

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KAYSERİ YÖRESİ ATIK MERMER TOZU KATKILI
HARÇLARIN ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Hazırlayan
Kenan YAMANEL**

**Danışman
Doç. Dr. Okan KARAHAAN**

Yüksek Lisans Tezi

**Şubat 2015
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KAYSERİ YÖRESİ ATIK MERMER TOZU KATKILI
HARÇLARIN ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Hazırlayan
Kenan YAMANEL**

**Danışman
Doç. Dr. Okan KARAHAN**

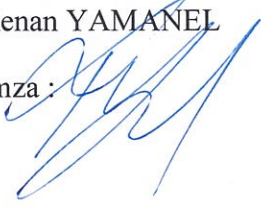
**Şubat 2015
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Kenan YAMANEL

İmza :



YÖNERGEYE UYGUNLUK

Kayseri Yöresi Atık Mermer Tozu Katkılı Betonların Özelliklerinin Araştırılması adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.




Tezi Hazırlayan

Kenan YAMANEL



Danışman

Doç. Dr. Okan KARAHAAN



İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Başkanı

Prof. Dr. Mehmet ARDIÇLIOĞLU

Doç. Dr. Okan KARAHAN danışmanlığında Kenan YAMANEL tarafından hazırlanan “Kayseri Yöresi Atık Mermer Tozu Katkılı Harçların Özelliklerinin Araştırılması” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

13/02/2015

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Okan KARAHAN

Üye : Prof. Dr. Cengiz Duran ATIŞ

Üye : Doç. Dr. A. Alper ÖNER

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 13/02/2015 tarih ve 2015/22-13 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

13/02/2015

Prof. Dr. Kazım KEŞLİOĞLU
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca deneyim ve bilgi birikimini benden esirgemeyen değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Okan KARAHAN' a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tezi programımın yürütülmesi için gerekli olan laboratuvar imkanlarını sağlayan Erciyes Üniversitesi'ne ve tüm değerli öğretim üyelerine teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında yardımını esirgemeyen Arş. Gör. Serhan İLKENTAPAR' a teşekkürü bir borç bilirim.

Zorlu çalışma dönemlerinde benimle birlikte emek veren, inşaat mühendisi Mertcan SAYINER' e teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca, her an bana destek olan aileme teşekkürlerimi sunarım..

Ayrıca; çalışmalarım süresince sabır göstererek beni daima destekleyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Kenan YAMANEL

Kayseri, Şubat 2015

KAYSERİ YÖRESİ ATIK MERMER TOZU KATKILI HARÇLARIN ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Kenan YAMANEL

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Şubat 2015

Danışman: Doç. Dr. Okan KARAHAN

ÖZET

Bu çalışmada, mermer tozu içeren harçların dayanım ve dayanıklılık özellikleri araştırılmıştır. Tüm karışımlar için kum-bağlayıcı malzeme oranı 3,0 ve su-bağlayıcı malzeme oranı 0,5 olarak seçilmiştir. Çimento yerine ağırlıkça ikame edilen mermer tozu dört farklı oranda %5, %10, %15 ve %20 olmuştur. Harç numuneleri üzerinde işlenebilirlik, su emme oranı, boşlukluluk oranı, eğilme dayanımı, basınç dayanımı, aşınma, karbonatlaşma, yangın, donma çözülmeye dayanıklılık ve kuruma rötresi deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Mermer tozunun %5 oranında çimento yer değiştirmesi ile elde edilen harçların dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin, Portland çimentolu harçların özelliklerine eşit olduğu görülmüştür. Deney sonuçları mermer tozu katkısının %10 ikame oranına kadar normal harçlarda mineral katkı olarak kullanılabileceği göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Mermer Tozu; Harç; Dayanım; Dayanıklılık

INVESTIGATION OF KAYSERİ AREA PROPERTIES OF WASTE MARBLE POWDER MORTAR

Kenan YAMANEL

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, February 2015

Supervisor: Doç. Dr. Okan KARAHAN

ABSTRACT

This study presents the strength and durability properties of mortar containing marble powder. Water-binder ratio of 0,50 and sand-binder ratio of 3,0 were used. Marble powder was used in four different replacement levels 5%, 10%, 15% and 20% by weight of cement. Workability, water absorption, water porosity, flexural tensile strength, compressive strength, abrasion, carbonation, fire, freeze-thaw resistance and drying shrinkage properties of marble powder mortar was studied.

