

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**ÖĞÜTÜLMÜŞ BARİT AGREGASI KULLANILARAK ÜRETİLEN
KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN AĞIR HARÇLARIN MEKANİK VE
DURABİLİTE ÖZELLİKLERİ**

Hamza ÇİÇEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Selim CEMALGİL

TUNCELİ-2025

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ÖĞÜTÜLMÜŞ BARİT AGREGASI KULLANILARAK ÜRETİLEN
KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN AĞIR HARÇLARIN MEKANİK VE
DURABİLİTE ÖZELLİKLERİ

Hamza ÇİÇEK
(230150014)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Selim CEMALGİL

Tunceli-2025

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ÖĞÜTÜLMÜŞ BARİT AGREGASI KULLANILARAK ÜRETİLEN
KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN AĞIR HARÇLARIN MEKANİK VE
DURABİLİTE ÖZELLİKLERİ**

HAMZA ÇİÇEK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 29 /05 / 2025 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

İmza:.....

Dr. Öğr. Üyesi
Selim CEMALGİL
(Munzur Üniversitesi)

DANIŞMAN

İmza:.....

Prof. Dr. Onur ONAT
(İnönü Üniversitesi)

ÜYE

İmza:.....

Prof. Dr. Mehmet
KARATAŞ
(Munzur Üniversitesi)

ÜYE

Bu tez, Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Doç. Dr. Nagihan KARAASLAN AYHAN
Enstitü Müdürü

NOT: Bu seminerde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı “Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu”ndaki hükümlere tabidir.

29/05/2025

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

İMZA
Hamza ÇİÇEK

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi. Selim CEMALGİL

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca yakın ilgisini eksik etmeyen, her türlü soruma bıkmadan usanmadan cevap veren, gerek bilgi birikimi gerekse tecrübeleriyle çalışmamda yardımlarını esirgemeyen saygı değer Danışman Hocam Dr. Öğr. Üyesi Selim CEMALGİL ve destekleriyle bu Yüksek Lisans serüvenimde yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Hamza ÇİÇEK
TUNCELİ-2025



İÇİNDEKİLER

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	I
TEŞEKKÜR.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ŞEKİLLER LİSTESİ	V
TABLOLAR LİSTESİ	VII
SEMBOLLER LİSTESİ	VIII
KISALTMALAR LİSTESİ	IX
ÖZET	X
ABSTRACT	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇLAR.....	2
2.1. Deney Yöntemleri.....	5
2.1.1. Çökme-yayılma (slump-flow) deneyi.....	5
2.1.2. V hunisi deneyi.....	6
2.1.3. U kutusu deneyi.....	7
2.1.4. L kutusu deneyi.....	8
3. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇLARLA İLGİLİ ÇALIŞMALAR.....	9
4. AĞIR HARÇLAR	15
4.1. Ağır Beton Agregaları.....	17
4.1.1. Barit agregası özellikleri.....	17
4.1.2. Limonit agregası özellikleri.....	18
4.1.3. İlmenit agregası özellikleri.....	19
4.1.4. Manyetit agregası özellikleri.....	20
4.1.5. Ferrofosfor agregası özellikleri.....	20
4.1.6. Siderit agregası özellikleri.....	20
4.1.7. Kolemanit agregası özellikleri.....	21
4.1.8. Çelik saçma ve parçaları.....	22
4.2. Ağır Harçların Özellikleri.....	22
4.3. Barit Agregalı Ağır Harçlarla İlgili Yapılan Deneysel Çalışmalar	23
4.4. Ağır Harçların Kullanım Alanları.....	28
4.5. Ağır Harçların Avantajları ve Dezavantajları.....	28
5. MATERYAL VE METOT	30
5.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler.....	30
5.1.1. Çimento.....	30
5.1.2. Agregası.....	30
5.1.3. Su.....	34
5.1.4. Uçucu kül.....	34
5.1.5. Akışkanlaştırıcı.....	34
5.2. Karışımın Hazırlanması.....	34
6. DENEY SONUÇLARI	38
6.1. Taze Harç Deneyleri.....	38
6.2. Sertleşmiş Harç Deneyleri.....	43
7. BULGULAR VE TARTIŞMA	64
7.1. Ses Geçiş Hızı.....	64
7.2. Basınç Dayanımı	65
7.3. Eğilme Dayanımı.....	66
7.4. Yüksek Sıcaklık Deneyi	68

7.5. Su Emme Deneyi	72
7.6. Donma Çözülme Deneyi.	73
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	74
9. KAYNAKLAR.....	76
ÖZGEÇMİŞ	



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Kendiliğinden yerleşen beton örneği	3
Şekil 2.2. KYB yayılma deneyi düzeneği ve yapılma yöntemi	6
Şekil 2.3. V huni akış deneyi şeması.....	7
Şekil 2.4. U kutusu test aparatı.....	7
Şekil 2.5. L kutusu test aparatı ve detayı.....	8
Şekil 4.1. Barit agregası örneği	17
Şekil 4.2. Barit cevheri	18
Şekil 4.3. Limonit agregası örneği	19
Şekil 4.4. İlmenit agregası örneği.....	19
Şekil 4.5. Siderit agregası örneği.....	21
Şekil 4.6. Kolemanit örneği görünümü	21
Şekil 4.7. Çelik saçma ve parçalarının görünümü.....	22
Şekil 5.1. Özgül ağırlık tayini deneyi.....	31
Şekil 5.2. Su emme tayini deneyi	31
Şekil 5.3. Elek sarsma cihazı.....	32
Şekil 5.4. İnce barit (0-2mm) agregası tane dağılımı	33
Şekil 5.5. İri barit (0-4mm) agregası tane dağılımı	33
Şekil 5.6. Laboratuvar tipi mikser	35
Şekil 5.7. Kuru karışım	36
Şekil 5.8. Taze harç karışımı.....	36
Şekil 6.1. Yayılma deneyi düzeneği.....	38
Şekil 6.2. Yayılma deneyi yapılış görüntüsü.....	39
Şekil 6.3. Yayılma çapı ölçümü	39
Şekil 6.4. Metal küp numune kalıpları	40
Şekil 6.5. Metal prizma numune kalıpları	40
Şekil 6.6. Priz alması için bekletilen prizma numuneler	41
Şekil 6.7. Priz alması için bekletilen küp numuneler	41
Şekil 6.8. Kalıptan çıkarılan prizma numuneler	42
Şekil 6.9. Kalıptan çıkarılan küp numuneler	42
Şekil 6.10. Kür havuzuna koyulan numuneler	43
Şekil 6.11. Ultra ses geçiş hızı deneyi düzeneği	44
Şekil 6.12. Ultra ses geçiş hızı deneyi yapılışı	44
Şekil 6.13. Eğilme testinde kullanılacak numuneler	45
Şekil 6.14. Tartım işlemi yapılan prizma numune	46
Şekil 6.15. Eğilme test cihazı	46
Şekil 6.16. Eğilme testi yapılan numune örneği	47
Şekil 6.17. Eğilme test cihazı ekranı	47
Şekil 6.18. Basınç testi yapılan numune	49
Şekil 6.19. Basınç test cihazı ekranı.....	49
Şekil 6.20. Yüksek sıcaklık fırını	51
Şekil 6.21. Yüksek sıcaklık fırınının iç görünümü.....	51
Şekil 6.22. Yüksek sıcaklık fırınındaki numuneler	52
Şekil 6.23. Yüksek sıcaklık fırınından çıkarılan numuneler	52
Şekil 6.24. 300°C sıcaklık uygulanan numuneler	53
Şekil 6.25. 900°C sıcaklık uygulanan numuneler	53
Şekil 6.26. Yüksek sıcaklık testi sonrası ağırlığı ölçülen numuneler.....	54
Şekil 6.27. Kaplama işleminde kullanılan su geçirmez bant.....	56

Şekil 6.28. Su emme testi için hazırlanan numuneler	57
Şekil 6.29. Su emme testi için havuza yerleştirilen numuneler	57
Şekil 6.30. Donma çözülme cihazı	59
Şekil 6.31. 200 devir sonrası bozulma görülmeyen numuneler	60
Şekil 6.32. 200 devir sonrası bozulma görülen numuneler	60
Şekil 6.33. Uçucu kül ait (a) 1000x büyütmedeki SEM görüntüsü, (b) 2500x büyütme de SEM görüntüsü ve (c) EDS analiz sonuçları	62
Şekil 6.34. Barit tozuna ait (a) 2500x büyütmedeki SEM görüntüsü, (b) 1000x büyütmedeki SEM görüntüsü ve (c) EDS analiz sonuçları.	63
Şekil 7.1. Ses geçiş hızı sonuçları	64
Şekil 7.2. Basınç dayanımı sonuçları	66
Şekil 7.3. Eğilme dayanımı sonuçları	68
Şekil 7.4. Yüksek sıcaklık etkisi sonrası yapılan eğilme testi sonuçları	70
Şekil 7.5. Yüksek sıcaklık etkisi sonrası yapılan basınç dayanımı sonuçları	71
Şekil 7.6. Su emme deneyi sonuçları	72
Şekil 7.7. Donma çözülme deneyi sonuçları	73

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Deney yöntemleri ve kabul edilebilir sınır değerler	5
Tablo 5.1. Çalışmada kullanılan çimento ve uçucu külün kimyasal özellikleri	30
Tablo 5.2. Agregâ özellikleri	31
Tablo 5.3. İnce barit agregâsı (0-2mm) elek analizi sonuçları	32
Tablo 5.4. İri barit (0-4mm) agregâsı elek analizi sonuçları.....	33
Tablo 5.5. Su analiz testi.....	34
Tablo 5.6. Karışım kodları ve açıklamaları	36
Tablo 5.7. Karışımâ giren malzeme miktarları	37
Tablo 6.1. 3, 28 ve 90 günlük eğilme deneyi sonuçları	48
Tablo 6.2. 3, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı deney sonuçları	50
Tablo 6.3. Yüksek sıcaklık testi sonrası yapılan eğilme dayanımı test sonuçları.....	54
Tablo 6.4. Yüksek sıcaklık testi sonrası yapılan basınç dayanımı test sonuçları	55
Tablo 6.5. Su emme deney sonuçları	58
Tablo 6.6. Donma çözülme deney sonuçları.....	61

SEMBOLLER LİSTESİ

A	: Numunenin Yük Doğrultusunda Kesit Alanı
C	: Coulomb
S/Ç	: Su/Çimento Oranı
V	: Hacim
L	: Malzeme Kalınlığı
N	: Nötron Işınları
A	: Alfa Işınları
S/B	: Su/Bağlayıcı
Fe⁺²TiO₃	: İlmenit cevheri
Fe₃O₄	: Manyetit agregası
FeCO₃	: Siderit agregası
CaB₃O₄(OH)₃ H₂O	: Kolemanit agregası

KISALTMALAR LİSTESİ

Pç	: Çimentonun Yoğunluğu
Pa	: Agreganın Yoğunluğu
SD	: Silis Dumanı
SA	: Süper Akışkanlaştırıcı
HWC	: Ağır Beton
BA	: Barit Agregası
BT	: Barit Tozu
PÇ	: Portland Çimentosu
KYH	: Kendiliğinden Yerleşen Harç
NA	: Normal Agregası
KYB	: Kendiliğinden Yerleşen Beton
UK	: Uçucu Kül
UYPB	: Ultra Yüksek Performanslı Beton
EAF	: Elektrik Ark Fırını Cürufu

ÖZET

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, 3 farklı gradasyonda (0-4mm,0-2mm ve 45-75 μ) barit agregası kullanılmıştır. Agreganın yanı sıra bağlayıcı olarak portland çimentosu (PÇ), puzolanik malzeme olarak uçucu kül (UK) ve kimyasal olarak süper akışkanlaştırıcı (SA) kullanılarak kendiliğinden yerleşen ağır harç (KYAH) üretilmiştir. Bu amaçla farklı oranlarda barit agregaları ve uçucu kül içeren karışımlar imal edilmiştir. Tüm bu karışımlarda su ve süper akışkanlaştırıcı miktarları sabit tutularak PÇ miktarı azaltılmıştır. PÇ'nin azaltıldığı oranda barit tozu ve uçucu kül ilave edilerek farklı karışımların incelenmesi sağlanmıştır. H0 kontrol karışımı ve H1-H12 karışımları olmak üzere toplam 13 farklı karışım hazırlanarak numuneler üretilmiştir. İmal edilen her bir karışımında CEM I 42,5 R sınıfı portland çimento kullanılmıştır. Su/çimento oranı kontrol numunesi karışımında 0,40 oranında belirlendi. Kontrol numunesi dışındaki numunelerde PÇ miktarı azaltılıp aynı oranlarda UK ve barit tozu (BT) ilave edilerek su/bağlayıcı oranının 0.40 olması sağlanmıştır. Hazırlanan taze harç karışımları yayılma çapı deneyleri yapıldıktan sonra kalıplara yerleştirildi. 24 saat sonra kalıptan alınan numuneler 3, 28 ve 90 gün boyunca laboratuvar ortamında kür tanklarında bekletildi. Üretilen numuneler belirlenen yaşlarda, basınç, eğilme, yüksek sıcaklık sonrası dayanımı, ultrases geçiş hızı, kılcal su emme ve donma çözülme testlerine tabi tutuldu. Bu testler için 195 adet 40x40x160 mm boyutlarında giriş numune 78 adet 50x50x50 mm boyutlarına küp numune üretilmiştir.

Deneyler sonucunda yalnız BA+PÇ içeren kontrol numunesi olan H0 neredeyse diğer karışımların tamamından daha yüksek dayanıma sahip olduğu anlaşılmıştır. İçeriğinde BA+BT+PÇ bulunan numunelerin BA+BT+UK katkılı karışımlara kıyasla daha yüksek dayanımlara sahip olduğu belirlenmiştir.

Tüm deney sonuçları topluca değerlendirildiğinde, içeriğinde BA+ 5 BT +95 PÇ bulunan H1 numunesi en ideal oranlara sahip karışım olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Barit agregası, uçucu kül, kendiliğinden yerleşen ağır harç, süperakışkanlaştırıcı

ABSTRACT

Mechanical and Durability Properties of Self -Compacting Heavy Mortars Produced Using Ground Barite Aggregate

In this study, barite aggregates were utilised in three distinct gradations (0-4 mm, 0-2 mm, and 45-75 μm). In addition to the aggregate, self-compacting heavy mortar (SCHM) was produced using Portland cement (PC) as binder, fly ash (FA) as pozzolanic material and superplasticizer (SA) as chemical. To this end, a series of mixtures were produced, incorporating barite aggregates and fly ash in varying proportions. In all these mixtures, the amount of PC was reduced by keeping the amount of water and superplasticizer constant. Different mixtures were analysed by adding barite powder and fly ash at the rate of decreasing the PC. A total of 13 distinct mixtures were meticulously prepared: the H0 control mixture and the H1-H12 mixtures. Subsequent to this, samples were produced. The Portland cement used in each of the mixture produced was CEM I 42.5 R. The water-cement ratio was determined as 0.40 in the control sample mix. In the samples other than the control sample, the amount of PC was reduced and UK and barite powder (BT) were added in the same proportions and the water/binder ratio was 0.40. The fresh mortar mixtures prepared were then placed in moulds after the spreading diameter tests had been performed. After 24 hours the samples were remove from the mould, they were stored in laboratory curing tanks for 3, 28 and 90 days. The produced samples were then subjected to a series of rigorous tests. These included pressure, bending, high temperature resistance, ultrasonic pulse velocity, capillary water absorption and freeze-thaw tests, which were conducted at the specified ages. For the purposes of these tests, 195 beam samples with dimensions of 40x40x160 mm and 78 cube samples with dimensions of 50x50x50 mm were produced.

Following the conduction of the tests, it was determined that the control sample designated H0, which comprised solely BA+PC, exhibited higher strength in comparison to the vast majority of the other mixtures. The samples containing BA+BT+PC were found to exhibit higher strengths in comparison to the mixtures containing BA+BT+UK.

Following a collective evaluation of all test results, it was determined that the H1 sample containing BA+ 5 BT +95 PC was the mixture with the most optimal proportions.

Key Words: Barite aggregate, fly ash, self-compacting heavy mortar, superplasticizer

1. GİRİŞ

Betonun tarihçesi hakkında kesin olarak bir tarih verilememektedir, beton teknolojisinin tarihi hakkında yaklaşık olarak bir tarih vermek gerekirse beton tarihi 1850' li yıllara dayanmaktadır. Betonlar hakkında detaylı bilgilerin elde edilmesi ve beton karışım hesaplarının yapılmaya başlanabilmesi 1950 ve 1960 yılları arasında gerçekleşmiştir. 1960'lerden sonra zorlu koşullarda betonarme yapıların inşası, yeni katkı maddelerinin gelişimi, betonun davranışı, beton döküm teknikleri, betonların kalitesi kontrolü ve ekonomik faydaları gibi konular başta olmak üzere betonlar üzerinde önemli gelişmeler olmuştur (Cilason, 1982).

Beton; içerisine yerleştirilen kalıbın şeklini alabilmesi (şekil verilebilme kolaylığı), üretiminin kolay olması ve yerel kaynaklarla üretilme kolaylığı, maliyetinin diğer taşıyıcı yapı malzemelerine göre ucuz olması, dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin yüksek seviyelerde olması ve imal edileceği yerin şekline göre tasarımının düzenlenebilmesi, sürdürülebilir oluşu gibi tüm bu faydalı yönlerinden dolayı günümüzde en sık kullanılan yapı malzemeleri arasında yerini almaktadır (Özel ve Kapkan, 2017).

Beton, yaşamakta olduğumuz zamanın en fazla kullanılmakta olan inşaat malzemelerindendir. Betonlar kullanım alanlarına ve istenilen özelliklerine göre farklı katkı maddeleri, farklı yüzey alanları ve farklı ağırlıkta olmak üzere birçok çeşidi bulunmaktadır. Betonları incelemek ve sınıflandırmak için dört ana grup kullanılabilir. Bu gruplar betonların birim hacim ağırlıklarına göre, betonların basınç dayanımlarına göre, betonların üretilmiş oldukları yere ve betonların kullanılacakları uygulama alanları olmak üzere ayrılabilir. Tüm bu özelliklerine göre bulunan birçok beton çeşidi vardır (URL-1, 2025).

Beton, dayanım ve dayanıklılık özellikleri, yangın direnci, suya karşı dayanımı, enerji verimliliği, ekonomik üretimi, şekil verme kolaylığı, yerinde üretilbilirliği ve prefabrik yapı elemanları üretimi, pratik uygulama yöntemleri gibi birçok sebepten ötürü yapı sektöründe en çok rağbet gören malzemelerden biridir. Betona olan talebin fazlalığı ve betonun farklı özelliklerini geliştirmek amacıyla birçok alanda çeşitli araştırmaların temel konusu olmuştur. Bu tez çalışmasında ağır harç ve kendiliğinden yerleşen harçlar üzerinde çalışmalar yaptığımızdan dolayı sadece bu iki harç çeşidi üzerinde durularak bu harçlar hakkında bilgiler verilecektir.

2. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇLAR

Kendi ağırlığı ile donatıların fazla olduğu dar ve derin olan yerlere yerleşebilen, iç veya dış vibrasyon işleminin uygulanmasına gerek olmadan kendiliğinden sıkışabilme özelliği sağlarken, betonlarda istenmeyen ayrışma ve terleme gibi sorunlar oluşmadan kohezyonunu koruyabilen çok akıcı kıvamlı betonlara KYB denir. KYB tarihte ilk olarak 1990'lı yılların içerisinde Japonya'da geliştirilmiştir. Kendiliğinden yerleşen harçlar; kendiliğinden yerleşen betonları bir araya getiren bileşenlerinin oranlarını hesaplanmasında veya betonlardaki oluşan deformelerin tamir edilmesinde tamir harcı olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Kendiliğinden yerleşen harçlarda yapılan testlerde yüksek dayanıma sahip oldukları görülmekle birlikte birim ağırlıklar azaldıkça basınç dayanımlarının da azaldıkları görülmüştür (Gönen, 2009).

Kendiliğinden yerleşen betonlar çok yüksek seviyedeki akışkanlıkları sayesinde kullanılacak olan yere işlenebilme özelliklerini kaybetmeden çok kolay bir şekilde yerleşebilme imkânı sağlayan betonlardır. KYB'ler yüksek derecede akışkan özelliklere sahip olmaları gerekmektedir. KYB'lerde terleme ve ayrışma olması istenmeyen durumlardır. KYB'lerde yüksek akıcılık süper akışkanlaştırıcılar yardımıyla sağlanabilmektedir. Tüm bunlar yapılırken betonun kararlılığının bozulmamasına özen gösterilmelidir. Bu durumun sağlanabilmesi için çeşitli yollar bulunmaktadır. Katılacak olan ince malzemelerin miktarlarının artırılması veya viskozite artırıcı maddeler kullanılarak yapılabilir. KYB'ler düşük s/ç oranlarına sahip olup yüksek dayanım değerlerine ve üstün kalıcılık özelliklerine sahip olan bir beton türüdür. Sahip olduğu özellikleri nedeniyle kendiliğinden yerleşen betonlar yüksek dayanımlı betonlar sınıfına girmektedirler. KYB'lerin iki temel özellikleri bulunmaktadır. Bu özelliklerinden bahsedilirse ilk olarak kendiliğinden yerleşen betonlar döküldükleri kalıpları doldurma yetenekleri ve ikinci olarak göstermiş oldukları yüksek ayrışma dirençleridir. Birinci özelliği olan bulundukları kalıpları doldurma yetenekleri süper akışkanlaştırıcıların yardımıyla sağlanabilmektedir. Yüksek ayrışma direnci özelliklerinin sağlanabilmesi ince malzemelerin miktarlarının fazla olması ve viskozite artırıcı yardımıyla sağlanabilmektedir. KYB'lerin kullanılmasının birçok avantajları bulunmaktadır. Bu avantajlarından biri uygulama esnasında vibrasyon işlemine gerek kalmamasıdır. KYB'nin kullanımı prefabrik yapıların üretimini kolaylaştıran bir avantajdır. Planda donatıların yoğun ve sık olduğu yerlerde kendiliğinden yerleşen betonun kolay bir şekilde akması ve

boşluk kalmayacak şekilde yerleşebilmesi büyük kolaylık ve avantaj sağlamaktadır. Betonun donatıyı sarması ve boşluk bırakmayacak şekilde yayılması dayanıklılığı arttırmaktadır. Bu özelliği sayesinde depremde zarar görmüş olan yapıların güçlendirilmesinde de kendiliğinden yerleşen betonların kullanılması inşaat sektöründe önemli bir yer tutmaktadır (Topçu ve ark., 2008).

KYB'ler düşük akış direncine sahip bir beton türüdür ve bu sayede titreşime gerek kalmadan kendi ağırlığıyla yerleştirilip sıkıştırılabilir. Buna rağmen kendiliğinden yerleşen betonlar, ayrışmayı önlemek için yeterli viskoziteyi korur (Tawfik ve ark., 2023).

Kendiliğinden yerleşen betonların (KYB), yapısında geleneksel betonlara kıyasla daha az oranlarda iri agrega bulunduğundan KYB'lerin tasarımlarının temelini harç oluşturmaktadır. KYB'de istenen dayanım, dayanıklılık ve işlenebilirlik özellikleri, sağlam bir beton üretimini kaçınılmaz hale getirmektedir. Bu özelliklerinin elde edilebilmesi için gerekli katkı maddelerinin (Silis dumanı, Uçucu kül, kireçtaşı tozu, yüksek fırın cürufu vb.) önemi ve gerekli miktardaki toz malzemenin bulunmasının, özellikle KYB' de işlenebilirlik ve kıvam açısından olmazsa olmaz olduğu yapılmış olan birçok çalışmada ortaya çıkmıştır (Karataş ve ark., 2013).



Şekil 2.1. Kendiliğinden yerleşen beton örneği (URL-2, 2025).

Gelişen malzeme ve üretim teknolojileri ve ortaya çıkan yoğun donatılı yapı elemanları nedeniyle Kendiliğinden Yerleşen Betonların yapı sektöründe kullanımı her geçen gün artmaktadır (Özel ve Kapkan, 2017).

Kendiliğinden yerleşen harçlar yüksek akışkanlığa sahip olduğundan titreşim yaratmadan kalıplardan geçip donatıya katılabilir. Bu özellik, yoğun donatıya sahip sismik bölgeler gibi zorlu yapı koşullarında betonun kolaylıkla yerleştirilmesini mümkün kılar. Kendiliğinden yerleşen harçların mukavemet özelliklerini arttırmak ve daha çevre dostu hale getirmek için mineral katkı maddeleri olan silis dumanı, öğütülmüş yüksek fırın cürufu, kireç taşı tozu ve uçucu kül gibi atık malzemeleri kullanılmaktadırlar (Tawfik ve ark., 2023).

Beton dayanım özelliği, işlenebilirliğinin yüksek oluşu ve uygulama alanının fazla oluşuyla birlikte yapı endüstrisi için önem arz etmektedir. Kullanılmaya başlandığından beri kendi ağırlığı yardımıyla sıkışabilen, uygulanacak olan dar kesitli donatının çok olduğu bölümlere rahatlıkla yerleşebilen ve bu sayede daha az enerji tüketimi ve daha ekonomik oluşunun yanı sıra daha az gürültüyle uygulanabilen KYB bu ihtiyaçları büyük ölçüde sağlamaktadır (Öz, 2017).

