesi, ilavesiz Beyaz Çimentoya ve diğer tüm numunelere kıyasla basınç dayanımında daha fazla azalmaya uğramıştır.

Beyaz çimento karışımına lif eklenmesi, basınç dayanımında iyileşmeler gösterir. Zikzaklı çelik lif ilavesi, diğer lif ilaveli türler arasında ve ilavesiz Beyaz Çimentodan daha yüksek basınç dayanımına sahip olmuştur. Daha sonra sıralamada bazalt çelik lifli seri gelirken diğer lif türleri arasında en düşük basınç dayanımına sahip olan pirinç kaplı çelik lifli serilerdir.

Beyaz çimentonun %5 kil tuğla tozu ilavesi ve çeşitli liflerle karıştırılmasının sonuçları incelendiğinde, zikzaklı çelik lifli numune diğerlerine kıyasla basınç dayanımı performansı açısından en iyi seri olduğu görülmüştür. Ardından %5 kil tuğla tozlu bazalt lifli seri gelirken son olarak pirinç kaplı çelik lif ilavesi gelmiştir.



Şekil 3.10 Basınç dayanımı üzerindeki donma-çözülme etkisi

Şekil 3.11 ve Çizelge 3.11’de numunelerin donma-çözülme etkileri öncesi ve sonrası eğilme dayanımları gösterilmiştir.

Çizelge 3.11 Donma-çözülme etkisi öncesi ve sonrası eğilme dayanımı değişimleri

Numuneler	Donma-çözülme etkisi öncesi eğilme dayanımı (Mpa)	Donma-çözülme etkisi sonrası eğilme dayanımı (Mpa)
BÇ	7,88	5,12
TT5	8,42	5,46
TT10	7,06	4,83
TT15	6,65	4,56
BÇP	8,12	5,73
BÇB	8,61	6,05
BÇZ	9,13	6,37
TT5P	8,69	5,88
TT5B	9,05	6,32
TT5Z	9,52	6,79

Eğilme dayanımı testinin sonuçlarına göre eğilme dayanımında azalma görülmüştür. Donma sıcaklığı numuneler için nem içeriğini dondurarak bileşimin homojenliğine zarar vermektedir. Bu durumla beraber numunelerin homojenlik derecesine bağlı olarak eğilme dayanımı sonuçlarında bazı farklılıklar vardır. Bu durum gözenekliliğin artması ile direncin azalmasından kaynaklanmaktadır (Aygörmez et al. 2020).

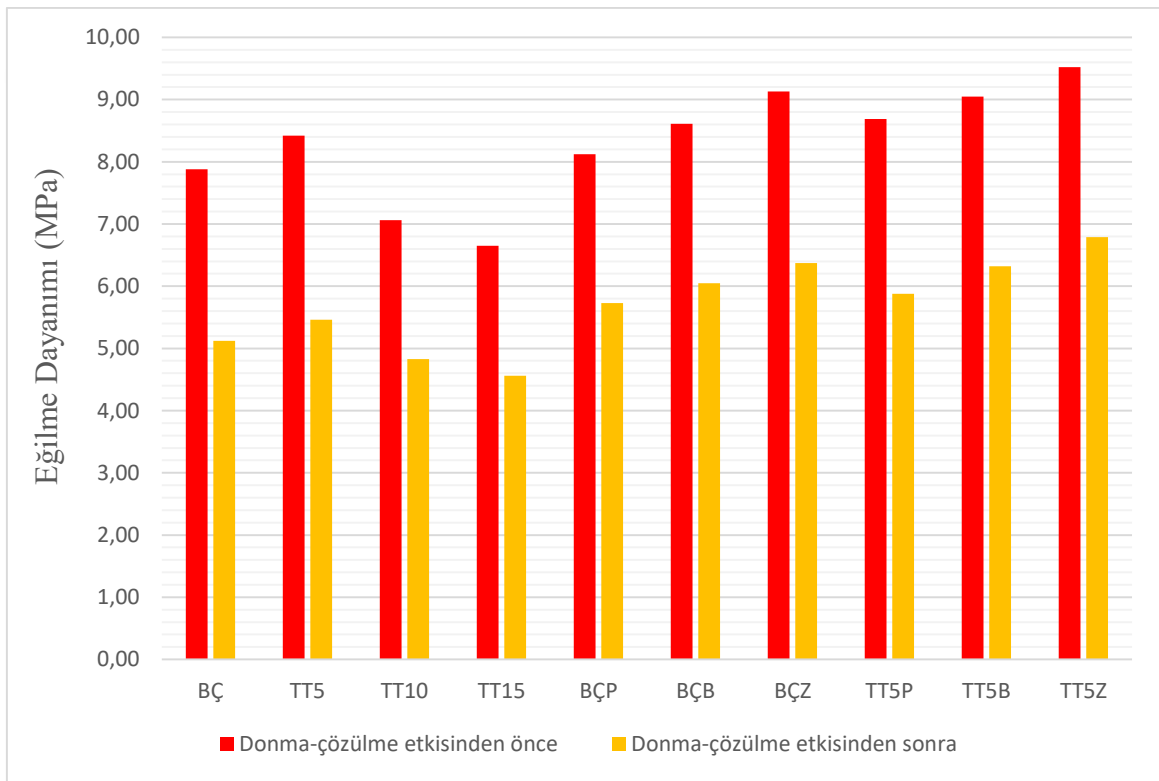
%5 kil tuğla tozu ilaveli numuneler, ilavesiz Beyaz Çimentoya göre daha yüksek eğilme dayanımına sahiptir. %10 kil tuğla ilavesi numunelerin eğilme dayanımını azaltmıştır, bu durumda ilavesiz Beyaz Çimentoya göre daha düşük eğilme dayanımları gözlenmiştir. Ayrıca %15 kil tuğla ilavesi, ilavesiz Beyaz Çimentoya ve diğer tüm numunelere kıyasla eğilme dayanımında daha fazla azalmaya uğramıştır.

