

T.C.
ADİYAMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ATIK MERMER TOZU KATKILI HARÇLARIN
DURABİLİTE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAZLUM DOĞAN GÜZEL

DANIŞMAN
PROF. DR. OSMAN GÜNAYDIN

ADİYAMAN, 2022

ÖZET

ATIK MERMER TOZU KATKILI HARÇLARIN DURABİLİTE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Mazlum Doğan GÜZEL
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Adıyaman Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 08/2022
Danışman: Prof. Dr. Osman GÜNAYDIN

Atık mermer tozları mermer işleme tesislerden elde edilen ince taneli atık malzemelerdir. Çimento bağlayıcı esaslı yapı malzemelerinden olan harçlarda, maliyet ve ekoloji odaklı üretim içerisinde mermer tozlarının kullanılabileceği literatürde araştırma alanı oluşturmaktadır. Bu amaçla, bu çalışmada mermer tozu ikameli harç örneklerin donma-çözünme özellikleri deneysel olarak araştırılmıştır. Harç üretiminde mermer tozu çimento ile ağırlıkça %5, %10, %15 oranlarında ikame edilmiştir. Hazırlanan şahit ve mermer tozu katkılı numunelere 28 gün boyunca standart su kürü uygulanmıştır. Harç örneklerin donma-çözünme davranışlarını belirleyebilmek için şahit numuneler ve katkılı numuneler TS 699 standardına uygun şekilde donma-çözünme çevrimine maruz bırakılmıştır. Donma-çözünme çevrimleri öncesi ve sonrasında yapılan fiziksel ve mekanik özellik ölçümleri ile mermer tozunun harçlardaki donma-çözünme davranışına etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Mermer tozu ikame oranının artışına bağlı olarak donma-çözünme çevrimi sonrasında dayanım kaybı yaşandığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Harç; Donma-çözünme; Mermer tozu; Fiziksel ve mekanik özellik.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE DURABILITY PROPERTIES OF WASTE MARBLE POWDER MORTARS

Mazlum Doğan GÜZEL

Department of Civil Engineering

Adıyaman University, Graduate Education School, 08/2022

Supervisor: Prof. Dr. Osman GÜNAYDIN

Waste marble powders are fine-grained waste materials obtained from marble processing plants. It constitutes a research area in the literature where marble powders can be used in cost and ecology oriented production in mortars, which are cement binder-based building materials. For this purpose, the freezing-thawing properties of the marble powders substituted mortar samples were experimentally investigated in this study. In the production of mortar, marble dust has been substituted with cement at rates of %5, %10, %15 by weight. Standard water curing was applied for 28 days to the prepared witness and marble powder added samples. In order to determine the freeze-thaw behavior of the mortar samples, the blank samples and the doped samples were exposed to the freeze-thaw cycle in accordance with the TS 699 standard. It was tried to determine the effect of marble dust on the freeze-thaw behavior of mortars with physical and mechanical properties measurements made before and after the freeze-thaw cycles. It has been determined that there is a loss of strength after the freeze-thaw cycle due to the increase in the marble powder replacement ratio.

Keywords: Mortar; Freeze-thaw; Marble dust; Physical and mechanical feature.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının başlamasında, hazırlanmasında ve sonuçlanmasında bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren danışman hocalarım Sayın Prof. Dr. Osman GÜNAYDIN'a ve Sayın Doç. Dr. Kadir GÜÇLÜER'e teşekkür ederim.

Ayrıca beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan ve çalışmalarım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve değerli arkadaşlarıma teşekkür ederim.



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; bu çalışmanın Adıyaman Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını 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.

Mazlum Doğan GÜZEL

İÇİNDEKİLER

BAŞLIK SAYFASI.....	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
GÖRSELLER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. HARÇLAR.....	3
2.1. Harç.....	3
2.1.1. Harçların özellikleri	3
2.1.2. Harçların sınıflandırılması	4
2.1.3. Harçların kullanım alanı ve amacı.....	4
2.2. Donma-Çözülmenin Beton ve Harç Üzerindeki Etkisi.....	5
2.3. Mineral Katkılar.....	6
2.3.1. Mermer tozu.....	8
2.3.1.1. Mermerin fiziksel ve mekanik özellikleri	10
2.3.1.2. Mermerin kimyasal özellikleri	12
2.3.1.3. Mermer tozu atıklarının kullanım alanları.....	12
2.3.1.3.1. İnşaat sanayi.....	12

2.3.1.3.2. Seramik sektörü.....	13
2.3.1.3.3. Çimento imalat sanayi.....	13
2.3.1.3.4. Plastik sanayi	13
2.3.1.3.5. Kağıt sanayi.....	14
2.3.1.3.6. Tarım ve gübre sanayi.....	14
2.3.1.3.7. Yem sanayi	14
2.3.1.3.8. Boya sanayi.....	15
2.3.1.3.9. Yol yapımı	15
2.3.1.3.10. Demiryolu zemin malzemesi	15
2.3.1.3.11. Cam sanayi	16
2.3.1.3.12. Kimya sanayi.....	16
2.3.1.3.13. Diğer kullanım alanları.....	16
3. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	17
4. MATERYAL ve YÖNTEM	21
4.1. Materyal.....	21
4.1.1. Çimento.....	21
4.1.2. Mermer tozu.....	21
4.1.3. Kum.....	22
4.1.4. Su.....	23
4.2. Yöntem.....	23
4.2.1. Harç.....	23
4.2.1.1. Harç karışımının bileşimi	23
4.2.1.2. Harç numunelerinin üretilmesi	24
4.2.1.3. Harcın kalıplanması	25
4.2.1.4. Harcın kürlenmesi	25
4.2.2. Donma-çözülme uygulaması	26

4.2.3. Uygulanan deneyler	26
4.2.3.1. Birim hacim ağırlık deneyi	26
4.2.3.2. Ultrases geçiş hızı deneyi.....	27
4.2.3.3. Eğilme dayanımı deneyi	28
4.2.3.4. Basınç dayanımı deneyi.....	29
4.2.3.5. Mikroyapı çalışmaları	30
5. BULGULAR ve TARTIŞMA	32
5.1. Fiziksel Özellikler	32
5.2. Ultrases Geçiş Hızı Bulguları.....	34
5.3. Eğilme Dayanımı Bulguları	36
5.4. Basınç Dayanımı Bulguları.....	38
5.5. Mikroyapı Bulguları.....	40
6. SONUÇ ve ÖNERİLER	48
KAYNAKLAR.....	50
ÖZGEÇMİŞ	

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Yapılardaki harç uygulama alanları.....	5
Çizelge 2.2. Katkılar ve etkiledikleri beton özellikleri.....	6
Çizelge 4.1. Kullanılan çimentonun özellikleri.....	21
Çizelge 4.2. Kullanılan mermer tozunun özellikleri.....	22
Çizelge 4.3. Harç sistemindeki malzeme miktarları.....	23
Çizelge 5.1. Donma-Çözülme öncesi ve sonrası birim hacim ağırlık deney sonuçları	32
Çizelge 5.2. Donma-Çözülme öncesi ağırlıkça ve hacimce su emme.....	33
Çizelge 5.3. Donma-Çözülme öncesi ve sonrası ultrases geçiş hızı deney sonuçları..	34
Çizelge 5.3. (Devam) Donma-Çözülme öncesi ve sonrası ultrases geçiş hızı deney sonuçları.....	35
Çizelge 5.4. Donma-Çözülme öncesi ve sonrası eğilme dayanımı deney sonuçları...	37
Çizelge 5.5. Donma-Çözülme öncesi ve sonrası basınç dayanımı deney sonuçları...	39

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Mermer ocağı genel iş akış şeması	9
Şekil 2.2. Mermer fabrikası genel iş akış şeması.....	10
Şekil 5.1. Donma-Çözülme öncesi ve sonrası ultrases geçiş hızı değerleri.....	35
Şekil 5.2. Donma-Çözülme öncesi ve sonrası eğilme dayanımı deneyi değerleri....	37
Şekil 5.3. Donma-Çözülme öncesi ve sonrası basınç dayanımı deneyi değerleri...	39



GÖRSELLER DİZİNİ

	Sayfa
Görsel 4.1. Çimento	21
Görsel 4.2. Mermer tozu.....	22
Görsel 4.3 Kum.....	22
Görsel 4.4. Harç Mikseri.....	24
Görsel 4.5. Kalıplanan numuneler.....	25
Görsel 4.6. Numunelerin kür havuzunda bekletilmesi.....	25
Görsel 4.7. Donma-çözülme uygulaması.....	26
Görsel 4.8. Etüv kurusu numunenin tartımı.....	27
Görsel 4.9. Ultrases geçiş hızı deneyi.....	28
Görsel 4.10. Eğilme dayanımı.....	29
Görsel 4.11. Basınç dayanımı deneyi.....	30
Görsel 4.12. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM).....	31
Görsel 5.1. Eğilme deneyi sonrası kırılan numune.....	36
Görsel 5.2. Basınç deneyi sonrası kırılan numune.....	38
Görsel 5.3. Donma-çözülme öncesi şahit numunenin SEM görüntüsü (1).....	40
Görsel 5.4. Donma-çözülme öncesi şahit numunenin SEM görüntüsü (2).....	41
Görsel 5.5. Donma-çözülme öncesi %5 MT katkılı numunenin SEM görüntüsü (1)..	41
Görsel 5.6. Donma-çözülme öncesi %5 MT katkılı numunenin SEM görüntüsü (2)...	42
Görsel 5.7. Görsel 5.7 Donma-çözülme öncesi %10 MT katkılı numunenin SEM görüntüsü.....	42
Görsel 5.8. Görsel 5.7 Donma-çözülme öncesi %15 MT katkılı numunenin SEM görüntüsü.....	43
Görsel 5.9. Donma-çözülme sonrası şahit numunenin SEM görüntüsü (1).....	43
Görsel 5.10. Donma-çözülme sonrası şahit numunenin SEM görüntüsü (2).....	44

Görsel 5.11.	Donma-çözülme sonrası %5 MT katkılı numunenin SEM görüntüsü	
(1).....		44
Görsel 5.12.	Donma-çözülme sonrası %5 MT katkılı numunenin SEM görüntüsü	
(2).....		45
Görsel 5.13.	Donma-çözülme sonrası %5 MT katkılı numunenin SEM görüntüsü	
(3).....		45
Görsel 5.14.	Donma-çözülme sonrası %10 MT katkılı numunenin SEM görüntüsü...	46
Görsel 5.15.	Donma-çözülme sonrası %15 MT katkılı numunenin SEM görüntüsü	
(1).....		46
Görsel 5.16.	Donma-çözülme sonrası %15 MT katkılı numunenin SEM görüntüsü	
(2).....		47

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

°C	: derece santigrat
cm ²	: santimetrekaare
cm ³	: santimetreküüp
dk	: dakika
g	: gram
kg	: kilogram
km	: kilometre
m	: metre
m ²	: metrekare
m ³	: metreküüp
mm	: milimetre
mm ²	: milimetrekaare
sn	: saniye
µm	: mikrometre
ASTM	: Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
CaO	: Kalsiyum oksit
Ca(OH) ₂	: Kalsiyum hidroksit
C ₃ A	: Trikalsiyum alüminat
CSH	: Kalsiyum silikat hidrat
CEM II	: Portland kompoze çimento
EN	: Avrupa Standartları

FeO	: Demir oksit
H ₂ O	: Su
KN	: Katkılı numune
MgO	: Magnezyum oksit
MPa	: Megapascal
MT	: Mermer tozu
N	: Newton
R	: Korelasyon katsayısı
SiO ₂	: Silisyum dioksit
TS	: Türk Standartları
V	: Sesüstü dalga hızı

1. GİRİŞ

Atıkların katkı maddesi olarak kullanılması ve bunlardan yeni ürünler üretmek amacıyla atık malzemelerin geri dönüştürülmeleri konusunda birçok araştırma yapılmaktadır. Atık malzemelerin kullanımı veya geri dönüştürülmesiyle; doğal kaynakların hızla tüketilmesinin ve atıkların doğaya verdiği hasarın önüne geçilmesi planlanmaktadır. Bu şekilde ekonomik canlılık sağlanarak, verimlilik artırılmaktadır [1].

Doğada işlenmemiş bir şekilde elde edilen mermer, fabrikalarda kesilerek işlenmekte ve kesim sonrası atık olarak ortaya mermer tozu çıkmaktadır. Kesim esnasında makinenin soğutulması ve toz yayılımını önlemek amacıyla su kullanılmakta olup, bu su mermer tozu ile birleşerek çamurlaşmaktadır. Mermer tozu atıkları çamur halinde doğada depolanmakta ve bu da çevre kirliliğine yol açmaktadır. Günümüzde mermere olan talebin artması mermer fabrikalarının da artmasına sebep olmuştur. Bu nedenle mermer fabrikalarının ağırlıklı bulunduğu bölgelerde mermer atıklarının fazlalığı doğayı tahrip etmekte ve bu da ciddi tepkilere yol açmaktadır [2].

Mermer toz atıklarının geri dönüşümü veya yeniden kullanılabilmesiyle ilgili geliştirilecek yöntemlerle, beton gibi malzemelerin girdi maliyetleri azalacak olup, ekonomik olarak işletmecilerin ve ülkenin kazancı artacaktır. Ayrıca atıkların değerlendirilmesiyle birlikte doğa tahribatı en aza indirilmiş olacaktır [3].

Beton; fiziksel, kimyasal veya mekanik olmak üzere birçok çevresel etkiye maruz kalarak hasar görebilir [4]. Betonun dayanım ve durabilite özelliklerini düşüren bu etkiler betona önemli ölçüde zarar vererek işlevini kaybetmesine neden olabilmektedir. Dış ortamda kullanılan betona etki eden fiziksel etkilerden biri de sürekli donma – çözülmeye maruz kalmasıdır. Soğuk bölgelerde buz çözücü olarak kullanılan tuzlar da, yapılarda klor etkisiyle birlikte donatı korozyonuna sebep olarak durabilite sorunları yaşatabilir. Beton yapısında bulunan çimento, agrega özellikleri ve diğer çevresel etkilerle birlikte donma-çözülmeye maruz kalan betonda hasar oluşumu artabilir [5].

Beton yapısında bulunan agrega ve çimentoda etkisini gösteren donma-çözülme olayına dayanıklı beton üretilmesi için hava boşluğu oranı ve porozitesi düşük beton üretilmesi gerekmektedir [6,7].

Bu çalışmada, donma-çözülmenin harç örnekler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Harç örneklerde mermer tozu mineral katkı olarak, çimentonun %5, %10 ve %15'i oranlarında

ikame edilerek kullanılmıştır. Harç örneklerin donma-çözölme davranışlarını belirleyebilmek için numuneler donma-çözölme çevrimine maruz bırakılmış ve bu örneklerin fiziksel-mekanik özellikleri incelenmiştir.



2. HARÇLAR

2.1. Harç

Su ve çimentonun homojen olarak karıştırılmasıyla çimento hamuru elde edilir. Çimento hamuruna ince agrega eklenmesiyle oluşan karışıma ise harç adı verilmektedir [12].

Harçlar, geçmişten günümüze kadar çok farklı alanlarda yapı malzemesi olarak kullanılmışlardır. Tarih boyunca kullanılan harç tipleri, kullanıldığı dönemle ilgili kaynak niteliğinde bilgiler vermektedir. Geleneksel bir yapı malzemesi olan harç, kullanıldığı bölgeye, oluşturulma şekline, kullanım amacına göre farklılıklar göstermektedir [13].