KYB'ler tasarlanırken düşük miktarlarda su/bağlayıcı oranı sağlanarak tasarlanırken içeriğinde yüksek miktarlarda çimento bulundurması sebebiyle kritik bir dezavantaj oluşturmaktadır. Küresel çapta CO₂ yayılımının %5-8 oranlarının çimento imalatı sırasında dağılan CO₂ den kaynaklanmaktadır (Öz, 2017).

Birleşik Devletlerde, 2007'de ortalama 800 milyon ton beton imal edilirken ve dünyada ise bu sayının tahminen 11 milyar ton civarında olduğu düşünüldüğünde, çimento üretimini düşürecek birtakım hazırlıkların yapılması gerektiği açık bir şekilde görülmektedir (Öz, 2017).

KYB imalatı sırasında endüstriyel ürünler ya da depolama konusunda sorun teşkil etmekte olan atık maddelerin kullanılabilmesi, atık maddelerin saklanması bir sorun olmaktan çıkarırken, çimentoya olan ihtiyacı düşürerek sürdürülebilir çevreye ulaşmamızı sağlayabilir. Bu sebeple, KYB' de silis dumanı, uçucu kül ve doğal puzolanlar gibi başlıca mineral katkı maddeleri yardımıyla KYB' nin işlenebilirliği, dayanım ve dayanıklılık özellikleri en çok araştırılan konular olmuştur (Öz, 2017).

İnce öğütülmüş bazı atıkların veya yan ürünlerin betonda kullanımı giderek daha fazla etkili hale gelmiştir, çünkü bunların kullanımı özellikle malzemenin mekanik özellikleri veya dayanıklılığı açısından daha iyi sonuçlar verebilir ve başarılı olabilir. İlaveli portland çimentosu imal edebilmek için kullanılmakta olan uçucu kül öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu gibi çeşitli atık türlerinden bahsedilebilir. Çimentodan daha büyük boyutlarda olan diğer atık veya yan ürünler harç veya betonda agrega olarak

değerlendirilebilir. Tüm bunlara örnek vermek gerekirse plastik atıklar, cam atıklar, kırılmış tuğla veya inşaat yıkım atıkları örnek olarak verilebilir. Son zamanlarda, plastik atıkların harçta ince agrega olarak kullanımı Safi ve arkadaşları tarafından rapor edilmiştir (Safi vd., 2015).

2.1. Deney Yöntemleri

Kendiliğinden yerleşen betonların performanslarını incelemek için geliştirilmiş deneyler bulunmaktadır. KYB için incelenmesi gereken durumlar taze betonun akışkanlığını, ayrışmasını, kalıbı doldurmasını ve sıkışmasını kontrol etmek amacıyla yapılmaktadır. Taze betonların kullanım özelliklerinin tespit aşamasında, klasik deney yöntemleri yetersiz kalmaktadır. Bu test metodlarına göre kabul edilebilir sınır değerler Tablo 2.1’de verilmiştir (Topçu, vd., 2008).

Tablo 2.1. KYB deney yöntemleri ve sınır değerleri (Topçu, vd., 2008).

Deney Yöntemi	Ölçülecek Özellik	Birim	Sınır Değer	
			En Küçük	En Büyük
Yayılma tablasında yayılma	Yayılma yeteneği	mm	650	800
Yayılma tablasında ilk 50 cm yayılma için geçen süre	Yayılma yeteneği	sn	2	5
V- hunisi	Geçiş süresi yeteneği	sn	6	12
U- kutusu yükselme miktarı ölçümü (H)	Geçme yeteneği	mm	30	-
Doldurma kutusu	Geçme yeteneği	%	90	100

2.1.1. Çökme-yayılma (slump-flow) deneyi

Bu deneyde KYB’ nin şekil değişikliği süresinin incelenebilmesini ve karışımın kendi ağırlığı ile yayılmasıyla oluşturacağı genişliğin bulunmasını göstermektedir. Test sırasında çökme hunisi ve 80 x 80 cm ölçülerinde olan bir tabla kullanılmaktadır. Bu yöntem betonun kabı doldurma özelliklerinin tespitinde en çok kullanılan yöntemdir. Yayılma tablasına koyulan Abrams Konisi içerisine, betona herhangi bir müdahale yapılmadan doldurulduktan sonra, Abrams Konisi yavaşça her hangi bir müdahale olmadan çekilerek betonun sarsılmadan kendiliğinden yayılması beklenir. Yayılma çapları betonun iki kenarından ölçülerek bulunur. Betonun KYB olarak kabul edilebilmesi için

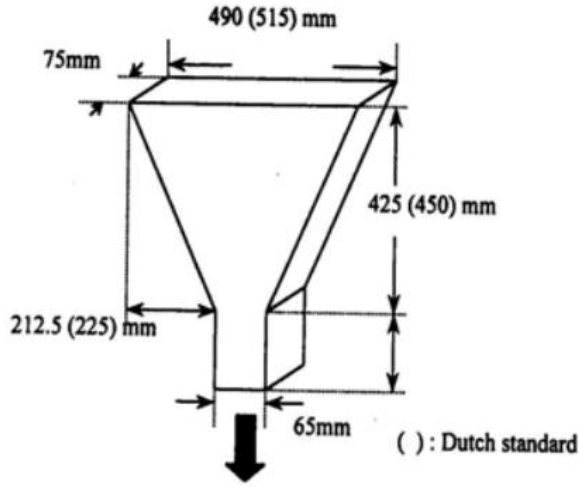
Abrams Konisiyle yapılan test sonucunda tespit edilen değerlerin yayılmasının 550 ile 850 mm arasında olması gerekmektedir Şekil 2.2’de görölmektedir (Topçu, vd., 2008).



Şekil 2.2. KYB yayılma deneyi düzeneği ve yapıma yöntemi (URL-3, 2025).

2.1.2. V hunisi deneyi

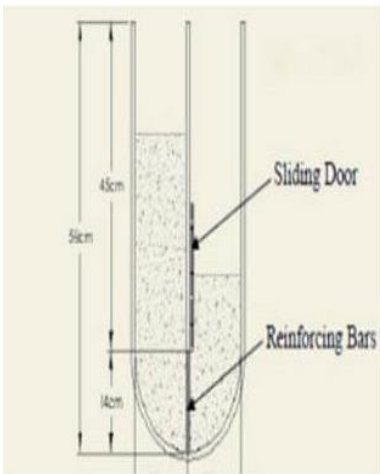
V hunisi deneyi beton numunenin ağırlığı ile huninin dar olan ağzından geçerken harcanan zamanın bulunması ile ilgilidir. Betonun boş kısımlardan geçebilme özelliğini tespit etmek için yapılan testtir. Deney, KYB’ nin viskozitesi değeri geçiş kabiliyeti hakkında bize bilgi vermektedir. Şekil 2.3’de verilmiş olan huni yardımıyla yapılmaktadır. Huni içerisine beton, hiçbir baskı, müdahale ve vibrasyon işlemi kullanılmadan boşaltıldıktan sonra, huninin altında bulunan kapak açılır ve huninin içinde bulunan betonun altta bulunan kovayı doldurması için geçen zaman not edilir. Betonun akış hızı ne derece fazla olursa, betonun ayrışma riski de o derece yüksek olur (Topçu, vd., 2008).



Şekil 2.3. V huni akış deneyi şeması (Sağlam, vd., 2004).

2.1.3. U kutusu deneyi

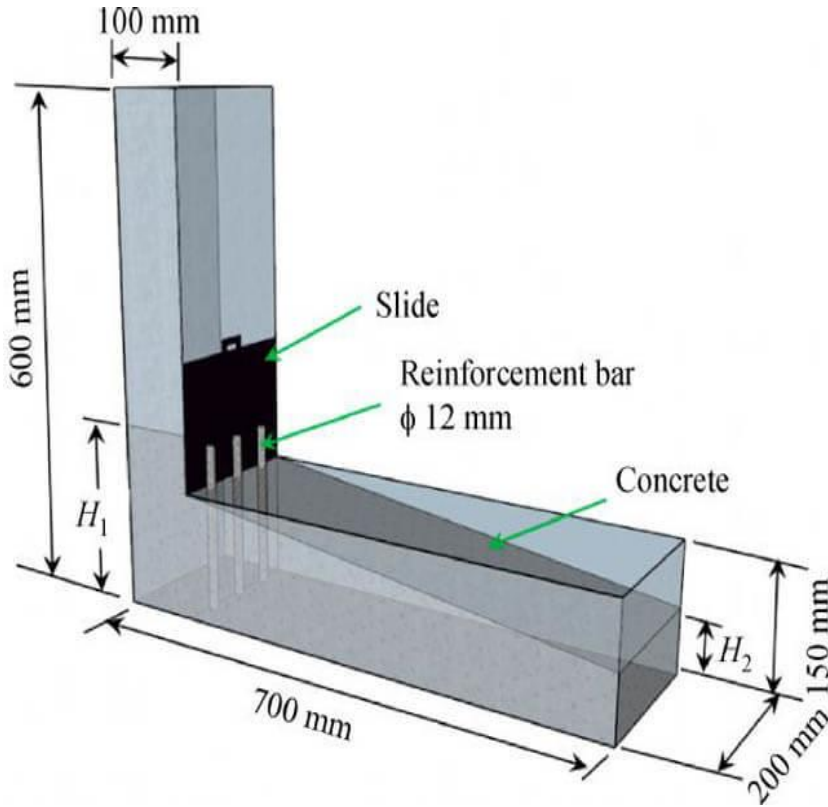
U kutusu deneyi taze betonun kendi ağırlığı altında donatı çubukları arasından geçebilme kabiliyetini ölçebilmek için kullanılan bir testtir. Betonun U kutusunun bir gözüne yerleştirilmesinin ardından bölmeler arasındaki kapak açılır ve beton herhangi bir baskı olmadan kendi ağırlığıyla donatı çubukları arasından diğer göze geçer. Akışı tamamlanan betonun her iki gözdeki yükseklikleri ölçülür ve arasındaki fark hesaplanır. Şekil 2.4’de deney aparatı görülmektedir (URL-4, 2025).



Şekil 2.4. U Kutusu test aparatı (URL-5, 2025).

2.1.4. L kutusu deneyi

L kutusu deneyi aleti kare kesitli kutu şeklinde bir bölümü ve yatay bir platformdan oluşmaktadır. Kutunun alt tarafındaki açıklıkta 12 mm çaplı 34 mm aralıklı 3 adet çelik çubuk vardır. Başta açıklık bir kapak ile kapatılmıştır. Beton kutuya doldurulduktan sonra kapak yukarıya çekilerek betonun donatılar arasından geçip platform üzerine akar. 200 mm ve 400 mm uzaklıklara ulaşma süreleri ölçülür. Betonun kutu içinde en uçtaki bölümünün yüksekliği ölçülür. Betonun doldurma yeteneği ve ayrışma direnci performanslarının belirlenmesinde kullanılır Şekil 2.5’de deney aparatı görülmektedir (Sağlam ve ark., 2004).



Şekil 2.5. L Kutusu test aparatı ve detayı (URL-6, 2025).

3. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇLARLA İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Cemalgil, vd., (2021), yaptıkları çalışmada atık tekstil boyası emdirmiş oldukları badem kabuğunun kendiliğinden yerleşen harcın özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlar. %0, %2.5, %5.0, %7.5, %10.0, %12.5, %15.0 ve %17.5 oranlarında Menekşe Boya Çözeltisi emdirilmiş Badem kabuğu (VDSA) ikame ederek sekiz farklı harç karışımları tasarlamışlar. Harçların özelliklerini belirlemek için mini çökme ve V-Funnel testlerini yapmışlar. Üretmiş oldukları 72 kırıntı numunesini 7, 28 ve 56 gün boyunca kür etmişler. Taramalı Elektron Mikroskopları (SEM), X-ışını Kırınım Analizi (XRD), Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi (EDS) ve Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) analizlerini de gerçekleştirmişler. Sonuç olarak VDSA içeriği arttıkça, ilk gün ve 28 günlük yaştaki eğilme mukavemetinde bir artış olduğunu gözlemlemişler. Buna karşın, VDSA içeriğinin artırılması, %5'in üzerinde basınç dayanımında önemli bir düşüşe neden olduğunu belirlemişler (Cemalgil, vd., 2021).

Cemalgil, (2020), yapmış olduğu çalışmada barit tozu ile üretilmiş KYH'lerin özelliklerini araştırmıştır. Barit tozunu, beyaz çimento ile ikame etmiş. Belirli oranlarda ikame ettiği barit tozuyla toplamda 5 farklı karışım numunesi hazırlayarak s/b oranını 0.49 olarak sabit tutmuştur. Karışımlara mini V-hunisi, akış zamanı ve mini çökme/yayılma testleri yapmıştır. Sertleşmiş prizma numuneler üzerinde 7, 28 ve 56 günde eğilme ve basınç testleri yapmıştır. Kendiliğinden yerleşme özelliği barit tozu miktarının artmasıyla düşüş yaşadığını görmüş ama yine de elde etmiş olduğu sonuçlar, EFNARC standardının belirlemiş olduğu aralıklarda kalmıştır. En iyi dayanım sonuçlarının, içeriğinde %10 barit tozu bulunan karışımdan elde edildiğini gözlemlemişler (Cemalgil, 2020).

Cemalgil, vd., (2021), yaptıkları diğer bir çalışmada ponza tozu ve yapay hafif ince agrega (YHİA) ile üretilen kendiliğinden yerleşen harçların özelliklerini görmek için yapmışlar. Doğal kumları, %5, %10 ve %15 oranlarında YHİA ve ponza tozu ile değiştirip, s/b oranı 0.37 olan 16 farklı karışım üretmişler. EFNARC standartına uygun olarak yayılma deneyi yapmışlar. Taze harç özelliklerinin standartlara uygunluğunu görmek için mini çökme ve mini V hunisi testleri yapmışlar. Sertleşmiş numunelerde, dayanıklılık, emicilik ve yoğunluk deneyleri 28 günlük kürden sonra yapmışlar. Ponza tozunun harcın taze ve sertleşmiş özelliklerini iyileştirdiğini görmüşler ve optimum karışım oranını 15 olarak belirlemişler. Kullandıkları YHİA karışımlarında, modifiye ettikleri

numunelerin mekanik ve dayanıklılık özelliklerini kontrol karışımına yakın bulmuşlar. Sonuç olarak pomza tozu ikameli karışımların harçlardaki YHİA'nın olumsuz etkilerini ortadan kaldırdığını gözlemlemişler (Cemalgil, vd., 2021).

Karataş ve Benli 2019 yılında yapmış oldukları bir çalışmada KYH 'lar üretilirken karışımlardaki PÇ azaltılarak yerlerine belirli oranlarda SD ve UK gibi puzolanik katkı maddeleri ilave edilip ilaveli karışım numuneleri ve kontrol numunesi dahil olmak üzere 6 farklı karışım hazırlamışlar. Toplam bağlayıcı oranı 630 kg/m^3 olarak sabit tutularak hazırlanan karışımlara yapılan testler ve deneylerle karışımların taze ve sertleşmiş durumlardaki özellikleri incelemişler. UK ve SD ilave edilmiş karışım numunelerinin taze beton performanslarını belirlemek amacıyla yayılma çapı ve V-huni akış hızı testleri yapılırken KYH'lerden üretilen karışımların sertleşmiş beton özelliklerini görmek için basınç ve çekme dayanımlarına, durabilite performanslarını incelemek için su emme, porozite ve yoğunluk sonuçları bulmuşlar. Testler sonucunda mineral katkıların kullanımı dayanımları pozitif etkilerken silis dumanının fazla olması basınç dayanımının da artmasına neden olmuştur (Karataş ve Benli, 2019).

Kızılkıran ve Yüzerin 2008 yılında yapmış oldukları bir çalışmada PÇ yerine sabit bir oranda silis dumanı, uçucu kül, cüruf gibi katkı maddeleri ve silis ve kalker esaslı agregalar katarak üretmiş oldukları harçlara 100, 200, 300, 600, 900 ve 1200 °C gibi yüksek sıcaklık etkisine bırakmışlar. Yüksek sıcaklık testi biten numunelere iki farklı tür soğutma adımı uygulamışlar. Gerekli testler yapıldıktan sonra, yüksek sıcaklığa maruz kalmış olan harçların basınç dayanımında oluşan değişim ile renk değiştirmelerinin benzerlik gösterdiğini belirlemişler. Tüm mineral katkılı karışımların yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımlarında iyi sonuçlar verdiğini tespit etmişler (Kızılkıran ve Yüzer, 2008).

Turğut ve arkadaşlarının, 2019 yılında yapmış oldukları bir çalışmada içeriğinde portland çimentosu, silis dumanı ve uçucu kül bulunduran harç karışımlarında ve beraber bulundukları karışımlarda basınçlı su geçirgenliğini incelemişler. Karışımların su işleme derinliklerini tespit etmişler. Portland çimentosu ve %10 silis dumanı içeren ikili numunede, Portland çimentosu, %10 silis dumanı ve %35 uçucu kül içeren üçlü numunede basınçlı su geçirgenliği değerlerinin azaldığını tespit etmişler (Turğut vd., 2019).

Benli vd., (2017), yapmış oldukları bir çalışmada KYH 'ler de çimento azaltılıp belirli oranlarda UK ve SD eklenerek UK ve SD katkılı karışımlar imal etmişler. (S/b) oranı 0.37 ila 0.48 arasında kalması sağlanırken karışımlardaki toplam bağlayıcı miktarı

630 kg/m³ olan toplam 7 karışım yapmışlar. Hazırlamış oldukları KYH karışımlarının taze ve sertleşmiş performanslarını incelemişler. Harçların taze durumlarındaki performanslarını incelemek için mini yayılma çapı, viskozite ve V-huni akış süresi deneylerini yaparken, sertleşmiş beton performanslarını incelemek için 7, 28 ve 180 gün boyunca kür ettikleri numuneler üzerinde basınç ve çekme dayanımları testleri yapmışlar. Durabilite performanslarını görmek için 28 gün suda kür edilmiş olan küp numunelerin porozite ve görünür yoğunluk sonuçlarını bulmuşlar. UK içeren karışımlarının basınç dayanımının UK miktarı fazlalaştıkça düştüğünü belirlemişler. %10 ikameli UK'den imal edilmiş karışımlar 180 günlük kür sonunda en iyi çekme mukavemetine sahip olduğu belirlenmiştir (Benli vd., 2017).

Rizwan vd., (2012), yapmış oldukları bir çalışmada birçok araştırmacı kendiliğinden yerleşen beton sistemlerinde kireçtaşı tozu veya uçucu kül kullanmıştır. Ancak mevcut çalışma, kendiliğinden yerleşen harç sistemlerinde bu ikincil hammaddelerden herhangi birinin kullanılmasının optimize edilmiş bir tepki üretmediğini göstermektedir. Kendiliğinden yerleşen harç sistemlerinin akış, mukavemet, mikro yapı, su emilimi ve erken hacim kararlılığı gibi parametreleri incelemişler. Sonuçta, kireçtaşı tozu ve uçucu külün harmanlanmış ikincil hammadde olarak kullandıkları kendiliğinden yerleşen harçların, her ikisini de kullanılan harçlara kıyasla genel olarak daha iyi bir tepkiye sahip olduğunu gözlemlemişler (Rizwan vd., 2012).

Türk, (2012), yapmış olduğu çalışmasında karışımlardaki bağlayıcı oranı 640 kg/m³ ve su/bağlayıcı miktarı 0,41 ile 0,50 arasında olan toplam 25 harç karışımı tasarlamıştır. Kontrol karışımı bağlayıcı olarak sadece Portland çimentosu içerirken, diğer karışımlar PÇ, uçucu kül ve silis dumanı içermektedir. Harçların taze özellikleri çökme akışı, V-huni akış süresi ve viskozite açısından test etmiştir. Üçlü karışımlar genellikle viskozite açısından ilgili ikili karışımlara üstünlük sağlamıştır. Kontrol harcının basınç dayanımı, ikili uçucu kül karışımlarından ve tüm üçlü harçlardan daha iyi performans gösterdiğini belirlemiş. PÇ, SD ve UK'nın üçlü kullanımı, ikili UK karışımlarına sahip KYH'lerin eksikliklerini iyileştirmiştir. Ayrıca, SD ve UK'nın artması, ikili ve üçlü karışımlara sahip harçların 28 günlük dinamik elastisite modülünde azalmaya neden olduğu belirlenmiştir (Türk, 2012).

Mohseni vd., (2015), yapmış oldukları bir çalışmalarında bağlayıcının ağırlıkça %1, %3 ve %5'i miktarlarında üç farklı nanopartikül olması ve tüm karışımlar için çimento ağırlığının %25'i kadar sabit bir uçucu kül miktarı elde etmişler. Uçucu kül içeren KYH numunelerinin dayanıklılık performanslarını incelemek için su emme ve hızlı klorür

geçirgenlik testleri yapmışlar. Basınç dayanımı 3, 7, 28 ve 90 günde elde etmişler. Taze hal performanslarını görmek amacıyla V-huni akış süresi ve çökme akış çapı testleri de yapmışlar. Sonuçta, bağlayıcının %1, %3 ve %5'inin kendi başlarına kullanıldığında nano, Al_2O_3 , nano- SiO_2 ve nano Al_2O_3 nanopartikülleri için sırasıyla en iyi basınç dayanımını sağladığını tespit etmişler (Mohseni vd., 2015).

Benabed vd., (2012), yapmış oldukları çalışmalarında çeşitli kum türleriyle yapılmış kendiliğinden yerleşen harçların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine yapılan deneysel bir çalışmanın sonuçlarını sunmaktadırlar. Ezilmiş kum, nehir kumu, sahil kumu ve farklı kumların karışımlarından oluşmaktaydı. Fiziksel özelliklerini incelemek için çökme akışı, V hunisi akış süresi ve viskozite ölçüm testlerini kullanmışlar. Sonuçta, fiziksel özelliklerin ve mukavemetin ezilmiş kum ve nehir kumu karışımlarıyla iyileştiğini, ancak özellikle daha yüksek sahil kumu içeriği olan karışımlarda ise azaldığını görmüşler. Kireçtaşı ince tanecikleri (%10-15) içeren ezilmiş kum, iyi reolojik ve mukavemet özelliklerine sahip kendiliğinden yerleşen harç üretiminde başarıyla kullanılabileceğini ancak ikili ve üçlü kum karışımları içeren harçlarda sahil kumu oranının artmasıyla (%50' ye kadar) basınç dayanımlarında azalma gözlemlemişler (Benabed ve ark. 2012).

Şahmaran vd., (2006), yapmış oldukları çalışmalarında kendiliğinden yerleşen harçların üretiminde çeşitli mineral katkıların ve kimyasal katkıların performansını değerlendirmektedirler. Çalışmada, farklı mineral katkı maddeleri, farklı süper akışkanlaştırıcılar ve farklı viskozite değiştirici katkı maddeleri kullanarak su ve toz miktarları sabit olacak şekilde 43 farklı KYH numunesi yapmışlar. Taze harçların performanslarını görmek için V hunisi ve çökme akış deneyleri yapmışlar. Uçucu kül ve kireçtaşı tozu bulunan harçlarda işlenebilirlik artış gösterdiği belirlenirken uçucu kül bulunan harçların priz süreleri arttığı, ancak bu sorun uçucu kül ile kireçtaşı tozunun karıştırılarak hazırlanan karışımla çözülebildiği belirlenmiştir. İki polikarboksil içerikli akışkanlaştırıcı aynı performansı gösterirken melamin içerikli akışkanlaştırıcı etkisiz kaldığını belirlemişler (Şahmaran ve arkadaşları, 2006).

Liu ve Poon, (2016), yapmış oldukları çalışmalarında kırmızı çamuru kendiliğinden yerleşen harçların üretiminde çeşitli oranlarda uçucu külün yerine kullanmışlar. Uçucu külün yerine kırmızı çamur kullanıldıkça akışkanlığın azaldığını görmüşler. Kırmızı çamur içeriğindeki bir artış aynı zamanda sertleşmiş yoğunlukta hafif bir düşüş, su emiliminde ve geçirgen boşluklarda bir artış getirdiği görülmüştür. Mekanik

özellikler söz konusu olduğunda, kırmızı çamur basınç ve eğilme dayanımının artırılmasında etkili olduğu; %50 ikame oranında kırmızı çamur ile hazırladıkları kendiliğinden yerleşen harç karışım numunelerinin basınç ve eğilme dayanımı diğer numunelerden daha yüksek bulmuşlar. Uçucu kül yerine kırmızı çamur kullandıkları tüm kuruma büzülmesi değerleri artmıştır (Liu ve Poon, 2016).

Safi vd., (2015), yapmış oldukları çalışmalarında farklı oranlarda ezilmiş kabukları kullanarak KYH'lerin performanslarını incelemişler. Ezilmiş deniz kabuklarının (0/5 mm sınıfı), harcın temel özelliklerini etkilemeden, kendiliğinden yerleşen harç için ince agrega olarak kullanılabileceğini gözlemlemişler. Bununla birlikte, %100 deniz kabuğu bazlı harçların akışkanlığı daha iyi ve akışkan bir beton için uygun olduğunu ayrıca, kumun %100'e kadar kırılmış deniz kabukları ile ikame edilmesi, çalışılan harçların basınç dayanımında ve elastik modülünde hafif bir azalmaya neden olduğu görülmüştür. Ara yüzey bölgesinin optik mikroskopla yapılan makroyapısal çalışmaları, deniz kabuğu ile çimento hamuru arasında iyi bir yapışma olduğunu ve deniz kabuklarının köşeli formunun çimentolu matris içindeki dağılımını önemli ölçüde iyileştirdiğini görmüşler ve geri dönüştürülmüş cam beton karışımlarının çökme akışının ve hava içeriğini arttırdığını tespit etmişlerdir (Safi ve ark. 2015).