Strength and durability values of mortar mixtures at 5% marble powder replacement were equal that of the control mixture. Experimental results indicated that marble powder could be used as a mineral admixture for normal mortar up to 10% replacement level.

Keywords: Marble powder; Mortar; Strength; Durability

İÇİNDEKİLER

KAYSERİ YÖRESİ ATIK MERMER TOZU KATKILI HARÇLARIN ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

	<u>Sayfa</u>
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI.....	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI.....	ii
KABUL VE ONAY SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
GİRİŞ.....	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. Mermer Tozu	3
1.1.1. Mermer Tozunun Çevresel Etkileri.....	3
1.1.2 Mermer Tozlarının Değerlendirilmesi.....	4
1.1.3 Mermer Tozunun Çimento İmalat Sanayinde Kullanımı.....	4
1.2. Önceki Çalışmalar.....	5

2. BÖLÜM

GEREÇ VE YÖNTEM

2.1. Gereç	7
2.1.1. Çimento.....	7
2.1.2. Agregası.....	8
2.1.3. Su.....	9
2.1.4. Mermer Tozu	9

2.2. Yöntem	10
2.2.1. Karışım Oranları	10
2.2.2. Numunelerin Hazırlanması	10
2.2.3. Birim Ağırlık Tayini	11
2.2.4. Kıvam Tayini	12
2.2.5. Su Emme Boşluk Oranı Tayini	13
2.2.6. Eğilme Dayanımı Tayini	13
2.2.7. Basınç Dayanımı Tayini	14
2.2.8. Aşınma Kaybı Tayini	15
2.2.9. Karbonatlaşma Derinliği Tayini	16
2.2.10. Yangın Etkisi Tayini	17
2.2.11. Donma ve Çözülme Koşulları Altında Dayanıklılık Tayini	18
2.2.12. Kuruma Rötire Tayini	18

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Birim Ağırlık Tayini Deney Sonuçları	20
3.2. Kıvam Tayini Deney Sonuçları	21
3.3. Su Emme Boşluk Oranı Tayini Deney Sonuçları	22
3.4. Eğilme Dayanımı Tayini Deney Sonuçları	24
3.5. Basınç Dayanımı Tayini Deney Sonuçları	25
3.6. Aşınma Kaybı Tayini Deney Sonuçları	26
3.7. Karbonatlaşma Derinliği Tayini Deney Sonuçları	28
3.8. Yangın Etkisi Tayini Deney Sonuçları	28
3.9. Donma ve Çözülme Koşulları Altında Dayanıklılık Tayini Deney Sonuçları	31
3.10. Kuruma Rötire Tayini Deney Sonuçları	32

4. BÖLÜM

SONUÇLAR

4.1. Sonuçlar	34
KAYNAKLAR	37
ÖZGEÇMİŞ	39

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	KÇS CEM I 42.5 R Portland çimentosu kimyasal özellikleri	7
Tablo 2.2.	KÇS CEM I 42.5 R Portland çimentosu fiziksel özellikleri.....	8
Tablo 2.3.	Agrega ortalama özgül ağırlık ve su emme bulguları	8
Tablo 2.4.	Agrega ortalama ince madde oranı	9
Tablo 2.5.	Mermer tozunun kimyasal özellikleri	9
Tablo 2.6.	Harç karışım oranları.....	10
Tablo 3.1.	Kuru birim hacim ağırlık deney sonuçları.....	20
Tablo 3.2.	İşlenebilme deney sonuçları	21
Tablo 3.3.	Su emme oranı deney sonuçları	22
Tablo 3.4.	Boşluk oranı deney sonuçları.....	22
Tablo 3.5.	Eğilme dayanımı tayini deney sonuçları	24
Tablo 3.6.	Basınç dayanımı tayini deney sonuçları.....	25
Tablo 3.7.	Aşınma kaybı tayini deney sonuçları	26
Tablo 3.8.	Karbonatlaşma derinliği tayini deney sonuçları	28
Tablo 3.9.	Yangın etkisi eğilme dayanımı deney sonuçları	29
Tablo 3.10.	Yangın etkisi basınç dayanımı deney sonuçları.....	29
Tablo 3.11.	Donma – Çözülme deneyi sonuçları	32