Yapısında iri agrega bulundurmayan ince agrega ve çimento hamuruna harç adı verilmektedir. Ancak işlevleri gereği betondan farklı davranış göstermektedirler. İnce agrega, su ve bağlayıcı olarak çimento, kireç gibi malzemelerle elde edilen harçlar klasik harç olarak adlandırılır. Harçlara, kullanım alanlarına göre sağlaması gereken bazı özellikleri kazandırmak amacıyla, karışımda mineral ve kimyasal katkıları kullanılabilmektedir. Günümüzde alçı sıva gibi özel beton olmayan değişik tip harç ve sıvalar da sık olarak kullanılmaktadır. Harçlar yapısında bulunan bağlayıcı malzeme türüne göre çimento harcı, kireç harcı veya melez harç olarak isimlendirilirler. En yüksek dayanıma sahip olan çimento harçlarıdır. İşlenebilirlik açısından en iyi özelliği ise kireç harçları sağlamaktadır [12].

Tarih boyunca yapılan harç tipleri incelendiğinde, ilk harç sisteminde bağlayıcı malzeme olarak kil kullanıldığı ve bu şekilde yapılara uygulandığı tespit edilmiştir. Gelişen imkanlar ile birlikte Mısır'da bağlayıcı malzeme olarak alçı, Roma'da kireç ve puzolanik, Osmanlı'da Horasan, Avrupa da ise çimentolu harç sistemleri oluşturulup yapılara uygulanmıştır. Çimentolu harçlar günümüzde de yaygın olarak kullanılmaya devam etmektedir [14].

2.1.1. Harçların özellikleri

Harçlar; inorganik bağlayıcılarla, ince agrega, su ve bazen kimyasal veya mineral katkıların belli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilirler. Karışım oranları, harcın yaşken işlenebilirliği, priz aldıktan sonra ise harcın istenilen fiziksel ve mekanik özellikleri göz önünde bulundurularak belirlenir [15].

Harçlar genel olarak yeterli mukavemete sahip olmalı, agregalar ile gerekli aderansı sağlamalı, priz alırken hacim değişikliği standart değerlerde olmalı, boşluksuz bir yapıya sahip olmalı, aşınmaya ve dış etkenlere karşı dayanıklı olmalıdırlar [13].

Harç sistemi içerisindeki agrega boyutu, s/ç oranı ve bağlayıcı malzemenin norm dayanımı, harç sisteminin mekanik özelliklerini etkilemektedir. Harç sisteminin gerekli mukavemeti sağlaması, dış etkenlere ve yıpranmalara karşı dayanıklı olması harç sisteminin boşluk oranının az olmasına bağlıdır. Boşluk oranını azaltmak için agrega tane boyutuna dikkat edilmelidir [13].

Harç sistemi içerisinde aderansı sağlamak için bağlayıcı malzemenin kohezif etkisi iyi seviyede olmalıdır. Prizini tamamlamamış plastik kıvamlı harçların aderansı daha yüksektir [13].

Harç içerisindeki bağlayıcı malzemenin tipine göre farklı kimyasal reaksiyonlar meydana gelmektedir. Oluşan bu reaksiyonlar harç sistemi içerisinde hacim değişikliğine sebep olmaktadır. Çimento içerisinde yer alan ana bileşenlerdeki farklılıklar ve çimento tipi, harçların fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyebilmektedir. [13].

Taze harcın priz alma süresi boyunca dış etkenlere maruz kalması su kaybetmesine neden olur, su kaybeden harcın hidrasyonunda gecikme yaşanmaktadır. Mevcut hidrasyonun gerçekleşebilmesi ve devam edebilmesi için nemli ortama ihtiyaç duyulmaktadır. Harç sistemi hazırlanırken soğuk etkisinde kalarak don oluşması harç yapısını negatif yönde etkilemektedir [13].

2.1.2. Harçların sınıflandırılması

Harçlar; yapılarında bulunan bağlayıcı malzemenin türüne göre beş gruba (kil, alçı, kireç, çimento ve melez harçlar), yapıda kullanıldığı yerlere göre ise dört gruba (duvar harçları, sıva harçları, şap ve şerbet) ayrılabilir [14]. Harç tipleri içerisinde en iyi mukavemete sahip olan çimento harçlarıdır [12].

2.1.3. Harçların kullanım alanı ve amacı

Yapıda, yapı bileşenlerini oluşturan elemanlar arasında bağlantı oluşturmak harçların temel görevidir. Yapı bileşenine gelen basınç yükleri, harç tarafından homojen şekilde dağıtılarak yapıya esneklik kazandırılır. Harçlar geçmişten günümüze kadar taş

veya tuğladan yapılmış olan birçok yapının duvarlarında kullanılmıştır. Ayrıca, yapı elemanlarını için yalıtım sağlayarak dış etkilere de korumaktadır [13].

Çizelge 2.1. *Yapılardaki harç uygulama alanları [14]*

Harç Özelliği	Kullanım Alanı	Harç Türü
Aderans, İşlenebilirlik	Tavan, duvar sıvası	Kireç, melez harç
Mukavemet, Geçirimsizlik	Zemin kaplaması, şap	Çimento harçları
Suyun zarar vereceği yüzeyler	İç sıva, süsleme	Alçı harçları

Kâgir yapı elemanlarını birbirine bağlayan ve yatay yükleri alma konusunda yapı elemanlarına yardım eden harçlar (çimento, kireç, melez harç) duvar harcı olarak adlandırılır. Harç içerisindeki bağlayıcı malzeme dozajı, yapı özelliği ve dış etkilere bağlı olmak üzere değişkenlik gösterebilir [14].

2.2. Donma-Çözülmenin Beton ve Harç Üzerindeki Etkisi

Betonun yapısında bulunan agrega, çimento ve su her ne kadar homojen olarak karıştırılsa da, betonun içyapısı heterojen özellik gösterir. Bu heterojen içyapı çeşitli boyutlarda hava boşlukları içerebilir. Çimento hamurunda hidrasyon sonucunda oluşan ve 10 mm ve altında boyutlarda olabilen kılcal boşluklar, betonun permeabilitesine ve donma-çözülme dayanımına etki eder. Bu boşluklar betondaki su/çimento oranına ve hidrasyon sıcaklığına bağlı olarak çeşitli boyutlarda ve yoğunlukta olabilir [16,17].

Su donduğunda genişler ve hacmi %9 oranında artar. Suya doymun durumda betonun kılcal boşluklarının tamamı su ile doludur. Bu durumda beton donmaya maruz kalırsa donarak genişleyen su boşluk çeperlerinde basınç yaratır. Oluşan bu basınç buzun çözülmesiyle ortadan kalkar. Kılcal boşlukların tamamının su ile dolu olmadığı durumda suyun hacminin artacağı boş alan bulunarak, doymun durumdaki basınç etkisiyle karşılaşmaz [5,18]. Sertleşmiş betonun donma-çözölmeye sürekli maruz kalmasıyla, çatlaklar ve beton yüzeyinde dökölmeler gibi hasarlar oluşur. Donma-çözölmeye döngülerinin betona vereceği hasarın büyüklüğü sıcaklık farkı, nem gibi çevresel etkilere ve beton yapısındaki malzemelerin özelliklerine göre değişkenlik gösterebilir. Beton, uzun ve sıcaklık farkı yüksek donma-çözölmeye etkisinde kalırsa büyük çatlaklar oluşur. Genelde beton yüzeyinde soyulma, dökölme gibi hasarlara rastlanır. Betonun bu hasarlara karşı

direnci ve hasar miktarları çeşitli deneylerle belirlenebilir [18,19]. Taze betonun donatı maruz kalması beton dayanımını yaklaşık %50 oranında düşürür. Bu dayanım kaybını engellemek için beton dökümü esnasında tüm tedbirlerin alınması gerekir [20].

Beton içeriğinde bulunan agrega ve çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri, kullanıldığı betonun özelliklerini etkiler. Hacimce en büyük paya (yaklaşık %75) sahip olan agreganın kalitesi betonun kalitesini belirler. Bu sebeple malzeme seçiminde, betonda istenilen özelliklerin karışımında kullanılacak malzemelerce karşılanıp karşılanmadığı çeşitli fiziksel ve kimyasal deneylerle araştırılmalıdır [21].

2.3. Mineral Katkılar

Katkılar; betonun istenilen özellikleri yansıtması için karıştırma işlemi esnasında veya dökümden hemen önce betona eklenen malzemelerdir. Kimyasal ve mineral katkıları olarak ikiye ayrılırlar. Çizelge 2.2’de katkı tipleri ve betona sağladıkları özellikler gösterilmiştir [22].

Çizelge 2.2. Katkılar ve sağladıkları beton özellikleri [22]

Beton Özelliği	Katkı Tipi	Katkı Grubu
İşlenebilirlik	Karışım suyu azaltıcı katkıları	Kimyasal
	Hava sürükleyici katkıları	Kimyasal
	Atıl, toz halde bulunan katkıları	Mineral
	Puzolanlar	Mineral
Priz Süresi	Hızlandırıcı katkıları	Kimyasal
	Geciktirici katkıları	Kimyasal
Dayanım	Karışım suyunu azaltıcı	Kimyasal
	Puzolanlar	Mineral
	Polimer lateksler	Diğer
	Geciktirici katkıları	Kimyasal
	Hızlandırıcı katkıları	Kimyasal
Dayanıklılık (Durabilite)	Hava sürükleyici katkıları	Kimyasal
	Puzolanlar	Mineral
	Karışım suyu azaltıcı katkıları	Kimyasal
	Korozyon inhibitörleri	Kimyasal
	Su itici katkıları	Diğer
Özel Betonlar	Polimer lateksler	Diğer
	Cürufur	Mineral
	Genleştirici katkıları	Diğer
	Renk katkıları	Diğer
	Gaz kabarcıklar oluşturan katkıları	Diğer

Mineral katkıları, beton ya da harç imalatında kullanılan, gerekli ana bileşenlerin dışında ilave edilen, belirli boyutlara kadar öğütülmüş katkı malzemesidir. Volkanik tüf, pişirilmiş kil, yüksek fırın cürufu, silis dumanı, uçucu kül, pirinç kabuğu külü, volkanik kül beton imalatında kullanılan temel mineral katkılardır. Bu katkıları puzolanik özellik göstermektedir [23].

Mineral katkıların bağlayıcılık özelliği bulunmamaktadır. Fakat ince öğütülmüş bu katkıları, hidratasyon sırasında açığa çıkan CH (kalsiyum hidroksit) ile kimyasal tepkimeye girerek bağlayıcı özellik gösterebilir. Puzolan, nemli ortamda kireç (CaO) ile kimyasal tepkimeye giren silisli, silisli alüminyumlu malzemeleri tanımlayan genel bir isimdir [24].

Puzolanik malzemenin bağlayıcı olması için şu özelliklere sahip olması gerekmektedir [25]:

- Beton ya da harç sistemi içerisine bırakılacak puzolanın $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ oranının en az %70 olması gerekmektedir.
- Puzolanın doğal olarak ince taneli ya da öğütülerek en az çimento tane boyutuna indirilmesi istenmektedir.

Bağlayıcı malzeme olarak çimento ve mineral katkının beraber kullanıldığı beton ya da harç sisteminde, bağlayıcı malzemenin su ile bir araya gelmesi ile birlikte ilk olarak çimento hidratasyonu meydana gelmektedir. Çimento hidratasyonu ile meydana gelen kalsiyum hidroksit ile öğütülmüş mineral katkı malzemesi tepkimeye girerek hidrolik bağlayıcılık özelliği kazanır ve kalsiyum-silika-hidrat (C-S-H) oluşumunu sağlamaktadır. Katkılı betonlarda, çimento miktarının azalması ile birlikte, beton bünyesinde daha az C_3A bileşeni ve alkali bulunacaktır. Buna bağlı olarak betonun sülfat dayanımı artacak ve alkali-agrega tepkimesinin meydana getireceği genleşme durumu azalmış olacaktır [26].

Mineral katkının ince taneli olması, beton ya da harç sistemi içerisindeki boşluk miktarının az olmasını ve su emme oranını azaltmasını sağlamaktadır. İnce taneli mineral katkıları beton veya harç sistemi içerisindeki suyu kendisine bağlayarak işlenebilirliği arttırmakta ayrıca terleme miktarını azaltmaktadır [26].

Mineral katkıları, doğal ve yapay katkıları olarak ikiye ayrılır.

Uzun zamandır beton içerisinde kullanılan doğal mineral katkıları kaynaklarında yaşanan azalmalardan dolayı günümüzde yapay mineral katkıları da üretilmeye başlanmıştır [24].

Tras, zeolit, volkanik kül gibi doğal mineral katkıların betonda kullanılmasıyla, hammadde israfının önüne geçilerek beton ve çimento maliyetlerinde ekonomik kazanç sağlanır ve çevre kirliliği engellenir. Betonda geçirimsizliği artmasıyla, deniz suyu gibi zararlı ortam koşullarında durabilitesi artırılır ve alkali-silika reaksiyonlarına karşı direnç artırılır [24].

Yapay mineral katkı olarak kullanılan uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı, metakaolinin de kullanılma sebebi, doğal mineral katkılarda olduğu gibi beton ve çimento maliyetlerini azaltması ve betonun özelliklerini iyileştirmesidir [24].

Mineral katkılar beton ve harçların fiziksel ve mekanik özelliklerini geliştirdiği gibi maliyetlerini de düşürerek ekonomiye katkı sağlamaktadır. Mineral katkılar, doğadan veya atık olarak elde edilmeleri nedeniyle çimentoya göre düşük maliyetler sağlamaktadır [27].

2.3.1. Mermer tozu

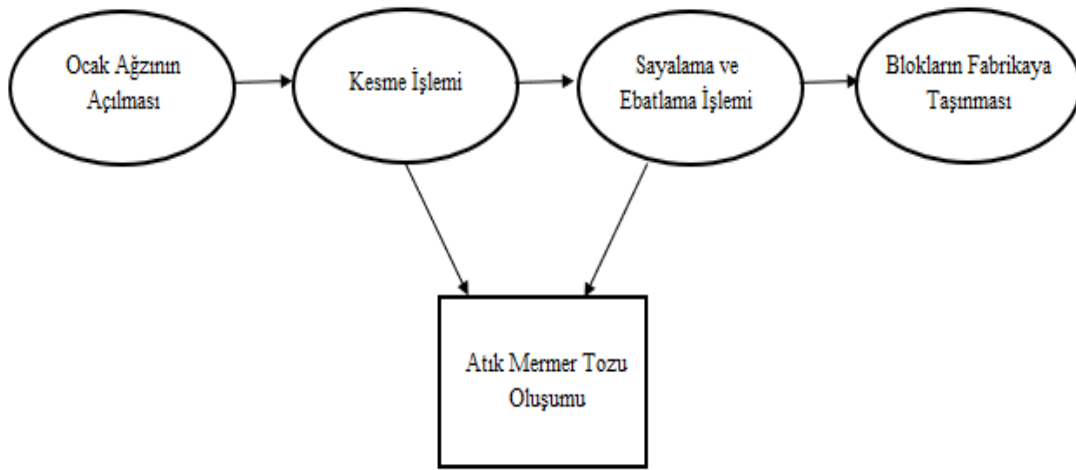
Mermer; bilimsel olarak, başkalaşım sürecinden geçerek, başkalaşımın izlerini taşıyan ve CaCO_3 (kalker), $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (dolomit) gibi karbonat bileşimli kayaçlardır.

Ticari olarak ise mermer, geniş bir alanı kapsar. İstenilen boyutlarda şekil verilerek kesilip parlatılabilen ve işlenebilen, malzeme özellikleri kaplama taşı standartlarına uyan her türden taş mermer denilmektedir. Tortul (kalker, traverten, kumtaşı), metamorfik (gnays, mermer, kuvarsit), magmatik (granit, siyenit, serpantin, andezit, bazalt) kayaçlara da mermer adı verilmektedir [2].