Madduru vd., (2016), yapmış oldukları çalışmalarında Polietilen Glikol'u kendiliğinden yerleşen harçların performansını artırmak için kullanmışlar. Bu kimyasallar, harçları dahili olarak sertleştirerek gelişmiş hidrasyon ve C-S-H jel oluşumuna yol açar. Islak kürleme, kendi kendine kürleme ve kürleme yok olmak üzere üç kürleme koşulu göz önünde bulundurularak bir karşılaştırma yapmışlar. Spesifikasyonlara göre gerekli akış özelliklerini doğrulamak için mini çökme akışı ve V hunisi testleri yapmışlar. KYH numuneleri üzerinde su tutma, basınç dayanımı ve asit dayanıklılık testleri yapmışlar. Çalışmada, kendiliğinden sertleşen harçlarda kendiliğinden sertleşen maddelerin optimum dozlarda kullanılmasının, kendiliğinden yerleşen harçlara daha iyi mukavemet ve dayanıklılık performansı elde etmede yardımcı olduğu sonucuna varmışlar (Madduru ve arkadaşları, 2016).

Hammat vd., (2021), yapmış oldukları çalışmalarında mineral katkıları, harcın taze ve sertleşmiş haldeki performansını artırmak için kendiliğinden yerleşen harçta kullanmışlar. Üç farklı boyutlardaki doğal puzolan çimento ikamesi olarak kullanmışlar. Çimento içeriği, su-bağlayıcı oranı ve süperakışkanlaştırıcı içeriği, kendiliğinden yerleşen tüm beton karışımları için sabit tutmuşlar. Çökme akışı ve V-huni akış testleri

gerçekleştirmişler. Kendiliğinden yerleşen harçların basınç dayanımları kürlenme sonrası 1, 7, 28, 56, 90 ve 180 günlük olarak belirlemişler. Karışımlar 90 günlük su küründen sonra kendiliğinden yerleşen harcın kapiler su emmesi de araştırmışlar. Doğal puzolanın ikame seviyesindeki artışın, kendiliğinden yerleşen harcın reolojik özelliklerini olumsuz yönde etkilediğini görmüşler. Doğal puzolanın inceliğinin artması, daha sonraki yaşlarda basınç dayanımını arttırdığını, ancak kontrol harcı ile karşılaştırıldığında toplam büzülmeyi arttırdığını belirlemişler. Doğal puzolan yüzdesinin artmasının su emiliminde bir artış oluşturduğu görmüşler. Bununla birlikte, doğal puzolanın inceliğini artırmak, harcın su emmesinin biraz daha düşük olmasına neden olduğunu görmüşler (Hammat, vd., 2021).

Cemalgil, (2022), çalışmasında atık lastik agreganın (ALA) kendiliğinden yerleşen beton'un mekanik ve dayanıklılık özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. KYB üretiminde ince agregaya yerine belirli miktarlarda ALA'lar ikame etmiştir. Ayrıca, %20 ve %30 uçucu kül içeren karışımlar hazırlamış ve kontrol betonu ile karşılaştırmıştır. KYB'lerin performanslarını görmek için çökme akış, V-huni ve L-kutu testlerini yapmıştır. Sertleşmiş numuneler üzerinde basınç, eğilme dayanımı, yarma dayanımı, diyagonal yarma dayanımı, aşınma direnci testlerini yapmıştır. Testler sonunda, ALA'nın taze ve sertleştirilmiş KYB'nin performansını pozitif yönde etkilediğini görmüştür. Beton karışımlarında ALA ikame miktarındaki artış, KYB'nin sertleşmiş durumdaki dayanımını düşürmüştür. Toplam ince agregaya hacminin %15'ine kadar ALA eklenmesi, geri dönüştürülmüş ALA'nın KYB'ye uygulanmasının ve hem taze hem de sertleşmiş beton performanslarını başarılı bir şekilde karşılanmasının mümkün olduğunu göstermektedir (Cemalgil, 2022).

4. AĞIR HARÇLAR

Ağır harçlar özgül ağırlıkları 3'ten fazla, birim ağırlıkları 2600 kg/m^3 'den fazla olan bir özel beton çeşididir. İmalatında kaba agregalar kullanıldığında dolayı normal agregaların kullanımıyla üretilmiş olan betonlara kıyasla daha ağır olmakla birlikte çok daha masraflıdır. Ağır betonların imalatında kullanılan agregalarda özel agregalardır. Ağır betonların üretimi sırasında sıklıkla doğal agregalar kullanılmaktadır. Doğal agregaların kullanılmadığı imalatlarda sanayi atıkları ve yapay agregalarda kullanılabilmektedir (Lai, vd., 2022).

Ağır betonlarda özel bir beton türü olarak üretilmekte olan bir beton türüdür ve bu betonların birim hacim ağırlıkları geleneksel betona göre çok daha yükseklerde olan betonları tanımlamaktadırlar. Ağır betonların üretim aşamalarında gerekli olan agregalarda ağır agregalardır. Teknolojinin hızlı ilerlemesi ile birlikte ve artış göstermekte olan insan nüfusu ile beraber insanlık, radyoaktif olan ışınlara ve bu ışınların oluşturduğu dalgalara daha fazla miktarda maruz kalmaktadırlar. Yapılacak olan gelişmiş yapı malzemeleri ile bu etkilerden korunmak mümkün kılınabilir. Ağır betonların böyle zararlı olan ışınlara karşı oluşturmuş oldukları koruyucu zırh etkisiyle beraber canlıları korur. Günümüzde birçok hastane yapılarında ve askeri yapılarda kullanılmakta olan ağır betonların üretimleri kolaylık ve kesin çözüm yolları sunan birer yöntemlerdir. Özellikle radyoaktif çalışmaların bir hayli artış gösterdiği şu dönemlerde, ağır betonların yüksek olan birim ağırlıkları nedeniyle oluşabilecek olası patlamalar, ışık yayınımları, ayrıyeten yüksek derecedeki sıcaklıklar ve ses etkilerinden yüksek derecede korunmalar sağlar (Topçu, vd., 2023).

Günümüzün en önemli sorunlarından biri radyasyon ve radyoaktivitedir. Teknolojinin gelişimiyle radyasyon sağlık sektöründe, temel bilimlerde, endüstri sektöründe, askeri hizmetlerde ve tarımda çok sıklıkla kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Radyasyonun yaymış olduğu dalgalar kanserojen yapıda olmakta ve insan bedeninde sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Radyoaktif yapıların oluşturacağı tehlikelerden korunmak amacıyla ağır betonlar bulunmuştur. Ağır betonların faydalı özellikleri nedeniyle birçok kullanım yeri vardır, röntgen odaları, nükleer reaktörler, savunma sanayinde, su altı petrol gaz boru hatlarında, hastanelerde radyasyonun yoğun olduğu yerlerde, köprü ayakları, barajların gövde kısımlarında gibi yapılarda devrilmeye karşı momenti artırmak sebebiyle tasarlanabilir (Topçu, vd., 2023).

Özen çeşitli agregalar kullanarak imal etmiş olduğu betonlar üzerine bir çalışma yapmıştır. Radyoaktif dalgaları engellemek amacıyla zırh beton imalatı için kullanılmakta olan ağır betonların imalatı için ağır agregaların tercih edilmesi gerektiğini söylemiştir (Özen, vd., 2020).

Ünal zararlı ışınların fazla olduğu bölümlerde ağır betonların kullanımıyla betonlar daha dayanıklı hale gelebilir (Ünal, vd., 2014).

Zararlı ışınlara karşı kullanılan betonlarda çimento, agrega ve s/ç miktarı mühimdir. Manyetit içeren karışımın γ zararlı ışınlarına karşı daha etkili olduğu belirlenmiştir. Agrega çapının büyüdüğü s/ç oranının düştüğü durumda radyasyon yayılımının zayıfladığı betonun koruma özelliğinin yükseldiği görülmektedir. Karışımlara yüksek sıcaklık performansı kazandırılmak için manyetit ve silis kumları ilave edilmiş manyetit içerikli karışım zararlı ışınlara karşı korumada daha iyi bir performans göstermiştir (Omran ve ark., 2020).

Betonda imalat aşamasında ağır agregaların kullanımı betonların birçok özelliğini pozitif yönde etkilemektedir. Ağır betonların kullanılarak yapılan tasarımlar geleneksel betonla yapılan tasarımlardan daha etkili olmaktadır. Radyoaktif ışınların fazla olduğu yerlerde radyasyona karşı koruma ve daha iyi dayanım özellikleri sayesinde ağır betonların tasarımı tercih edilebilir. Ağır betonların daha az malzemeye geleneksel betonlara göre daha iyi radyasyon koruması sağlaması ekonomik açıdan tercih edilebilmektedir (Gümüş, vd., 2020).

Beton nükleer radyasyondan korunmada kullanılan en iyi ortamlardan biri olarak kabul edilir. Nükleer radyasyonun zayıflatılmasında etkinliği kanıtlanmıştır. Nükleer radyasyondan korunmak için kullanılan en iyi beton türleri sırasıyla Ağır Beton (HWC) ve gama ışınları ve nötron zayıflaması için yüksek oranda hidratlanmış betondur. Nükleer santrallerde, nükleer barınaklarda, radyoterapi-mega voltaj odalarında, radyoaktif kaynakların taşınmasında ve radyoaktif atıkların depolanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Abdelgawad ve ark., 2023).

4.1. Ağır Beton Agregaları

Betonların imalatında maliyeti azaltmak ve dayanımları yükseltmek amacıyla karışımlarda yüksek miktarlarda agregalar tercih edilmektedir. Ağır beton üretimlerinde tercih edilen agregalar limonit, barit, hematit, manyetit, ilmenit, geotit gibi doğal agregalardır. Yapay agrega olarak ise kurşun parçacıkları, demir saçmaları, ferrofosfor ve ferrosilikon gibi agregalar kullanılabilmektedir. Ağır betonların üretimlerinde genellikle birim ağırlığını 3600 kg/m^3 'e kadar çıkarılabilen barit kullanılmaktadır (Kaya, 2019).

4.1.1. Barit agregası özellikleri

Ağır betonların üretimlerinde sıklıkla tercih edilmekte olan baritin özgül ağırlığı $4.2-4.6 \text{ kg/dm}^3$ 'tür. Barit suda erime göstermez. Barit yüksek saflık derecesi sayesinde kırmataş olarak tercih edilebilir. Baritin içeriğinde baryum mineralleri çoğunluktadır. Barit içerisinde bulunan farklı maddelerden dolayı çeşitli renklere sahip olabilmektedir. Baritin yapısında %94'ü saf BaSO_4 bulunmakta olup, ayrıca baritin yapısında demir oksit, silis ve pirit gibi mineralleri de bulundurmaktadır. Ağır betonların imalatında kullanılan baritin bünyesinde %3 ila %5 oranında silis minerali içeren kayaçlar tercih edilmektedirler (Yılmaz, 2009). Şekil 4.1'de Barit agregaları görülmektedir.



Şekil 4.1. Barit agregası örneği (Ünal ve ark., 2014).

Baritle beton imalatı sırasında baritin basitçe ufalanabilmesinden dolayı beton imalatı sırasında karıştırma aşamalarında dikkatli olunmalıdır. Barit cevherinin doğadaki hali Şekil 4.2’de verilmiştir. Barit kayaçlarının Türkiye’de rahatlıkla bulunabilir olmasından dolayı ağır betonların üretimlerinde çok fazla kullanılmaktadır (Topçu, vd., 2023).



Şekil 4.2. Barit cevheri (Topçuoğlu, 2021).

4.1.2. Limonit agregası özellikleri

Limonit genellikle sarı renkte olmasının yanında daha birçok renk çeşidine sahip olan ve gevrek bir mineral yapıda olan birçok faydalı özelliklerinden dolayı ağır beton imalatı sırasında da sıklıkla tercih edilebilmektedir. Sertliği 5 ila 5.5 değerleri arasında olup yoğunluğu ise 3.8 ile 4.3 gr/cm³ ‘dür. İşlenmemiş limonitin yapısında %60 demir ve %14 su bulunmaktadır. Limonit agregasının kalitesi manyetit ve hematit’ten daha düşüktür. En çok bulunabildiği bölgeler ise Fransa, Küba ve Kanada’dır (Topçuoğlu, 2021). Şekil 4.3’de limonit agregası örneği görülmektedir.



Şekil 4.3. Limonit agregası örneği (URL-7, 2025).

4.1.3. İlmenit agregası özellikleri

İlmenit cevheri $\text{Fe}^{+2}\text{TiO}_3$ formülüne sahip bir cevherdir. Aksesuar olarak kullanılabilmekte olup genellikle magmatik kayalarda bulunurken, biçimce taneseli bir kristal yapıya sahiptir. Sertlik değeri 5 ile 6 arasında olup özgül ağırlığı ise yaklaşık olarak 4.72'dir. İlmenit görünüş olarak siyah ve kahverengimsi bir renktedir. İlmenit cevherini hematitten ayıran damarlarının renkleridir. İlmenit kuvarslarda ve bazı gnaylarda hematit ile beraber olarak bulunmuştur (Topçuoğlu, 2021). Şekil 4.4'de ilmenit agregası örneği görülmektedir.



Şekil 4.4. İlmenit agregası (URL-8, 2025).

4.1.4. Manyetit agregası özellikleri

Manyetitin formülü Fe_3O_4 'dür. Yapısal olarak kübik yapıya sahiptir. Sertlik derecesi 5.5 ile 6.5 arasındadır. Görünüm olarak metal bir parlaklıktadır. Manyetitin yoğunluğu 5,175 ile 5,197 gr/cm^3 'tür. Bu agregayı başka agregalardan ayıran en dikkat çekici özelliği çekme kabiliyetinin yüksek olması ve çizgilerinin siyah renge sahip olmasıdır. Manyetitler metamorfik kayalar, pegmatitler, sülfür yataklarında vb. yerlerde bulunurlar (Topçuoğlu, 2021).

4.1.5. Ferrofosfor agregası özellikleri

Ferrofosfor yapısındaki yüksek miktardaki özgül ağırlığı nedeniyle ağır betonların yapım aşamasında kullanılmakta olan bir mineraldir. Bu mineralin meydana gelmesi işlemi fosfor üretimi sırasında olmakta, doğal ve saf agrega olarak zırah betonlarının üretiminde kullanılmaktadırlar. Ferrofosfor yapısında %70 demir bulundurmaktadır. Özgül ağırlığı ise 5,72 ile 6,8 arasında değişmektedir. Ferrofosfor içerikli cevherler sıkıştırılarak yüksek basınca sahip gazlar oluşturulmaktadır. Bu özelliği nedeniyle bu agregaların betonda kullanımından önce laboratuvar ortamında teste tabi tutulmalıdır (Bakırhan, 2017).

4.1.6. Siderit agregası özellikleri

Kimyasal birleşim formülü FeCO_3 olan siderit cevheri, hegzagonal yapıya sahiptir. Sertlik değeri 3,5 ile 4 arasındadır, özgül ağırlık değeri ise 3,96'dır. Siderit görünüm olarak soluk sarı, sarı ve grinin karışımı, soluk yeşilimsi, sarıya yakın kahverengi, gri gibi renklere sahiptir. Bazı durumlarda beyaz ya da renksiz olarak ta görünebilir. Saf haldeki halinde içeriğinde % 48'e kadar demir içermektedir (Topçuoğlu, 2021). Şekil 4.5'de siderit agrega örneği görülmektedir.



Şekil 4.5. Siderit agregası (URL-9, 2025).

4.1.7. Kolemanit agregası özellikleri

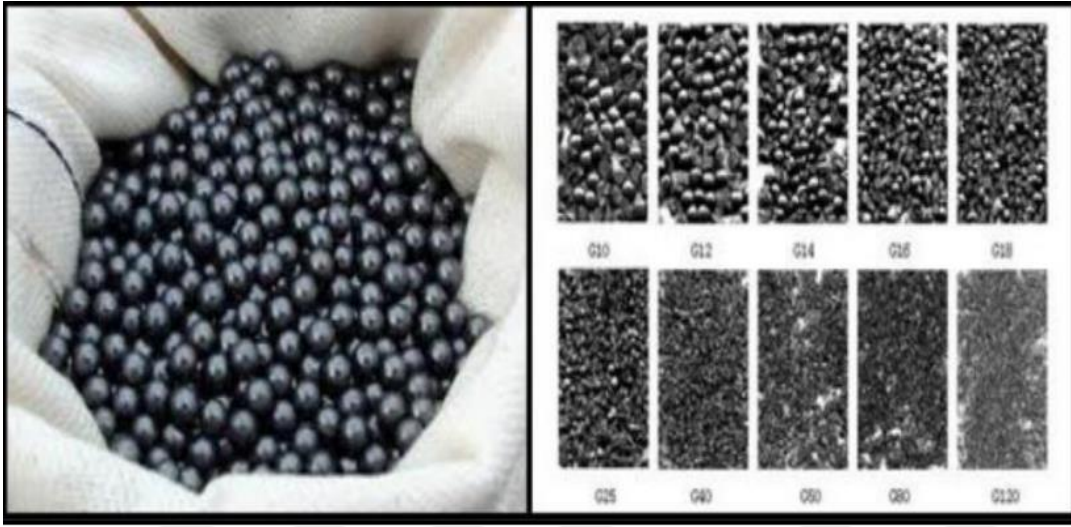
Kolemanitin formülü $\text{CaB}_3\text{O}_4(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dür. Kristal bir yapıya sahiptir. Sertlik değeri 4.5 olmakla beraber yoğunluk değeri ise 2.42 g/cm^3 'tür. Kolemanit yapısal olarak herhangi bir renge sahip değildir. Dizilim olarak mükemmel bir yapıya sahiptir. Çoğunlukla kurak iklimin fazla olduğu yerlerde boraks ile birlikte oluşurlar (Bakırhan, 2017). Şekil 4.6'da kolemanit agregası görülmektedir.



Şekil 4.6. Kolemanit örneği görünümü (Bakırhan, 2017).

4.1.8. Çelik saçma ve parçaları

Çelik saçma ve parçalarının yoğunluk değerleri 6.2 ila 7.8 g/cm³ arasında olmaktadır. Yapay bir agrega olmakla beraber ağır betonların üretiminde kullanılmaktadırlar (Bakırhan, 2017). Şekil 4.7’de çelik saçma ve parçalarının örneği görülmektedir.



Şekil 4.7. Çelik saçma ve parçalarının görünümü (Bakırhan, 2017).

4.2. Ağır Harçların Özellikleri

Ağır betonların özelliklerini ve kullanım alanlarını anlatmak için yapılmış olan bazı deneysel çalışmalar ve makaleler bu başlık altında incelenecektir. Betonlar birçok farklı özelliklere sahiptirler ve bu çeşitli özellikleri sayesinde birçok farklı kullanım alanına sahiptirler. Ağır betonlar yapılarında farklı farklı katkı maddeleri kullanılarak birçok farklı dayanım özellikleri kazandırılabilir.

Akhrarovich ve ark, 2022, bu çalışmalarında betonun ve betonarme verimliliğinin ve kalitesinin artırılması çok acil bir sorun olduğunu bahsetmekle beraber beton teknolojisinde kimyasal katkı maddeleri kullanılmadan tam olarak başarılı bir şekilde çözülemeyeceğini; bu katkı maddeleri arasında şu anda ilk sırada yer alan ve üzerinde belirli bir etkiye sahip olan karmaşık katkı maddeleri bulunmaktadır (Akhrarovich ve ark., 2022).

4.3. Barit Agregalı Ağır Harçlarla İlgili Yapılan Deneysel Çalışmalar

Sevinç ve Durgunun (2023), yapmış oldukları çalışmalarında çimento yerine belirli oranlarda barit, bazalt tozu ve pomza katarak harç karışımları elde etmişler. 90 gün boyunca kür edilen karışımlar 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C ve 600°C'lik yüksek sıcaklık etkisine bırakmışlar. Sıcaklık testi tamamlandıktan sonra numuneler iki çeşit soğumaya bırakmışlar. Bazalt içeren numunelerin katkı içeren numuneler arasında yüksek sıcaklık etkisinden daha az etkilendiğini görmüşler. Buna karşılık barit içeren numuneler diğer numunelere göre daha fazla etkilendiğini ancak hava soğutmalı numunelerin basınç dayanımı kaybının daha fazla su soğutmalı numunelerde ise kütle kaybının daha fazla olduğu gözlemlemişler. Ayrıca belirli bir sıcaklık değerine kadar basınç dayanımı ve ultrasonik ses iletim değerlerinde artışlar gözlemlemişler (Sevinç ve Durgun, 2023).

Kök vd., (2023), yapmış oldukları çalışmalarında yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan çimento ve jeopolimer esaslı harçların radyasyon kalkanlama etkinliğinin araştırılmasını amaçlamışlar. Kalkanlama özelliklerine katkıda bulunmak için bu bağlayıcılar kolemanit tozu ikamesi ile modifiye etmişler ve silika dumanına alternatif olarak barit agregası da kullanmışlar. Üretilen numuneler 300 °C ve 500°C'ye maruz bırakmışlar. Kolemanit tozu çimento esaslı serilerde priz süresini %183'e kadar önemli ölçüde geciktirirken, jeopolimer seride %67'e ulaşan priz hızlandırıcı etki bulmuşlar. Jeopolimer harçlarda uygulanan sıcaklıklarda mekanik ve kalkanlama özelliklerindeki kayıpların daha belirgin olduğu bulunmuştur. Özellikle 300°C'ye maruz bırakıldıktan sonra çimento serisinin basınç dayanımında %28'e varan önemli bir artış olduğunu tespit etmişler (Kök vd., 2023).

Ortega vd., (2015), yapmış oldukları çalışmalarında karıştırma işlemi sırasında barit agregasının gevrekliğini ve bunun betonun taze ve sertleşmiş özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlar. Üç tür agrega incelemişler bunlar barit, kireçtaşı ve EAF cürufudur. Derecelendirme eğrilerindeki ve agrega tanelerinin yüzeyindeki olası değişiklikleri değerlendirmek için her bir agrega türünün birkaç kez karıştırmaya maruz bırakıldığı özel bir test tasarlamışlar. Ayrıca, taze ve sertleşmiş durum üzerindeki etkisini değerlendirmek için dört tip beton (ikisi baritli, biri EAF cüruf agregalı ve biri geleneksel kireçtaşı agregalı) tasarlamışlar. Karıştırma işleminin baritin derecelendirme eğrisini diğer agregalara göre daha yüksek ölçüde değiştirdiğini bulmuşlar. Bu aynı zamanda, daha zayıf basınç dayanımı ve elastik modülün yanı sıra artan işlenebilirlik gösteren betonun

özelliklerinde etkili olduğu belirlenmiş. Çalışmadan elde ettikleri gözlemler baritin beton için bir agrega olarak tasarımı, üretimi ve kullanımı için önemli gerekçeler sağladığıdır (Ortega ve arkadaşları, 2015).

Quiroga ve Varela, (2021), yapmış oldukları çalışmalarında KYH harmanlanmış çimentolara hem mineral ilavesi hem de agrega olarak baryum karbonat ekledi. Agrega olarak baryum ve kalsiyum karbonat kumları kullanılmış, bunların tümü 6 ay boyunca 8 ° C'de bir sodyum sülfat çözeltisine batırılmış ve kütle, basınç dayanımı, ultrasonik hız ve sağlamlık açısından izlemişler. Bu kadar düşük sıcaklıklarda çözünen Ba^{2+} miktarının, KYH içeren karışımlardaki dış sülfatları etkili bir şekilde hareketsiz hale getirmek için yeterli olmadığını görmüşler. Uçucu kül içeren numuneler, özellikle ilavenin kısmen baryum karbonat ile değiştirdikleri yerlerde, baritin varlığında bile çökeldiği için ciddi veya çok şiddetli bir şekilde bozulmuştur (önemli ölçüde genleşme ve kütle kaybı). Düşük çimento içerikli, cüruf içeren karışımlar, ilave veya agrega olarak baryum karbonatın varlığından bağımsız olarak en yüksek sülfat direncini sergilediğini belirlemişler (Quiroga ve Varela, 2021).

Binici ve arkadaşları (2014), özel harç üretiminde kolemanit, barit, öğütülmüş pomza ve öğütülmüş yüksek fırın cürufunun kullanılmasının mekanik ve radyolojik etkilerini göstermişler. Yüksek fırın cürufunun katkı maddesi olarak kullanılmasıyla harçların daha sonraki yaşlarda basınç ve eğilme dayanımlarının önemli ölçüde arttığını söylemektedirler. Ancak tüm yaşlarda farklı pomza ve barit katkı yüzdeleri kullanılan tüm numunelerin basınç dayanımı kontrol numunelerine göre daha düşük bulmuşlar. Doğrusal absorpsiyon katsayısı, kolemanit oranı arttıkça kolemanit katkılı numunelerde azalmıştır. Doğrusal absorpsiyon deneylerinden, başlangıçta yüksek fırın cürufu içeren numunelerde katsayıda artışlar gözlemlemişler, ancak %2,5'ten yüksek değerlerde zıt etki bulmuşlar. Kolemanit ve yüksek fırın cürufu içeren harçlar düşük radyoaktif geçirgenliğe sahiptir. Bu numuneler radyoaktif etkiye maruz kalan yerler için tercih edilmelidir. %5 pomza katkılı numunelerin doğrusal emilim katsayıları barit katkılı numunelerinkine çok yakın bulmuşlar. Bu nedenle pomza radyasyonun etkili olduğu bölgelerde kullanılmasını önermişler (Binici vd., 2014).