Beyaz çimento karışımına lif eklenmesi, eğilme dayanımında iyileşmeler gösterir. Zikzaklı çelik lif ilavesi, diğer lif ilaveli türler arasında ve ilavesiz Beyaz Çimentodan daha yüksek eğilme dayanımına sahip olmuştur. Daha sonra sıralamada bazalt çelik

lifli seri gelirken diğler lif türleri arasında en düşük eğilme dayanımına sahip olan pirinç kaplı çelik lifli serilerdir.

Beyaz çimentonun %5 kil tuğla tozu ilavesi ve çeşitli liflerle karıştırılmasının sonuçları incelendiğinde, zikzaklı çelik lifli numune diğlerlerine kıyasla eğilme dayanımı performansı açısından en iyi seri olduğu görülmüştür. Ardından %5 kil tuğla tozlu bazalt lifli seri gelirken son olarak pirinç kaplı çelik lif ilavesi gelmiştir.

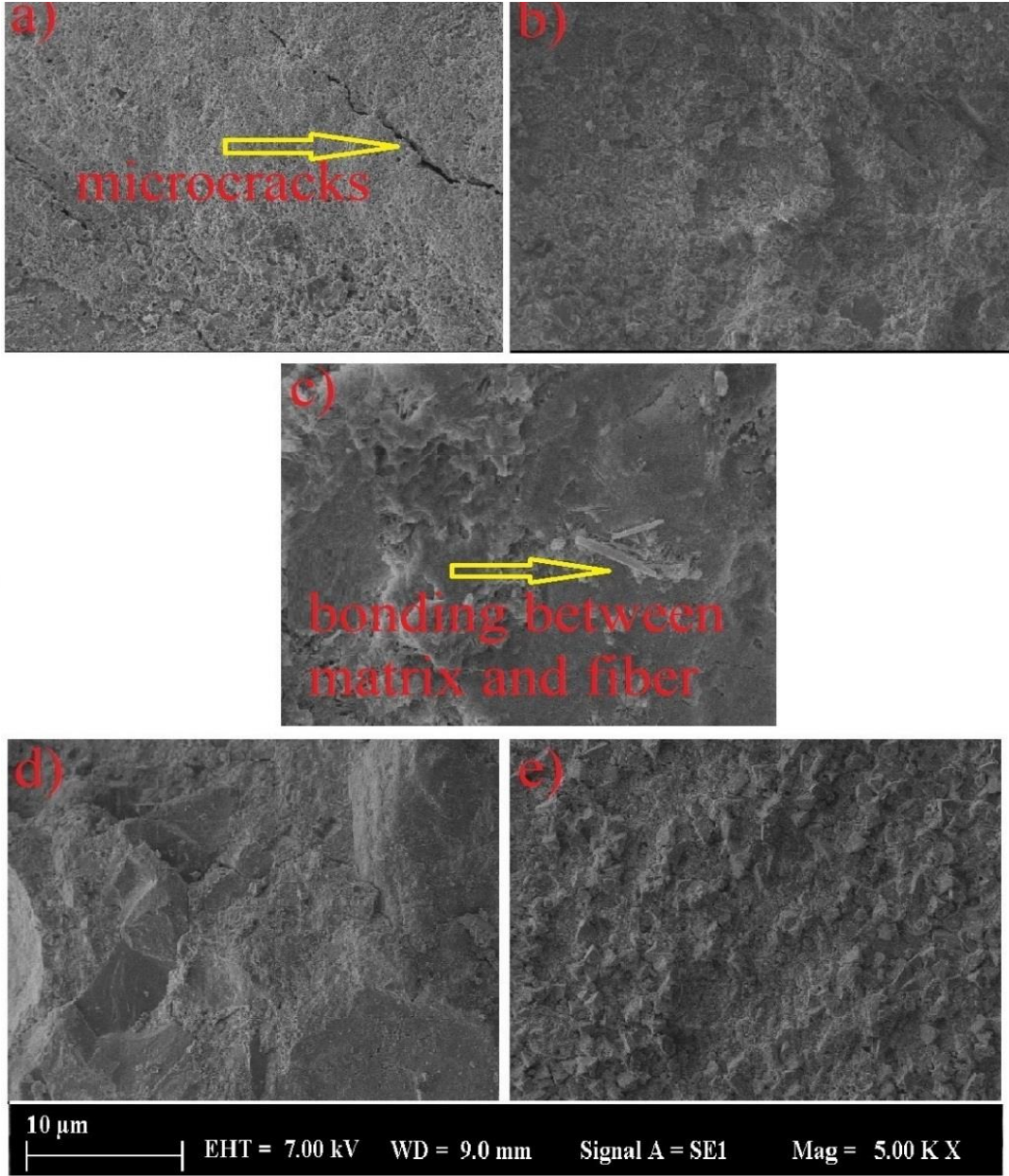
Zikzaklı çelik lifli %5 kil tuğla tozu ilaveli Beyaz Çimentolu seri en yüksek eğilme dayanımı değerine sahipken, en düşük değer %15 kil tuğla tozu ilaveli Beyaz Çimento karışımında olmuştur.