Ocaklarda mermerin yapısında bulunan çatlak ve yarıklar istenilen boyutta blok elde edilmesini güçleştirir ve molozların oluşmasına sebep olur. Bu molozların, mermerin yapısına uygun olmayan yöntemlerle işenmeye çalışılması, yine mermer tozu atıklarının oluşmasına neden olur [2].

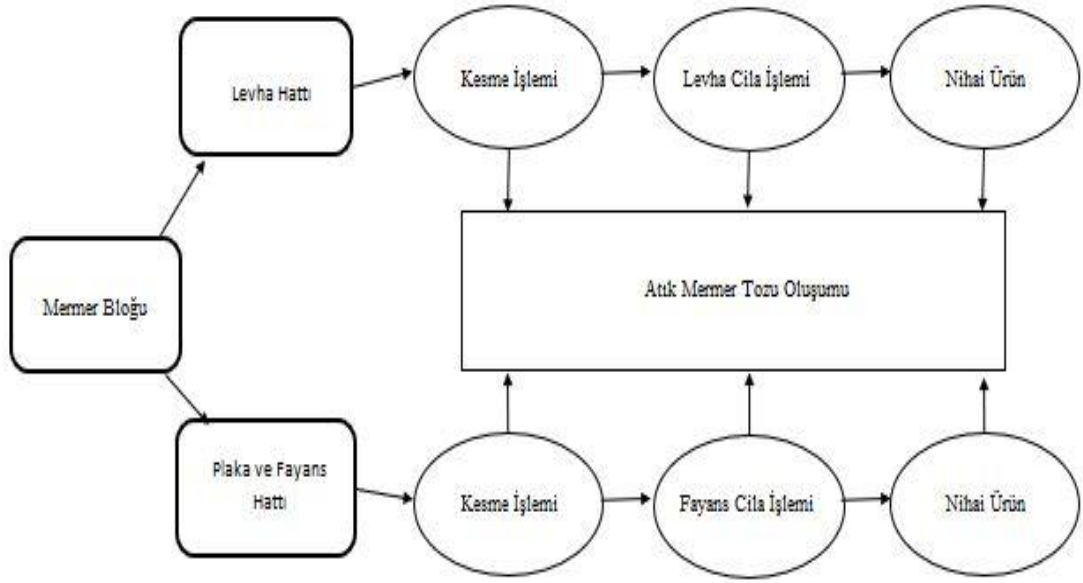
Blok mermer üretim aşaması, mermerin ocaktan çıkartılmasından blok haline getirilmesine kadar olan süreci kapsar. Ocaktan çıkartılan mermerin blok haline getirilmesi aşamasına kadar mermere birçok işlem uygulanmaktadır. Bu aşamalarda mermer atıkları meydana gelmektedir. Mermerin ocaktan çıkartılması (kesme işlemi) aşamasında, biçimsiz ve büyük boyutlu mermer atıkları olan molozlar meydana gelir. Mermer üretiminde her kesim aşamasında, oldukça küçük boyutlu mermer toz atıkları meydana gelmektedir. Mermer, ana kütleden ayrıldıktan sonra blok mermer standartlarına ulaşabilmesi için sayalama ve işleme tabi tutulur. Bu işlemin ardından, kapak adı verilen mermer atıkları

oluşur. Bu aşamadan sonra, üretilen bloklar stoklandıktan sonra mermer bloklarının satılmak veya işlenmek üzere nakliye işlemi gerçekleştirilir. Ortaya çıkan mermer toz atıkları (genelde sulu ve çamur kıvamındadır) üretim sahasından uzaklaşması amacıyla boş alanlara dökülür. Mermer parça atıkları eğer değerlendirilecekse öğütme işlemine tabi tutulur. Herhangi bir atık değerlendirilmesi yapılmayacaksa mermer toz atıkları gibi boş alanlara dökülür [28].



Şekil 2.1. Mermer ocağı iş akışı

Mermerlerin ocak aşamasından sonra, fabrikaya gelen mermer bloklarının levha hattına mı yoksa plaka veya fayans hattına mı sokulacağı belirlenir. Bu aşamadan sonra, mermer blokları katrak veya ST aşamasına geçirilir. Bu aşamalar esnasında, parça mermer atığı olan kapak ve toz mermer atığı meydana gelir. Bu aşamadan sonra, mermer bloklarının işlenerek ebatlanması gerekmektedir. Ebatlama amaçlı yapılan kesim işlemi esnasında ise taşın yapısından kaynaklı kendiliğinden ayrılmalar görülmektedir. Bu ayrılma sonrası paledyen adı verilen küçük levha şeklindeki atıklar oluşur. Bununla birlikte, her kesim işleminde olduğu gibi ebatlama işlemi sonrasında da mermer toz atıkları ortaya çıkmaktadır. Ebatlama işleminden sonra, levha ve fayans haline getirilen mermer cilalama ve silim işlemine tabi tutulur. Plaka halinde kullanılması istenen mermerler için bu aşamadan sonra herhangi bir işlem yapılmamaktadır. Bu işlemlerin ardından ise, levha ve fayans haline getirilen mermerler silim ve cilalama işlemine tabi tutulur. Bu işlemin ardından mermer toz atıkları ortaya çıkmaktadır [28].



Şekil 2.2. Mermer fabrikası iş akışı

2.3.1.1. Mermerin fiziksel ve mekanik özellikleri

Mermerin fiziksel ve mekanik özellikleri sırasıyla; cila tutma, çözünme, damarlılık, dayanım, gözeneklilik, renk, saydamlık, sertlik, ve yabancı maddeler olarak sınıflandırılmaktadır [28].

Cila tutma mermer için önemli bir özelliktir. Her doğal taşın, belli bir seviyede cila tutma kapasitesi bulunmaktadır. Mermer piyasasında, en çok tercih edilen mermer cila alma kapasitesi yüksek olan mermerlerdir [28].

Çözünme, atmosferik etkilere maruz kalan alanlarda kullanılan mermerler için oldukça önemlidir. Bu atmosferik etkilerden en önemlisi yağmur suyunda bulunan karbondioksittir (CO_2). Karbonsioksit gazı, mermerin yüzeyinin aşınmasına neden olarak mermerin dayanımını olumsuz etkileyebilmektedir [28].

Damarlılık, mermerin ana kaya yapısına bağlı olarak ortaya çıkan ve mermerin dayanımını düşüren bir özelliktir. Damarlar, mermerin masifliğini zayıflatan yollar olarak da tanımlanabilir. Mermerin bünyesindeki kırık ve çatlaklar, mermerin en dayanıksız bölgelerini oluşturmaktadır. Mermer, damar hattı boyunca daha hassas olduğundan, atmosferik etkilere maruz kalacak alanlarda damarlı mermerler kullanılmamalıdır. Fakat

dekoratif anlamda yarattığı görsel etki nedeniyle damarlılık mermer için istenen bir durum olabilmektedir [28].

Dayanım, mermerin mineral yapısına ve bünyesinde barındırdığı minerallere göre farklılık göstermektedir. Mermerde dayanım; mermerin kristal boyutuna, mermerin gözenekliliğine, mermerin içerdiği kalsit ($\text{Ca}(\text{CO}_3)$) miktarına ve mermerin içerdiği yabancı madde miktarına göre farklılık gösterebilmektedir [28].

Gözeneklilik, mermerin kullanıldığı yere göre avantaj veya dezavantaj olabilmektedir. Eğer mermer, atmosferik etkilere maruz kalacağı bir yerde kullanılıyorsa gözeneklilik bir dezavantajdır. Fakat mermer dekoratif amaçla kullanılıyorsa, gözenekliliğin yarattığı heterojen etki nedeniyle gözeneklilik mermer için bir avantaj olabilmektedir [28].

Renk, mermerin içerisinde barındırdığı mineraller hakkında bilgi vermektedir. Mermerlerin saflık derecesi arttıkça, renkleri beyaza yaklaşmaktadır. Fakat renkli mermerler, daha yoğun çıkartılmaktadır. Mermerin renkli olması, içerisinde farklı türde mineraller barındırdığını göstermektedir [28].

Saydamlık, mermerin ışık geçirgenliğidir. Mermerlerde mineral boyutu büyüdükçe gözeneklilik ve saydamlık arttığından bu tip mermerler daha çok dekoratif amaçlı tercih edilir. Mineralleri küçük olan mermerler ise mineralleri büyük olan mermerlere göre daha az gözenekli ve saydam olduğundan daha dayanıklıdır. Bu yüzden genellikle inşaat sektöründe malzemenin dayanıklı olması öncelikli olarak kullanım nedeni olmaktadır [28].

Mermerin sertliği, temelde içerisinde barındırdıkları silikatlara bağlıdır. Mermerin bünyesindeki silikat yüzdesiyle mermerin sertliği doğru orantılıdır. Sert mermerler, işlenmesi zor olsa da cila tutma kabiliyetleri nedeniyle sektörde sıkça tercih edilmektedir [28].

Yabancı madde etkisi, mermer içinde bulunan yabancı maddeye (demir-sülfidler, silisli ve silikatlı mineraller) göre farklı olmaktadır. Bu minerallerden en çok rastlanan mineral pirit mineralidir. Bu madde mermerin güzel cila almasını sağlar ama mermerin işlenmesini de zorlaştırmaktadır [28].

2.3.1.2. Mermerin kimyasal özellikleri

Kimyasal özellikler, mermerin içerisindeki oksit değerlerinin toplamıdır. Mermerler, $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ olduklarından, asite ve çözünmeye karşı dayanıksızdır. Açık renkli olan mermerlerde demir oksitlerin kalsitlerle birlikte bulunması korozyona yol açabilir [29].

2.3.1.3. Mermer tozu atıklarının kullanım alanları

Mermer tozu atıkları birçok sanayi alanında (inşaat sanayi, seramik sektörü, çimento imalat sanayi, plastik, kâğıt, tarım ve gübre, yem, boya, cam ve kimya sanayi, yol yapımı, demiryolu zemin malzemesi vb.) kullanılarak değerlendirilmektedir.

İnşaat sanayi

Mermer, inşaat alanında mozaik, yapıtaşı, çimento, harç ve sıva olarak kullanılmakta olup, kirecin en önemli hammaddelerindendir. Yer karosu imalatında da mermer parçaları ve 0,5 mm'den küçük boyutlu mermer tozu (%10-12 oranında), bağlayıcı malzemeler ile kullanılmaktadır [2].

Genleşmiş perlit ve kireç – alçı ile karıştırılan mermer tozunun hafif duvar elemanı olarak yeterliliğinin araştırıldığı bazı deneyler yapılarak, mermer tozuyla gerekli mekanik özellikleri sağlayan ve diğer hafif beton duvar malzemelerine göre daha ekonomik hafif duvar elemanı üretilebileceği saptanmıştır [30].

Mermer tozunun alçı, çimento ve toz polimerlerle karıştırılarak duvarlarda kaba sıva, ince sıva ve boya işlerini kolaylaştıran hazır sıva ve macun imalatında kullanılan kalsitin yerine kullanılabilirliği araştırılmakta ve araştırmaların olumlu sonuçlanmasıyla birlikte, mermer tozunun inşaat sektöründe kullanılan en büyük kalemi olabilecektir. İnşaat sektöründe birçok alanda (Sıva harç bileşiminde, Dolgu malzemesi olarak, Mozaik üretiminde, Kaplama ve döşeme imalatında, Kireç imalatında, Mıcır olarak ve Kara ve demir yollarında) kullanılabilmektedir [31].

Seramik sektörü

Mermer, seramik sektöründe de kullanılarak (yaklaşık %5 ile %6 oranında) önemli bir yer tutar. Seramiğin yapısında CaO kaynağı olarak genellikle kalsit, dolomit ve mermer bulunur. Seramik çamurlarında %5 ile %20 oranında kalsiyum karbonat (CaCO_3) bulunur ve bu kalsiyum karbonatın çok ince şekilde öğütülerek karışımda bulunması gerekir. Kalsit taneciklerinin yeterince ince olmaması ve karışımda homojen bir şekilde bulunmaması çamur içinde dengesizliklere sebep olur. Seramik hammaddesi olan kalsit, sıcaklığın artmasıyla seramik çamurlarında oluşan boşlukları doldurarak dengesizliklerin giderilmesini sağlar [2].

Çimento imalat sanayi

Çimento kil ve kalkerden oluşan ve pişirildikten sonra bazı katkı maddeleri eklenmesi ve bu bileşimin öğütülmesiyle elde edilir. Yapısında kalsiyum oksit (CaO), silisyum dioksit (SiO_2), alüminyum oksit (Al_2O_3), demir oksit (Fe_2O_3) ve magnezyum oksit (MgO) gibi mineraller bulunur. Su ile birleştirildikten belli bir süre sonra priz alarak bağlayıcı özelliğiyle karışımdaki diğer malzemelerin birbirine bağlar. Çimento sanayinde mermer, sadece normal portland çimentosu bileşimindeki kalker yerine hammadde olarak kullanılır. Mermer ile birlikte normal portland çimentosundaki kil yerine de kaolen kullanılmasıyla beyaz portland çimentosu elde edilir [2].

Türkiye’de, çimento üretimi sırasında karbon içeren kireçtaşı kullanılmakta ve bu madde ısıya maruz kaldığında ve oksijen ile yandığında karbondioksit (CO_2) açığa çıkmaktadır. Çimento üretiminde mermer atığı kullanılarak kimyasal tepkime sonucu ortaya çıkan karbondioksit miktarının azaltılması amaçlanmaktadır. Bununla beraber, çimento üretiminde harcanan enerji azalacağından üretim maliyeti de düşürülebilecektir [28].

Plastik sanayi

1970'lerden itibaren bazı mineraller plastik sanayinde, artan talebi ucuz maliyetlerle karşılayabilmek amacıyla, plastiğin sertleştirilmesinde ve dolgu malzemesi olarak

kullanılmaya başlanmıştır. Bu minerallerden biri de yaklaşık %45 oranda kalsiyum karbonattır (CaCO_3). Üretimde kullanılacak mermer tozunun minimum %97 oranında kalsiyum karbonat (CaCO_3) içermesi, ağır metal içermemesi ve yüksek oranda kimyasal saflıkta olmalıdır [2].

Kâğıt sanayi

Mermer tozları, ucuz ve yüksek beyazlığa sahip olması nedeniyle kâğıt sektöründe selülozla karıştırılarak dolgu ve kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Kullanılan mermer tozlarının 2 μ 'dan küçük ve belli oranlarda kalsit (CaCO_3) içermesi gerekmektedir. Dolgu amaçlı kullanımda kalsit oranı, %40 ile %80 arasında değişkenlik gösterirken, ilk veya mat kaplamalarda yaklaşık %60'lardadır. Tek kat veya üst kat kaplamalarda ise 2 μ altı ve %98 oranında kalsit bulunmaktadır [2].

Dolguda kaolinin kullanıldığı asit sistemi yerini dolguda kalsit (CaCO_3) kullanılan alkali sisteme bırakmaya başlamıştır. Bu sistem değişikliğiyle selüloz ve beyazlatıcı tüketimi azalmış, kalsite olan talep artmıştır. Asit sistemden alkali sisteme geçiş tüm dünyada yaygınlaşmakta ve mermer toz atıklarına pazar oluşturmaktadır [2].