Niedzwiedzka vd., (2025), barit tozlu çimento harçlarının ve barit tozu içeren jeopolimer harçların özelliklerini incelemişler. Çimento esaslı kompozitlerin, uçucu kül jeopolimer harçlara kıyasla üstün gama radyasyonu zayıflaması sergilerken, ikincisinin daha yüksek kütle zayıflama verimliliğine sahip olduğunu, yani aynı koruma seviyesi için

daha az malzeme yoğunluğunun gerekli olduğunu belirlemişler. Ek olarak, çimento harçları, geopolimer harçlardan %23-25 daha yüksek mekanik dayanıma sahip olduğunu bulmuşlar. Daha da önemlisi, barit tozunun dahil edilmesi, her iki malzemenin form başına radyasyon korumasını %7-10 oranında iyileştirmiş, bu harçların koruyucu özelliklerini geliştirmedeki etkinliğini göstermiştir. Bu araştırmada, uçucu kül geopolimer harçlarının, radyasyon kalkanı uygulamalarında geleneksel çimento harçlarına uygulanabilir, çevre dostu termal maddeler olarak kullanılabileceğini söylemişler (Niedzwiedzka vd., 2025).

Horszczaruk, vd., (2017), nanosilikanın kuvars, barit ve manyetit içeren çimento harçlarının yüksek sıcaklığa maruz bırakılan davranışları üzerindeki etkisini incelemişler. Numuneler sırasıyla 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C 'lik sıcaklık etkisine bırakmışlar. Soğuttukları numunelerin kütle kaybı, eğilme ve basınç dayanımını belirlemişler. Ayrıca taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve optik mikroskop yardımıyla yapı kusurlarını belirlemişler. Kuvars ve manyetit agregası içeren çimento harcında optimum bir nanosilika içeriğinin olduğunu, termal direnci iyileştirdiğini ve çatlak genişlemesini engellediğini (özellikle 200-400 °C aralığında) belirlemişler. Ancak çalışma, barit agregası içeren çimento harçlarının, agreganın düşük termal direncinin bir sonucu olarak çatlama ve parçalanma eğiliminde olduğunu da belirtmişler (Horszczaruk, vd., 2017).

Vu vd., (2020), nükleer endüstride kullanılan yapı malzemeleri eskiden çoğunlukla kurşun levhalar, radyasyona dayanıklı ağır malzemelerdi. Ancak bu malzemelerle betonun yapımı zordur ve maliyetleri oldukça yüksektir. Bu nedenle, hafif, kullanımı kolay ve daha az maliyetli, iyi radyasyon direncine sahip yeni bir tür malzemenin üretilmesine ihtiyaç vardır. Baryum, kurşundan daha uygun maliyetlidir. Baryum bileşiklerinin radyasyon kalkanında önemi nedeniyle, bu bileşikler içindeki gama radyasyon etkileşimlerinin incelenmesi elzem hale gelir, bu nedenle böyle bir çalışmanın en önemli kısmı, barit tozunun harcın radyasyon direncine etkisini gösteren deneysel kısımdır. Araştırma sonuçları, barit tozunun kalınlığı ve yüzdesi ne kadar yüksekse, radyasyon direncinin de o kadar yüksek olduğunu tespit etmişler (Vu, vd., 2020).

Revuelta, vd., (2009), bu makalede, kendiliğinden yerleşen bir karışım elde etmek için ağır barit betona polikarboksilat bazlı bir süperakışkanlaştırıcı eklenmesinin sonuçlarını değerlendirmişler. Taze özellikler, kendiliğinden yerleşen beton için uygun deneylerle karakterize etmişler. Bileşen yoğunluklarındaki büyük farklılıklar bu tür betonlarda ayrışmayı önemli bir sorun haline getirdiğinden, homojenliği kontrol etmek için özel bir deneme tasarlamışlar. Akışkanlık, geçiş kabiliyeti ve ayrışmaya karşı direnç

bulguları, elde edilen ürünün kendiliğinden yerleşen bir beton olduğunu tespit etmişler (Revuelta, vd., 2009).

Palou, vd., (2024), ürettikleri ağır kendiliğinden yerleşen betonun özelliklerini incelemişlerdir. Barit, manyetit veya bunların karışımı (MIX) dolgu maddesi olarak kullanırken, bağlayıcı olarak Portland çimentosu, yüksek fırın cürufu, metakaolin ve kireçtaşından oluşturmuşlar. V-hunisi ve yayılma çapı sonuçlarına dayanarak, karışım ve bağlayıcı oranı: dolgu maddesi: bağlayıcı-çimento oranı aşağıdaki gibi optimize etmişler. Sadece yığın yoğunluğu agregadan etkilenmekle kalmamış, aynı zamanda mekanik özellikler, büzülme, dinamik elastisite modülü gözenek yapısı ve mikroyapının da dolgu maddelerine bağlı olduğunu bulmuşlar. Manyetit agregası, barit veya barit ve manyetit karışımından daha yüksek mekanik özellikler sağlarken, arayüzey geçiş bölgesinde daha sıkı yapışma ve daha yoğun gözenek yapısı elde edildiğini bulmuşlar (Palou, vd., 2024).

Özen vd., (2020), ülkemizde bulunan farklı agregalarla ağır betonlar üretmişler. Bütün karışımlardaki s/ç oranları, çimento miktarları, kullanılan agregaların boyutları ve karışımın granülometresi aynı olacak şekilde hazırlamışlardır. Mekanik özellikleri en fazla olan demir cevheri ve çelikhane cürufu agregaları kullanılarak hazırlamış oldukları beton numuneler verirken, en fazla kırılma enerji değerlerine tufal veya çelikhane cürufu ve demir cevheri birleşimi olan beton numunelerde bulmuşlar (Özen, vd., 2020).

Ünal vd., (2014), barit kullanarak üretmiş oldukları betonların mekanik performansları üzerinde karışımda bulunan filler malzeme miktarı düştükçe basınç dayanımların yükseldiğini bulmuşlar. Filler malzeme miktarı %30'dan %20'ye düşmesi durumunda birim ağırlık değerlerinde %0.6'lık basınç dayanımında ise %15 oranında artış sağladığını bulmuşlar. Bu açıdan barit agregalı ağır betonların dayanımı ve radyasyon özellikleri bakımından olumlu olması nükleer santral yapılmasında ve hastanelerdeki radyoaktif dalgaların çok olduğu yerlerde ağır beton tasarımının yapılması insan bedeni için önemli olduğunu söylemişler (Ünal, vd., 2014).

Gümüş, vd., (2020), çalışmalarında 3 tip agrega kullanarak üretmiş oldukları karışım numunelerinin özelliklerini incelemişler. En fazla basınç dayanımının sideritli betonda bulunduğu ve baritli beton ile kalker kırmataş agregalı betonun basınç dayanımlarının birbirine yakın olması ultrases geçiş hızı değerlerini desteklemektedir. Buradan boşluk yapısının ve agrega tipinin betonun basınç dayanım performansları üzerinde etkili olduğu belirlemişler (Gümüş, vd., 2020).

Esen vd., (2011), yapmış oldukları çalışmalarında en fazla yüzey sertliğinin %20 barit ilaveli karışımdan elde edildiğini tespit etmişler. %20'ye kadar barit tozu katılarak hem ekonomik hem de daha mukavemetli betonlar dökülebileceğini gözlemlemişler. Daha sonraki dayanımlarda önemli azalmalar olmuş ve preste kırılan betonların daha parçalı kırıldığını gözlemlemişler (Esen, vd., 2011).

Abdelgawad vd., (2023), reaktör koruyucu malzeme olarak turmalin yüklü ağır ısıya dayanıklı betonun nükleer radyasyon zayıflatma özelliklerini incelemek amacıyla sırasıyla kaba ve ince agregası olarak barit ve geotit içeren üç ağır beton karışımı hazırlamışlar. Beton karışımlarına turmalin cevheri eklenmesinin, farklı enerji bantlarındaki nötronları zayıflatma yeteneğindeki belirgin iyileşmeye ek olarak, mekanik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiğini görmüşler. Beton numunelerinin 400°C'ye kadar ısıtılması, gama ışınlarının zayıflaması üzerinde önemli bir etki göstermemişken, numunelerin nötronları zayıflatma yeteneğinde hafif bir azalma görmüşler. Son olarak, nükleer enerji için 100°C ve 400°C ısıya dayanıklı beton olarak ağırlıkça %50 turmalin içeren beton karışımı önermektedirler (Abdelgawad ve ark., 2023).

Sakr vd., (2005), yüksek sıcaklığın veya yangının ağır beton özelliklerine etkisini araştırmışlardır. İlmenit betonunun en yüksek yoğunluğa, elastisite modülüne ve en düşük su emme miktarına ayrıca çakıl veya barit betona göre daha yüksek basınç, çekme, eğilme ve bağlanma mukavemeti değerlerine sahip olduğunu görmüşler. Bu çalışmadan, yüksek fiziksel, mekanik ve radyasyon özelliklerinden dolayı ilmenit betonunun çakıl veya barit betona göre koruyucu malzeme olarak daha uygun olduğu sonucunu bulmuşlardır. İlmenit betonu yüksek sıcaklığa çakıl veya barit betondan daha dayanıklı olduğunu ifade etmişler. İlmenitli betonun, koruyucu malzeme olarak gama ışınlarını zayıflatmak için uygun bir beton olduğu ve yüksek sıcaklıkların beton özellikleri üzerinde çok az önemli bir etkisinin olduğunu ifade etmişler (Sakr, Hakim, 2005).

Ouda, (2015), ince agregası olarak manyetit içeren yüksek performanslı ağır yoğunluklu betonun basınç dayanımının, kum içeren betona göre %23 oranında önemli ölçüde daha yüksek olduğunu belirlemişler. Ayrıca, manyetit ince agregası ile yapılan beton, fiziko-mekanik özellikleri, barit ve geotit içeren karşılık gelen betona göre geliştiğini görmüşler. Bu nedenle ince agregası olarak manyetit içeren yüksek performanslı beton gama ışınlarına karşı koruma verimliliğini arttırmış. Barit iri agregasının manyetit, geotit ve serpantininden daha yüksek özgül ağırlığa sahip olduğunu görmüşler. Ayrıca, geotit agregasının su emilimi, barit, manyetit ve serpantininden sırasıyla %13, %10 ve %6 kat daha

yüksek olduğunu görmüşler. Bunun nedeni, emilimini telafi etmek için agregaya daha fazla su girmesini zorlayan yüzeye ek olarak agregada oluşan mikro çatlaklar olabileceği tespit edilmiş (Ouda, 2015).

4.4. Ağır Harçların Kullanım Alanları

Ağır betonlar istinat duvarları, köprü ayakları, beton ağırlıklı barajların gövde kısımlarında, su altı petrol hatlarında, askeri mühimmat ve sığınak yapılarında, hastanelerin ısın tedavi ve X-Ray odalarında, nükleer enerji santrallerinde ve öngermeli beton reaktör silolarında olmak üzere birçok kullanım alanları bulunmaktadır (URL-10, 2025).

4.5. Ağır Harçların Avantajları ve Dezavantajları

Türk standartlarında ağır beton karışımı ile ilgili kuralların olmaması bu beton türünün en önemli dezavantajlarından biridir. Ağır beton ve agregaların özellikleri, karışım hesapları için standartlar ve raporlar incelenebilir. Farklı şekillerdeki kalıplara ağır betonun doğru bir şekilde yerleştirilmesi zorlayıcı olabilir. Böyle yerlerde farklı bir imalat yöntemine başvurulabilir. Enjeksiyonla betonlama ya da prepakt beton tekniği olarak isimlendirilen imalat şekilleriyle karmaşık şekillerdeki kalıplara ağır betonu iyi bir şekilde yerleştirilmesi sağlanabilir (URL-11, 2025).

Ağır betonların imalatı sırasında kullanılmakta olan agregaların yoğunluklarının fazla oluşu sebebiyle ağır betonlar geleneksel betondan daha yüksek yoğunluklara sahiptir. Böylelikle yoğunluğu çoğalan betonların radyasyona karşı koruyuculuğu da yükselmektedir. Bu nedenle mevcut binaların inşaatlarında tercih edilmemektedir. Çünkü konut, hastane gibi yapılarda kullanımı bina ağırlığının fazlalaşmasına neden olacaktır. Yapılara gelen deprem kuvveti yapı ağırlığıyla paraleldir. Yapı inşası sırasında ağır betonların tercih edilmesi yapının ağırlığını çoğaltarak deprem sırasında yapıya gelen deprem kuvvetinin yükselmesine neden olacaktır. Bu durum binaların hasar görmesine neden olabilmektedir (Topçuoğlu, 2021).

Ağır betonun avantajları ise yüksek yoğunluğa ve daha yüksek dayanımlara sahip olması nedeniyle geleneksel betonlara kıyasla daha ince perdelerle korunma sağlanabilir. Ağır betonların imalatı sırasında mevcut yöntemlerden biri olan mutlak hacim yöntemi

kullanılabilir. Ağır betonların imalatı sırasında ayrışma olmaması ve homojenliğin sağlanabilmesi için daha dikkatli olunmalıdır. Yüksek sıcaklık ve gerilmelerin fazla olduğu nükleer enerji santrallerinin reaktör silolarında ağır betonların kullanılması geleneksel betonlara göre koruyuculuk ve dayanım açısından daha etkili olabilir (URL-12, 2025).



5. MATERYAL VE METOT

Bu kısımda deneysel çalışmalar sırasında kullanılan çimento, agregalar, su, kimyasal katkı ve uçucu kül malzemelerinin özellikleri ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

5.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

5.1.1. Çimento

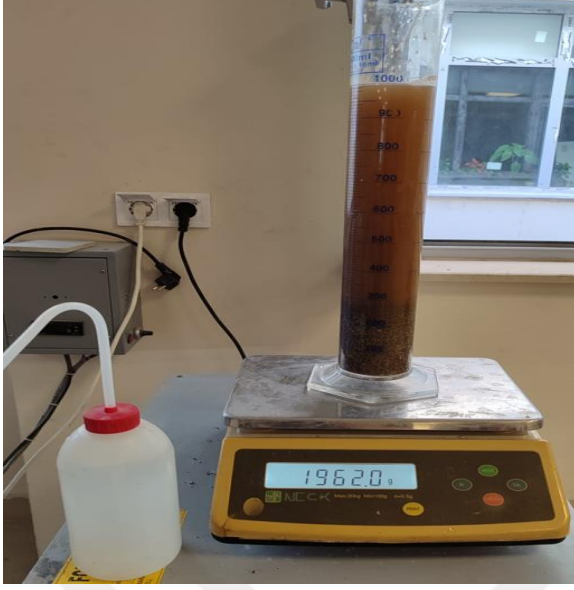
Deneysel çalışmaların tamamında TS EN 197-1 standartlarına uygun Elazığ Çimento Fabrikasından temin edilen CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 5.1’de detaylı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 5.1. Çalışmada kullanılan çimentonun ve uçucu külün özellikleri (TS EN 197-1).

<i>Kimyasal Analiz (%)</i>	<i>Portland Çimentosu CEM I 42.5 R</i>	<i>Uçucu Kül F Sınıfı</i>
CaO	63.37	2.32
SiO ₂	19.34	60.94
Al ₂ O ₃	3.75	20.66
Fe ₂ O ₃	4.15	7.95
MgO	3.1	-
SO ₃	3.15	0.11
K ₂ O	0.81	-
Na ₂ O	0.41	1.56
Cl ⁻	-	0.100
Kızdırma kaybı (%)	1.92	1.92
Fiziksel Özellikler		
Tanecik yoğunluğu(kg/m ³)	-	2300
Özgül ağırlık(g/cm ³)	3.16	
İncelik (m ² /kg)	366	

5.1.2. Agregalar

Deneysel çalışmada Muş yöresinden temin edilen farklı boyutlardaki barit agregaları kullanılmıştır. Agregalar iri barit (0-4mm), ince barit (0-2mm) ve toz barit (45-75µ) olarak sınıflandırılmıştır. Agregaların su emme ve özgül ağırlıkları yapılan testlerle tayin edilmiştir. Kullanılan agregalara ait özellikler Tablo 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Özgöl ağırlık tayini deneyi



Şekil 5.2. Su emme tayini deneyi

Tablo 5.2. Agrega özellikleri

Agrega Çapı(mm)	Özgöl Ağırlık(kg/dm ³)	Su Emme (%)	Karışım İçindeki Oranı (%)
45-75 μ	4,20	3,70	5-30
0-2	3,60	2,30	25
0-4	3,60	1,45	75

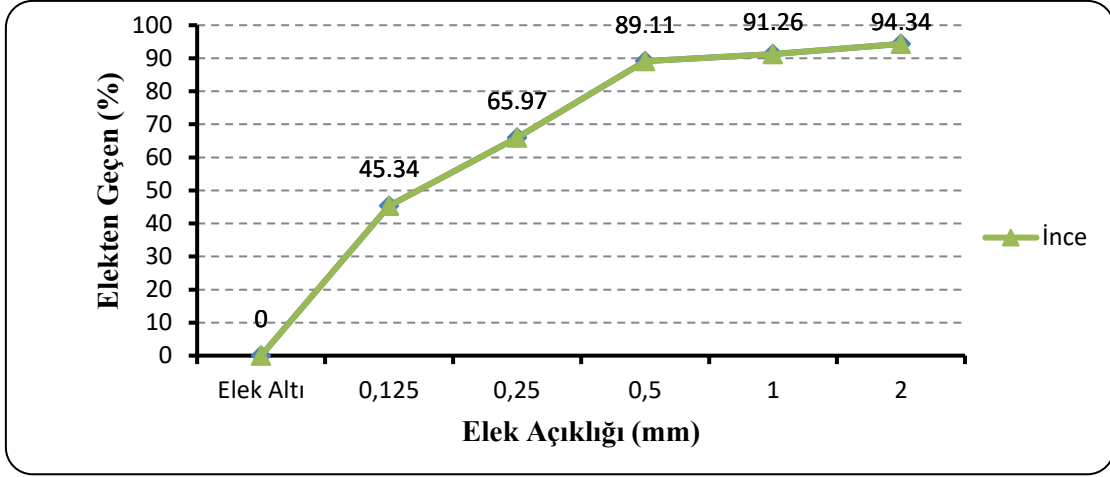
Karışımında kullanılan agregalar üzerinde TS EN 933-1' e uygun şekilde elek analizi yapılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.3 ve Tablo 5.4 de, agrega tane dağılımına ait grafik ise Şekil Şekil 5.4. ve Şekil 5.5'de gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Elek sarsma cihazı

Tablo 5.3. İnce barit (0-2mm) agregası elek analizi sonuçları

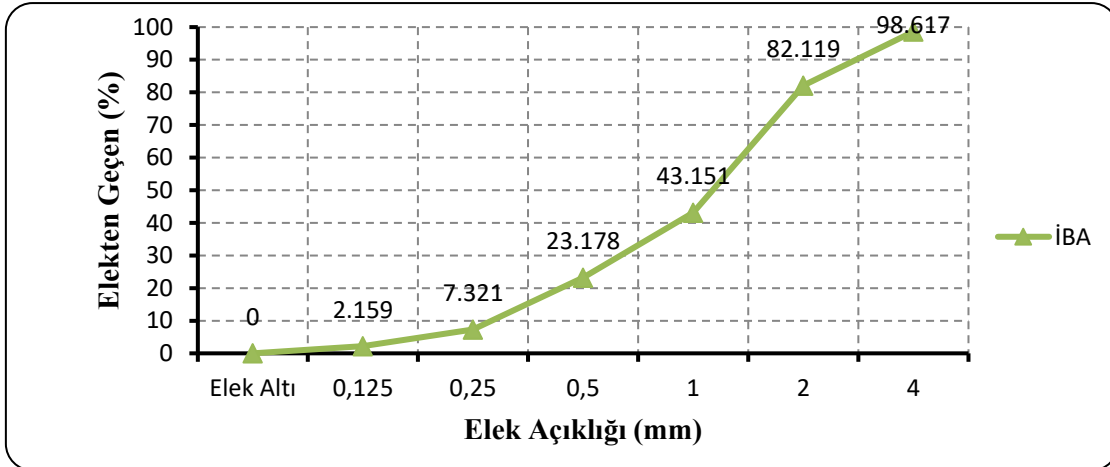
Elek No	Elek Üstünde Kalan (gr)	Elek Üstünde Kalan Yığışımli (gr)	Elek Üstünde Kalan Yığışımli (%)	Elekten Geçen Yığışımli (%)
2	12,5	39,5	5,66	94,34
1	21,5	61	8,74	91,26
0,5	15	76	10,89	89,11
0,25	161,5	237,5	34,03	65,97
0,125	144	381,5	54,66	45,34
Elek Altı	316,5	698	100	0



Şekil 5.4. İnce barit (0-2mm) agregası tane dağılımı

Tablo 5.4. İri barit (0-4mm) agregası elek analizi sonuçları

Elek No	Elek Üstünde Kalan (gr)	Elek Üstünde Kalan Yığışım (gr)	Elek Üstünde Kalan Yığışım (%)	Elekten Geçen Yığışım (%)
4	20,5	20,5	1,383	98,617
2	244,5	265	17,881	82,119
1	577,5	842,5	56,849	43,151
0,5	296	1138,5	76,822	23,178
0,25	235	1373,5	92,679	7,321
0,125	76,5	1450	97,841	2,159
Elek Altı	32	1482	100	0



Şekil 5.5. İri barit (0-4mm) agregası tane dağılımı

5.1.3. Su

Karışımda içilebilir nitelikte olan Tunceli ili şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Su/çimento oranı 0,40 olarak kabul edilmiştir. Şebeke suyuna ait analiz sonuçları tablo 5.5’de verilmiştir.

Tablo 5.5. Su analiz testi (Şahin, 2022).

Analiz adı	İletkenlik (25°C’de)	Ph (25°C’de)	Bulanıklık	Koku	Tat	Renk	Amonyum
Analiz sonuçları	582 (µ/cm)	7,62	0,18 (Ntu)	Uygun	Uygun	Uygun	0,05 mg/L

5.1.4. Uçucu kül

Karışımlarda kontrol numunesinde uçucu kül (UK) kullanılmamıştır. Barit tozu (BT) içeren karışımlarda çimento ikamesi olarak %5-25 oranında H12 karışımında ise %30 oranında uçucu kül kullanılmıştır. F sınıfı olan UK, (Adana/Ceyhan) Ekton Enerji firmasından temin edilmiş olup TS EN 450-1 standardına uygun üretilmiştir. Tanecik yoğunluğu 2300 kg/m³’tür. UK’ nin kimyasal özellikleri yukarıda Tablo 5.1.’de verilmiştir.

5.1.5. Akışkanlaştırıcı

Çalışmadaki tüm karışımlarda CHRYSO Delta PR 196-H tipi özgül ağırlığı 1.091 olan süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

5.2. Karışımın Hazırlanması

Harç karışımı hazırlanırken önce iri barit agregası sonra ince barit agregası daha sonra toz barit agregası (Şekil 5.6’da) görülen mikserde dolduruldu. Ardından sırasıyla çimento ve UK eklenerek (Şekil 5.7’de) görülen malzemeler mikserde dolduruldu. Kuru karışım önce homojen hale gelecek şekilde elle karıştırıldıktan sonra mikserde 1,5 dakika boyunca karıştırıldı. Daha sonra cihaz durdurulup su ve süper akışkanlaştırıcı eklenerek mikser 1,5 dakika yavaş hızda daha sonra 1,5 dakika boyunca hızlı halde olacak şekilde toplamda 3 dakika boyunca karıştırıldı.

Homojen dağılım sağlandıktan sonra mikser durduruldu. Karışım işlemi tamamlanan taze harç üzerinde harç yayılma tablası deneyi yapıldı. Yapılan deneylerden sonra taze harç, setleşmiş harç testlerinin yapılabilmesi için kalıplara yerleştirildi. Eğilme deneyleri için 40x40x160mm prizma, yüksek sıcaklık testleri için 40x40x160mm prizma, basınç deneyleri için 40x40x40mm küp numuneler, donma çözülme, su emme ve ultra ses geçiş hızları testleri için ise 50x50x50mm boyutlarında küp kalıplar kullanıldı. Kalıplarda beklemeye bırakılan numuneler 24 saatin sonunda kalıplardan çıkartılarak $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki su dolu tanklara yerleştirildi. Su dolu tanklarda kür edilmeye bırakılan numuneler 3, 28 ve 90 günlük sertleşmiş harç testleri için hazır hale getirildi.