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Hobart mikseri görünümü.....	10
Şekil 2.2.	Çelik harç kalıbının görünümü	11
Şekil 2.3.	Yayılma tablası görünümü.....	12
Şekil 2.4.	Eğilme dayanımı tayini deneyi	14
Şekil 2.5.	Eğilme ve basınç tayini deney cihazının görünümü.....	15
Şekil 2.6.	Böhme aşınma deney aleti.	16
Şekil 2.7.	Yüksek sıcaklık fırını görünümü.....	17
Şekil 2.8.	Donma-çözülme deney örnekleri.	18
Şekil 2.9.	Deformasyon saati ile ölçüm yapılması	19
Şekil 3.1.	Mermer tozu ile kuru birim hacim ağırlık ilişkisi	21
Şekil 3.2.	Yayılma değeri ile mermer tozu oranı ilişkisi.....	22
Şekil 3.3.	Su emme oranı ile mermer tozu oranı ilişkisi	23
Şekil 3.4.	Boşluk oranı ile mermer tozu oranı ilişkisi.....	23
Şekil 3.5.	Eğilme dayanımı ile mermer tozu oranı ilişkisi.....	25
Şekil 3.6.	Basınç dayanımı ile mermer tozu oranı ilişkisi.....	26
Şekil 3.7.	Kütle kaybı ile mermer tozu oranı ilişkisi	27
Şekil 3.8.	Hacim kaybı ile mermer tozu oranı ilişkisi.....	27
Şekil 3.9.	Karbonatlaşma derinliği ile mermer tozu oranı ilişkisi.	28
Şekil 3.10.	Yangın etkisi altında eğilme dayanımı ile mermer tozu oranı ilişki	30
Şekil 3.11.	Yangın etkisi altında basınç dayanımı ile mermer tozu oranı ilişki.....	30
Şekil 3.12.	Donma kaybı ile mermer tozu oranı ilişkisi	32
Şekil 3.13.	Rötre oranı ile mermer tozu oranı ilişkisi.....	33

GİRİŞ

Mermer ilk çağlardan beri yapılarda yaygın olarak kullanılan ve her geçen gün daha fazla rağbet görmeye başlayan bir yapı malzemesidir. Mermere talep arttıkça, bu talebi karşılamak amacıyla, mermer işleme tesislerinin sayısında da bir artış meydana gelmiştir. Bunun doğal bir sonucu olarak da, mermer işleme tesislerinin yoğunlaştığı bölgelerde, mermer atık sahalarının yaygınlaştığı görülmektedir [1].

Mermerlerin düzgün geometrik şekil alabilmesi için kesilmesi gerekmektedir. Kesme işlemi sonunda mermer tozu (MT) ortaya çıkmaktadır. Mermerlerin kesiminde soğutma suyu kullanıldığından ve toz bastırıcı olarak sulu kesim yapıldığından, mermer kesiminden çıkan ince şlam boyutundaki parçacıklar başlangıçta ıslak olarak depo edilmekte veya doğrudan araziye bırakılmaktadır. Dolayısıyla çevre kirlenmesi söz konusudur [2].