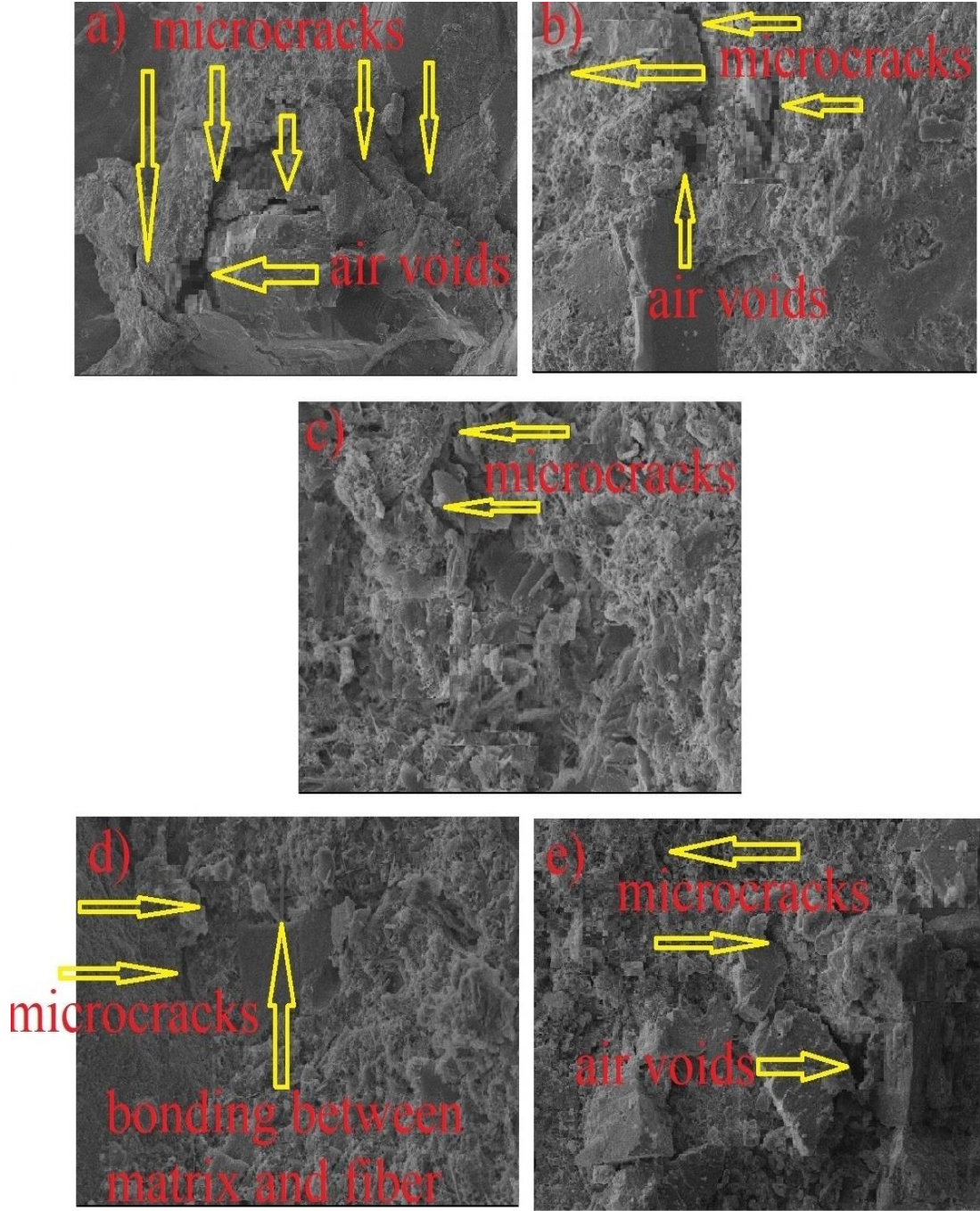
Şekil 3.11 Eğilme dayanımı üzerindeki donma-çözülme etkisi