Şekil 5.6. Laboratuvar tipi mikser



Şekil 5.7. Kuru karışım



Şekil 5.8. Taze harç karışımı

Tablo 5.6. Karışım kodları ve açıklamaları

Karışım Kodu	Açıklamalar
H0	BA+%100 PÇ+Su+SA
H1	BA+5BT+95PÇ+Su+SA
H2	BA+10BT+90PÇ+Su+SA
H3	BA+15BT+85PÇ+Su+SA
H4	BA+20BT+80PÇ+Su+SA
H5	BA+25BT+75PÇ+Su+SA
H6	BA+30BT+70PÇ+Su+SA
H7	BA+5BT+25UK+70PÇ+Su+SA
H8	BA+10BT+20UK+70PÇ+Su+SA
H9	BA+15BT+15UK+70PÇ+Su+SA
H10	BA+20BT+10UK+70PÇ+Su+SA
H11	BA+25BT+5UK+70PÇ+Su+SA
H12	BA+30UK+70PÇ+Su+SA

Tablo 5.7. Karışıma giren malzeme miktarları

Karışım Kodu	İri Barit (gr)	İnce Barit (gr)	Toz Barit (gr)	Uçucu Kül (gr)	P.Ç. (gr)	Su (gr)	S.A. (gr)
HO	1469.69	489.90	0.00	0.00	600.0	244.79	8.0
H1	1476.53	492.18	30.0	0.00	570.0	244.79	8.0
H2	1483.37	494.46	60.0	0.00	540.0	244.79	8.0
H3	1490.21	496.74	90.0	0.00	510.0	244.79	8.0
H4	1497.06	499.02	120.0	0.00	480.0	244.79	8.0
H5	1503.90	501.30	150.0	0.00	450.0	244.79	8.0
H6	1510.75	503.58	180.0	0.00	420.0	244.79	8.0
H7	1466.55	488.85	30.0	150.0	420.0	244.79	8.0
H8	1475.38	491.79	60.0	120.0	420.0	244.79	8.0
H9	1484.23	494.74	90.0	90.0	420.0	244.79	8.0
H10	1493.06	497.69	120.0	60.0	420.0	244.79	8.0
H11	1501.91	500.64	150.0	30.0	420.0	244.79	8.0
H12	1457.71	485.90	0.00	180.0	420.0	244.79	8.0

6. DENEY SONUÇLARI

6.1. Taze Harç Deneyleri

Hazırlanan karışım numunelerine EFNARC standartına uygun olacak şekilde harç yayılma deneyi yapılmıştır.

Hazırlanan taze harç yayılma tablası üzerindeki huninin içerisine hiçbir baskı uygulanmayacak şekilde dolduruldu. Doldurma işlemi tamamlandıktan sonra huninin üst yüzeyi bir mala yardımıyla düzeltildikten sonra huni herhangi bir baskı uygulanmadan yukarıya doğru çekilerek taze harcın kendi ağırlığı ile tabla üzerine yayılması sağlanır. Yayılma tamamlandıktan sonra taze harç iki farklı noktasından bir metre yardımıyla ölçülerek yayılma çapları bulunarak not edildi. Her bir numune için bu işlem tekrar yapılarak bütün yayılma çapları hesaplandı. Her bir numunenin ortalama yayılma çapları 240-260 mm arasında kalarak EFNARC standartına uygun sonuçlar verdiler. Yayılma tablası Şekil 6.1.'de, yayılma deneyi yapılışı Şekil 6.2.'de, yayılma çapı ölçümü Şekil 6.3.'de görülmektedir.



Şekil 6.1. Yayılma deneyi düzeneği



Şekil 6.2. Yayılma deneyi yapılış görüntüsü



Şekil 6.3. Yayılma çapı ölçümü

Mikserden alınan taze harç karışımları 40x40x160mm prizma ve 50x50x50mm boyutunda küp kalıplara yerleştirildi. Şekil 6.4. ve Şekil 6.5’de taze harç karışımlarının koyulacağı metal numune kalıpları gösterilmiştir.



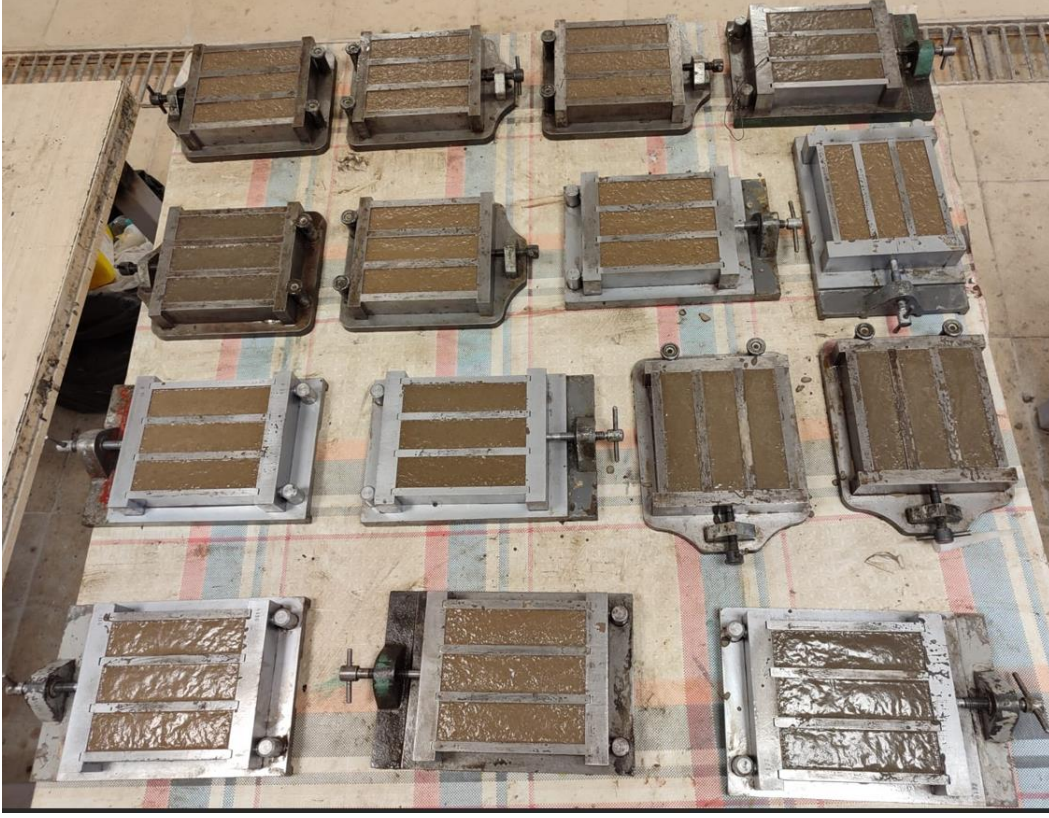
Şekil 6.4. Metal küp numune kalıpları



Şekil 6.5. Metal prizma numune kalıpları

Taze harç kalıpların içerisine homojen bir şekilde dağılacak şekilde doldurulup kalıpların üst kısmı mala yardımıyla düzeltilerek 24 saatlik kurumaya bırakıldı (Şekil 6.6, Şekil 6.7). 24 saatin sonunda kalıplardan çıkarılan numuneler isimlendirilerek deney süreleri gelene kadar kür havuzunda beklemeye bırakıldılar. Kalıptan çıkarılan numuneler

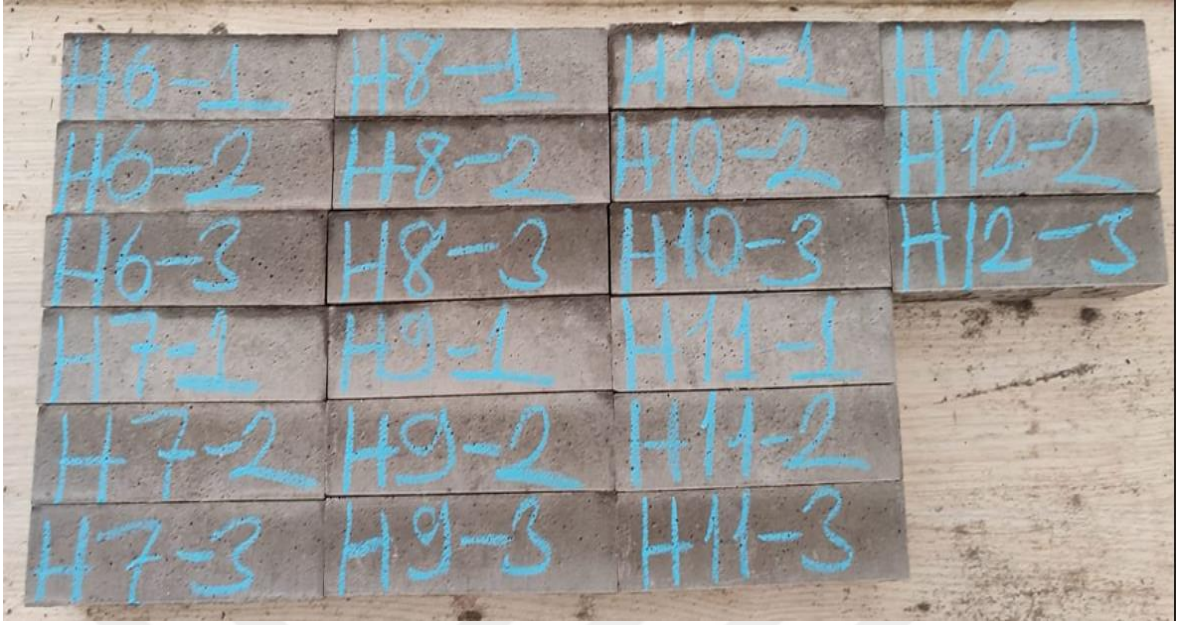
Şekil 6.8, Şekil 6.9’da, kür havuzunda beklemeye bırakılan numunelerin görüntüsü ise Şekil 6.10’da verilmiştir.



Şekil 6.6. Priz alması için bekletilen prizma numuneler



Şekil 6.7. Priz alması için bekletilen küp numuneler



Şekil. 6.8. Kalıptan çıkarılan prizma numuneler



Şekil 6.9. Kalıptan çıkarılan küp numuneler



Şekil 6.10. Kür havuzuna koyulan numuneler

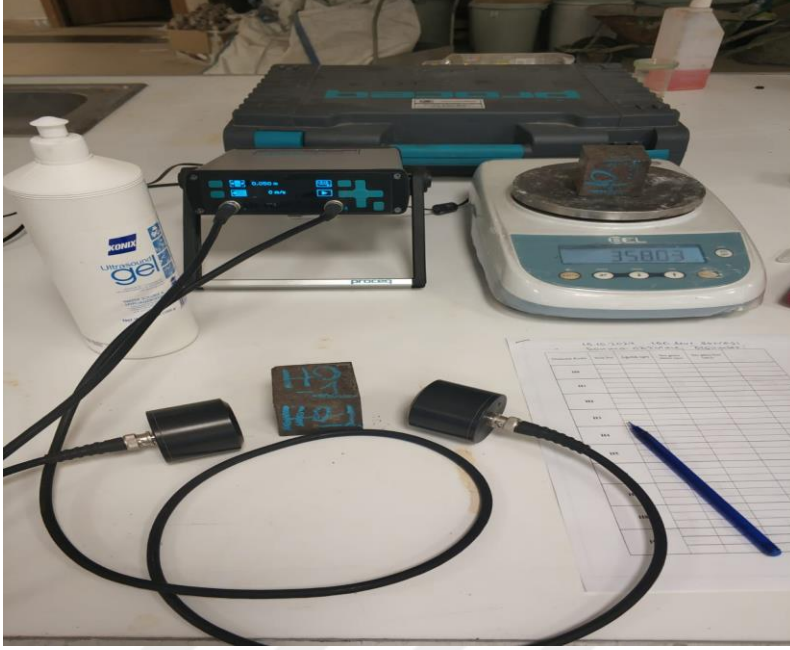
6.2. Sertleşmiş Harç Deneyleri

Laboratuvar koşullarında kür edilen numuneler üzerinde 3. Günde eğilme ve basınç, 28 ve 90. Günlerde basınç, eğilme, donma çözülme, su emme ve ses geçiş hızı testleri yapılmıştır. Sertleşmiş harç test sonuçları 3 er numunenin ortalama değerleri alınarak nihai sonuçlar kaydedilmiştir.

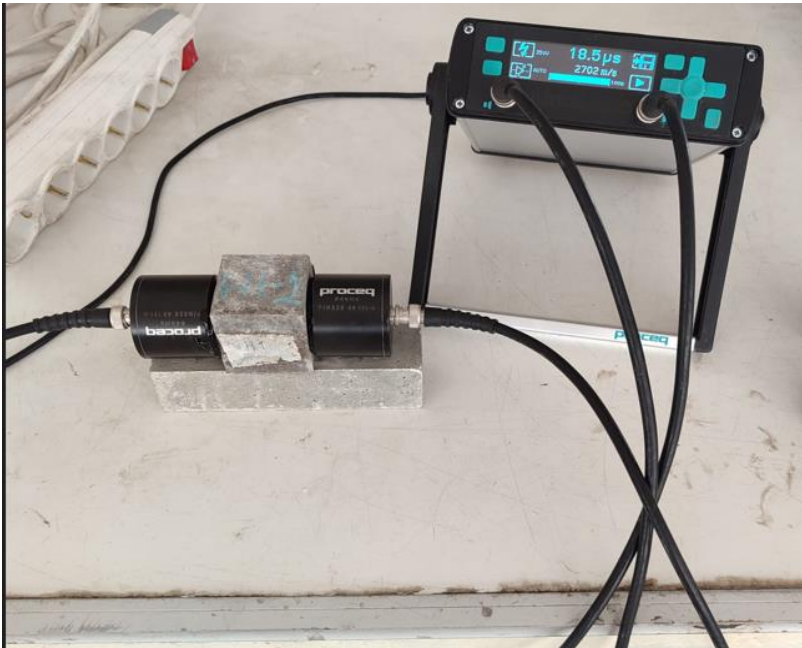
6.2.1. Ses geçiş hızı

Ses geçiş hızı testi laboratuvar koşullarında 28 günlük kür edilmiş 50x50x50 mm küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Kür havuzundan çıkartılan küp numuneler bir bez yardımıyla yüzeylerindeki nemi kurutularak hassas terazi yardımıyla ağırlıkları ölçüldü. Ağırlıkları ölçülen numunelerin ses geçiş hızları ASTM C-597-02 standartlarına uygun üretilen cihazla (Şekil 6.11) belirlendi. Her bir numunenin ultra ses geçiş hızını ölçmek için numunenin her iki yanına yerleştireceğimiz propların yüzeylerine jel sürülerek hazırlandı. Daha sonra bu proplar numunenin her iki yanına karşılıklı gelecek, sabit duracak ve numune yüzeyini tam ortalayacak numune yüzeyinden taşmayacak şekilde

yerleştirilerek ölçümler yapıldı (Şekil 6.12). Problar yardımıyla numunenin içerisine ses dalgaları yollandı ve ses dalgalarının gönderici probdan alıcı proba ulaşma hızları ve süreleri ölçülerek kaydedilmiştir. Her bir numune için bu işlem tekrar edilerek ultra ses geçiş hızları testi tamamlanmıştır.



Şekil 6.11. Ultra ses geçiş hızı deneyi düzeneği



Şekil 6.12. Ultra ses geçiş hızı deneyi yapılışı

6.2.2. Eğilme dayanımı deneyi

Eğilme dayanımı testi laboratuvar koşullarında 3, 28 ve 90 gün boyunca kür edilmiş numuneler üzerinde ASTM C348 standartlarına uygun yapılmıştır. Eğilme testinde 40x40x160 mm boyutlarındaki her seriden 3'er toplamda 39 adet prizma numuneler kullanılmıştır. Kür havuzundan çıkarılan numuneler doymun kuru yüzey haline gelinceye kadar bekletildi. Daha sonra doymun kuru yüzey hal elde edildikten sonra önceden hazırlanıp sıfırlanmış hassas terazide her bir numunenin ağırlıkları ölçülerek not edilmiştir. Eğilme testinde kullanılacak numuneler (Şekil 6.13'de) gösterilmiştir. Eğilme testi için numunelere 0.5 KN/s kuvvet uygulanarak her bir numunenin eğilme dayanım değerlerine bakıldı. Her bir test sonucunda numunelerin maximum yükleme değerleri not edilerek 3 numunenin ortalaması hesaplandı. 3, 28 ve 90 günlük eğilme testi sonuçları Tablo 6.1'de verilmiştir. Şekil 6.14'de tartım işlemi yapılan prizma numune, Şekil 6.15'de eğilme testinin yapıldığı cihaz, Şekil 6.16.'da eğilme testi uygulanan numune örneği, Şekil 6.17.'de ise eğilme test cihazı ekranı verilmiştir.



Şekil 6.13. Eğilme testinde kullanılacak numuneler



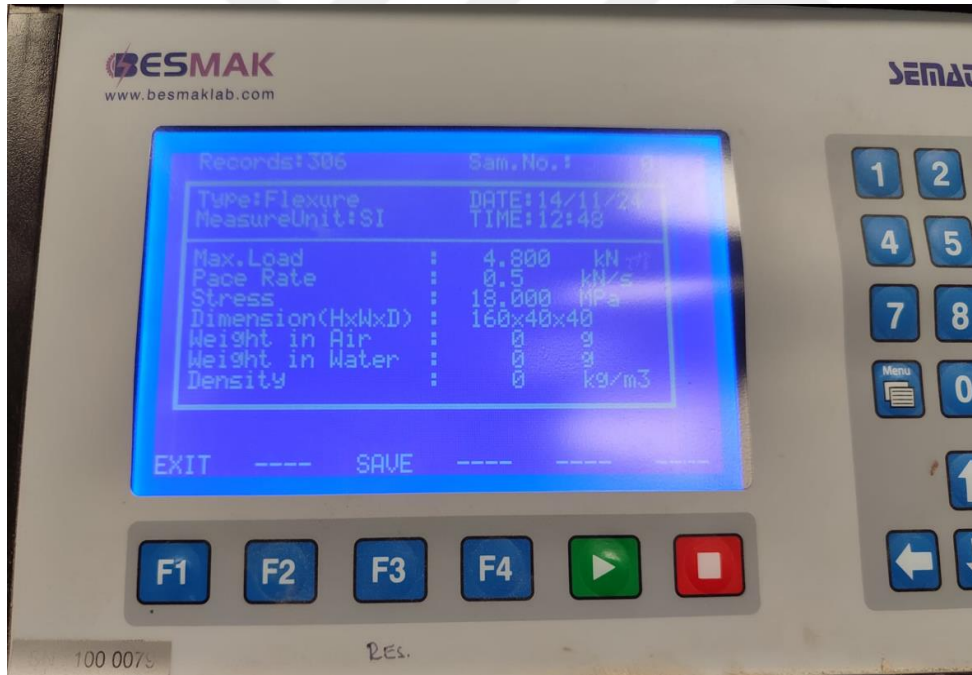
Şekil 6.14. Tartım işlemi yapılan prizma numune



Şekil 6.15. Eğilme test cihazı



Şekil 6.16. Eğilme testi yapılan numune örneği



Şekil 6.17. Eğilme test cihazı ekranı

Tablo 6.1. 3, 28 ve 90 günlük eğilme deneyi sonuçları

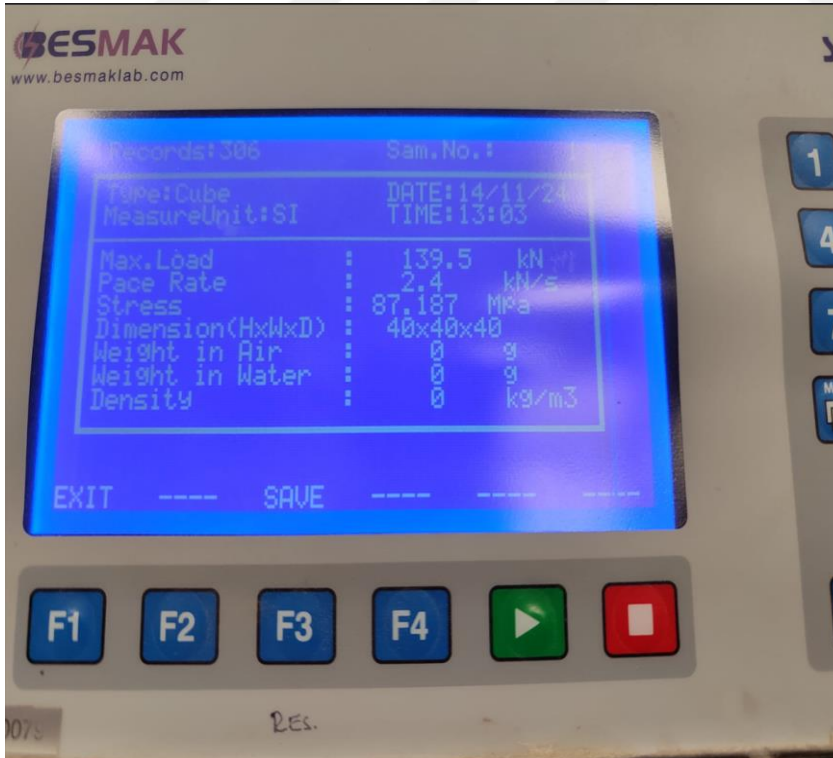
Numune Kodu	3 Günlük		28 Günlük		90 Günlük	
	Ağırlık (gr)	Eğilme Dayanımı (KN)	Ağırlık (gr)	Eğilme Dayanımı (KN)	Ağırlık (gr)	Eğilme Dayanımı (KN)
H0	735	2.19	739	2.71	711	2.80
H1	751	2.53	727	2.70	720	2.79
H2	704	1.91	730	1.93	719	3.70
H3	744	1.76	736	2.88	706	2.96
H4	736	1.87	718	2.74	717	3.13
H5	737	1.92	725	2.20	715	2.22
H6	721	2.13	733	2.20	696,5	2.54
H7	704	1.81	714	2.20	699	2.30
H8	712	1.80	721	2.12	707,5	2.23
H9	728	2.01	731	2.24	708	2.70
H10	721	1.23	726	2.48	721	2.64
H11	714	1.33	726	2.08	710	2.40
H12	708	1.63	708	2.22	685	2.66

6.2.3. Basınç dayanımı testi

Basınç dayanımı testi laboratuvar ortamında 3, 28 ve 90 gün boyunca kür edilmiş numuneler üzerinde ASTM C349 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Basınç testinde eğilme testinde kırıldıktan sonra iki parça haline gelen 40x40x40 mm küp numuneler kullanılmıştır. Doygun kuru yüzey halindeki numunelerin ağırlıkları hassas terazi yardımıyla ölçüldü. Basınç testi yapılan numune örneği (Şekil 6.18’de) gösterilmektedir. Test sırasında numunelere 2.4 KN/s kuvvet uygulandı. Bu kuvvet karşısında numunelerin göstermiş oldukları stress değerleri MPa cinsinden kayıt edilerek basınç testi tamamlandı. 3, 28 ve 90 günlük basınç testi sonuçları Tablo 6.2’de, basınç test cihazı ekranı Şekil 6.19.’da verilmiştir.



Şekil 6.18. Basınç testi yapılan numune



Şekil 6.19. Basınç test cihazı ekranı

Tablo 6.2. 3, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı deney sonuçları

Numune Kodu	3 Günlük		28 Günlük		90 Günlük	
	Ağırlık (gr)	Dayanım (MPa)	Ağırlık (gr)	Dayanım (MPa)	Ağırlık (gr)	Dayanım (MPa)
H0	735	44.13	739	61.13	711	87.15
H1	751	47.69	727	53.54	720	82.44
H2	704	42.31	730	50.08	719	69.15
H3	744	43.25	736	56.23	706	61.31
H4	736	38.25	718	52.74	717	66.81
H5	737	35.89	725	49.25	715	63.00
H6	721	33.44	733	46.69	696,5	59.81
H7	704	35.94	714	56.63	699	70.00
H8	712	36.88	721	55.88	707,5	61.50
H9	728	37.75	731	51.88	708	67.69
H10	721	37.25	726	49.31	721	65.31
H11	714	34.94	726	50.63	710	66.50
H12	708	36.94	708	49.00	685	71.90

6.2.4. Yüksek sıcaklık testi

Yüksek sıcaklık testi laboratuvar koşullarında 28 gün kür edilmiş numuneler üzerinde yapılmıştır. Yüksek sıcaklık testinde 40x40x160 mm boyutunda 2 seri toplamda 78 adet prizma numuneler kullanılmıştır. Her iki seri prizma numunelerde yüksek sıcaklık testine girmeden önce her bir numunenin ağırlığı hassas terazi yardımıyla ölçüldü. İlk serideki prizma numuneler 300°C'lik sıcaklıklara maruz bırakıldı. İkinci serideki prizma numuneler 900°C'lik sıcaklığa maruz bırakıldı. Cihaz 120 dakikada 900°C ulaşması sağlandı, 120 dakika bu sıcaklıkta bekletildi ve 60 dakika cihazın kapağı açılmadan bekletildi daha sonra numuneler çıkarıldı. Soğuyan numuneler daha önceden hazırlanıp sıfırlanmış tartı yardımıyla ağırlıkları ölçüldü. Yüksek sıcaklık testi uygulanmış numunelere önce 0.5 KN/s kuvvet uygulanarak eğilme testi yapıldı. Daha sonra eğilme testinde bölünmüş olan her bir numunenin her iki tarafına da 2.4 KN/s kuvvet uygulanarak basınç testleri yapıldı ve dayanım değerleri bulundu ve bulunan değerler not edildi. Yüksek sıcaklık fırını Şekil 6.20 ve Şekil 6.21'de gösterilmiştir. Yüksek sıcaklık fırınına koyulan

numuneler Şekil 6.22’de, yüksek sıcaklık fırınından çıkan numuneler Şekil 6.23’de, 300°C ve 900°C sıcaklık uygulanmış numuneler sırasıyla Şekil 6.24 ve Şekil 6.25’de, ağırlığı ölçülen numune ise Şekil 6.26’da gösterilmiştir. Yüksek sıcaklık testi sonrası yapılan eğilme test sonuçları Tablo 6.3’de, basınç testi sonuçları ise Tablo 6.4’de verilmiştir.