Tarım ve gübre sanayi

Toprağın verimi, içeriğindeki kalsiyum oranının yeterliliğine bağlıdır. Kalsiyum toprağın yapısını ve kimyasal özelliklerini etkilediği için, bitki ve ağaçların daha verimli olması toprağın yeterli kalsiyum düzeyine sahip olmasına bağlıdır. Zamanla yapısındaki kireci kaybeden toprağa kalsit veya dolomit gibi kalsiyum içeren maddelerin ilave edilmesi gerekir [2].

Yem sanayi

Mermer tozu bazı gıdalarda kalsiyum kaynağı olarak kullanılmaktadır. Yumurta yemlerine kalsiyum oksit (CaO) veya kalsiyum karbonat (CaCO_3) olarak %10 ile %12 arasında, 2 mm'den ufak toz katılmaktadır. Kalsiyum katılmasıyla tavuklarda yumurta verimi artırılmış olur [2].

Boya sanayi

Boya sanayinde dolgu malzemesi olarak kullanılan kalsit (CaCO_3), su bazlı boyalarda %25 ile %35 oranında, genellikle 10 mikrondan küçük ve çok saf biçimde kullanılmaktadır. Boyanın kalitesini artırarak matlık veren kalsitin bünyesindeki demir oksit (Fe_2O_3) oranı %0,03'den az olmalıdır [2].

Çelik ve Ersoy (2006), iri kristalli beyaz mermerlerden üretilen ve boya üretiminde kullanılan mikronize kalsitin tane boyut dağılım eğrisi dikliğinin boya kalitesi üzerine etkilerini literatür verileri ile irdelemiş ve ülkemizdeki bazı ürünlerle mukayese etmişlerdir [2].

Yol yapımı

Mermer ve mermer tozu; zemin iyileştirmesinde, dolgu ve filtre malzemesi olarak yol inşaatlarında kullanılır. Zeminde bulunan kil ile birleşen mermer tozu zeminin fiziksel özelliklerine (plastisite, genleşme ve kabarma katsayıları) olumlu etki eder [2].

Fabrikalarda ortaya çıkan atık mermer çamurunun zemin stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırıldığı çalışmada (Yıldız vd, 2006), mermer atıklarının yol inşaatında kullanılan dolgu malzemesini ve zemini önemli ölçüde iyileştirdiği belirlenmiştir [2].

Ayrıca bitümlü sıcak karışımlarda (BSK) filler malzemesi olarak da kullanılan mermer tozu karışım özelliklerine olumlu etki ederek maliyetin düşürülmesini sağlar.

Demiryolu zemin malzemesi

Demiryolunda sağlam bir tabaka oluşturmak ve filtre görevi görerek rayları su etkisinden korumak ve istenmeyen bitki örtüsünü engellemek amacıyla zemine balast denilen uygun boyutlarda granül taş serilir [2].

Cam sanayi

Cam üretiminde magnezyum ve kalsiyum oranı yüksek kireçtaşları kullanılır. Kullanılan kireçtaşlarının %98,5 kalsit, %0,2 demir oksit, %0,3 organik madde ve %1 oranında bakiye silikat içermesi gerekmektedir. Yüksek kalsiyum oranına sahip malzeme şişe ve pencere camı, yüksek magnezyum oranına sahip malzeme özel cam imalinde kullanılır [2].

Kimya sanayi

Saf ve yüksek kalsiyum içeren toz ile karpit üretilir. Karpit, kireçtaşı ve kömürün elektrikli fırınlarda yaklaşık 2200 derecede ısıtılmasıyla elde edilir [2].

Diğer kullanım alanları

Mermer tozu diğer birçok üretim alanında (yapıştırıcı, soda, refrakter malzeme, oto lastiği, patlayıcı malzeme, temizlik malzemeleri, haşere öldürücü ilaçlar) yer bulur [2].

3. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Betonun servis ömrü boyunca maruz kaldığı çevresel etkilere karşı performansının artırılması amacıyla mineral katkıları kullanılarak günümüze kadar birçok çalışma yapılmıştır.

Ünal ve Kibici [32] yaptıkları çalışmada; havuz çökeltisinde biriken atık mermer tozlarının beton karışımında ince malzeme yerine kullanılarak üretilen beton numunelerinin basınç dayanımını araştırmışlardır. Mermer tozunu hacimce %10, %15 ve %20 oranlarında ince agregaya yerine kullanmışlardır. Agregaya olarak kalker ve kırma taş ve PÇ 32.5 N tipi çimento kullanılan karışımda s/ç oranı sabit tutulmuş, 300 ile 350 kg çimento dozlu iki numune serisi üzerinde çalışma yapılmıştır. Üretilen numunelere yaş birim hacim ağırlık ve çökme deneyleri, basınç ve çekme dayanımı, ultrases geçiş hızı ve kılcallık deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, betona ilave edilen mermer tozunun betona olumsuz etkisinin olmadığı ve betonda kullanılarak doğaya ve ekonomiye yararlı olabileceği sonucuna varılmıştır.

Demirel ve Yazıcıoğlu [33] yaptıkları çalışmada; atık mermer tozunu ince agregaya olarak belli oranlarda kullanmış, ürettikleri beton numunelerinin dayanım, elastisite modülü ve ultrases geçiş hızını araştırmışlardır. İnce agregaya yerine ağırlıkça belli oranlarda (%0, %25, %50 ve %100), dane çapı 0,25 mm olan mermer tozu kullanmışlardır. Üretilen standart küp numunelere (150*150*150 mm) 3, 7 ve 28 günlük testler yapılarak ulaşılan elastisite modülü, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı sonuçları karşılaştırılarak, mermer tozunun ince agregaya yerine ikame edilmesinin beton dayanımını artırdığı sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlara göre atık mermer tozunun betonda kullanılabilirliği mümkün görülmektedir.

Bonavetti ve Irassar [34] çalışmalarında, %5, %10 ve %20 oranlarında mermer tozu ve 0,48 s/ç oranıyla hazırlanan harçların işlenebilirliğini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada karışımın su ihtiyacının artarak işlenebilirliğinin azaldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, mermer tozunun harçlarda kullanılmasıyla 28 günlük numunelerin basınç ve eğilme dayanımlarının arttığını gözlemlemişlerdir. %5 ve %10 oranında mermer tozu ikame edilen numunelerin 28 günlük dayanımlarında artış, %20 oranında mermer tozu ikameli numunelerin 28 günlük dayanımlarında ise şahit numuneye göre kayda değer fark olmadığı

sonucuna varmışlardır. Karışıma mermer tozu ikame edilmesiyle hidratasyon hızının arttığı da tespit edilmiştir.

Çelik ve Marar [35] çalışmalarında, mermer tozunu kırma taş olan ince agregaya %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında ikamesiyle, 0,50 s/ç oranında karışım hazırlayarak beton numunelerinin fiziksel özelliklerini araştırmışlardır. Yaş numunelere slump deneyi yaparak işlenebilirliğini ölçmüşlerdir. Karışımındaki mermer tozu oranı arttıkça, ince agregaların yüzey alanı artmış ve buna bağlı olarak su ihtiyacı da artarak işlenebilirlik azalmıştır. 7 ve 28 günlük beton numunelerinin eğilme ve basınç dayanımları, %5 ve %10 mermer tozu oranında yükselmiş, %10'un üstündeki oranlarda düşmeye başlamıştır. Mukavemetteki bu düşüşün sebebi de, ince agreganın yüzey alanının artarak, karışımındaki çimentonun tüm bu alanı kaplayacak miktarda bulunmamasıdır.

Vijayalakshmi vd. [36] çalışmalarında, ince agregaların yerine atık mermer tozu kullanılmasını araştırmışlardır. Çeşitli oranlarda (%5, %10, %15, %20 ve %25) mermer tozu ikamesi ile 0,40 s/ç oranıyla beton numuneleri hazırlamışlardır. Kullanılan mermer tozu oranının artmasıyla, incelik, gözeneklilik, pürüzlülük ve su emilimi artarak işlenebilirliği azaltmıştır. 7, 28 ve 90 günlük deneylerde mermer tozunun %15 oranına kadar ikame edilmesinin, betonun basınç dayanımını kayda değer oranda değiştirmediği, ancak %20 ve %25 ikame oranlı mermer tozu bulunan karışımların önemli ölçüde dayanımlarını kayb ettikleri tespit edilmiştir. Bu kaybın %15'ten yüksek oranlı karışımlarda gözenekliliğin artması, işlenebilirliğin düşmesi ve agrega ile çimento hamuru arasındaki aderansın azalmasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Şahin ve Tanyıldızı [1]; vişne çürüğü mermer tozu atıklarının katkı maddesi olarak, çimentoyla % 0, % 5, % 10, % 15, % 20, % 40 ve % 80 oranlarında yer değiştirerek ikame ettikleri çalışmalarında, CEM I 42,5 R tipi çimento, 0-4 mm ince agrega ve 4-8 mm iri agrega kullanılarak 100x100x100 mm ölçülerinde küp numuneler hazırlamışlardır. Küp numuneler 20±2 °C'de 7, 28 ve 90 gün suda tutulmuştur. ASTM C 666 standardına uygun olarak donma-çözülme işlemine maruz bırakılan numunelere basınç mukavemeti ve ultra ses geçiş hızı deneyleri yapılarak ulaşılan sonuçlara göre, %5 atık mermer tozu katkılı numunenin 28 gün sonunda şahit numuneye göre dayanımının arttığı ve % 80 mermer tozu katkılı numunenin 15. donma-çözülme döngüsü sırasında tamamen parçalandığı görülmüştür.

Aruntaş vd. [37] yaptıkları çalışmada, mermer tozunun KYB (Kendiliğinden Yerleşen Beton) özellikleri üzerinde etkilerini araştırmışlardır. Mermer tozu beton karışımı içinde bağlayıcı malzeme olan çimento'nun %5, %10, %15, %20 ve %25'i oranlarında ikame edilmiştir. Üretilen küp beton numunelerine 3, 7 ve 28 günlük basınç mukavemeti deneyi yapılarak, mermer tozu katkılı KYB numuneleri fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından şahit beton numunesi ile kıyaslanmıştır. Üretilen numuneler içinde en yüksek basınç mukavemetini mermer tozunun %20 oranında kullanıldığı numunenin verdiği ve mermer tozunun KYB'lerde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Ünal ve Uygunoğlu [38], MT katkılı betonlarda donma-çözülmenin betonun mekanik özelliklerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında, atık MT'yi betona hacimce ince malzemenin % 5, % 10, % 15 ve % 20'si oranlarında ikame ederek, s/ç oranını 0,65 ve çimento dozajını 300 ve 350 olarak belirlemişlerdir. Numunelere 28 gün standart su kürü uygulanmıştır. 7 gün boyunca donma-çözülme deneyine maruz bırakılan numunelere su emme, ultra ses geçiş hızı ve basınç mukavemeti deneyleri yapılarak, MT'nin %5-%15 oranında ve çimento dozajının 350 olarak kullanılmasıyla beton mukavemetinin arttığı tespit edilmiştir.

Gücek [39] çalışmasında; MT ve uçucu külün kil zeminlerde iyileştirme amacıyla kullanılabilirliğini araştırmıştır. Kil zemin kuru ağırlığına göre %5, %10 ve %15 oranlarında MT, %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül kullanarak zemin numuneleri hazırlamıştır. Numuneler, %15 ve %20 su içeriğiyle standart proctor sıkıştırma enerjisinde hazırlanmış; eksenel basınç, Kaliforniya taşıma oranı (CBR), şişme, donma-çözülme ve donma-çözülme sonrası eksenel basınç deneylerine maruz bırakılmıştır. Deney sonuçlarıyla; mermer tozu ve uçucu kül katkısının dayanımı artırdığı, şişme miktarını azalttığını gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en uygun karışım oranının %10 MT + %20 Uçucu kül olduğu görülmüş, MT ve uçucu külün zemin iyileştirmede kullanılarak çevre kirliliğinin azaltılmasına ve ekonomiye katkı sağlayacağı tespit edilmiştir.

Gökçer, Yıldız ve Keleştemur [40], farklı oranlarda cam lif ve atık mermer tozu kullanılarak hazırlanan harç numunelerinin donma-çözülme etkisi altındaki fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Değişik oranlarda cam lif ve ince malzeme ile ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında atık mermer tozu ikame ederek harç numuneleri hazırlamışlardır. Donma-çözülme etkisine bırakılan numunelere yapılan porozite, kılcal su emme, ultra ses geçiş hızı, basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri

sonucunda, donma-    lmeye maruz kalan cam lif ve mermer tozu katkılı harç numunelerinin, porozite ve kılcal su emme değerlerinin arttığı, ultrases geçiş hızı, eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı değerlerinin ise azaldığı tespit edilmiştir.



4. MATERYAL ve YÖNTEM

4.1. Materyal

4.1.1. Çimento

Bu çalışmada harç numuneleri hazırlanırken TS EN 197-1 [41] standardına uygun CEM II 42.5 R tipi çimento seçilmiştir. Kullanılan çimentonun özellikleri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. *Kullanılan çimentonun özellikleri*

Fiziksel Özellikler		Sonuçlar
Özgül Ağırlık (g/cm ³)		3.00-3.05
Priz Süresi	(dakika)	Min 60
İncelik	Özgül Yüzey (cm ² /g)	4300-4900
Kimyasal Özellikler		
Sülfat (SO ₃)		≤ % 4,0
Klorür (Cl ⁻)		≤ % 0,1



Görsel 4.1. *Çimento*

4.1.2. Mermer tozu

Bu çalışmada Diyarbakır Dicle Bölgesi’ne ait mermer tozu kullanılmıştır. Hamur halinde fabrikadan temin edilen mermer tozu etüvde kurutularak Los Angeles aşınma

deneyi silindiri ve el yardımıyla öğütülmüştür. Öğütülen mermer tozu, No.200 (75 μm) çaplı elekten geçirilerek karışımda kullanılmıştır.

Çizelge 4.2. *Kullanılan mermer tozunun özellikleri*

Fiziksel Özellikler	Sonuçlar
Özgül Ağırlık (g/cm^3)	2,69
Dane Çapı (μm)	≤ 75



Görsel 4.2. *Mermer tozu*

4.1.3. Kum

Karışımda 0-4 mm dere kumu tercih edilmiştir.



Görsel 4.3. *Kum*

4.1.4. Su

Numuneler hazırlanırken Adıyaman ili şebeke suyu tercih edilmiştir.

4.2. Yöntem

4.2.1. Harç

4.2.1.1. Harç karışımının bileşimi

Harç numuneleri üretilirken TS EN 196-1 [42] standardına uyularak karışım hazırlanmıştır. Karışımında çimento, su, kum ve mineral katkı olarak mermer tozu kullanılmıştır.

Harç karışımları TS EN 196-1 [42] standardında belirtilen oranlar göz önünde bulundurularak üretilmiştir. Şahit numuneler 1350 g kum, 450 g çimento, 225 g su ve mineral katkılı (MT) numuneler ise, MT çimento yerine %5, %10, %15 oranlarında ikame edilerek hazırlanmıştır. Numuneler hazırlanırken karışımında kullanılan malzemelerin ağırlıkları Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Harç sistemindeki malzeme miktarları

SERİ ADI	KUM (g)	ÇİMENTO (g)	SU (g)	MT (g)
ŞAHİT	1350	450	225	-
%5 MT	1350	427,5	225	22,5
%10 MT	1350	405	225	45
%15 MT	1350	382,5	225	67,5

4.2.1.2. Harç numunelerinin üretilmesi

Numuneler, TS EN 196-1 [42] standardına göre hazırlanmıştır. Resim 4.4’de gösterilen mikser yardımıyla harç karışımı üretilmiştir.