3.5 SEM analizi

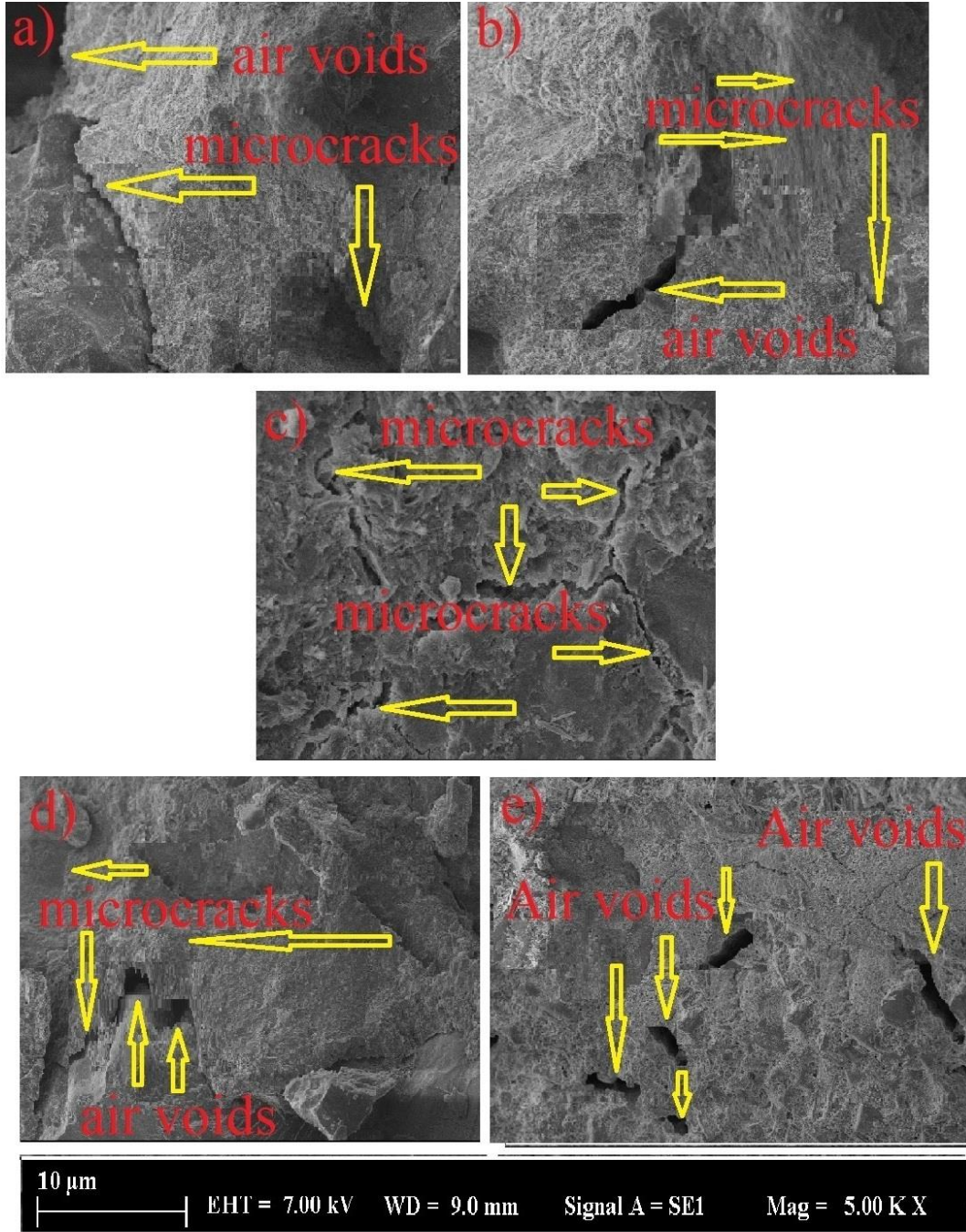
Tuğla tozu ve liflerle takviye edilmiş Beyaz Çimentolu kompozitlerde mikroyapı özelliği SEM analizleri yardımıyla incelenmiştir. Yapılan analiz sayesinde ikame malzeme ve fiberlerin kompozit yapısında değiştirdiği potansiyel karakterizasyon detaylı olarak incelenmiştir. Ayrıca arayüzey bağ derecesi, ikame ve takviye malzemelerle ve ana malzeme arasında oluşan şekliyle gözlenmiştir. BÇ, TT5, TT5Z, TT5B ve TT5P numunelerinin SEM mikrografları Şekil 3.12-3.15'te gösterilmiştir. SEM analizleri detaylı olarak incelenirse basınç ve eğilme dayanımları ile paralellik taşıdığı tespit edilmiştir. %5 tuğla tozu ikamesinin SiO_2 ve Al_2O_3 içeriğinin artırması ile C-A-S-H ve C-A-H jellerinin daha fazla üretilmesi %100 Beyaz Çimento numunesine göre daha homojen bir yapının elde edilmesini sağlamıştır. Böylece tuğla tozu ile Beyaz Çimento arasında bağ iyi derecede oluşmuştur. Kompozitlere lif takviyesi yapılması, çatlakları durdurma kabiliyetini artırarak daha yüksek çatlama direnci oluşturmuş ve mikro çatlakların yayılmasını geciktirmiştir. Zikzaklı çelik lifin daha yüksek yoğunluğa ve daha fazla uzunluğa sahip olması boşluk miktarını ve dolayısıyla yanıl deformasyonları azaltarak daha yüksek çatlama direnci oluşturmuştur. Pirinç kaplı çelik lif ise kısa olması sebebiyle diğerlerine göre daha düşük dayanım artışı oluşturmuştur. Bulunan sonuçlar durabilite testleri sonuçlarında da benzer davranış göstermiştir.