Şekil 6.20. Yüksek sıcaklık fırını



Şekil 6.21. Yüksek sıcaklık fırınının iç görünümü



Şekil 6.22. Yüksek sıcaklık fırınındaki numuneler



Şekil. 6.23. Yüksek sıcaklık fırınından çıkan numuneler



Şekil 6.24. 300°C sıcaklık uygulanan numuneler



Şekil 6.25. 900°C sıcaklık uygulanan numuneler



Şekil 6.26. Yüksek sıcaklık testi sonrası ağırlığı ölçülen numuneler

Tablo 6.3. Yüksek sıcaklık testi sonrası yapılan eğilme dayanımı testi sonuçları

Numune Kodu	300° C			900° C		
	İlk Ağırlığı (gr)	300° C Sonrası Ağırlık (gr)	Eğilme Dayanımı (KN)	İlk Ağırlığı (gr)	900° C Sonrası Ağırlık (gr)	Eğilme Dayanımı (KN)
H0	692	670	2.03	699	658	1.24
H1	688	665	2.25	698	660	1.58
H2	704	681	1.95	688	651	1.01
H3	683	661	1.66	688	651	1.34
H4	701	680	2.24	698	660	1.55
H5	699	677	1.76	692	658	1.27
H6	714	692	1.87	695	661	1.00
H7	674	646	1.46	684	642	1.19
H8	689	664	1.28	692	646	1.08
H9	692	670	2.20	690	648	1.35
H10	694	667	1.69	704	660	0.82
H11	695	670	1.62	702	665	1.17
H12	674	639	1.32	685	636	0.85

Tablo 6.4. Yüksek sıcaklık testi sonrası yapılan basınç dayanımı test sonuçları

Numune Kodu	300° C			900° C		
	İlk Ağırlığı (gr)	300° C Sonrası Ağırlık (gr)	Basınç Dayanımı (MPa)	İlk Ağırlığı (gr)	900° C Sonrası Ağırlık (gr)	Basınç Dayanımı (MPa)
H0	692	670	61.63	699	658	38.69
H1	688	665	53.94	698	660	42.69
H2	704	681	61.00	688	651	38.69
H3	683	661	48.56	688	651	37.00
H4	701	680	44.81	698	660	29.50
H5	699	677	46.84	692	658	33.56
H6	714	692	49.25	695	661	24.38
H7	674	646	48.75	684	642	33.50
H8	689	664	41.06	692	646	23.15
H9	692	670	53.56	690	648	27.12
H10	694	667	42.63	704	660	21.19
H11	695	670	40.50	702	665	27.56
H12	674	639	30.38	685	636	24.19

6.2.5. Su emme deneyi

Su emme deneyi laboratuvar ortamında 28 gün boyunca kür edilmiş numuneler üzerinde TS-EN 480-5 standartlarına uygun olacak şekilde yapılmıştır. Kılcal su emme testinde 50x50x50 mm boyutlarındaki her seriden 3'er adet olmak üzere toplamda 39 adet küp numuneler kullanılmıştır.

Numuneler deneye tabi tutulmadan önce 110°C sıcaklıktaki hava sirkülasyonlu etüvde 24 saat boyunca bekletilmiştir. 24 saat sonra etüvde çıkarılan numuneler daha önceden hazırlanmış hassas terazi yardımıyla etüv kurusu ağırlıkları ölçülmüştür. Daha sonra

numunelerin dört bir tarafı boşluk kalmayacak şekilde su geçirmez bant yardımıyla kaplandı. Kaplama işleminde kullanılan su geçirmez bant (Şekil 6.27’de) gösterilmiştir. Suyu temas eden alt yüzey ve karşı yüzeyi açık bırakılmıştır. Kaplama işlemi biten numunelerin bantlandıktan sonraki ağırlıkları ölçülmüştür. Numuneler standarta uygun olarak belirli zaman aralıklarında tabandan su emdirme yöntemi kullanılarak 5-6 mm su içerisinde kalacak şekilde bir havuzun içerisine yerleştirildi. Su emme testi için hazırlanan numuneler (Şekil 6.28’de), havuza yerleştirilen numuneler ise (Şekil 6.29’da) gösterilmiştir.

Numuneler 5 dakika, 10 dakika, 20 dakika, 30 dakika, 60 dakika, 180 dakika, 360 dakika ve 1440 dakikada havuzdan çıkartılıp numunelerin suya değen yüzeyindeki fazla su bir kuru havlu yardımıyla silinip daha sonra hassas terazi yardımıyla tartılarak sonuçlar kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 6.5.’de gösterilmiştir.



Şekil 6.27. Kaplama işleminde kullanılan su geçirmez bant



Şekil 6.28. Su emme testi için hazırlanan numuneler



Şekil 6.29. Su emme testi için havuza yerleştirilen numuneler

Tablo 6.5. Su emme deney sonuçları

Num. Adı	Etüv Kuru	Bantlı Ağırlık	5 Dk	10 Dk	20 Dk	30 Dk	60 Dk	180 Dk	360 Dk	1440 Dk
H0	336	338.43	339.40	339.83	340.10	340.40	340.77	342.30	343.48	347.22
H1	335	337.16	338.27	338.58	338.91	339.26	339.70	341.28	343.51	348.92
H2	330	332.26	333.90	334.58	335.02	335.54	336.09	338.54	340.85	347.07
H3	336	338.41	340.12	341.88	342.60	343.26	344.08	347.32	349.96	355.43
H4	335	337.09	339.09	339.62	340.04	340.57	341.18	344.19	346.82	353.25
H5	334	336.76	338.83	339.29	339.79	340.31	340.96	343.90	346.81	353.01
H6	339	340.78	342.28	343.14	344.13	344.76	345.47	349.06	352.50	359.00
H7	333	335.62	337.38	338.68	339.20	339.86	340.59	343.80	346.84	353.42
H8	329	330.79	331.90	333.09	334.92	335.49	336.16	339.17	341.77	347.70
H9	333	335.32	337.41	338.86	339.59	340.20	340.90	344.27	347.42	353.53
H10	338	339.93	342.59	343.35	344.04	344.69	345.60	349.20	352.39	358.00
H11	339	340.68	343.23	344.27	344.88	345.50	346.22	349.79	352.74	358.90
H12	328	330.26	332.54	334.01	334.55	335.08	335.73	338.41	341.12	346.52

6.2.6. Donma çözülme deneyi

Donma çözülme deneyi laboratuvar ortamında 28 gün boyunca kür edilmiş numuneler üzerinde yapılmıştır. Deneyde küp numuneler TS EN 1367-1'e uygun olacak şekilde donma çözülme etkisine maruz bırakılmıştır. Bu test için her karışımdan 3'er adet olmak üzere toplamda 39 adet 50x50x50 mm boyutlarındaki 28 günlük numuneler kullanıldı. Numunelerin doygun kuru yüzey halindeki ağırlıkları ölçüldükten sonra ses geçiş hızları deneyleri yapıp +18°C ısıtma ve -20 °C'ye kadar soğutma kapasiteli tam otomatik donma çözülme cihazına yerleştirilmesi sağlandı. Deneyde kullanılan donma çözülme cihazı (Şekil 6.30'da) gösterilmektedir. Donma çözülme deneyi sonuçları (Tablo 6.6'da) verilmiştir. Cihaza koyulan numuneler 50 döngüye geldiğinde çıkartılıp ağırlıkları, ses geçiş hızları ve ses geçiş süreleri ölçülüp daha sonra tekrardan cihaza yerleştirildiler. Cihaz 100 devire geldiğinde aynı işlemler tekrarlandı. 200 döngü sonrasında numunelerin yüzeylerinde bozulma olup olmadığı kontrol edilerek not alındı ve donma çözülme deneyi sonlandırıldı. 200 devir sonrası kontrol edilen numunelerde H0, H7 ve H9 kodlu numunelerde bozulma görülmezken H1 numunesinde bozulma az miktarda gözlemlenirken diğer numunelerde bozulmalar görülmüştür. 200 devir sonrası cihazdan çıkarılan numunelerin son durumları Şekil 6.31 ve Şekil 6.32'de gösterilmiştir.



Şekil 6.30. Donma çözülme cihazı



Şekil 6.31. 200 Devir sonrası bozulma görülmeyen numuneler



Şekil 6.32. 200 Devir sonrası bozulma görülen numuneler

Tablo 6.6. Donma çözülme deney sonuçları

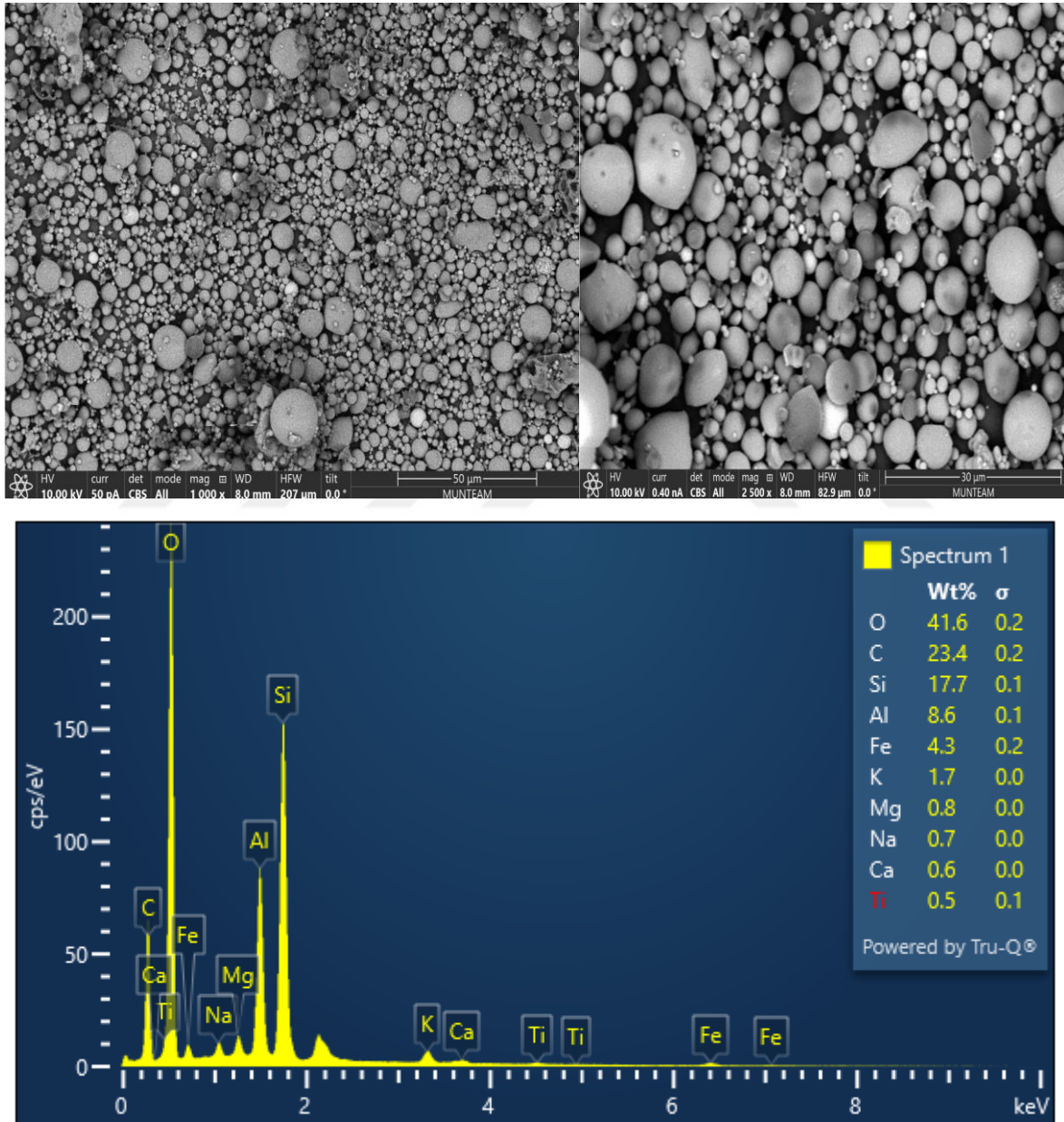
	0 Devir Sonrası			50 Devir Sonrası			100 Devir Sonrası			200 Devir Sonrası		
	Ağırlık (gr)	Ses geçiş süresi (µs)	Ses geçiş hızı (m/s)	Ağırlık (gr)	Ses geçiş süresi (µs)	Ses geçiş hızı (m/s)	Ağırlık (gr)	Ses geçiş süresi (µs)	Ses geçiş hızı (m/s)	Ağırlık (gr)	Ses geçiş süresi (µs)	Ses geçiş hızı (m/s)
H0	360.42	18.5	2679	360.16	18.5	2702	360.15	18.2	2747	360.10	18.2	2752
H1	358.98	18.5	2702	357.88	18.7	2678	357.56	18.4	2712	357.49	18.3	2727
H2	358.64	18.53	2697	357.84	18.53	2697	358.15	18.3	2727	357.00	18.3	2732
H3	358.88	18.53	2697	358.23	18.6	2688	358.41	18.5	2702	355.45	18.4	2715
H4	359.42	18.9	2645	358.56	19.0	2636	358.77	18.5	2717	356.14	18.7	2680
H5	358.58	19	2631	354.78	19.0	2636	354.62	18.8	2660	347.21	19	2613
H6	359.91	19.1	2617	358.96	19.0	2636	358.36	19	2631	352.10	19	2620
H7	349.44	18.5	2702	348.74	18.10	2767	348.49	18	2777	348.15	18.1	2754
H8	356.90	18.5	2702	356.11	18.4	2717	355.65	18.3	2737	353.13	18.3	2742
H9	352.09	18.5	2702	351.01	18.53	2697	351.37	18.3	2702	351.13	18.4	2710
H10	353.37	19	2631	352.11	18.57	2693	352.08	18.5	2705	350.12	18.5	2707
H11	353.65	19	2631	351.93	18.9	2640	351.95	18.6	2684	349.00	18.8	2660
H12	346.93	18.5	2702	345.57	18.4	2717	345.66	18.3	2520	344.50	18.5	2707

6.2.7. Barit tozu ve uçucu külün SEM/EDS analiz sonuçları

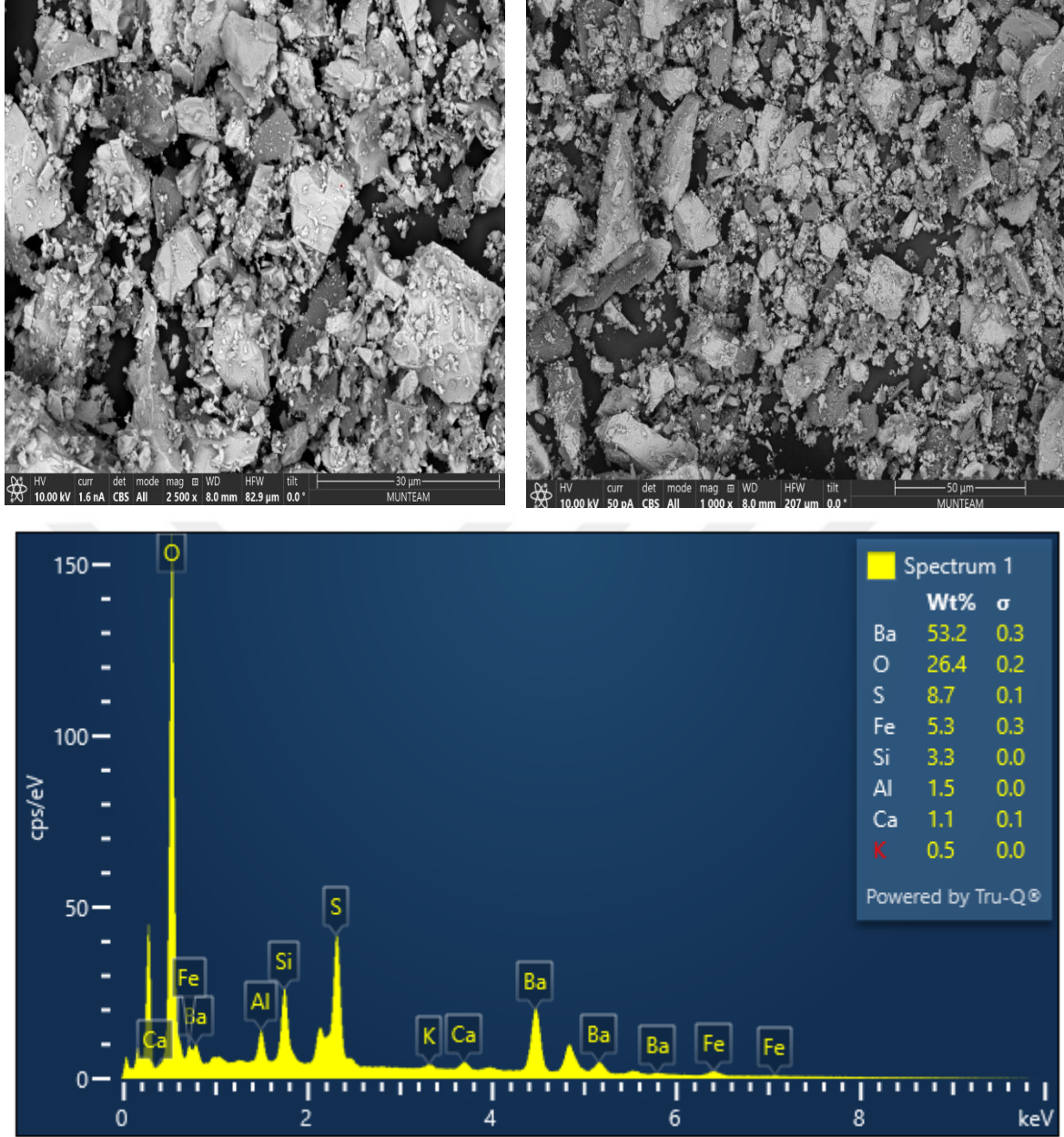
Seçilen sertleşmiş harç numuneleri üzerinde, Munzur Üniversitesi Nadir Toprak Elementleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (MUNTEAM) Laboratuvarı'nda taramalı elektron mikroskobu (SEM), Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi (EDS) analizleri gerçekleştirilmiştir. SEM, numunelerin mikroyapısal özelliklerini incelemek, EDS ise elementel dağılımlarını belirleyerek malzemenin bileşimini analiz etmek amacıyla kullanılmıştır. Şekil 6.33'de uçucu kül 1000x ve 2500x SEM görüntüleri ve EDS analiz sonuçları verilmekte olup, Şekil 6.34'de barit tozunun 1000x ve 2500x SEM görüntüleri ve EDS analiz sonuçları verilmektedir.

Uçucu külde, O, C, Si, Al, Fe, K, Mg, Na, Ca, Ti elementlerinin ağırlık dağılımı sırasıyla %41.6, 23.4, 17.7, 8.6, 4.3, 1.7, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5 olarak tespit edilmiştir. EDS analiz sonuçlarına göre uçucu külün temel elementlerinin O, C, Si olduğu tespit edilmiştir.

Barit tozunda, Ba, O, S, Fe, Si, Al, Ca, K elementlerinin ağırlık dağılımı sırasıyla %53.2, 26.4, 8.7, 5.3, 3.3, 1.5, 1.1, 0.5 olarak tespit edilmiştir. EDS analiz sonuçlarına göre barit tozunun temel elementlerinin sırasıyla Ba, O, S olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.33. Uçucu kül ait (a) 1000x büyütmedeki SEM görüntüsü, (b) 2500x büyütmedeki SEM görüntüsü ve (c) EDS analiz sonuçları

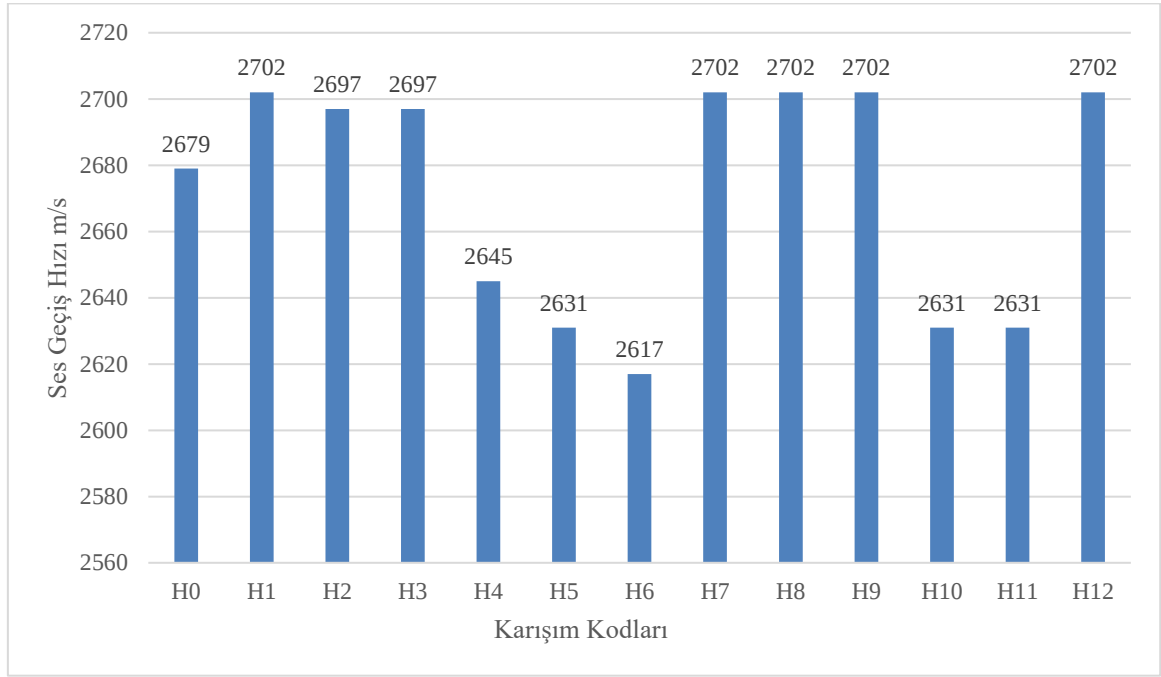


Şekil 6.34. Barit tozuna ait (a) 2500x büyütmedeki SEM görüntüsü, (b) 1000x büyütmedeki SEM görüntüsü ve (c) EDS analiz sonuçları

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

7.1. Ses Geçiş Hızı

Ses geçiş hızı deneylerinde 28 günlük numuneler kullanılmıştır. Kullanılan numunelerin ses geçiş hızları Şekil 7.1.'de verilmiştir.



Şekil 7.1. Ses geçiş hızı sonuçları

Ses geçiş hızı, betonun homojenliğini, dayanımı, boşluk veya çatlak miktarı vb. hakkında bilgi vermektedir. Numunelerin ses geçiş hızları karşılaştırıldığında en yüksek ses geçiş hızı değerleri H1, H7, H8, H9 ve H12 karışımlarından elde edilen numunelerde görülmüştür. En düşük ses geçiş hızı değeri H6 kodlu numunelerde elde edilmiştir. H6 kodlu numunelerde okunan değer kontrol betonu olarak hazırlamış olduğumuz H0 numunelerinde okunan değerden daha düşük kalmıştır. Barit tozunun %20, %25 ve %30 olduğu numunelerde ses geçiş hızının daha düşük olduğu, buda numunelerdeki boşluk oranının az olduğunu göstermektedir. UK ve BT karışimli numunelerde ise en düşük ses geçiş hızı H10 ve H11 kodlu numunelerde görülmüştür.

7.2. Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı testinde 3 günlük basınç dayanımı test sonuçlarına göre en düşük dayanım değerini 33,44 MPa ile H6 kodlu numuneler vermiştir. H6 karışımı kontrol betonu olarak üretmiş olduğumuz H0 karışımının vermiş olduğu 44,13 MPa değerinin de çok altında kalmıştır. Sonuçlara bakıldığında zaman en yüksek dayanım değerlerini 47,69 MPa değeriyle H1 karışımı verirken H1 den sonra en yüksek dayanım değerlerini 44,13 MPa ile kontrol betonu olarak üretmiş olduğumuz H0 ve 43,25 MPa değeriyle H3 kodlu numuneden elde edilmiştir. Sonuçlara bakıldığında en iyi dayanım H1 karışımından elde edilirken H1 karışımından sonraki karışımlarda dayanım değerlerinde düşüşler yaşanmıştır. BT ikameli karışımlarda en yüksek dayanım değerini H1 karışımı verirken en düşük dayanım değerini H6 karışımı vermiştir. BT+UK ikameli karışımlarda en yüksek dayanım değerini H9 numuneleri verirken en düşük dayanım değeri H11 numunelerinde görülmüştür.