Türkiye'de nüfusunun devamlı artışına paralel olarak artan tüketim anlayışı, sınırlı olan hammadde kaynaklarının hızla azalmaya başlaması sonucu mevcut kaynakların daha ekonomik biçimde kullanılabilirliği önem kazanmıştır. Mermer günümüzde özellikle mermer tozu olarak çeşitli sanayi dallarında katkı veya dolgu maddesi olarak ya da ana hammadde olarak kullanılmaktadır. Bunların değerlendirme alanları farklılık göstermektedir. İri boyutlu parça atıklar, inşaat sektöründe yapı elemanı olarak kullanılabilirken, toz atıklar ise doğrudan farklı endüstri dallarında kullanılabilme imkânı bulmaktadır. Parça mermer atıkları, beton agregası, döşeme plağı agregası, sıkıştırılmış yol zemini, baraj ve inşaatlarda dolgu malzemesi, demir yolu zemin malzemesi olarak değerlendirilmektedir. Toz mermer atıkları ise zirai kireçtaşı-zirai toprak ve zemin ayarlayıcı, yem ve mineralli besinler, sıva katkı malzemesi, çimento üretimi, kireç üretimi, kalsine dolomit üretimi, cüruf yapıcı malzeme, refrakter malzeme, cam üretiminde, kâğıt üretiminde yaygın olarak değerlendirilmektedir [3].

Mermer işletmelerinde açığa çıkan ve değerlendirilemeyen mermer havuz çökelti malzemesi yapısal olarak filler malzemesine benzemektedir. Bu açıdan, havuz çökeltileri ve diğer kırıntı mermerlerin çeşitli sektörlerde değerlendirilmesi ekonomi ve çevresel kirliliği önlemesi açısından önemli yarar sağlayabilir [4].

Mermer işletmelerinin büyüklüğü ve yoğunluğuna bağlı olarak çamur ve parça mermer atıklar açığa çıkmaktadır. Mermer atıklarının kullanılabilir tarım arazilerine boşaltılması çevre, sağlık ve doğal görünüme bozucu etki yapmakta ve çevrecilik açısından olumsuz bir tepki oluşturmaktadır. Bununla birlikte, ocak ve işletmelerde yapılan üretime göre, oluşan atıkların miktarları %75'lere ulaşmaktadır. Bu nedenle mermer atıklarının değerlendirilmesi konusunda bulunabilecek seçenekler; mermer fabrika işletmecilerine, ülke ekonomisine, çevre ve ekolojiye önemli katkıda bulunacağı düşünülmüştür [5].

Bu çalışma için Kayseri Pınarbaşı yöresindeki mermer işletmelerine ait tesislerde mermerlerin su ile kesimi ve parlatılması sırasında açığa çıkan mermer çamuru çökelti havuzundan ıslak halde temin edilmiştir. Mermer atığı olan mermer tozlarından oluşan mermer çamuru önce etüvde kurutulmuş sonra en küçük boyuta getirmek için öğütme değirmeninde öğütülmüştür. Öğütülen mermer tozları elek ile elenerek uygun tane boyutlarına getirilmiştir.

Kayseri Pınarbaşı yöresine ait mermer tozu bağlayıcı olarak çimento ile ağırlıkça yer değiştirilerek kullanılmıştır. Mermer tozu ilavesinin harçların dayanım ve dayanıklılık özellikleri üzerinde araştırılarak harç ve beton üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Mermer tozu katkılı harçlar üzerinde işlenebilirlik, birim hacim ağırlık, su emme oranı, boşluk oranı, eğilme dayanımı, basınç dayanımı, aşınma, rötire, yüksek sıcaklık etkisi, karbonatlaşma ve donma çözülme deneyleri yürütülmüştür.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. Mermer Tozu

En küçük boyutlu mermer atıklarıdır. Mermer işleme tesislerine blokların ve plakaların kesilmesi esnasında açığa çıkan ve büyük çoğunluğu 1 mm'nin altındaki mermer taneleridir. Kesme işleminin su ile yapılması sebebiyle bu atıklar direkt olarak suya karışır ve şlam halinde çöktürme havuzlarında arıtma tesislerinden alınır [6].