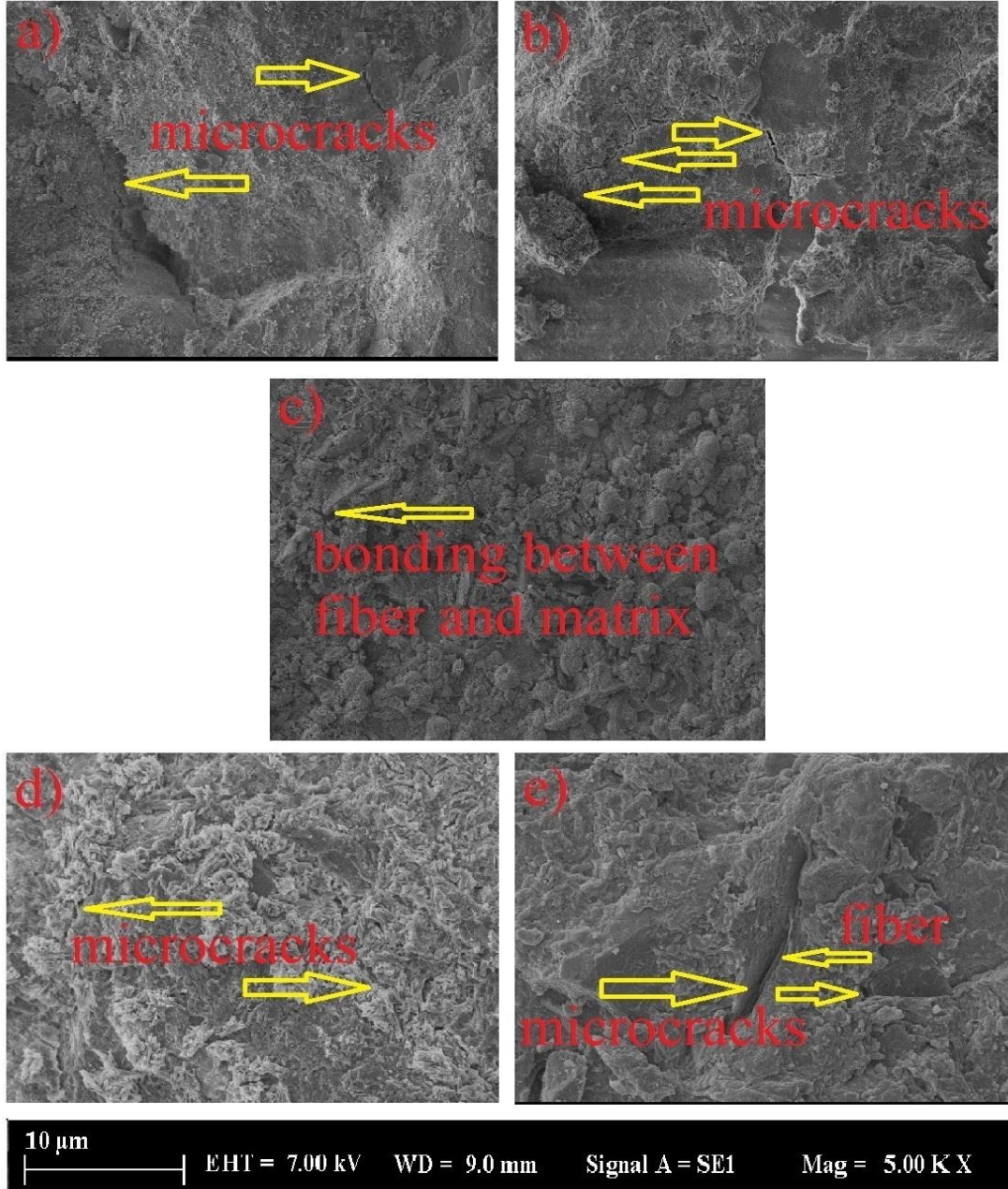
Şekil 3.12 90 gün sonrası SEM görüntüleri: a) BÇ, b) TT5, c) TT5Z, d) TT5B, e) TT5P