- Şahit numuneler için hazneye su ve çimento, mermer tozu katkılı numuneler için ilave olarak belirlenen oranlarda mermer tozu eklenmiştir.
- Düşük hızda 30 sn mikserle karıştırılan çimento, mermer tozu ve su karışımına mikser durdurulmadan 30 sn boyunca kum eklendi. Üçüncü 30 sn’de mikser yüksek hızda çalışmaya devam etmiştir.
- 30 sn’lik üç periyottan sonra mikser durdurularak, hazne cidarına yayılan harç hazne merkezinde toplanmıştır.
- Son aşamada mikser 60 sn daha yüksek hızda çalıştırılarak karışım hazırlanmıştır.



Görsel 4.4. Harç mikseri

4.2.1.3. Harcın kalıplanması

Hazırlanan harç karışımı, zaman kaybetmeksizin 40*40*160 mm boyutlu kalıplara konulmuş ve içerisinde hava boşluğu kalmaması için sarsma tablasına maruz bırakılmıştır. Kalıplara yerleştirilen harçlar 24 saat kalıpta tutulmuştur.



Görsel 4.5. Kalıplanan numuneler

4.2.1.4. Harcın kürlenmesi

Kalıpta tutulan numuneler 24 saat sonunda kalıplardan çıkarılarak, 20 ± 2 °C sıcaklıktaki kür havuzuna konularak 28 günlük dayanıma ulaşması beklenmiştir (Resim 4.6).



Görsel 4.6. Numunelerin kür havuzunda bekletilmesi

4.2.2. Donma-çözülme uygulaması

28 gün kür havuzunda bekletilen numunelere donma-çözülme uygulaması öncesi birim hacim ağırlık deneyi, ultrases geçiş hızı deneyi, eğilme ve basınç dayanımı deneyleri ve SEM analizi yapılmıştır. Numuneler daha sonra TS 699 [43] standardına uygun şekilde donma-çözülme işlemine tabi tutulmuştur. Uygulanan donma ve çözülme işlemleri Resim 4.7’de gösterilmiştir. 25 donma-çözülme döngüsü sonunda aynı deneyler tekrar uygulanarak sonuçlar kıyaslanmıştır.



Görsel 4.7. Donma-Çözülme uygulaması

4.2.3. Uygulanan deneyler

4.2.3.1. Birim hacim ağırlık deneyi

Numuneler kür havuzundan çıkarıldıktan sonra yüzeyindeki fazla su bez yardımıyla silinerek hassas terazi üzerinde suya doymun haldeki ağırlığı ölçülmüştür. Aynı işlem numuneler 24 saat etüvde tutulduktan sonra da tekrarlanmıştır. TS EN 12390-7 [44] standardına göre (4.1) denklemi yardımıyla numunelerin suya doymun ve etüv kurusu durumda birim hacim ağırlıkları hesaplanmıştır.

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (4.1)$$

Burada;

γ = Birim hacim ağırlık (g/cm^3)

W = Harç numune ağırlığı (g)

v = Harç numune hacmi (cm^3)

Ölçülen ağırlıklara göre numunelerin ağırlıkça (S_a) (denklem (4.2)) ve hacimce (S_h) (denklem (4.3)) su emme miktarları da yüzdelik cinsten hesaplanmıştır.

$$S_a = [(W_d - W_k) / W_k] \times 100 \quad (4.2)$$

$$S_h = [(W_d - W_k) / V] \times 100 \quad (4.3)$$

Burada;

S = Su emme miktarı (%)

W_d = Harç numunenin suya doymun ağırlığı (g)

W_k = Harç numunenin kuru ağırlığı (g)

V = Harç numune hacmi (cm^3)



Görsel 4.8. Etüv kuru su numunenin tartımı

4.2.3.2. Ultrases geçiş hızı deneyi

Ultrases geçiş hızı deneyi ile ses dalgalarının harç numunelerinin bir ucundan diğer ucuna geçiş süresi ve bu süreye bağlı olarak dalga hızı hesaplanarak betonun dayanım gibi bazı özellikleri hakkında yorum yapılabilir. Ultrases cihazında bulunan iki adet

başlık yardımıyla numunenin iki ucu arasına gönderilen ses üstü dalgaların geçiş süresi mikro saniye olarak bulunur ve sesüstü dalga hızı (4.4) denklemi yardımıyla hesaplanır. Uygulama sırasında yüzeylerde bulunan boşlukların yanıltıcı sonuca neden olmaması için başlıkların değdiği yüzeylere jel sürülür.

$$V = (L/t) \quad (4.4)$$

Burada;

V = Sesüstü dalga hızı, km/s

L = Numunenin uzunluğu (km)

t = Ses dalgasının geçtiği süre (s)



Görsel 4.9. *Ultrasen geçiş hızı deneyi*

4.2.3.3. Eğilme dayanımı deneyi

Numunelere, TS EN 196-1 [42] standardına göre eğilme deneyi uygulanmıştır. Pürüzsüz yüzeyleriyle deney cihazına yerleştirilen numunelere 60 N/s hızla yükleme yapılmış ve kırıldığı andaki yük bilgileri alınmıştır. (4.5) denklemi yardımıyla eğilme dayanımı tespit edilmiştir.

$$\sigma_e = \frac{1.5 \times F \times l}{b^3} \quad (4.5)$$

Burada;

σ_e = Eğilme dayanımı (N/mm²),

b = Prizmanın kare kesitinin kenar uzunluğu (mm),

F = Prizmanın kırılma anında ortasına uygulanan kuvvet (N),

L = Mesnet silindirleri arasındaki uzaklık (mm) dır.



Görsel 4.10. Eğilme dayanımı deneyi

4.2.3.4. Basınç dayanımı deneyi

Numuneler üzerinde TS EN 196-1 [42] standardına göre basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır. Eğilme deneyinde ortadan kırılarak iki parça olan numunelerin pürüzsüz yan yüzeylerine 40*40 mm'lik çelik başlık konularak, Resim 4.9'da gösterildiği gibi tek eksenli basınç yükü uygulanmıştır.

Basınç dayanımı (4.6) denklemi ile hesaplanmaktadır.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (4.6)$$

Burada ;

σ = Basınç dayanımı (N/mm²),

P = Kırılmadaki en büyük yük (N),

A = Yük uygulanan yüzey alanı (mm²).



Görsel 4.11. *Basınç dayanımı deneyi*

4.2.3.5. Mikroyapı çalışmaları

Seçilen numunelerden alınan parçalara, Adıyaman Üniversitesi Merkezi Araştırma ve Uygulama Laboratuvarında bulunan Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) (Zeiss & EVO LS 10) (Resim 4.12) kullanılarak mikroyapı analizleri yapılmıştır.



Görsel 4.12. *Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)*

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), elektron demeti yardımıyla numune yüzeyini tarayarak görüntü veren elektronik bir mikroskop tipidir. Elektronlar numune yüzeyindeki atomlarla etkileşerek numune yapısıyla alakalı sinyaller verir. Elektron demeti numune yüzeyini tarayarak verilen sinyaller yardımıyla görüntü oluşturur.

5. BULGULAR ve TARTIŞMA

5.1. Fiziksel Özellikler

Harç numunelerinin birim hacim ağırlık deneyi bulguları Çizelge 5.1’de verilmiştir. Harç numunelerden 3’er adet deney yapılarak bunların ortalaması alınmıştır. Donma-çözülme işlemi öncesi şahit numunelerin birim hacim ağırlığı 2,15 g/cm³, %5 MT katkıli numunelerin 2,17 g/cm³, %10 MT katkıli numunelerin 2,18 g/cm³, %15 MT katkıli numunelerin 2,19 g/cm³; donma-çözülme işlemi sonrası şahit numunelerin birim hacim ağırlığı 2,17 g/cm³, %5 MT katkıli numunelerin 2,18 g/cm³, %10 MT katkıli numunelerin 2,20 g/cm³, %15 MT katkıli numunelerin 2,20 g/cm³ olarak ölçülmüştür.

Çizelge 5.1. Donma-Çözülme öncesi ve sonrası birim hacim ağırlık deney sonuçları

	Donma-Çözülme Öncesi (g/cm ³)		Donma-Çözülme Sonrası (g/cm ³)	
	Değerler	Ortalama	Değerler	Ortalama
ŞAHİT	2,15	2,15	2,16	2,17
	2,16		2,16	
	2,16		2,18	
%5	2,15	2,17	2,16	2,18
	2,17		2,18	
	2,17		2,19	
%10	2,14	2,18	2,15	2,20
	2,19		2,20	
	2,22		2,23	
%15	2,19	2,19	2,20	2,20
	2,20		2,21	
	2,18		2,18	

Sonuçlar incelendiğinde, en küçük birim hacim ağırlıklar donma-çözülme işlemi öncesi ve sonrasında şahit numunelerde görülmüş olup, numunelerde katkı miktarı arttıkça birim hacim ağırlıkların da arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca donma-çözülme işleminden sonra da birim hacim ağırlıklarda artış olduğu tespit edilmiştir.

Gökçer [45], mermer tozu ve cam elyaf katkılı çimento harçlarının donma-çözülme davranışlarını incelediği çalışmada; cam lifin artmasıyla birim hacim ağırlıklarının azaldığını, mermer tozu artışıyla ise arttığını gözlemlemiştir.

Binici ve arkadaşları [46], tekrarlayan donma-çözülme olaylarında, betondaki iç gerilmelerin artmasıyla beton yüzeyindeki agregaların gevşeyip koptuğunu ve oluşan ağırlık kayıplarından kaynaklı numunelerin birim hacim ağırlıklarında azalma tespit etmişlerdir.

Donma-çözölmeye maruz bırakılan numunelerde kapak atma gibi deformasyonlara rastlanmamıştır.

Çizelge 5.2. Donma-Çözölme öncesi ağırlıkça ve hacimce su emme

	Ağırlıkça Su Emme		Hacimce Su Emme	
	Değerler	Ortalama	Değerler	Ortalama
ŞAHİT	%8,73	%8,78	%18,75	%18,93
	%8,79		%18,96	
	%8,83		%19,06	
%5	%8,79	%8,53	%18,93	%18,48
	%8,39		%18,24	
	%8,41		%18,26	
%10	%8,91	%8,99	%19,08	%19,17
	%8,93		%19,57	
	%9,12		%18,85	
%15	%9,13	%9,02	%19,96	%19,72
	%8,99		%19,75	
	%8,94		%19,45	

Harç numunelerinin ağırlıkça ve hacimce su emme miktarları Çizelge 5.2’de verilmiştir. Şahit numunelerin ağırlıkça su emme miktarı %8,78, %5 MT katkılı numunelerin %8,53, %10 MT katkılı numunelerin %7,65, %15 MT katkılı numunelerin %9,02; şahit numunelerin hacimce su emme miktarı %18,93, %5 MT katkılı numunelerin %18,48, %10 MT katkılı numunelerin %16,65, %15 MT katkılı numunelerin %19,72 olarak ölçülmüştür.

En düşük değerleri sırasıyla %5 MT katkılı numuneler ve şahit numuneler vermekle birlikte, %10 MT katkılı numunelerde ağırlıkça %8,99 ve hacimce %19,17, %15 MT

katkılı numunelerde ağırlıkça %9,02 ve hacimce %19,72 değerlerine ulaşan su emme miktarı artma eğilimi göstermektedir.

Yamanel [54] yaptığı çalışmada, atık mermer tozu miktarının artmasıyla boşluk oranının ve bununla birlikte su emme oranının da arttığı sonucuna varmıştır. Elde edilen bulgularla, literatürde yapılan çalışmalara benzer sonuçlara ulaşılmıştır.

5.2. Ultrases Geçiş Hızı Bulguları

Bu bölümde, üretilen deney numunelerinin ultrases geçiş hızı deneyi bulguları Çizelge 5.4'te verilmiştir. 28 günlük numunelerin doymuş ve kuru haldeki ultrases geçiş hızı ve donma-çözülme sonrası ultrases geçiş hızı ölçülerek donma-çözülmenin numuneler içerisinde oluşturduğu boşluk durumu hakkında değerlendirme yapılması hedeflenmektedir. Sonuçlar değerlendirilirken 3 adet numunenin ortalaması alınmıştır.

Ultrases geçiş hızı, donma-çözülme öncesi etüv kuruşu şahit numunelerde 3,94 km/s, %5 MT katkılı numunelerde 3,89 km/s, %10 MT katkılı numunelerde 3,85 km/s, %15 MT katkılı numunelerde 3,79 km/s; donma-çözülme öncesi doymuş şahit numunelerde 4,44 km/s, %5 MT katkılı numunelerde 4,45 km/s, %10 MT katkılı numunelerde 4,38 km/s, %15 MT katkılı numunelerde 4,35 km/s; donma-çözülme sonrası doymuş şahit numunelerde 4,18 km/s, %5 MT katkılı numunelerde 4,11 km/s, %10 MT katkılı numunelerde 4,08 km/s, %15 MT katkılı numunelerde 4,00 km/s olarak ölçülmüştür. Katkılı numunelerde katkı oranı arttıkça ultrases geçiş hızının düştüğü görülmektedir. Donma-çözülme etkisiyle de ultrases geçiş hızlarında belirgin bir düşme söz konusudur. En iyi sonucu şahit numune ve katkılı numuneler içinde %5 katkılı numuneler vermektedir.

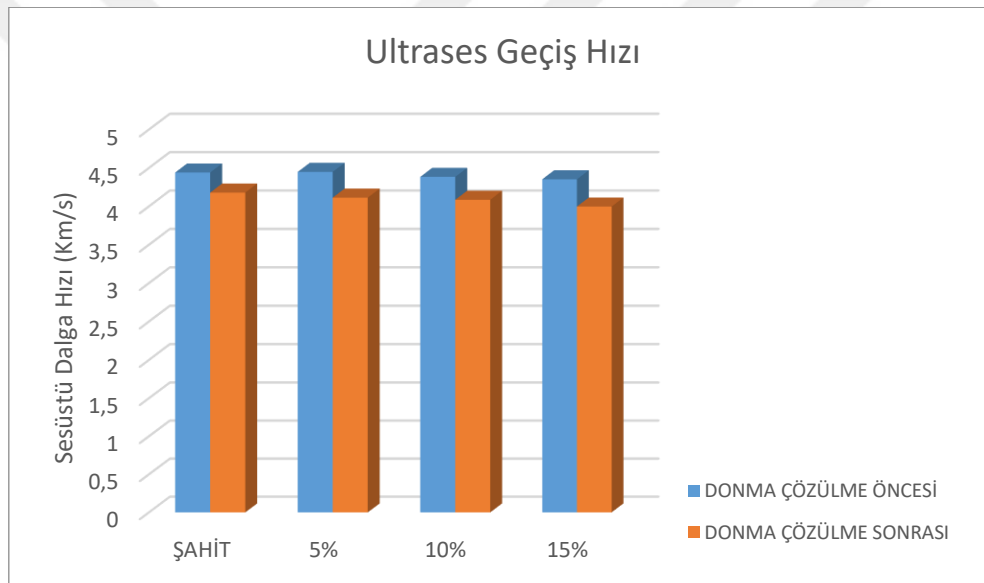
Çizelge 5.3. Donma-Çözülme öncesi ve sonrası ultrases geçiş hızı deney sonuçları

	Donma-Çözülme Öncesi		Donma-Çözülme Sonrası			
	Kuru (km/s)		Doygun (km/s)		Doygun (km/s)	
	Değerler	Ortalama	Değerler	Ortalama	Değerler	Ortalama
ŞAHİT	3,90		4,42		4,13	
	3,98	3,94	4,47	4,44	4,27	4,18
	3,95		4,43		4,13	
%5					4,11	
	3,89		4,48		4,13	
	3,90	3,89	4,42	4,45	4,09	4,11
	3,88		4,44			

Çizelge 5.3. (Devam) Donma-Çözülme öncesi ve sonrası ultrases geçiş hızı deney sonuçları

	3,85		4,41		4,08	
%10	3,85	3,85	4,35	4,38	4,09	4,08
	3,85		4,40		4,08	
	3,79		4,34		4,01	
%15	3,79	3,79	4,38	4,35	4,01	4,00
	3,78		4,34		3,97	

Donma-çözülme sonrası ultrases geçiş hızlarında yaşanan değişim Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Donma-Çözülme öncesi ve sonrası ultrases geçiş hızı değerleri

Harç içerisindeki boşluklarda bulunan su, donma esnasında genişir ve hacmi büyür. Hacmin artmasıyla içerisinde bulunduğu boşluğun da hacmi artar. Donma-çözülme döngüsüyle tekrar donmaya maruz kalarak boşlukların artarak büyümesine neden olur. Harç içerisindeki boşlukların artmasının ultrases geçiş hızında azalma meydana getirdiği düşünülmektedir.