3 günlük test sonuçlarında H0 numunesini H5, H6, H11, H12 numuneleri ile karşılaştırıldığında sırasıyla %18.67, %24.22, %20.82, %16.29 oranlarında azalma görülmüştür.

28 günlük basınç dayanımı deney sonuçlarına bakıldığında en düşük dayanımı 46.69 MPa olarak H6 kodlu numunelerde görülmüştür. H6 karışımı kontrol betonu olarak üretilen H0 karışımının vermiş olduğu 61.13 MPa değerinden de düşük kalmıştır. 28 günlük dayanım sonuçlarına göre en yüksek dayanım 61.13 MPa ile H0 kodlu numuneler de görülürken H7, H3 kodlu numuneler de sırası ile 56.63 MPa ve 56.23 MPa olarak yüksek dayanım gösteren numuneler olmuştur. BT ikameli karışımlarda en yüksek dayanım değerini H3 karışımı verirken en düşük dayanım değerini H6 karışımı vermiştir. BT+UK ikameli numunelerde en yüksek dayanım H7 kodlu numunelerde görülürken en düşük dayanım H10 numunelerinde ölçülmüştür. Tüm bu sonuçlar UK ve BT 'nin bağlayıcılık özelliğinin PÇ den düşük kaldığını göstermektedir.

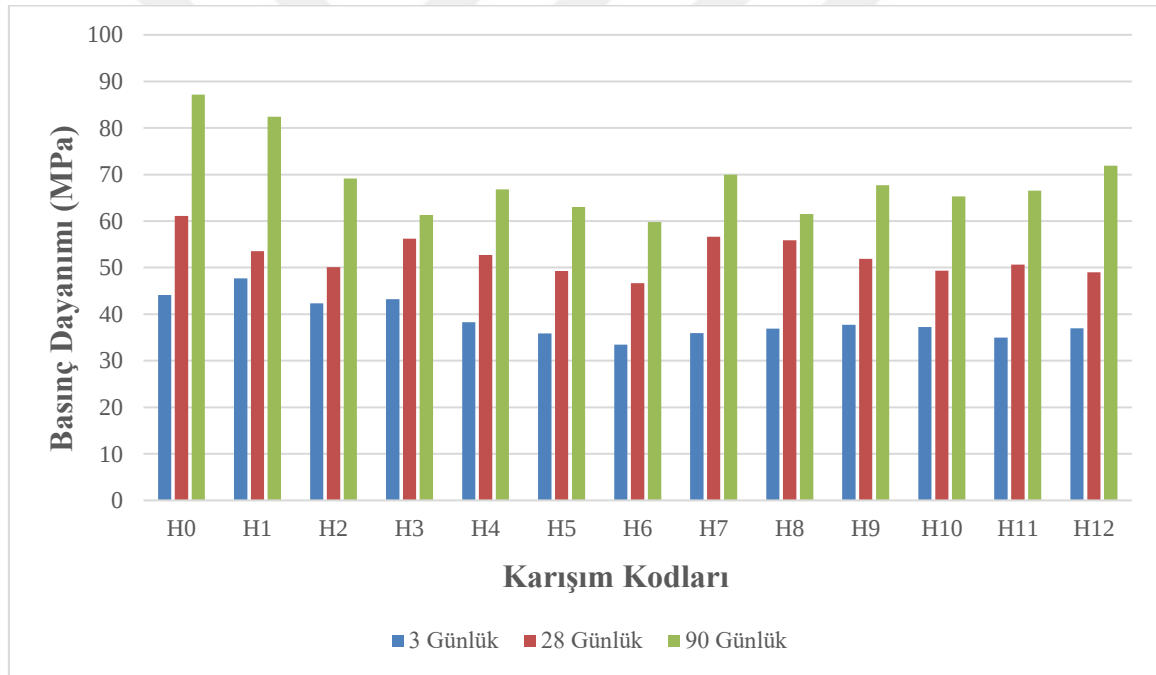
28 günlük test sonuçlarında H0 numunesini H1, H2, H3, H4 numuneleri ile karşılaştırdığımızda sırasıyla %12.41, %18.07, %8.01, %13.72 oranlarında dayanım azalması olmuştur.

90 günlük basınç dayanımı deney sonuçlarına bakıldığında en düşük dayanımı 59.81 MPa ile H6 kodlu numunelerde görülmüştür. H6 karışımı kontrol betonumuz olan H0 karışımının vermiş olduğu 87.15 MPa değerinden de düşük kalmıştır. 90 günlük

dayanım değerlerine göre en yüksek dayanım 87.15 MPa ile H0 kodlu numunelerde görülürken H1 kodlu numune 82.44 MPa sonucu vermiştir. BT ikameli karışımlarda en yüksek dayanım değerini H1 karışımı verirken en düşük dayanım değerini H6 karışımı vermiştir. BT+UK ikameli numunelerde en düşük dayanım H8 kodlu numunelerde görülürken en yüksek dayanım H7 kodlu numunelerde ölçülmüştür.

90 günlük test sonuçları da H0 numunesiyle H7, H8, H9, H10 numuneleri karşılaştırdığımızda sırasıyla %19.67, %29.43, %22.32, %25.06 oranlarında dayanım azalışı olmuştur.

28 ve 90 günlük basınç dayanım değerleri karşılaştırıldığında en yüksek artış 28.90 MPa artışla H1 numunesinden elde edilirken en düşük artış ise 5.03 MPa artışla H3 numunelerinde elde edilmiştir. Basınç dayanımı sonuçları Şekil 7.2.'de verilmiştir.



Şekil 7.2. Basınç dayanımı sonuçları

7.3. Eğilme Dayanımı

3 günlük eğilme testi sonuçlarına göre en düşük dayanım değerlerini 2,88 MPa ile H10 karışımı ve 3,12 MPa değeriyle H11 kodlu numunelerden elde edilmiştir. Her iki numunede kontrol karışımı olarak hazırlanan H0 karışımından elde edilen 5,13 MPa değerinden düşük kalmışlardır. Sonuçlara bakıldığında en yüksek dayanım değerini 5,93

MPa değeriyle H1 karışımı vermiştir. H1 karışımından sonraki numunelerin dayanımlarında düşüşler yaşanmıştır. BT ikameli karışımlarda en düşük dayanım değeri 4,13 MPa değeriyle H3 karışımından elde edilirken en yüksek değeri H1 karışımı vermiştir. UK+ BT ikameli numunelerde en yüksek değeri H9 karışımı verirken en düşük değeri 2,88 MPa değeriyle H10 kodlu numuneden elde edilmiştir.

3 günlük test sonuçlarında H0 numunesi H5, H6, H11, H12 numuneleri ile karşılaştırıldığında sırasıyla %12.28, %2.72, %39.18, %25.53 oranında azalış görülmüştür.

28 günlük eğilme dayanımı deney sonuçlarına göre en düşük dayanımı 4,52 MPa değeriyle H2 kodlu numunede görülmüştür. H2 karışımı kontrol betonu olan H0 karışımından elde edilen 6,35 MPa değerinden de düşük değer vermiştir. 28 günlük dayanım değerlerine bakıldığında en yüksek dayanım değerlerini 6,75 MPa değeriyle H3 ve 6,42 MPa değeriyle H4 kodlu numunelerden elde edilmiştir. BT ikameli karışımlarda en yüksek dayanım değeri H3 karışımından elde edilirken en düşük dayanım değeri H2 numunesi vermiştir. BT+UK ikameli karışımlarda en yüksek dayanımı H10 numunesi verirken en düşük dayanım H11 numunesinde görülmüştür.

28 günlük test sonuçlarında H0 numunesiyle H1, H2, H3, H4 numuneleri karşılaştırıldığında H3 ve H4 numuneleri sırasıyla %6.29 ve %1.10 artış gösterirken H1 ve H2 numuneleri sırasıyla %0.31, %28.81 oranında azalış gösterdiler.

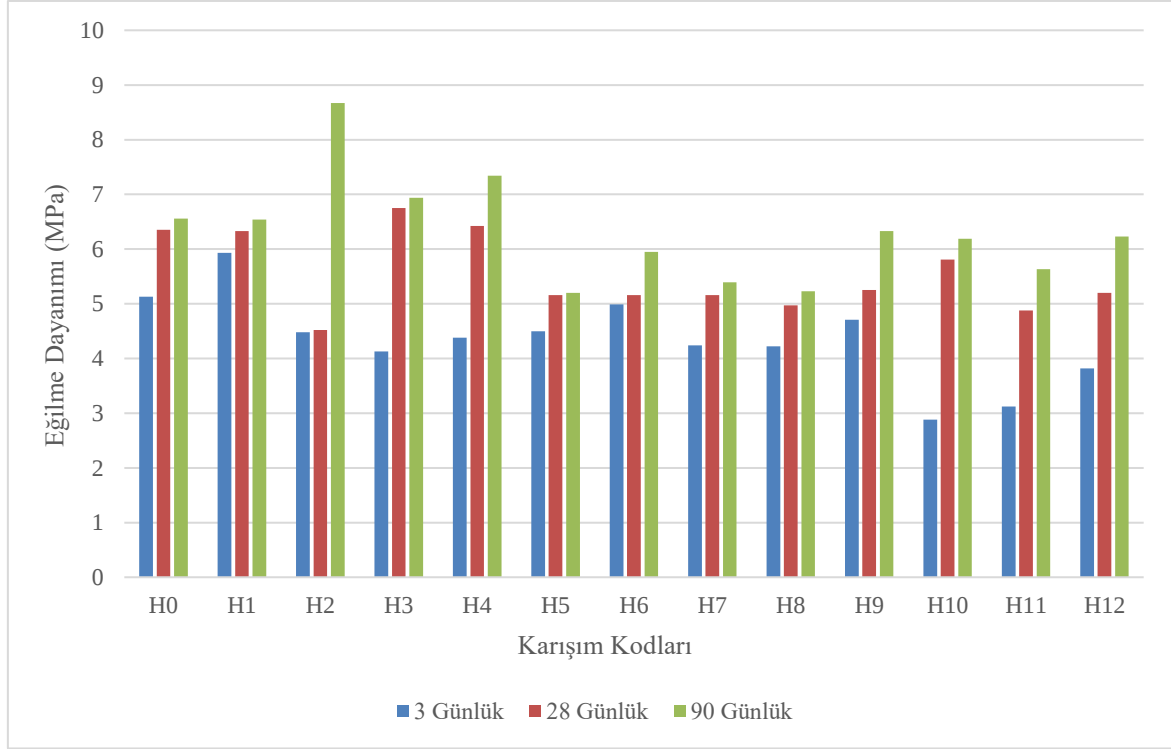
90 günlük eğilme dayanımı değerlerine bakıldığında en düşük dayanımı 5,20 MPa değeriyle H5 kodlu numuneden elde edilmiştir. H5 numunesi kontrol betonu olan H0 karışımından elde edilen 6,56 MPa değerinden de düşük değer vermiştir. 90 günlük dayanım değerlerine bakıldığında en yüksek dayanım değerlerini 8,67 MPa değeriyle H2 karışımı ve 7,34 MPa değeriyle H4 kodlu numuneler vermiştir. BT ikameli karışımlarda en düşük dayanım değeri H5 karışımından elde edilirken en yüksek dayanım değeri H2 numunesinden elde edilmiştir. BT+UK ikameli karışımlarda en düşük dayanım değerini H8 numuneleri verirken en yüksek dayanım değeri H9 numunelerinde görülmüştür.

90 günlük test sonuçlarında H0 numunesiyle H7, H8, H9, H10 numuneleri karşılaştırıldığında sırasıyla %17.83, %20.27, %3.50, %5.64 oranlarında azalış görülmüştür.

28 ve 90 günlük eğilme dayanım değerleri karşılaştırıldığında en yüksek artış H2 kodlu numunede elde edilirken en düşük artış H5 karışımında elde edilmiştir.

90 günlük sonuçlara bakıldığında kontrol karışımı olarak üretilen H0 istatistiksel olarak diğer karışımlardan daha başarılı sonuçlar vermiştir. Bu sonuçlar bize portland

çimentosu yerine barit tozu ve uçucu kül kullanımının dayanım açısından daha kötü sonuçlar verdiğini göstermekle birlikte portland çimentosunun bağlayıcılık ve dayanım özelliklerinin barit tozu ve uçucu külden daha iyi olduğunu göstermektedir. Eğilme dayanımı sonuçları Şekil 7.3.'de verilmiştir.



Şekil 7.3. Eğilme dayanımı sonuçları

7.4. Yüksek Sıcaklık Deneyi

Eğilme dayanımı: Yüksek sıcaklık sonrası dayanım deneyi, 28 günlük numunelere 300°C ve 900 °C ısı uygulanarak yapılmıştır. Bu deney sonuçlarına göre 300°C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin eğilme dayanımları incelendiğinde en düşük dayanımı 3,00 MPa değeriyle H8 karışımından üretilen numuneler vermiştir. H8 numunelerinin dayanımı kontrol betonu olan H0 numunelerinden elde edilen 4,76 MPa değerinin de altında kalmıştır. 300°C sonrası eğilme dayanım testinde en yüksek dayanım değerlerini 5,27 MPa değeriyle H1 numunesi, 5,25 MPa değeriyle H4 ve 5,16 MPa değeriyle H9 kodlu numunelerden elde edilmiştir. BT ikameli karışımlarda en düşük dayanım değeri H3 karışımından elde edilirken en yüksek dayanım değeri H1 numunesinde görülmüştür.

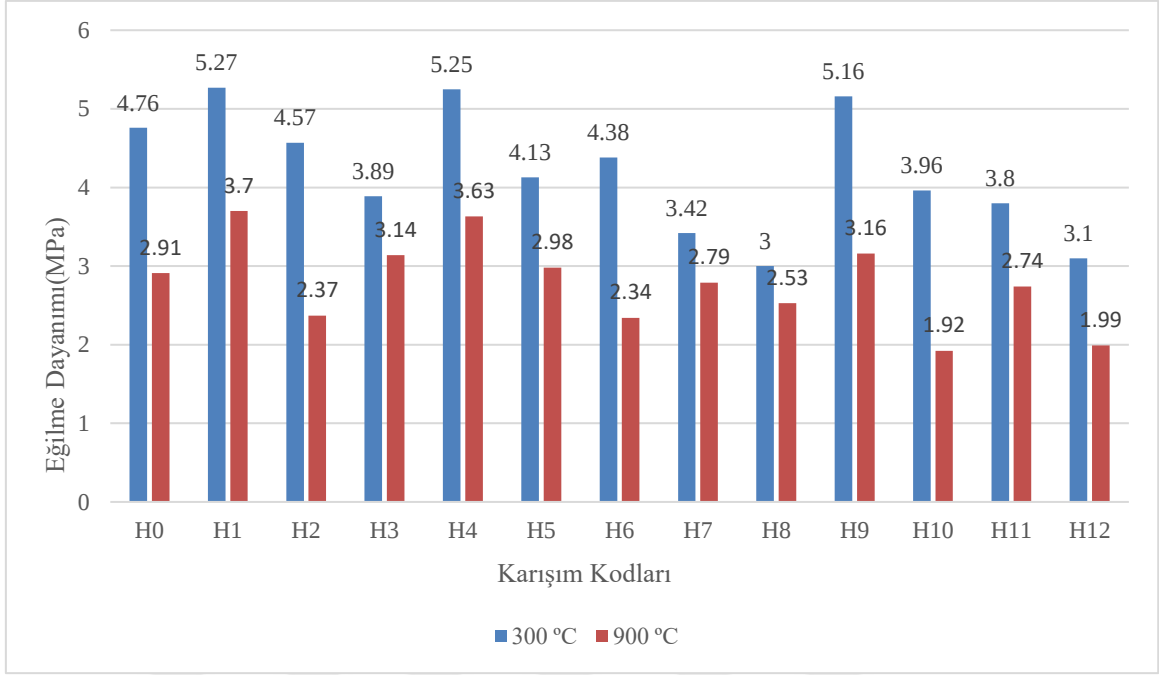
BT+UK ikameli numunelerde en düşük dayanım değeri H8 kodlu numuneden elde edilirken en yüksek dayanım değeri H9 karışımının verdiği gözlemlenmiştir.

H0 numunesi ile H1, H4, H9 numuneleri karşılaştırılırsa sırasıyla %10.71, %10.29, %8.40 oranında artış meydana gelirken, H0 numunesi ile H2, H3, H7, H8 numuneleri karşılaştırılırsa sırasıyla %3.99, %18.27, %28.15, %36.97 oranlarında azalma görülmüştür.

900°C sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra eğilme testi yapılan numunelerin dayanımları incelendiğinde en düşük dayanım değerlerini 1,92 MPa değeriyle H10 ve 1,99 MPa değeriyle H12 kodlu numune vermiştir. Bu her iki karışımda kontrol betonu olan H0 karışımının vermiş olduğu 2,91 MPa değerinin altında kalmıştır. 900 °C sonrası eğilme testi yapılan numuneler incelendiğinde en yüksek dayanım değerlerini 3,70 MPa değeriyle H1 ve 3,63 MPa değeriyle H4 kodlu numunelerden elde edilmiştir. BT ikameli karışımlarda en yüksek dayanım değeri H1 karışımından elde edilirken en düşük dayanım değeri H6 numunesi vermiştir. BT+UK ikameli karışımlarda en düşük dayanım değeri H10 karışımından elde edilirken en yüksek dayanım değeri H9 numunesinden elde edilmiştir.

H0 numunesi ile H1, H3, H4, H5, H9 numuneleri karşılaştırıldığında sırasıyla %27.14, %7.90, %24.74, %2.40, %8.59 oranlarında artış gösterirken, H2, H6, H11 numunelerinde sırasıyla %18.55, %19.58, %5.84 oranlarında azalma meydana gelmiştir.

300°C ve 900 °C sıcaklığa maruz bırakılan numuneler karşılaştırıldığında sıcaklık artışından en fazla etkilenen karışım 2,20 MPa azalışla H2 karışımı olurken, en az dayanım düşüşü 0.47 MPa ile H8 kodlu numune olmuştur. Kontrol karışımı olan yalnızca PÇ içeren H0 numunesi istatistiksel olarak ikameli karışımlara göre daha etkili olmuştur. Yüksek sıcaklık sonrası yapılan eğilme dayanım testi sonuçları Şekil 7.4.'de verilmiştir.



Şekil 7.4. Yüksek sıcaklık etkisi sonrası eğilme testi sonuçları

Basınç dayanımı: 300°C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımı test sonuçları incelendiğinde en düşük dayanımı 30.38 MPa ile H12 kodlu numuneden elde edilmiştir. H12 karışımı kontrol betonu olan H0 numunesinin vermiş olduğu 61.63 MPa değerinin de altında kalmıştır. 300°C sıcaklık sonrası basınç dayanım testinde en yüksek dayanımı 61.63 MPa değeriyle H0, 61.0 MPa ile H2 kodlu numunenin verdiği görülmüştür. BT ikameli karışımlardan en düşük dayanım değeri H4 numunesinden elde edilirken en yüksek dayanım H2 numunesinden elde edilmiştir. BT+UK ikameli karışımlardan en düşük dayanım H11 numunesinde olurken en yüksek dayanım değeri ise H9 numunesinde görülmüştür.

H0 numunesi ile H2, H4, H8, H10, H12 numuneleri karşılaştırıldığında sırasıyla %1.02, %27.29, %33.37, % 30.82, %50.70 oranlarında azalma görülmüştür.

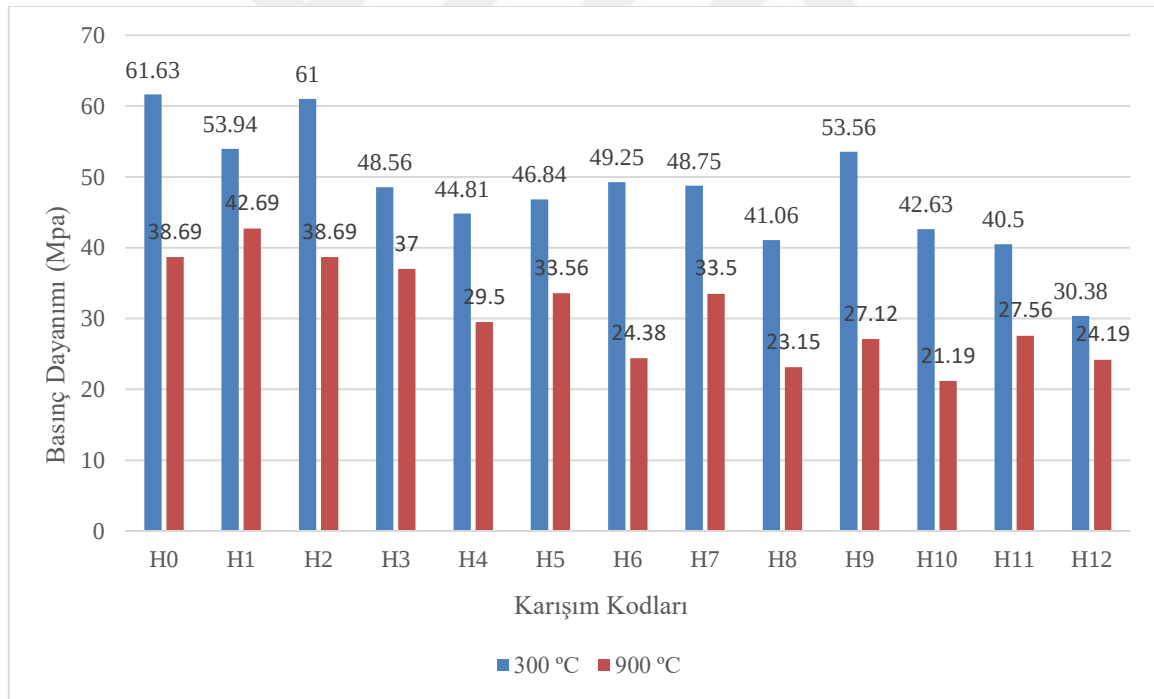
900°C sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra basınç dayanımı testi yapılan numunelerin dayanımları incelendiğinde en düşük dayanımları 21.19 MPa değeriyle H10 numunesi ve 23.15 MPa değeriyle H8 kodlu numunelerde görülmüştür. Bu her iki karışımda kontrol betonu olan H0 karışımının vermiş olduğu 38.69 MPa değerinin altında kalmıştır. 900°C sonrası basınç dayanımı testi sonuçları incelendiğinde en yüksek dayanım değerleri 42.69 MPa değeriyle H1, 38.69 MPa ile H2 ve kontrol betonu olan H0 numunelerinden elde edilmiştir. BT ikameli numunelerden en yüksek dayanım H1

numunesinden elde edilirken en düşük dayanım değerini H6 numunesi vermiştir. BT+UK ikameli karışımlarda en düşük dayanım değerini H10 numunesi verirken en yüksek dayanım değerini ise H7 kodlu numuneden elde edildiği görülmüştür.

H0 numunesi ile H1, H3, H6, H9, H11 numuneleri karşılaştırıldığında H1 numunesi %10.33 artış gösterirken diğer numunelerde sırasıyla %4.36, %36.98, %29.90, %28.76 oranlarında azalma meydana gelmiştir.

900°C sıcaklığa maruz bırakılan BT ikameli numunelerde en yüksek dayanım değeri H1 numunelerinde görülmüştür.

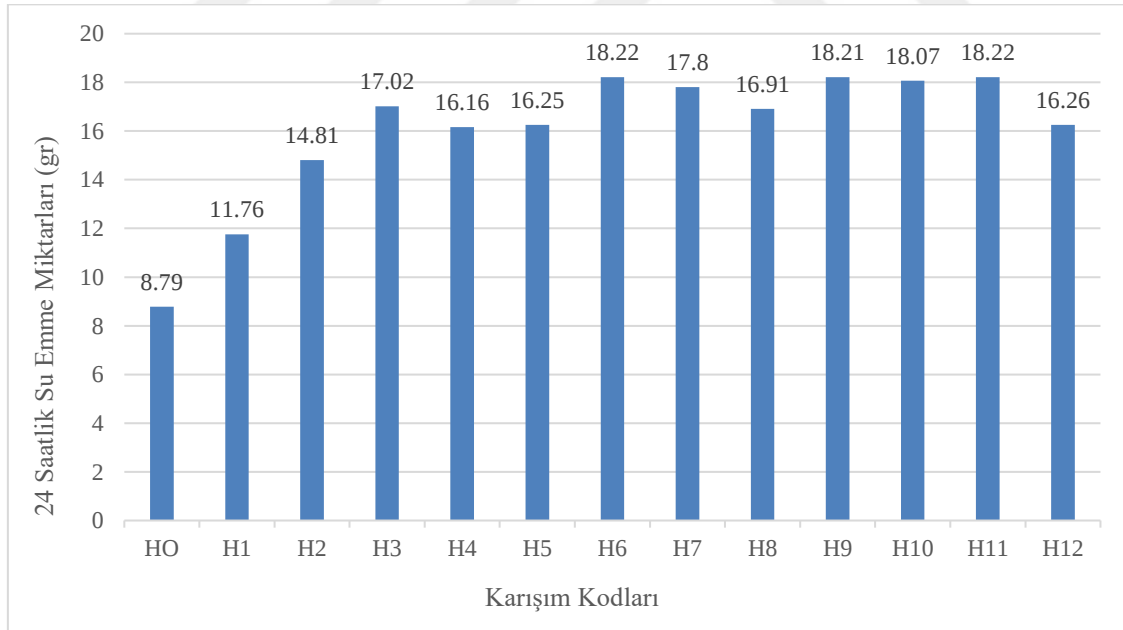
300°C ve 900°C sıcaklığa maruz bırakılan numuneler karşılaştırıldığında sıcaklık artışından en fazla etkilenen karışım H6 olurken en az etkilenen karışım H12 numunesi olmuştur. Kontrol karışımı olan H0 numunesi istatistiksel olarak diğer karışımlardan daha dayanıklı olmuştur. Yüksek sıcaklık etkisi sonrası yapılan basınç dayanım test sonuçları Şekil 7.5.'de verilmiştir.