Mermer bloklar testere takımıyla kesilirken, su bir soğutucu olarak kullanılır. Testerelelerin bıçak kalınlığı yaklaşık 5mm olup bloklar normal olarak 20 mm kalınlıkta levhalar halinde kesilir. Böylece mermer bloğun kesim yapılan yüzey alanına göre her 25 mm kalınlıkta 5 mm'si toz haline dönüşür. Bu toz mermer, çamur olarak su ile birlikte akar ve böylece toplam işlenmiş mermer ağırlığının %20 ye yakını mermer çamuru olarak ortaya çıkar. Açığa çıkan mermer çamuru yaklaşık olarak %35-45 arasında su muhtevasına sahiptir [5].

1.1.1. Mermer Tozlarının Çevresel Etkileri

Mermer atıklarının ekosisteme ciddi zararları vardır. Bu atıklar çevreye ait fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşenlere önemli ölçüde etki eder [7].

1. Karada toprağın porozitesini ve su emmesini azalttığı için ürün verimini düşürür. Bu alanlarda bitkisel yaşam yok olur.
2. Küçük parçalar havada uçuşur ve hava kirliliğine sebep olur. İnsan sağlığını etkiler ve nehirlerde, kanallarda yoldan akan su içinde hem suyun kalitesini bozar hem de suyun depolanma kapasitesini düşürür.

3. Karada uzun süre kaldıklarında suyun akış rejimini engeller ve yer altı su havzaları üzerinde olumsuz etki yapar. Ayrıca yolların yapısını bozmakla beraber araçların ilerleyişini engeller.

4. Etrafa dağılan atık yığınları görsel açıdan çevreyi çirkinleştirir. Yerleşim alanının turizm ve endüstriyel potansiyeli üzerinde olumsuz etki yapar.

1.1.2. Mermer Tozlarının Değerlendirilmesi

Mermer toz atıklarının değişik alanlarda kullanılabilme imkânını belirleyen en önemli özellikler, kimyasal bileşim, tane boyutu ve renktir. Mermer tozlarının kimyasal bileşimindeki CaCO_3 oranının büyüklüğü, kullanım alanını genişletmekte ve endüstride oldukça fazla ihtiyaç duyulan kalsitin yerine kullanılabilme imkânı oluşturmaktadır. Zira özellikle İtalya'da Carrara mermerlerinin atıkları ve blok alınamayan ocaklardaki mermer oluşumları kalsit olarak üretilip endüstrinin kullanımına sunulmaktadır [8]. Ancak burada kalsitin yerine kullanılabilme kriteri, yüksek CaCO_3 yüzdesi ve beyazlıktır. Tane boyutu ise kullanılan sektöre göre 1-2 μ 'dan 50-100 μ 'a kadar küçük boyutlarda istenmektedir [8].

1.1.3. Çimento İmalat Sanayisinde Mermer Tozu Kullanımı

Çimento; CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve eser halde MgO ihtiva eder, esas itibariyle kalker ve kil karışımı olan, klinkerleşme sıcaklığına kadar ısıtıldıktan sonra, gerektiğinde alçı, vb. katkı maddeleri karıştırılıp öğütülerek toz halinde elde edilen bir malzemedir. En önemli özelliği %11-15 su ile karıştırıldığı zaman belli bir süre sonra sertleşerek karışımdaki diğer malzemelerin birbirine bağlanmasını sağlar. Çimento sanayinde her ne kadar çok miktarda CaCO bileşimli hammaddeler kullanılırsa da, mermer sadece beyaz Portland çimentosu yapımında kullanılmaktadır. Normal Portland çimentosu bileşimindeki kalker yerine hammadde olarak mermer, kil yerine de kaolen kullanılmasıyla beyaz Portland çimentosu elde edilmiş olur [6].