Gökçer [45], Şengül [47] ve Sungur [48], harç ve betonlarda donma-çözülme etkisini araştırdıkları çalışmalarında, donma-çözülme deneyi sonrasında ultrases geçiş hızında azalma tespit etmişlerdir. Elde edilen bulgularla, literatürde yapılan çalışmalara benzer sonuçlara ulaşılmıştır.

5.3. Eğilme Dayanımı Bulguları

Bu bölümde, üretilen deney numunelerinin eğilme dayanımı deneyi bulguları Çizelge 5.5'te verilmiştir. Sonuçlar değerlendirilirken 3 adet numunenin ortalaması alınmıştır. Resim 5.1'de eğilme deneyi sonrasında kırılan bir numune örneğine yer verilmiştir.



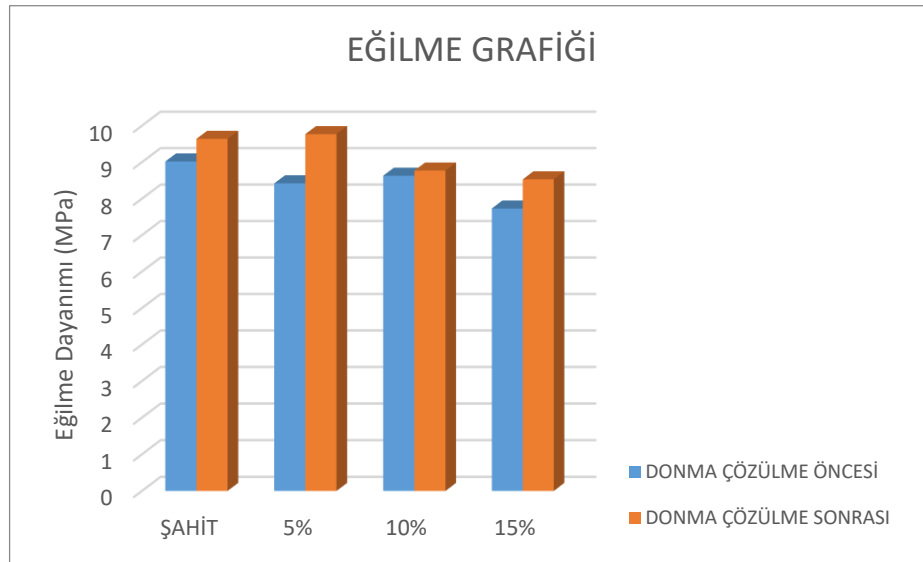
Görsel 5.1. Eğilme deneyi sonrası kırılan numune

Donma-çözülme öncesi eğilme deneyi uygulanan numunelerin sonuçlarına bakıldığında, en yüksek değeri 9,02 MPa ile şahit numunelerin verdiği, katkılı numuneler içinde %5 katkılı numunelerin 8,42 MPa ve %10 katkılı numunelerin 8,63 MPa ile şahit numuneye göre daha düşük fakat birbirlerine yakın sonuç verdikleri, %15 katkılı numunelerin ise 7,73 MPa ile en düşük eğilme dayanımına sahip oldukları görülmüştür. Donma-çözülme işlemi sonrası yapılan eğilme deneylerinde tüm numunelerin dayanım değerlerinde gözle görülür artış olduğu tespit edilmiştir. Şahit numuneler 9,64 MPa, %5 MT katkılı numuneler 9,77 MPa, %10 MT katkılı numuneler 8,77 ve %15 MT katkılı numuneler 8,53 MPa değere ulaşmıştır. En yüksek artış %16,03 oranla %5 katkılı numunelerde, daha sonra sırasıyla %15 katkılı, şahit ve %10 katkılı numunelerde görülmüştür.

Çizelge 5.4. Donma-Çözülme öncesi ve sonrası eğilme dayanımı deney sonuçları

	Donma-Çözülme Öncesi (MPa)		Donma-Çözülme Sonrası (MPa)	
	Değerler	Ortalama	Değerler	Ortalama
ŞAHİT	7,99	9,02	9,33	9,64
	9,54		9,96	
	9,54		9,63	
%5	8,34	8,42	10,10	9,77
	8,32		9,73	
	8,60		9,49	
%10	8,46	8,63	8,18	8,77
	7,69		8,65	
	9,75		9,49	
%15	7,57	7,73	8,20	8,53
	7,73		8,65	
	7,88		8,74	

Donma-çözülme sonrası eğilme dayanımlarında yaşanan değişim Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Donma-Çözülme öncesi ve sonrası eğilme dayanımı deneyi değerleri

Betonda atık mermer tozu kullanımının karbonatlaşmaya etkisini araştıran Yazıcıoğlu ve Kara [49], karbonatlaşma uygulanan prizma biçimindeki numuneler arasında

en yüksek eğilme dayanımını %5 MT karışımlı numunelerde, en düşük eğilme dayanımı ise %15 MT karışımlı numunelerde tespit etmişlerdir. MT miktarının artmasıyla eğilme dayanımının azaldığı gözlemlenmiştir.

5.4. Basınç Dayanımı Bulguları

Bu bölümde, üretilen deney numunelerinin basınç dayanımı deneyi bulguları Çizelge 5.6' da verilmiştir. Sonuçlar değerlendirilirken 3 adet numunenin ortalaması alınmıştır. Resim 5.2'de basınç deneyi sonrasında kırılan bir numune örneğine yer verilmiştir.



Görsel 5.2. Basınç deneyi sonrası kırılan numune

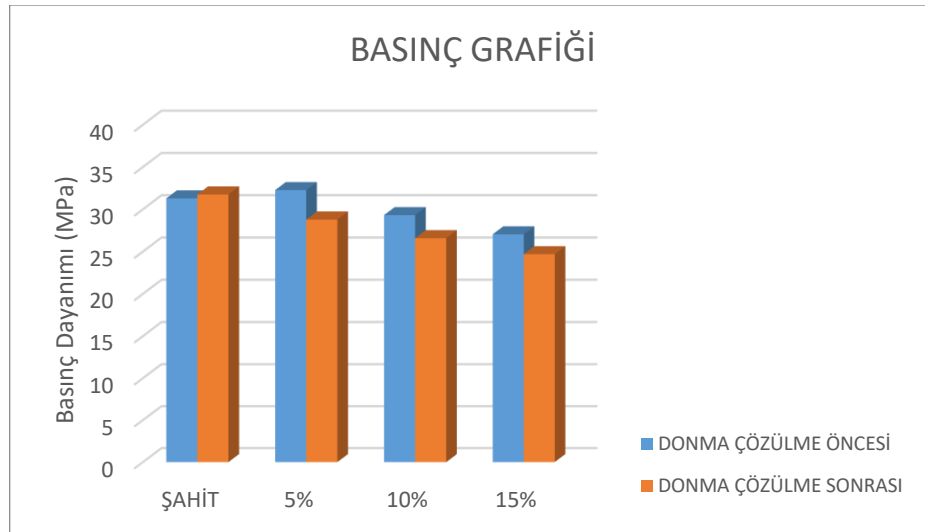
Donma-çözülme öncesi basınç deneyi uygulanan numunelerin sonuçlarına bakıldığında, en yüksek değeri 32,27 MPa ile %5 katkılı numunelerin verdiği görülmüştür. Şahit numuneler 31,29 MPa, %10 MT katkılı numuneler 29,31 MPa ve %15 MT katkılı numuneler 27,04 MPa değerlerine ulaşmıştır. Donma-çözülme işlemi sonrası yapılan basınç deneylerinde şahit numuneler 31,75 MPa, %5 MT katkılı numuneler 28,79 MPa, %10 MT katkılı numuneler 26,8 MPa ve %15 MT katkılı numuneler 24,69 MPa değerini

vermiştir. Donma-çözülme sonrası şahit numunelerde %1,47 oranında artış yaşanırken, katkılı numunelerin dayanım değerlerinde ise önemli ölçüde düşüş yaşanmıştır. %5, %10 ve %15 MT katkılı numunelerde sırasıyla %10,78, %9,31 ve %8,69 oranında düşüş tespit edilmiştir.

Çizelge 5.5. Donma-Çözülme öncesi ve sonrası basınç dayanımı deney sonuçları

	Donma-Çözülme Öncesi (MPa)		Donma-Çözülme Sonrası (MPa)	
	Değerler	Ortalama	Değerler	Ortalama
ŞAHİT	29,19	31,29	32,63	31,75
	35,38		32,88	
	29,31		29,75	
%5	33,19	32,27	30,13	28,79
	31,44		26,56	
	32,19		29,69	
%10	29,63	29,31	27,00	26,58
	30,50		25,69	
	27,81		27,06	
%15	26,06	27,04	24,81	24,69
	25,31		23,38	
	29,75		25,88	

Donma-çözülme sonrası basınç dayanımlarında yaşanan değişim Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Donma-Çözülme öncesi ve sonrası basınç dayanımı deneyi değerleri

Basınç dayanımında meydana gelen kayıpların nedeni olarak; katkı oranı artışıyla boşluk oranının artması ve donma-çözülme etkisiyle oluşan çatlaklar ve artan boşluk hacmi gösterilebilir.

Değişik oranlarda mermer tozu kullanarak beton numuneleri hazırlayan Yazıcıoğlu ve Kara [49], yaptıkları basınç dayanımı deneyi ile %5 mermer tozu katkılı numunenin en yüksek sonucu, %15 mermer tozu katkılı numunenin ise en düşük sonucu verdiğini gözlemlemiş, katkı oranı arttıkça dayanımın düştüğünü belirlemişlerdir.

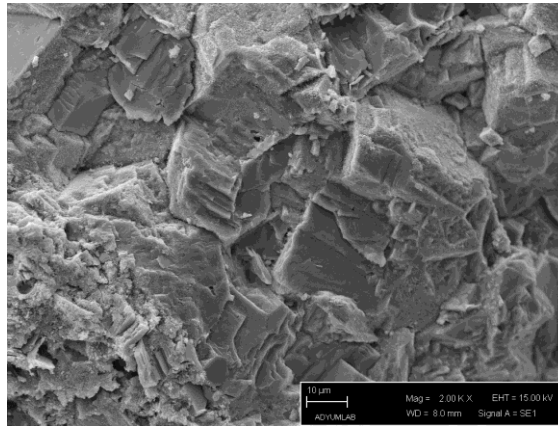
Yine Gökçer [45], Öner ve Yıldırım [50], Richardson [51], Yıldız, Demirli ve Keleştemur [52] ve Tan [53] yaptıkları çalışmalarda, çeşitli özellikteki numunelere uyguladıkları donma-çözülme işleminden sonra basınç dayanımlarında kayıplar olduğunu tespit etmişlerdir.

Elde edilen bulgularla, literatürde yapılan çalışmalara benzer sonuçlara ulaşılmıştır.

5.5. Mikroyapı Bulguları

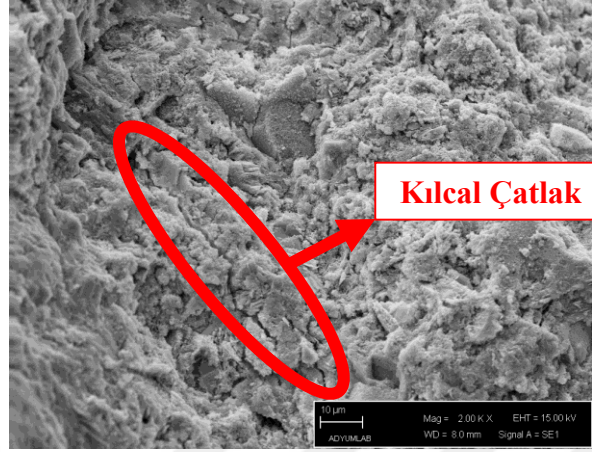
Bu bölümde, üretilen deney numunelerinin mikroyapı analizi bulguları verilmiştir. Donma-çözülme öncesi ve sonrası şahit, %5 MT, %10 MT ve %15 MT katkılı numune parçaları incelenmiştir.

Donma-çözülme öncesi 28 günlük şahit numuneler incelendiğinde; Resim 5.3'te yoğun C-S-H jel yapısına rastlanmıştır.



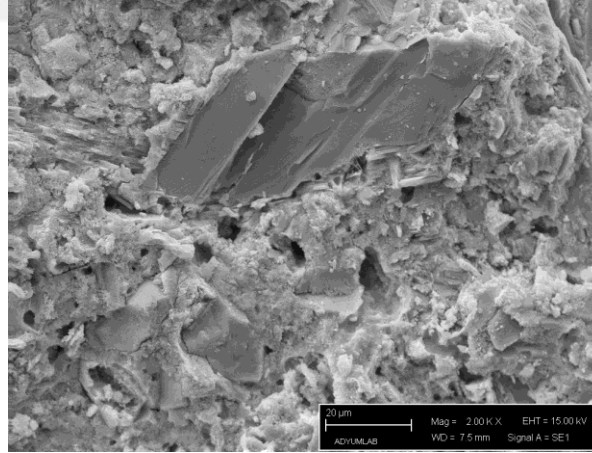
Görsel 5.3. Donma-çözülme öncesi şahit numunenin SEM görüntüsü (1)

Resim 5.4'te ise C-S-H jel yapı içerisinde devamlı halde seyreden kılcal çatlaklar olduğu gözlemlenmiştir.



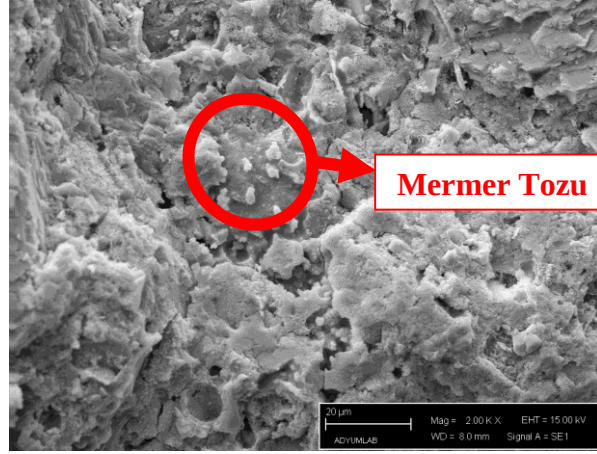
Görsel 5.4. Donma-çözülme öncesi şahit numunenin SEM görüntüsü (2)

Donma-çözülme öncesi 28 günlük %5 MT katkılı numuneler incelendiğinde; Resim 5.5'te C-S-H jel yapısı net şekilde görünmektedir.