Şekil 7.5. Yüksek sıcaklık etkisi sonrası yapılan basınç dayanımı sonuçları

7.5. Su Emme Deneyi

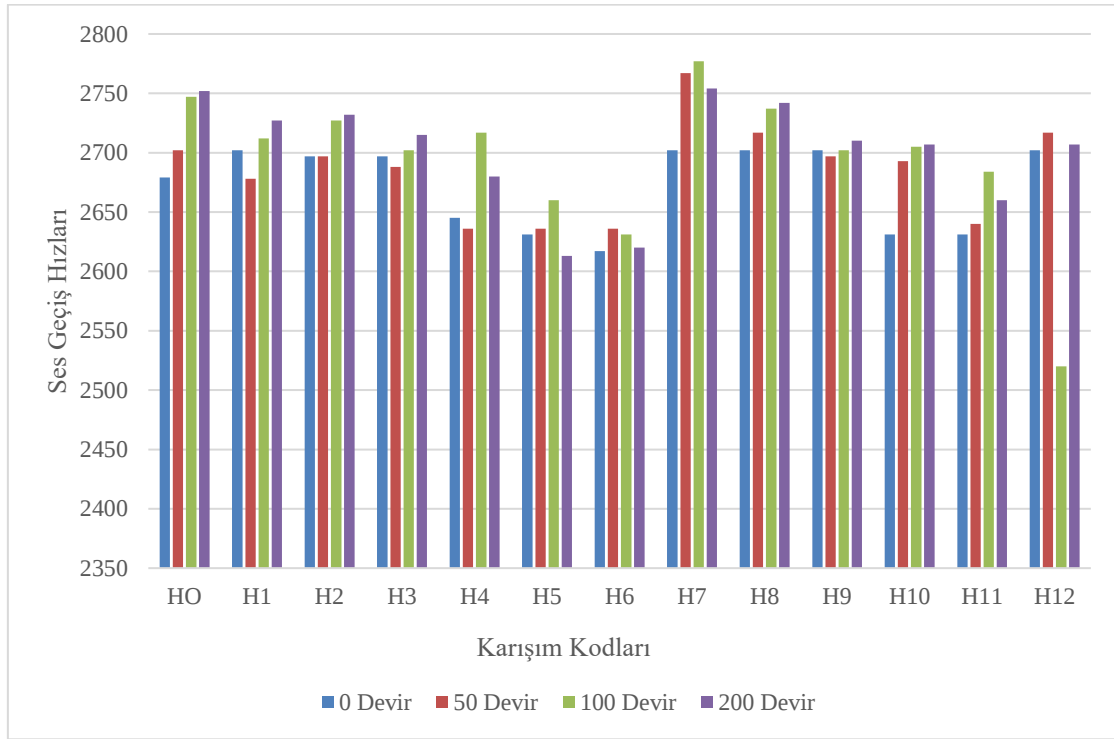
28 günlük numuneler üzerinde yapılan su emme deney sonuçları karşılaştırıldığında H0 karışım numunesi su emmesi en az olan karışımdır. Su emme miktarı en fazla olan karışımlar 18,22 gr su emme miktarıyla H6, H11 ve 18,21 gr su emme miktarıyla H9 numuneleri olmuştur. H0 kontrol karışımından sonra en az su emme 11,76 gr ile H1 numunelerinde görülmüştür. Tüm bu sonuçlar göz önüne alındığında PÇ yerine Barit tozu ve uçucu kül kullanımı su emme miktarının artışına neden olmuştur. Barit tozunun %10 ve üzerinde kullanılması durumunda su emme miktarları çok yükselmiştir. Kontrol karışımına en yakın sonucu veren H1 karışımından hareketle barit tozunun %5 seviyelerinde kullanılması en sağlıklı sonuçları vermiştir. Bu da bize barit tozunun %5 seviyelerinde kullanılması gerektiğini göstermektedir. H0 numunesi ile H1, H3, H7, H10 numuneleri karşılaştırıldığında su emme miktarları sırasıyla %33,78, %93.62, %102.50, %105.57 oranlarında artış olduğu gözlemlenmiştir. Su emme deneyi sonuçları Şekil 7.6.'da verilmiştir.



Şekil 7.6. Su emme deneyi sonuçları

7.6. Donma Çözülme Deneyi

28 günlük numuneler üzerinde 0, 50, 100 ve 200 devirde yapılan donma çözülme deneyi sonuçları karşılaştırıldığında dört ölçüm ortalamasına bakıldığında en yüksek sonuçları H7 karışımı vermiştir. Dört ölçüm ortalamalarına bakıldığında en düşük değerleri H6 kodlu numunelerde görülmüştür. H9 karışımı tüm devirlerde yaklaşık olarak aynı sonuçları verdiği gözlemlenirken H12 karışımında ise 100 devirdeki elde edilen sonuçtaki ciddi düşüşte dikkat çekmektedir. Donma çözülme deneyi sonuçları Şekil 7.7.'de verilmiştir.



Şekil 7.7. Donma çözülme deneyi sonuçları

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elde etmeye çalıştığımız yeni karışımlar hem ağır harçların yüksek sıcaklık, eğilme ve basınç dayanımı gibi iyi özelliklerini taşıırken kendiliğinden yerleşen harçların hiçbir baskı uygulamadan kendiliğinden kolayca yerleşmesi ve sıkışması gibi özelliklerini de taşıyor olmasıyla birlikte istenilen başarılı karışım numunelerinin elde edilmesini sağlamıştır. Tüm bu karışım numuneleri içerisinde en iyi sonuçları veren numuneleri tespit edebilmek amacıyla laboratuvar çalışmalarında 3 farklı barit ve katkı malzemeleri kullanarak yapmış olduğumuz 13 er numuneler üzerinde birçok testler yapılmış olup her bir test için iyi ve kötü sonuçlar elde eden numuneler tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçları maddeler halinde sıralamak gerekirse;

- H0 karışımı su emmesi en düşük olan karışımdır. PÇ yerine BT ve UK kullanımı su emme miktarının artmasına neden olmuştur.
- Su emme testi sonucuna göre H0 karışımına en yakın sonuç veren %5 BT bulunan H1 karışımı olduğundan bu karışım başarılı olmuştur.
- Numunelerin ses geçiş hızları karşılaştırıldığında en yüksek ses geçiş hızı değerleri H1, H7, H8, H9 ve H12 karışımlarından elde edilmiştir buda numunelerdeki boşluk oranının fazla olduğunu göstermektedir. Barit tozunun %20, %25 ve %30 olduğu numunelerde ses geçiş hızının daha düşük olduğu buda numunelerdeki boşluk oranının az olduğunu göstermektedir.
- 3 günlük basınç dayanım sonuçlarına bakıldığında en yüksek dayanım değerini 47,69 MPa ile H1 numunesi vermiştir.
- 3 günlük eğilme dayanımı sonuçlarına bakıldığında en yüksek dayanım değerini 5,93 MPa ile H1 karışımı vermiştir
- H1 karışımından sonraki karışımlarda eğilme dayanımlarında düşüşler yaşanmıştır.
- 3 günlük erken dayanım sonuçlarına bakıldığında hem basınç dayanımında hem de eğilme dayanımında en yüksek değerleri H1 numunesinde görülmüştür.
- 28 günlük basınç dayanımı sonuçlarına göre en yüksek dayanım H0 karışımında görülürken en düşük dayanım 46.69 MPa ile H6 numunelerinde görülmüştür.
- 90 günlük basınç dayanımı deney sonuçlarına bakıldığında en düşük dayanımı 59.81 MPa ile H6 karışımında görülürken en yüksek dayanım ise 87,15 ve 82.44 MPa ile H0 ve H1 numunelerinde görülmüştür.

- 28 günlük numuneler üzerinde yapılan eğilme dayanımı deney sonuçlarına göre en düşük dayanım 4,52 MPa ile H2 kodlu numunede en yüksek dayanım ise 6,75 MPa ile H3 numunesinden elde edilmiştir.
- 90 günlük eğilme dayanımı değerlerine bakıldığında en düşük dayanımı 5,20 MPa ile H5 karışımında, en yüksek dayanım ise 8,67 MPa ile H2 numunelerinde görülmüştür.
- 300°C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin eğilme dayanımları incelendiğinde en düşük dayanımı 3,00 MPa ile H8 kodlu numunede, en yüksek dayanım 5,27 MPa ile H1 numunesinde görülmüştür.
- 900°C sonrası yapılan eğilme testinde numunelerin dayanımları incelendiğinde en düşük dayanım değeri 1,92 MPa ile H10 numunesinde, en yüksek dayanım 3,70 MPa ile H1 karışımından elde edilmiştir.
- 300°C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımları incelendiğinde en düşük dayanım 30.38 MPa ile H12 numunesinde, en yüksek dayanım ise 61.63 MPa ile H0 numunesinde görülmüştür.
- 900°C sonrası yapılan basınç dayanım testinde numunelerin dayanımları incelendiğinde en düşük dayanım değerini 21.19 MPa ile H10 karışımı verirken, en yüksek dayanımı 42.69 MPa ile H1 kodlu numune vermiştir.
- Tüm test sonuçları karşılaştırıldığında sonuç olarak en uygun karışım numunesinin %5 BT ikame edilmiş olan H1 karışımından elde edildiği görülmüştür.

Elde edilen sonuçların yanı sıra, literatürdeki benzer çalışmalarda bazalt tozu, cam tozu ve yüksek fırın cürufu kullanılarak çalışmalar yapılarak daha yüksek sıcaklık değerlerine bakılması bir öneri olarak sunulabilir. Yine, benzer çalışmada üretilen harçların radyasyon performanslarının incelenmesi de önerilmektedir.

9. KAYNAKLAR

- Abdelgawad, M. A., El Shazly, R. M., Farag, A. T. M., Adam, I., Kany, A. M. I., 2023.** Study of mechanical, thermal, and nuclear, radiation attenuation properties of tourmaline loaded heavy weight heat resistant concrete as reactor shielding materials, *Progress in Nuclear Energy*, Volume 158, 104605.
- Açıkgenç, M., Karataş, M., Ulucan, Z. Ç., 2013.** Elazığ Yöresine Ait Atık Tuğla Ve Kireç Taşı Tozunun Kendiliğinden Yerleşen Harcın Mühendislik Özelliklerine Etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. Cilt 19, sayı 6, doi: 10.5505/pajes.2013.24633.
- Akhrarovich, A., H., Akhrorugli, M., B., 2022.** Investigations of the properties, composition, benefits of chemical additives, changes in cement properties and deformation and strength properties of heavy concrete, *Journal of Positive School Psychology*, Vol. 6, No. 6, 4740 – 4749.
- ASTM C-348, 2008.** American Standard of Testing Material, Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars.
- ASTM C-349, 2008.** American Standard of Testing Material, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic-Cement Mortars (Using Portions of Prisms Broken in Flexure).
- ASTM C597-02, 2002.** American Standard of Testing Material, Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.
- Bakırhan, E., 2017.** Kurşun maden atığı katkılı ağır betonların radyasyon soğurma katsayılarının 662-1460 Kev enerji aralığında incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gümüşhane Üniv., Gümüşhane. 61s.
- Benabed, B., Kadri, E. H., Azzouz, L., Kenai, S., 2012.** Properties of self-compacting mortar made with various types of sand, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 34 Issue 10, Pages 1167-1173.
- Benli, A., Karataş, M., Bakır, Y., 2017.** Durability and Strength Properties Self-Compacting Mortars with High-Calcium Fly Ash and Silica Fume, *Karaelmas Fen ve Müh. Derg.* 7(2): 647-657, 2017. DOI: 10.7212/zkufbd.v7i2.990.
- Benli, A., Karataş, M., 2019.** Uçucu kül ve silis dumanı ikameli üçlü karışımlardan üretilen kendiliğinden yerleşen harçların durabilite ve dayanım özellikleri. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 06.11.2018.
- Binici, H., Aksoğan, O., Sevinç, A., H., Küçükönder, A., 2014.** Mechanical and radioactivity shielding performances of mortars made with colemanite, barite, ground basaltic pumice and ground blast furnace slag, *Construction and Building Materials*, Volume 50, 15 January 2014, Pages 177-183.

- Cemalgil, S.**, 2020. Barit Tozu Modifiyeli Kendiliğinden Yerleşen Harçların Mekanik Özellikleri. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, ORCID: 0000-0001-6475-3632.
- Cemalgil, S.**, 2022, The Effect of Using Waste Tire as a Fine Aggregate on Mechanical Properties of Fly Ash-Substituted Self-Compacting Concrete. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, Volume 46, Pages 2885-2906.
- Cemalgil, S., Onat, O., Etli, S.**, 2021, Effect of pumice powder and artificial lightweight fine aggregate on self-compacting mortar. *Techno-Press*, Volume 27, Issue 3, Pages 241-252.
- Cemalgil, S., Onat, O., Tanaydın, M., K., Etli, S.**, 2021, Effect of waste textile dye adsorbed almond Shell on self compacting mortar. *Construction and Building Materials*, Volume 300, 20 20 September 2021, 123978.
- Cilason, N.**, 1982. Beton, Sezai Türkeş-Fevzi Akkaya İnşaat A.Ş. Yayınları. S.21. İstanbul.
- EFNARC**, 2005. Specification and Guidelines for Self-compacting Concrete. English. European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems
- Esen, Y., Orhan, E., Kurt, A.**, 2011. Öğütülmüş Barit İle Üretilen Betonun Basınç Dayanımı Ve Fiziksel Özelliklerinin Deneysel Olarak Araştırılması, *e-Journal of New World Sciences Academy*, Volume: 6, Number: 4, 1281-1290, ISSN: 1306-3111.
- Gönen, T.**, 2009. Kendiliğinden Yerleşen Pomza Ve Perlit Agregalı Hafif Harçların Mekanik Özellikleri. *e-Journal of New World Sciences Academy*. Volume 4, number 2, Article Number: 1 A0019, ISSN: 1306-3111.
- Gümüş, M., Demir, Ş., Sevim, Ö.**, 2020. Agrega Tipinin Ağır Betonların Radyasyon Soğurma Özelliklerine Etkisi, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, Volume: 12, Issue: 2, 777-786, June 2020.
- Hammat, S., Menadi, B., Kenai, S., Thomas, C., Kırgız, M., S., Galdino, A., G., S.**, 2021, The effect of content and fineness of natural pozzolana on the rheological, mechanical, and durability properties of self-compacting mortar, *Journal of Building Engineering*, 2021, 103276
- Horszczaruk, E., Sikora, P., Cendrowski, K., Mijowska, E.**, 2017. The Effect of elevated temperature on the properties of cement mortars containing nanosilica and heavyweight aggregates, *Construction and Building Materials*, 137 (2017) 420-431.
- Kaya, D.**, 2019. Normal beton ve özel amaçlı betonların γ radyasyonunu zırlama özelliklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ, İstanbul, 58s.

- Kızılkant, A., B., Yüzer, N.,** 2008. Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Harcın Basınç Dayanımı-Renk Değişimi İlişkisi, *İMO Teknik Dergi*, 4381-4392, Yazı 289.
- Kök, S., Türetken, M., S., Öksüzer, N., Gökçe., H., S.,** 2023. Effect of elevated temperature on radiation shielding properties of cement and geopolymer mortars including barite aggregate and colemanite powder, *Materialia*, Volume 27, March 2023, 101693.
- Lai, M., H., Wu, K., J., Cheng, X., Ho, J., C., M., Wu, J., P., Chen, J., H., Zhang, A., J.,** 2022. Effect of fillers on the behaviour of heavy-weight concrete made by iron sand, *Construction and Building Materials*, Volume 332, 127357.
- Liu, R., X., Poon, C., S.,** 2016. Effects of red mud on properties of self-compacting mortar, *Journal of Cleaner Production*. Volume 135, Pages 1170-1178, 1 November 2016.
- Lotfi-Omran, O., Sadrmomtazi, A., Nikbin, I., M.,** 2020. The influences of maximum aggregate size and cement content on the mechanical and radiation shielding characteristics of heavyweight concrete, *Progress in Nuclear Energy*, 121, 103222.
- Madduru, S., R., C., Pallapothu, S., N., R., G., Pancharathi, R., K., Garje, R., K., Chakilam, R.,** 2016, Effect of self curing chemicals in self compacting mortars, *Construction and Building Materials*, Volume 107, 2016, Pages 356-364.
- Mohseni, E., Miyandehi, B., M., Yang, J., Yazdi, M., A.,** 2015. Single and combined effects of nano-SiO₂, nano-Al₂O₃ and nano-TiO₂ on the mechanical, rheological and durability properties of self-compacting mortar containing fly ash, *Construction and Building Materials*, Volume 84, (2015) Pages 331-340.
- Niedzwiedzka, D., J., Rovnanik, P., Dabrowski, M., Osko, J., Kuc, M., Maciak, M.,** 2025, Gamma radiation attenuation, mechanical properties and microstructure of barite- modified cement and geopolymer mortars, *Nuclear Engineering and Technology*, Volume 57, Issue 4, April 2025, 103295.
- Ortega, M., A., G., Cavalaro, S., H., P., Aguado, A.,** 2015. Influence of barite aggregate friability on mixing process and mechanical properties of concrete, *Construction and Building Materials*, Volume 74, 15 January 2015, Pages 169-175.
- Ouda, A., S.,** 2015. Development of high-performance heavy density concrete using different aggregates for gamma-ray shielding, *Progress in Nuclear Energy*, Volume 79, Pages 48-55.
- Öz, H., Ö.,** 2017. Atık Cam Tozu ve Yüksek Fırın Cürufunun İçeren Kendiliğinden Yerleşen Harçların Taze, Mekanik ve Durabilite Özellikleri, *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(4), 2017.
- Özel, C., Kapkan, A., N.,** 2017. Kendiliğinden Yerleşen Beton Özellikleri Üzerinde Agrega Özelliklerinin Etkisi. *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*. Sayı 1, cilt 1, sayfa 1-6, 31.12.2017.

- Özen, S., Şengül, C., Taşdemir, M., A., Erenoğlu, T., Ekim, H., İlca, T.,** 2020. Farklı Agregalarla Üretilen Ağır Betonların Tasarımı ve Mekanik Özellikleri, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Palou, M., T., Podhorska, J., Ju, M., Park, K., Cipcianska, J., Zemlicka, M., Koplik, J., Novotny, R.,** 2024. Formulation of mixture proportions and experimental study of heavyweight self-compacting concrete based on magnetite and barite, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* (2024) 149:10545-10558.
- Quiroga, P., M., C., Varela, M., T., B.,** 2021, Barium carbonate and supplementary cementitious materials to counteract thaumasite sulfate attack in mortars: Effect of aggregate composition, *Construction and Building Materials*, Volume 282, 3 May 2021, 122583.
- Revuelta, D., Barona, A., Navarro, D.,** 2009. Measurement of properties and of the resistance to segregation in heavyweight, self-compacting barite concrete, *Materiales de Construcción*, Vol. 59, 295, 31-44.
- Rizwan, S., A., Bier, T., A.,** 2012. Blends of limestone powder and fly-ash enhance the response of self-compacting mortars, *Construction and Building Materials*, Volume 27, Issue 1, 1 February 2012, Pages 398-403.
- Safi, B., Saidi, M., Daoui, A., Bellal, A., Mechekak, A., Toumi, K.,** 2015. The use of seashells as a fine aggregate (by sand substitution) in self-compacting mortar (SCM), *Construction and Building Materials*. Volume 78, Pages 430-438, 1 March 2015.
- Sağlam, A., R., Parlak, N., Doğan, U., A., Ozkul, M., H.,** 2004. Kendiliğinden yerleşen beton ve katkı-çimento uyumu, Beton 2004 Kongresi, 10-12 Haziran, İstanbul.
- Sakr, K., EL-Hakim, E.,** 2005. Effect of high temperature or fire on heavy weight concrete properties, *Cement and Concrete Research*, Volume 35, Issue 3, Pages 590-596.
- Sevinç, A., H., Durgun, M., Y.,** 2023. Elevated temperature performance of cementitious mortars containing pumice, barite, and basalt powder, *Journal of Building Engineering*, Volume 78, 1 November 2023, 107552.
- Şahin, T.,** 2022. Puzolan ve Atık Lastik Agregası İçeren Çelik Lifli Betonların Mekanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Munzur Üniversitesi, Tunceli.
- Şahmaran, M., Christianto, H., A., Yaman, İ., Ö.,** 2006. The effect of chemical admixtures and mineral additives on the properties of self-compacting mortars, *Cement and Concrete Composites*, Volume 28, Issue 5, Pages 432-440.

- Tawfik, T., A., Slany, M., Palou, M., T.,** 2023. Influence of heavyweight aggregate on the fresh, mechanical, durability, and microstructural properties of self-compacting concrete under elevated temperatures, *Journal of Building Engineering*, Volume 80, 1 December 2023, 108104.
- TBDY,** 2018. Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Topçu, İ., B., Bilir, T., Baylavlı, H.,** 2008. Kendinden yerleşen betonun özellikleri. Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, Vol XXI, No 1, 2008.
- Topçu, İ., B., Hocaoglu, İ., Adıl, F., M., A.,** 2023. Ağır betonlardaki güncel gelişmelere genel bir bakış. Dicle University Journal of Engineering, 14:2 (2023), Sayfa 385-399, 20 Haziran 2023.
- Topçuoğlu, Z.,** 2021. Barit agregası kullanılarak kendiliğinden yerleşen ağır beton üretilebilirliğinin araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 60s.
- Turğut, P., Türk, K., Karadaş, N.,** 2019. Kendiliğinden Yerleşen Harçlarda Portland Çimentosu, Silis Dumanı, Uçucu Kül, Kombinezonlarının Basınçlı Su Geçirgenliğine Etkisi, *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, 31(2), 269-276, 2019.
- Türk, K.,** 2012. Viscosity and hardened properties of self-compacting mortars with binary and ternary cementitious blends of fly ash and silica fume, *Construction and Building Materials*, Volume 37, (2012), Pages 326-334.
- TS EN 1367-1,** 2009. Agregaların ısı ve bozunma özelliklerini tayin için deneyler- bölüm 1: Donmaya ve çözölmeye karşı direncin tayini
- TS EN 197-1,** 2012. Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Ankara.
- TS EN 480-5,** 2008. Kimyasal katkıları-Beton, harç ve şerbet için- Deney metotları- Bölüm 5: Kılcal su emme tayini.
- TS EN 933-1,** 2012. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler-Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımının tayini-Elleme yöntemi, Ankara.
- URL-1,** 2025. <https://www.sanalsantiye.com/beton-cesitleri-ve-temel-ozellikleri/>. 1 Aralık 2021.
- URL-2,** 2025. <https://malzemebilimi.net/kendiliginden-yerlesen-beton-nedir-ozellikleri-nelerdir.html>. 26 Ocak 2020.
- URL-3,** 2025. <https://volkanatabey.com.tr/kendiliginden-yerlesen-betonlarda-kullanilan-deneyler/>. 25 Mayıs 2019.
- URL-4,** 2025. <https://cimsa.com.tr/formulhane/hazir-beton/kendiliginden-yerlesen-beton-nedir-nerelerde-kullanilir/>.

- URL-5, 2025. <https://volkanatabey.com.tr/kendiliginden-yerlesen-betonlarda-kullanilan-deneyler/>. 25 Mayıs 2019.
- URL-6, 2025. <https://volkanatabey.com.tr/kendiliginden-yerlesen-betonlarda-kullanilan-deneyler/>. 25 Mayıs 2019.
- URL-7, 2025. <https://tr.geologyscience.com/mineraller/limonit/>. 23 Nisan 2023.
- URL-8, 2025. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/ilmenit>.
- URL-9, 2025. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/siderit>.
- URL-10, 2025. <http://halityazici-deu.com/wp-content/uploads/2021/09/ozelbeton-ders2-AGIRBET.pdf>. 2021.
- URL-11, 2025. <http://halityazici-deu.com/wp-content/uploads/2021/09/ozelbeton-ders2-AGIRBET.pdf>. 2021.
- URL-12, 2025. <http://halityazici-deu.com/wp-content/uploads/2021/09/ozelbeton-ders2-AGIRBET.pdf>. 2021.
- Ünal, O., İçağa, Y., Çoşkun, A.,** 2014. Ağır Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Filler Malzemenin Etkisi, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt: 10, No: 2, 2014 (12-18).
- Vu, H., Q., Tran, V., H., Nguyen, P., T., Le, N., T., U., Le, M., T.,** 2020. Radiation Shielding Properties Prediction of Barite used as Small Aggregate in Mortar, *Engineering, Technology & Applied Science Research*, Vol. 10, No. 6, 2020, 6469-6475.
- Yılmaz, B.,** 2009. Muş Yöresinden Temin Edilen Baritin Kullanımı İle Elde Edilen Ağır Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 55s.

ÖZGEÇMİŞ