Şekil 3.13 Sülfat sonrası SEM görüntüleri: a) BÇ, b) TT5, c) TT5Z, d) TT5B, e) TT5P



Şekil 3.14 750° sıcaklık sonrası SEM görüntüleri: a) BÇ, b) TT5, c) TT5Z, d) TT5B, e) TT5P



Şekil 3.15 Donma-çözülme sonrası SEM görüntüleri: a) BÇ, b) TT5, c) TT5Z, d) TT5B, e) TT5P

SONUÇLAR

Bu tez çalışması kapsamında kil tuğla tozu ilavesinin kullanılmasının geçerliliğini göstermek için farklı tipteki karışımların basınç ve eğilme dayanımları test edilmiştir. Bu tez çalışmasında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- 1- Ekstrem koşullar altında numunelerin performansının test edilmesi, farklı ilavelerle numunelerin davranışlarını kontrol etmek için de faydalı bir yol olmuştur.
- 2- Beyaz çimentonun kısmi ikamesi olarak kil tuğla tozunun kullanılması nispeten faydalıdır ve çimento karışımlarının performansını artırmıştır.
- 3- %5 kil tuğla tozu ilavesi numunelerin homojenliğini olumsuz etkilememiş, aksine numune performansını artırmıştır. Beyaz Çimento karışımına %5 kil tuğla tozunun ilavesinde ilavesiz Beyaz Çimentolu seriden daha yüksek basınç dayanımı ve eğilme dayanımı elde edilmiştir.
- 4- %10 kil tuğla tozu ilavesi karışımın homojenliğini bozar ve performansını düşürür. %10 kil tuğla tozu ilavesi, ilavesiz Beyaz Çimentolu seriden daha az basınç ve eğilme dayanımına sahiptir.
- 5- %15 kil tuğla tozu ilavesi karışımın homojenliğine daha fazla zarar vermiş ve performansında daha fazla düşüşe neden olmuştur. %15 kil tuğla tozu ilavesi, ilavesiz Beyaz Çimentolu seriden daha az basınç ve eğilme dayanımına sahip olduğu gibi, bu değerler tüm numunelerden de daha az olmuştur.
- 6- Beyaz Çimento karışımına genel olarak çelik liflerin ve bazalt lifinin eklenmesi numunelerin performansını artırmıştır. Beyaz Çimento karışımına pirinç kaplı çelik lif ilavesi, ilave bağlayıcı olmadan Beyaz Çimentonun basınç ve eğilme dayanımını artırarak iyileşme sağlamıştır. Lif uzunluğunun kısa olması artışı sınırlandırmıştır. Bazalt lifi ise sistematik bir davranış göstererek daha fazla artışa neden olmuştur. Zikzaklı çelik lif ise lif uzunluğu ve diğer özellikler bakımından avantajı ile en fazla artışı oluşturmuştur.
- 7- Üretilen numuneler durabilite etkilerinden (yüksek sıcaklık, donma-çözülme ve sülfat etkisi) sonra dayanım kayıplarına maruz kalmışlardır. Durabilite testleri sonrası numunelerin dayanım ve ağırlık özellikleri bakımından sıralaması durabilite etkisi öncesine benzer olmuştur.

KAYNAKLAR

- Adampoulou,P., Katsiotis, M.S.(2011). Construction Katsioti, and Building Materials.'How sulfates and increased temperature affect delayed ettringite formation (DEF) in white cement mortars', 25: 3583-90.
- Aydin, E.(2017). 'Data for the physical and mechanical properties of staple fibers cement paste composites', 14: 307-12.
- Aygörmez,Y., Canpolat, O. ve Al-Mashhadani, M.M(2020). Construction Uysal, and Building Materials. 2020. 'Elevated temperature, freezing-thawing and wetting-drying effects on polypropylene fiber reinforced metakaolin based geopolymer composites', 235: 117502.
- Bakarev, T. (2005). 'Durability of geopolymer materials in sodium and magnesium sulfate solutions', 35: 1233-46.
- Baronio, G.(1997). 'Study of the pozzolanicity of some bricks and clays', 11: 41-46.
- Caldarone, M.A., Gruber, K.A. ve Burg, R.G. (1994).Concrete International Burg. 1994. 'High reactivity metakaolin (HRM): a new generation mineral admixture for high performance concrete', 16: 37-41.
- Cassar, L.(2003). "White cement for architectural concrete, possessing photocatalytic properties." In *Proceedings of the 11th International Congress on the Chemistry of Cement*, 2012-21.
- Colleparidi, M. (2005). "Sulphate attack and alkali-silica expansion." In *Proceedings of Second International Symposium on Concrete Technology for Sustainable February-Development with Emphasis on Infrastructure, Hyderabad, India*, 55-67.
- Colleparidi, M.(1999). Concrete International. 'Damage by delayed ettringite formation', 21: 69-74.
- Corinaldesi, V.(2016). Construction Nardinocchi, and Building Materials. 2016. 'Influence of type of fibers on the properties of high performance cement-based composites', 107: 321-31.
- Craig, R. (1986). "Fiber reinforced beams in torsion." In *Journal Proceedings*, 934-42.
- Dong, J.F. (2017). Construction Guan, and Building Materials. 'Material properties of basalt fibre reinforced concrete made with recycled earthquake waste', 130: 241-51.
- Escalante, J.H. (1998). Cement Sharp, and concrete research.. 'Effect of temperature on the hydration of the main clinker phases in Portland cements: Part I, neat cements', 28: 1245-57.