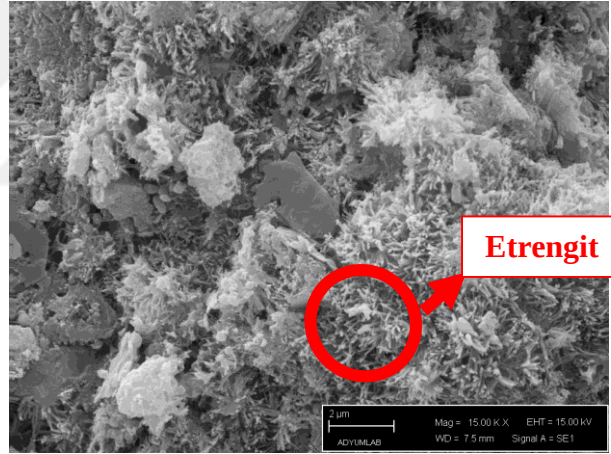
Görsel 5.5. Donma-çözülme öncesi %5 MT katkılı numunenin SEM görüntüsü (1)

Resim 5.6'da karışım içindeki mermer tozları görülmeye başlanmıştır.



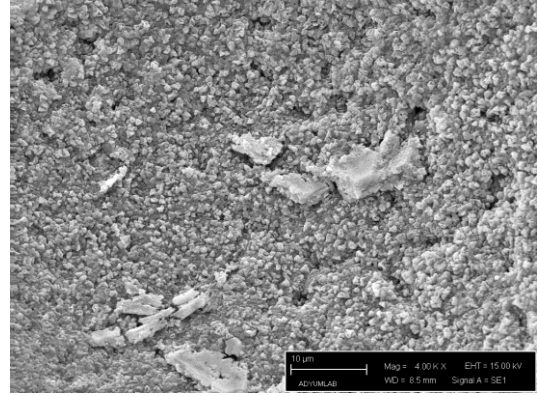
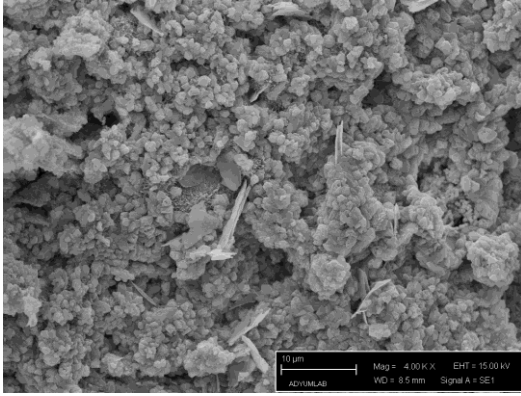
Görsel 5.6. Donma-çözülme öncesi %5 MT katkılı numunenin SEM görüntüsü (2)

Donma-çözülme öncesi 28 günlük %10 MT katkılı numuneler incelendiğinde; Resim 5.7’de C-S-H hamur yapıları görülmekte, bununla birlikte enrengit oluşumları da tespit edilmiştir.



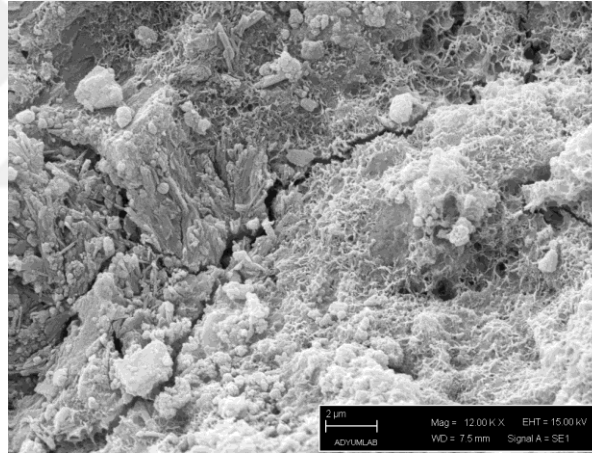
Görsel 5.7. Donma-çözülme öncesi %10 MT katkılı numunenin SEM görüntüsü

Donma-çözülme öncesi 28 günlük %15 MT katkılı numuneler incelendiğinde; Resim 5.8’de yoğun mermer tozu yapısı görülmektedir.



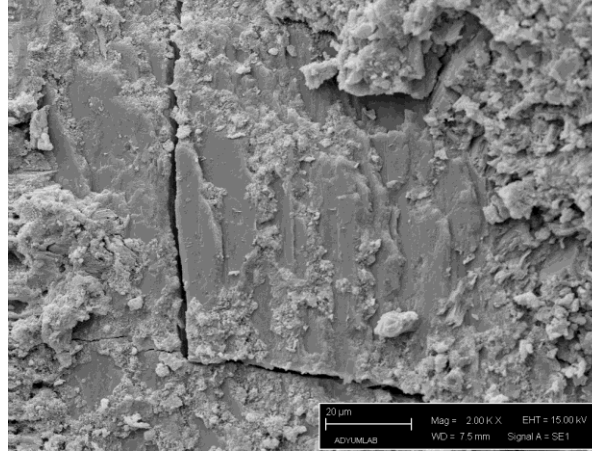
Görsel 5.8. Donma-çözülme öncesi %15 MT katkılı numunenin SEM görüntüsü

Donma-çözülme sonrası 28 günlük şahit numuneler incelendiğinde; Resim 5.9’da donma-çözülmenin neden olduğu ve dayanım kaybına neden olan çatlaklar belirgin şekilde görülmektedir.



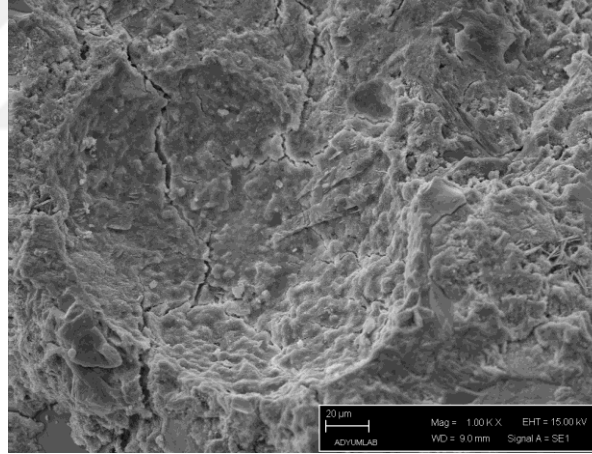
Görsel 5.9. Donma-çözülme sonrası şahit numunenin SEM görüntüsü (1)

Resim 5.10’da görülen çatlağın yine donma-çözülme etkisiyle kapiler boşluklarda bulunan suyun genişerek oluşturduğu çatlaklar olduğu düşünülmektedir.



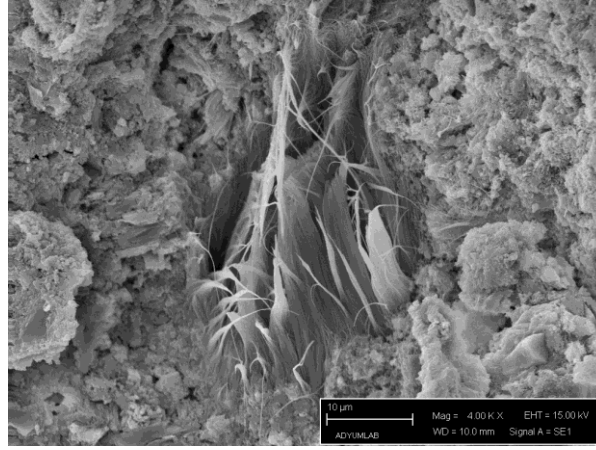
Görsel 5.10. Donma-çözülme sonrası şahit numunenin SEM görüntüsü (2)

Donma-çözülme sonrası 28 günlük %5 MT katkılı numuneler incelendiğinde; Resim 5.11’de dayanıma doğrudan etki eden, süreklilik gösteren çatlak görülmekte, aynı zamanda etrengit yapısı görülmeye başlanmaktadır.



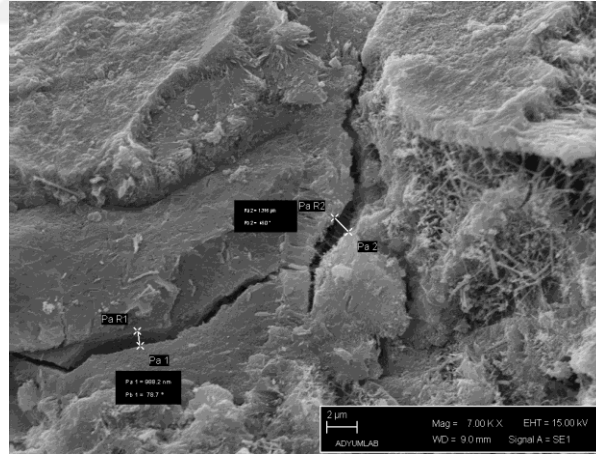
Görsel 5.11. Donma-çözülme sonrası %5 MT katkılı numunenin SEM görüntüsü (1)

Yine Resim 5.12’de C-S-H jel yapısı içerisinde etrengit oluşumu söz konusudur.



Görsel 5.12. Donma-çözülme sonrası %5 MT katkılı numunenin SEM görüntüsü (2)

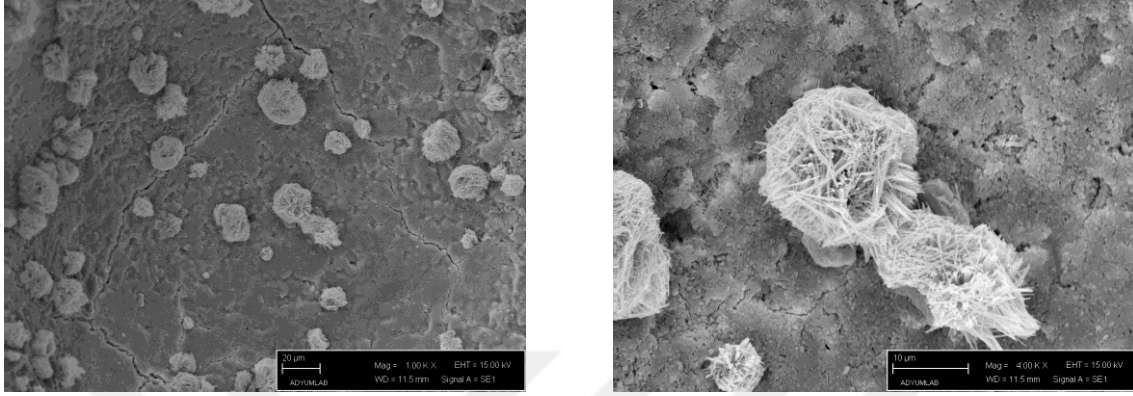
Etrenjitler yüksek su emme kapasitesine sahiptir. Bünyelerine aldıkları sular donma-çözülme etkisiyle harç sistemi içerisinde içsel gerilmelere sebep olarak derin ve sürekli çatlaklar oluştururlar. Resim 5.13'te etrenjit yapısı ve oluşan derin çatlaklar görülmektedir. Genişlikleri ölçülen çatlaklardan birincisi 0,988 µm, ikincisi 1,316 µm genişliğindedir.



Görsel 5.13. Donma-çözülme sonrası %5 MT katkılı numunenin SEM görüntüsü (3)

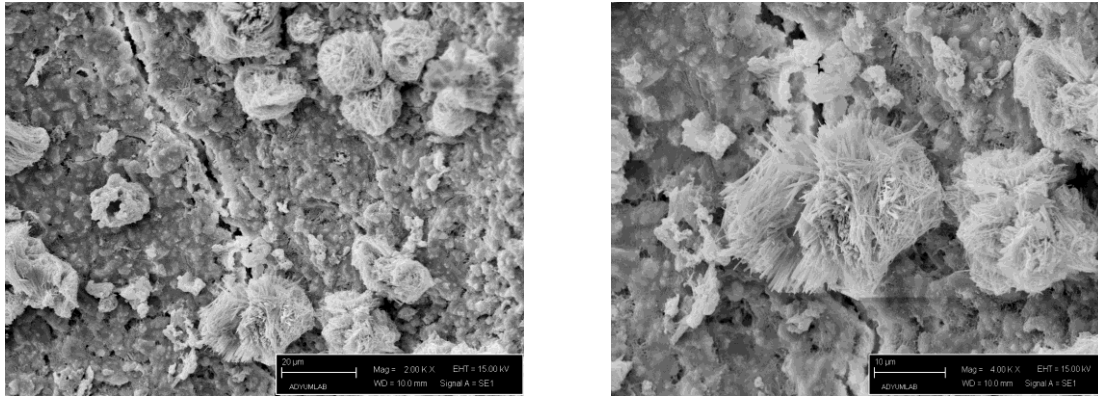
Grabiec [55], 200 donma-çözülme çevrimine maruz bıraktığı numunelerde bulunan boşlukların içinde çatlak oluşumlarını gözlemlemiştir. Çevrimler sonrasında etrenjitin önemli ölçüde arttığını ve bunun donma esnasında monosülfatın etrenjite dönüşmesiyle oluştuğunu belirtmiştir.

Donma-çözülme sonrası 28 günlük %10 MT katkıli numuneler incelendiğinde; Resim 5.14'te etrengit oluşumunun belirginleşmeye başladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca süreklilik arz eden ve dayanım kaybına sebep olan çatlaklar burada da görülmektedir.



Görsel 5.14. Donma-çözülme sonrası %10 MT katkıli numunenin SEM görüntüsü

Donma-çözülme sonrası 28 günlük %15 MT katkıli numuneler incelendiğinde; Resim 5.15'te oluşan etrengit ve bu etrengitin oluştuğu bölgede oluşturmuş olduğu sürekli çatlak belirgin şekilde görülmektedir.

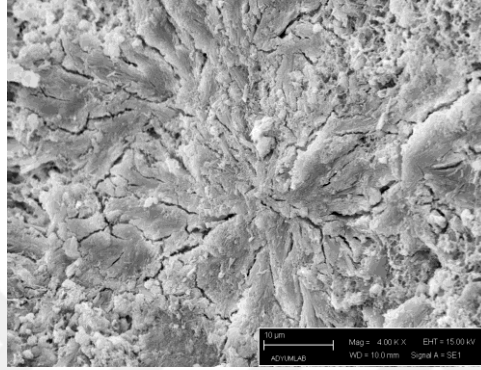


Görsel 5.15. Donma-çözülme sonrası %15 MT katkıli numunenin SEM görüntüsü (1)

Karakoç [56] yaptığı çalışmada; donma-çözülme çevrimlerine maruz bırakılan beton numunelerinde çatlak oluşumu yaşandığını ve hamur boşluklarında ve çatlaklarında etrengit oluşumları gözlemlemiştir.

Stark ve Ludwing [57], donma-çözölme sonucunda etrengitin hamur fazında meydana gelen tekrar kristalleşme sonucu oluştuğunu ve kapileritenin artmasıyla etrengit oluşumunun da arttığını belirtmişlerdir.

Ayrıca Resim 5.16'da mermer tozu oranının artışıyla çimento hamurunda dağılma ve süreklilik arz eden çatlaklar haricinde yoğun ve dallanmış çatlakların oluştuğu gözlemlenmektedir.