1.2. Önceki Çalışmalar

Yapılan bir çalışmada; su/çimento oranları 0,63 olan, 300 ve 350 dozlu, 5, 10, 15, 20 kg/m^3 oranlarında cam elyaf içeren ve hacimce ince malzeme ile (0-0,25) yer

değiştirmek suretiyle %25, %50, %75, %100 oranlarında ilave edilen atık mermer tozuyla imal edilmiş 100mm x 100mm x 100mm'lik beton numunelerin porozite, ultra ses geçiş hızı tayinleri yapılmıştır. Ayrıca basınç ve yarmada çekme dayanımlarına bakılmıştır. Çalışma sonucunda, cam lif içeriğinin artması ile porozite değerlerinde artış meydana gelmiştir, bunun yanı sıra ultra ses geçiş hızlarında azalma tespit edilmiştir. Numunelerin basınç dayanımlarında da düşüşler görülmüştür. Ancak yarmada çekme dayanımları 15 kg/m³ cam lif oranlarına kadar artış gösterirken 20 kg/m³ cam lif içeren numunelerde yarmada çekme dayanımlarında azalma meydana gelmiştir. Yalnız bu azalmaya rağmen kontrol numunesinden daha yüksek bir yarmada çekme dayanımı sağlamıştır. Mermer tozu ilavesinin cam lifin meydana getirdiği tüm olumsuz etkileri iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Özellikle %75 oranında mermer tozu ilaveli betonlarda ortalama %21,87'lik bir basınç dayanımı artışı meydana gelmiştir [9].

Yapılan diğer bir çalışmada; ocaklarda ve işleme tesislerinde oluşan mermer atıklarını yapı malzemesi üretiminde kullanmak ve dolayısıyla çevreye olan zararlarını en aza indirerek hem çevreyi korumak hem de hammadde ve enerjiden tasarruf ederek ekonomiyi kalkındırmak olduğunu belirtilmiştir. Atık tozların değerlendirilebileceği pek çok alan var olduğunu, bunlardan biri de atıkları yapı endüstrisinde kullanmak olduğunu belirtilmiştir. Çalışmada üç farklı yöreye ait ocaklardan alınan atık tozlar karakterizasyon testlerinin ardından yapay mermer karo ve tuğla üretiminde kullanılmıştır. Fiziksel, mekanik optik ve analitik testlerle kullanılabilir maksimum atık miktarı belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuçlar mermer atıklarının ağırlıkça %20 oranda reğine ile karıştırılarak en iyi özellikte karo üretimini sağladığı ve tuğla harcı içerisinde %50'ye kadar kullanılarak değerlendirileceği belirtilmiştir [10].

Yapılan başka bir çalışmada; atık mermer tozu konsantrasyonları ile zeminlerin konsolidasyon ve permeabilite özelliklerinin nasıl değiştiğini incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüsü alanında 6 farklı kil zemin olarak laboratuvar ortamında %5, %10, %15 oranında atık mermer tozu ilave edilmiş ve mermer tozu katkısı ile 25 farklı killi zemin numunesi oluşturulmuştur. Hazırlanan killi zeminler üzerinde tanımlama deneyleri yapılmıştır. Daha sonra hazırlanan numuneler üzerinde konsolidasyon ve permeabilite deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen verileri kullanarak ödometre deneyinden boşluk oranı ve sıkışma katsayılarını

belirlenmiş, permeabilite deneyinden ise atık mermer tozu katkılı kil zeminlerin permeabilite katsayılarını belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda kil zeminlere %10-15 oranında atık mermer tozu ilave edilebileceği sonucuna varılmıştır [11].

Başka bir çalışmada; mermer tozu ve uçucu külün kil zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Numuneler, kil zemin kuru ağırlığına göre mermer tozu (%5, %10 ve %15) ve uçucu kül (%10, %20 ve %30) ile belli oranlarda karıştırarak elde edilmiştir. Karışımlar, %15 ve %20 su muhtevalarında standart proctor sıkıştırma enerjisinde hazırlanmıştır. Numuneler; Eksenel basınç, Kaliforniya taşıma oranı (CBR), şişme, donma-çözülme ve donma-çözülme sonrası eksenel basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre; mermer tozu ve uçucu kül katkısının dayanımı yükselttiği, şişmeyi azalttığını gözlemlenmiştir. Deney sonuçlarının bir çoğuna göre en uygun karışım oranının %10 MT + %20 UK olduğu görülmüştür. Mermer tozu ve uçucu külün zemin iyileştirmesinde kullanımı ile atıklar ekonomiye kazandırılırken çevre kirliliği de azaltılmış olacağını belirtilmiştir [12].