- Feng, Hu. (2018). Construction Zhao, and Building Materials. 'Mechanical properties of micro-steel fibre reinforced magnesium potassium phosphate cement composite', 185: 423-35.
- Fenu, L. (2016.) Composites Part B: Engineering Cadoni. 'Dynamic behaviour of cement mortars reinforced with glass and basalt fibres', 92: 142-50.
- Gamal,(2019.) Materials Today: Proceedings Chiadighikaobi. 'Comparative analysis of reliability of non-destructive methods of strength control of concrete impregnated with vegetable oil: Basalt fiber for increasing the concrete strength', 19: 2479-82.
- Glasser, F.P.(1996). Cement, and Concrete composites.. 'The role of sulfate mineralogy and cure temperature in delayed ettringite formation', 18: 187-93.
- Hanafi, M.(2020). Materials Ekinci.. 'Engineering properties of basalt fiber-reinforced bottom ash cement paste composites', 13: 1952.
- He, C. (1994). Applied Clay Science Osbaeck. 'Thermal stability and pozzolanic activity of calcined kaolin', 9: 165-87.
- Hwang, C.L. (2016). Construction Hsieh, and Building Materials.. 'Effects of short coconut fiber on the mechanical properties, plastic cracking behavior, and impact resistance of cementitious composites', 127: 984-92.
- Jalal, A. (2019). Materials Zahid.. 'Investigating the Effects of Fiber Reinforced Concrete on the Performance of End-Zone of Pre-Stressed Beams', 12: 2093.
- Jun, L. (2020).Construction Zhishan, and Building Materials. 'Improvement and mechanism of the mechanical properties of magnesium ammonium phosphate cement with Chopped fibers', 243: 118262.
- Kaminskas, R.(2006).CERAMICS SILIKATY Kaminskas. 'The effect of pozzolana on the properties of the finest fraction of separated Portland cement-Part 1', 50: 15.
- Kaplan, H.(1996). Çimento ve Beton Dünyası BİNİCİ.. 'Tras ve traslı çimentolar', 1: 23-30.
- Katsioti, M. (2011) Construction Chaniotakis, and Building Materials.. 'Delayed ettringite formation (DEF) in mortars of white cement', 25: 900-05.
- Kavas, T., Olgun, A. (2008). Ceramics Silikatı Olgun.. 'Properties of cement and mortar incorporating marble dust and crushed brick', 52: 24.
- Khan ,M., Cao, M. ve Ali, M. (2018).Construction Ali, and Building Materials.. 'Effect of basalt fibers on mechanical properties of calcium carbonate whisker-steel fiber reinforced concrete', 192: 742-53.