Görsel 5.16. Donma-çözölme sonrası %15 MT katkılı numunenin SEM görüntüsü (2)

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasında; atık mermer tozu katkılı numunelerin durabilite özellikleri incelenmiştir. Harç içerisine, çimentonun yerine %5, %10 ve %15 oranlarda mermer tozu ikame edilmiştir. Numunelerin donma – çözülme davranışlarını belirleyebilmek için TS 699 [43] standardına uygun şekilde donma-çözülme çevrimine maruz bırakılan numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

Birim hacim ağırlık bulguları incelendiğinde; Donma-çözülme işlemi öncesi şahit numunelerin birim hacim ağırlığı $2,15 \text{ g/cm}^3$, %5 MT katkılı numunelerin $2,17 \text{ g/cm}^3$, %10 MT katkılı numunelerin $2,18 \text{ g/cm}^3$, %15 MT katkılı numunelerin $2,19 \text{ g/cm}^3$; donma-çözülme işlemi sonrası şahit numunelerin birim hacim ağırlığı $2,17 \text{ g/cm}^3$, %5 MT katkılı numunelerin $2,18 \text{ g/cm}^3$, %10 MT katkılı numunelerin $2,20 \text{ g/cm}^3$, %15 MT katkılı numunelerin $2,20 \text{ g/cm}^3$ olarak ölçülmüştür.

Ağırlıkça ve hacimce su emme miktarları incelendiğinde; şahit numunelerin ağırlıkça su emme miktarı %8,78, %5 MT katkılı numunelerin %8,53, %10 MT katkılı numunelerin %7,65, %15 MT katkılı numunelerin %9,02; şahit numunelerin hacimce su emme miktarı %18,93, %5 MT katkılı numunelerin %18,48, %10 MT katkılı numunelerin %16,65, %15 MT katkılı numunelerin %19,72 olarak ölçülmüştür.

Ultrases geçiş hızı, donma-çözülme öncesi etüv kurusu şahit numunelerde $3,94 \text{ km/s}$, %5 MT katkılı numunelerde $3,89 \text{ km/s}$, %10 MT katkılı numunelerde $3,85 \text{ km/s}$, %15 MT katkılı numunelerde $3,79 \text{ km/s}$; donma-çözülme öncesi doymuş şahit numunelerde $4,44 \text{ km/s}$, %5 MT katkılı numunelerde $4,45 \text{ km/s}$, %10 MT katkılı numunelerde $4,38 \text{ km/s}$, %15 MT katkılı numunelerde $4,35 \text{ km/s}$; donma-çözülme sonrası doymuş şahit numunelerde $4,18 \text{ km/s}$, %5 MT katkılı numunelerde $4,11 \text{ km/s}$, %10 MT katkılı numunelerde $4,08 \text{ km/s}$, %15 MT katkılı numunelerde $4,00 \text{ km/s}$ olarak ölçülmüştür. Katkılı numunelerde katkı oranı arttıkça ultrases geçiş hızının düştüğü görülmektedir. Donma-çözülme etkisiyle de ultrases geçiş hızlarında belirgin bir düşme söz konusudur. En iyi sonucu şahit numune ve katkılı numuneler içinde %5 katkılı numuneler vermektedir.

Donma-çözülme öncesi eğilme deneyi uygulanan numunelerin sonuçlarına bakıldığında, en yüksek değeri $9,02 \text{ MPa}$ ile şahit numunelerin verdiği, katkılı numuneler içinde %5 katkılı numunelerin $8,42 \text{ MPa}$ ve %10 katkılı numunelerin $8,63 \text{ MPa}$ ile şahit numuneye göre daha düşük fakat birbirlerine yakın sonuç verdikleri, %15 katkılı

numunelerin ise 7,73 MPa ile en düşük eğilme dayanımına sahip oldukları görülmüştür. Donma-çözülme işlemi sonrası yapılan eğilme deneylerinde tüm numunelerin dayanım değerlerinde gözle görülür artış olduğu tespit edilmiştir. Şahit numuneler 9,64 MPa, %5 MT katkılı numuneler 9,77 MPa, %10 MT katkılı numuneler 8,77 ve %15 MT katkılı numuneler 8,53 MPa değere ulaşmıştır. En yüksek artış %16,03 oranla %5 katkılı numunelerde, daha sonra sırasıyla %15 katkılı, şahit ve %10 katkılı numunelerde görülmüştür.

Donma-çözülme öncesi basınç deneyi uygulanan numunelerin sonuçlarına bakıldığında, en yüksek değeri 32,27 MPa ile %5 katkılı numunelerin verdiği görülmüştür. Şahit numuneler 31,29 MPa, %10 MT katkılı numuneler 29,31 MPa ve %15 MT katkılı numuneler 27,04 MPa değerlerine ulaşmıştır. Donma-çözülme işlemi sonrası yapılan basınç deneylerinde şahit numuneler 31,75 MPa, %5 MT katkılı numuneler 28,79 MPa, %10 MT katkılı numuneler 26,8 MPa ve %15 MT katkılı numuneler 24,69 MPa değerini vermiştir. Donma-çözülme sonrası şahit numunelerde %1,47 oranında artış yaşanırken, katkılı numunelerin dayanım değerlerinde ise önemli ölçüde düşüş yaşanmıştır. %5, %10 ve %15 MT katkılı numunelerde sırasıyla %10,78, %9,31 ve %8,69 oranında düşüş tespit edilmiştir.

Mikroyapı analizi bulguları incelendiğinde; donma-çözülme deneyi öncesi numunelerde kılcal çatlaklar ve katkılı numunelerde mermer tozları net şekilde görülmektedir. Donma-çözülme sonrası numunelerde dayanım kaybına neden olan sürekli çatlaklar görülmektedir. Ayrıca etrenjit oluşumu ve etrenjit oluşumu ile oluşan çatlaklar belirginleşmiştir.

Betonun durabilite özelliklerinin araştırıldığı bu tezdeki çalışmalara ek olarak, mermer tozu ve farklı mineral katkıları kullanılarak düşük sıcaklık ortamında yapılacak çalışmaların bilim dünyasına katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] M. Şahin, ve H. Tanyıldızı, "Vişne Çürüğü Mermer Tozu Katkılı Betonun Basınç Dayanımına Donma Çözülme Etkisinin Belirlenmesi", Hazır Beton Kongresi, İstanbul, 2011.
- [2] M. Bilensoy, "Mermer Fabrikaları Toz Atıklarının Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [3] C. Kara, "Mermer Tozu Atığının Betonun Karbonatlaşmasına Etkisinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 2013.
- [4] ACI Commitee 201, "Guide to Durable Concrete", ACI 201.2R-92, 39 pp.
- [5] N.M. Vanderhost and D.J. Jansen, "The Freezing and Thawing Environment: What is Severe?", *Paul Klieger Symposium on Performance of Concrete (editor David Whiting)*, ACI SP - 122, 181-200, 1990.
- [6] W. Sun etc, "Damage and Damage Resistance Of High Strength Concrete Under The Action Of Load And Freeze-Thaw Cycles", *Cement and Concrete Research*, Vol.29, 1999.
- [7] T.Y. Erdoğan, "Beton", *METU Press*, I. Baskı, Ankara, 66- 67, 191-198, 652-677, 2003.
- [8] A. Henrichsen, "Design of Concrete for High Pereformance Structures", 6. *Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul, Bildiriler kitabı, 23-32, 2005.
- [9] M. Arslan, "Beton", *Atlas Yayın Dağıtım*, İstanbul, 2001.
- [10] İ. Ustabaş, "Sülfat Etkisine Maruz Mineral Katkılı Beton Ve Harçların Performansının İncelenmesi", Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2008
- [11] U. Ersoy, "Betonarme Yapıların Deprem Davranışı İle İlgili Bir İrdeleme", *Beton Kongresi, İstanbul, Bildiriler kitabı*, 16-22, 2004.
- [12] B. Baradan, H. Yazıcı ve S. Aydın, "Beton", *İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları*, No:334. 2015.
- [13] Ö. Mavi, "Kireç, Harç ve Sıvaların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2000.
- [14] M. Eriç, "Yapı Fiziği ve Malzemesi", *Literatür Yay.*, İstanbul, 1994.
- [15] P.R. Rossi-Doria, 'Ancient Mortars and Mortars for Restoration', *Report On The RILEM Workshop, Materials and Structures*, 23, 235-238, 1990.
- [16] J. Kroop and H. K. Hilsdorf, "Performance Criteria for Concrete Durability", *RILEM Report 12, E&FN Spon*, London, 327 pp., ISBN 0-419-19880-6, 1995.
- [17] A.M. Neville, "Properties of Concrete", *John Wiley & Sons Inc.*, London, 844 pp., ISBN 0-582-23070-5, 1997.

- [18] M. Pigeon and R. Pleau, "Durability of Concrete In Cold Climates", E&FN Spon, 244 pp, ISBN 0-419-19260-3, 1995.
- [19] M.J. Setzer, "Action of Frost and Deicing Chemicals - Basic Phenomena and Testing" *International Workshop on Freeze – Thaw Durability of Concrete (edited by J.Marchand, M.Pigeon and M.J. Setzer)*, E&FN Spon, 1-22, ISBN 0-419-20000-3, 1997.
- [20] ACI Commitee 306, "Cold Weather Concreting", ACI 306R-88, 23 pp, 1997.
- [21] Ö. Şengül, C. Taşdemir and M. A. Taşdemir, "Influence of Aggregate Type on the Mechanical Behavior of Normal and High Strength Concretes", *ACI Materials Journal*, Vol. 99, No.6, November/December, 528-533, 2002.
- [22] "Beton Teknolojisi",
https://abs.firat.edu.tr/upload/user_68/4d65368626305e1f19410f80d57b94cee6d47cae_dosya_68.pdf , [Erişim tarihi: 20-Mart 2022].
- [23] M. Özdemir, N. U. Öztürk, "Utilization of Clay Wastes Containing Boron as Cement Additives", *CRR Journal*, vol 33, pp. 1659-1661, 2003.
- [24] D.D., VU, "Strength Properties of Metakaolin-Blended Paste", *Mortar and Concrete*, Delft University Press, Netherlands, 2002.
- [25] N. Ediz, "Kırka Boraks İşletmesi Atık Killerinin Tuğla Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 1994.
- [26] S. T. Erdoğan, T. Y. Erdoğan, "Puzolanik Mineral Katkılar ve Tarihi Geçmişleri", 2. *Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, Ankara, s. 263-275, 2007.
- [27] M. R. Yıldız, "Mineral Katkılı Harç Numunelerinin Yüksek Sıcaklık Davranışlarının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman Üniversitesi, 2021.
- [28] S. Şimşek, "Mermer Atıklarının Yapı Malzemesi Üretiminde Kullanım Olanakları Üzerine Bir Araştırma", Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, 2019.
- [29] A. Sarıtaş, "Burdur İli Mermer Sektörünün Kurumsal ve Ekonomik Yapısı", Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, 2006.
- [30] İ. Demir, M. S. Başpınar, "Mermer Tozu Artıklarının (Havuz Çökeltisi) Hafif Yapı Blokları Üretiminde Kullanılması", *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı* Sf. 213 - 220, Afyonkarahisar, 2003.
- [31] M. Y. Çelik, "Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar, 1996.

- [32] O. Ünal, ve A. Kibici, “Mermer Tozu Atıklarının Beton Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması”, Türkiye 3. Mermer Sempozyumu, Mayıs, Afyon, Bildiriler Kitabı 317-325, 2001.
- [33] B. Demirel, ve S. Yazıcıoğlu, “İnce Malzeme Olarak Kullanılan Atık Mermer Tozunun Betonun Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi”, *International Sustainable Buildings Sempodium*, Mayıs, Ankara, Bildiriler Kitabı: 172-175, 2010.
- [34] V. L. Bonavetti and E. F. Irassar, “The effect of stone dust content in sand”, *Cement and Concrete Research*, 24: 580-590, 1990.
- [35] T. Çelik ve K. Marar, “Effects of crushed stone dust on some properties of concrete”, *Cement and Concrete research*, 26: 1121-1130, 1996.
- [36] M. Vijayalakshmi and A.S.S. Sekar, “Strength and durability properties of concrete made with granite industry waste”, *Construction and Building Materials*, 46: 1-7, 2013.
- [37] H.Y. Aruntaş, M. Dayı, D. Tekin, R. Birgül, O. Şimşek, “Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Atık Mermer Tozunun Etkisi”, 2.Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, Ankara 173-180, 2007.
- [38] O. Ünal, İ. B. Topçu, T. Uygunoğlu, “Kendiliğinden Yerleşen Betonda Mermer Tozunun Kullanılması”, *Türkiye V. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı* Sf. 413 - 419, Afyonkarahisar, 2006.
- [39] S. Gücek, “Mermer Tozu Ve Uçucu Külün Kil Zeminlerin İyileştirilmesinde Kullanımı”, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyon, 77 s, 2011.
- [40] B. Gökçer, S. Yıldız, O. Keleştemur, “Atık Mermer Tozu Ve Cam Lif İçeren Harç Numunelerinin Donma-Çözülme Etkisi Altındaki Davranışları”, *SDU International Technologic Science*, Vol. 5, No 3, December, pp. 18-30, 2013.
- [41] "TS EN 197-1", Çimento-Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, 2002.
- [42] "TS EN 196-1", Çimento Deney Metotları-Dayanım Tayini, 2002.
- [43] "TS 699", Tabii Yapı Taşları-Muayene ve Deney Metotları, 1987.
- [44] "TS EN 12390-7", Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş betonun yoğunluğunun tayini, 2010.
- [45] B. Gökçer, “Mermer Tozu ve Cam Elyaf Katkılı Çimento Harçlarının Aşınma, Yüksek Sıcaklık Ve Donma-Çözülme Davranışlarının İncelenmesi”, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 2013.

- [46] H. Binici, H. A. Sevinç, Y. M. Durgun, “Barit, Bazaltik Pomza, Kolemanit ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Betonların Özellikleri”, *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(1), 2010.
- [47] Ö. Şengül, C. Taşdemir, Ş. Koruç, R. Sönmez, “Agrega Türünün Betonun Donma - Çözülme Dayanıklılığına Etkisi”, III Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul, 3-4 Aralık, 2003.
- [48] I. Sungur, “Çimento Bazlı Harçlarda Aderans Dayanımı ve Durabiliteye Ortam Koşullarının Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [49] Prof. Dr. S. Yazıcıoğlu ve Öğr. Gör. C. Kara, "Betonda Atık Mermer Tozu Kullanımının Karbonatlaşmaya Etkisi", 2. *International Sustainable Buildings Symposium* 28-30 Mayıs, Ankara, 2015.
- [50] A. Öner, S. T. Yıldırım, “Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu İçerem ve İçermeyen Betonlarda Kırmataş Kumu İçeriğinin Beton Özelliklerine Etkisi”, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 2005.
- [51] A. E. Richardson, “Compressive strength of concrete with polypropylene fibre additions”, *Structural Survey*, vol. 24, no. 2.MCB UP Ltd.,UK, pp. 138–153. August, 2006.
- [52] S. Yıldız, İ.H. Demirli ve O. Keleştemur, “Kırmataşla Üretilen Hazır Betonların Donma-Çözölmeye Karşı Dayanıklılığının Araştırılması”, 383, 2006.
- [53] D. Tan, “Katkılı Betonların Donma-Çözölmeye Karşı Performanslarının İncelenmesi”, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [54] K. Yamanel, “Kayseri Yöresi Atık Mermer Tozu Katkılı Harçların Özelliklerinin Araştırılması”, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2015
- [55] M. A. Grabiec, “Contribution to the knowledge of melamine superplasticizer effect on some characteristics of concrete after long periods of hardening”, *Cement and Concrete Research*, 29, 699-704, 1999.
- [56] M. B. Karakoç, “Hafif Agreganın Ve Hava Sürükleyici Katkı Maddesinin Yüksek Dayanımlı Betonun Donma-Çözölme Dayanıklılığına Etkisinin İncelenmesi ve Modellenmesi”, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2010
- [57] J. Stark,, H. M. Ludwig, “The influence of the type of cement on the freeze-thaw/freeze-de-icing salt resistance of concrete”, *Proceedings of the International Conference on Concrete Under Severe Conditions*, Sapporo, Japan, 245-254, 1995.