- Klemm, Waldemar A. (1998). Ettringite and oxyanion-substituted ettringites--their characterization and applications in the fixation of heavy metals: A synthesis of the literature.
- Klieger, P. (1958). "Effect of mixing and curing temperature on concrete strength." In Journal Proceedings, 1063-81.
- Lawrence, C.D. (1995). Cement, and concrete research. 'Mortar expansions due to delayed ettringite formation. Effects of curing period and temperature', 25: 903-14.
- Lawrence, C.D.(2003). Cement Ringot, and concrete research.. 'Mineral admixtures in mortars: effect of inert materials on short-term hydration', 33: 1939-47.
- Lin, K.L., Chen, B. Y. ve Chiou, C.S. (2010). Waste Management Cheng, and Research.. 'Waste brick's potential for use as a pozzolan in blended Portland cement', 28: 647-52.
- Linsebigler, A.L., Lu, G. ve Yates, J.T. (1995). Chemical reviews Yates Jr. 'Photocatalysis on TiO₂ surfaces: principles, mechanisms, and selected results', 95: 735-58.
- Neville, A.(2004).Cement, and Concrete research.. 'The confused world of sulfate attack on concrete', 34: 1275-96.
- Neville, A.(1995). Properties of concrete (Longman London).
- O'Farrell, M., Sabir, B.B. ve Wild, S.(2006). Cement Wild, and Concrete Composites.. 'Strength and chemical resistance of mortars containing brick manufacturing clays subjected to different treatments', 28: 790-99.
- Ortega, J.M., Letelier, V., Solas, C. ve Moriconi, G. (2018). Construction Sánchez, and Building Materials.. 'Long-term effects of waste brick powder addition in the microstructure and service properties of mortars', 182: 691-702.
- Padalu, P., Singh, Y. ve Das, S.(2018). Construction Das, and Building Materials.. 'Efficacy of basalt fibre reinforced cement mortar composite for out-of-plane strengthening of unreinforced masonry', 191: 1172-90.
- Petrov, N. (2004). 'Effets combines de differents facteurs sur l'expansion des betons causee par la formation differee de l'ettringite (French text)'.
 Petrov, N. and Tagnit-Hamou, A.(y.y.) Département de Génie Civil, Faculté de Génie, Université de Sherbrooke. 'CONCEPTION D'UNE MÉTHODE POUR ÉVALUER LE RISQUE D'EXPANSION CAUSÉE PAR LA FORMATION DIFFÉRÉE DE L'ETTRINGITE'.
- Pipilikaki, P., Katsioti, M. ve Gallias, J.L.(2009). Construction Gallias, and Building Materials. 'Performance of limestone cement mortars in a high sulfates environment', 23: 1042-49.

- Price, Walter H. (1951). "Factors influencing concrete strength." In *Journal Proceedings*, 417-32.
- Sabir, BB., Wild, S. ve Bai, J. (2001). Cement Bai, and concrete composites.. 'Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review', 23: 441-54.
- Santhanam, M., Cohen, M.D. ve Olek, J.(2002). Cement Olek, and concrete research.. 'Mechanism of sulfate attack: A fresh look: Part 1: Summary of experimental results', 32: 915-21.
- Sata, V., Jaturapitakkul, C. ve Kiattikomol, K. (2007). Construction Kiattikomol, and Building Materials. . 'Influence of pozzolan from various by-product materials on mechanical properties of high-strength concrete', 21: 1589-98.
- Scrivener, K.L., Damidot, D. ve Famy, C. (1999). Cement Famy, Concrete, and Aggregates.. 'Possible mechanisms of expansion of concrete exposed to elevated temperatures during curing (also known as DEF) and implications for avoidance of field problems', 21: 93-101.
- Serpone, N., Pelizzetti, E. (1989). *Photocatalysis: fundamentals and applications* (Wiley-Interscience).
- Shi, Caijun Canadian journal of civil engineering. 2001. 'An overview on the activation of reactivity of natural pozzolans', 28: 778-86.
- Sim, J., Park, C. (2005). Composites Part B: Engineering Park. 'Characteristics of basalt fiber as a strengthening material for concrete structures', 36: 504-12.
- Song, H.Q. (2004). Construction Hwang, and Building Materials.. 'Mechanical properties of high-strength steel fiber-reinforced concrete', 18: 669-73.
- Sun, X., Gao, Z., Cao, P. ve Zhou, C. (2019). Construction Zhou, and building materials.. 'Mechanical properties tests and multiscale numerical simulations for basalt fiber reinforced concrete', 202: 58-72.
- Thokchom, S., Ghosh, P. ve Ghosh, S. (2010). Journal of engineering science Ghosh, and technology review. 'Performance of fly ash based geopolymer mortars in sulphate solution', 3: 36-40.
- Uchikawa, H., Uchida, S. (1974). Cement Uchida, and Concrete Research. 'The analysis of ettringite in hardened cement paste', 4: 821-34.
- Uzal, B., Turanlı, L. (2003). Cement and Concrete Research. 2003. 'Studies on blended cements containing a high volume of natural pozzolans', 33: 1777-81.
- Vijai, K., Kumutha, R. and Vishnuram, BG. (2010). International journal of physical sciences Vishnuram. 'Effect of types of curing on strength of geopolymer concrete', 5: 1419-23.

- Wang, L., Seals, R.K. and Roy, A. (2001). *Advances in cement research* 'Investigation of utilization of amorphous silica residues as supplementary cementing materials', 13: 85-89.
- Wang, Y., Hughes, P., Niu, H. ve Fan, Y. (2019). *Journal of Cleaner Production* Fan.. 'A new method to improve the properties of recycled aggregate concrete: Composite addition of basalt fiber and nano-silica', 236: 117602.
- Wild, S., Khatib, J.M. ve Jones, A. (1996). *Cement Jones, and concrete research*. 'Relative strength, pozzolanic activity and cement hydration in superplasticised metakaolin concrete', 26: 1537-44.
- Yao, W., Li, J. ve Wu, K. (2003). *Cement and concrete research*. 'Mechanical properties of hybrid fiber-reinforced concrete at low fiber volume fraction', 33: 27-30.