Bir diğer çalışmada; mermer atıklarının (havuz çökeltisi) beton karışımı içerisinde ince malzeme olarak kullanılması durumunda beton basınç dayanımına etkisini araştırılmıştır. Mermer işleme fabrikalarında imalat sonrası önemli miktarda mermer atıkları adı verilen havuz çökeltileri (mermer tozu) oluştuğunu belirtilmiştir. Bu amaçla, atık malzemelerin inşaat sektöründe değerlendirilmesi amacıyla deneysel bir çalışma yapılmıştır. Deneysel çalışmada, üretilen beton karışımlarında ince malzeme olarak kumun yanında hacim olarak %0, %10, %15 ve %20 oranlarında mermer tozu katılmıştır. Maksimum agrega tane çapı 16 mm ve su/çimento oranı 0,65 olarak seçilen karışımlarda çimento dozajı 300 ve 350 kg olmak üzere toplam 8 set beton üretilmiştir. Üretilen mermer tozlu katkılı beton numuneler üzerinde basınç, ultra ses hızı ve su emme deneyleri yapılmıştır. Sonuçları normal beton değerleriyle karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre mermer tozunun belirli oranlarda karışıma katılması beton özelliklerine olumlu bir etki yapabileceği gözlemlenmiştir [4].

2. BÖLÜM

GEREÇ YÖNTEM

Bu bölüm, gereç ve yöntem olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Gereç kısmında çalışmanın deney aşamasında kullanılan çimento, mermer tozu, agrega ve karışım suyu malzemelerinin özellikleri, kimyasal ve fiziksel analizleri açıklanmıştır. Yöntem kısmında ise hazırlanan harç karışımların oranları, hazırlanma şekilleri, kür metotları, uygulanan deneylerin içerikleri, uygulama biçimleri ve yapım teknikleri aktarılmıştır.

2.1. Gereç

2.1.1. Çimento

Çalışma kapsamında hazırlanan harç karışımlarında, Kahramanmaraş Çimento Sanayi TS EN 197-1:2002 CEM I 42.5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentoya ait kimyasal özellikler Tablo 2.1.'de, fiziksel özellikler ise Tablo 2.2.'de sunulmuştur. Tablo 2.1. ve Tablo 2.2. analiz edildiğinde kullanılan çimentonun gerekli standartları sağladığı görülmektedir.

Tablo 2.1. KÇS CEM I 42.5 R Portland çimentosu kimyasal özellikleri

Özellik	KÇS	Standart	Birim
SO ₃	2,48	Max 3,5	%
MgO	0,85	-	%
Kızdırma Kaybı	3,50	Max 5	%
Çözünmeyen Kalıntı	0,40	Max 5	%
Cl	0,0092	Max 0,1	%

Tablo 2.2. KÇS CEM I 42.5 R Portland çimentosu fiziksel özellikleri

	KÇS	Standart	Birim
Priz Başlangıcı	200	Minimum 60	dakika
Priz Sonu	260	-	dakika
Özgül Ağırlık	3,17	-	g/cm ³
Hacim Genleşmesi	1,3	Maksimum 10	mm
Özgül Yüzey	3750	-	cm ² /g
2 Günlük Dayanım	27,5	Minimum 20	MPa
28 Günlük Dayanım	49,5	Min 42,5 Max 62,5	MPa

2.1.2. Agregas

Deneysel çalışmalarda agrega olarak 0-4 mm dane büyüklüğüne sahip olan ince dere kumu kullanılmıştır. Kullanılan ince agrega için piknometre deneyi ile özgül ağırlığı ve su emme kapasitesi tespit edilmiştir. Sonuçlar Tablo 2.3.'te sunulmuştur. Agreganın kuru hacim özgül ağırlığı 2,44 g/cm³ olarak bulunmuştur. Malzemenin kuru yüzeye doygun halde su emme kapasitesi %2,18 olarak bulunmuştur. Kullanılan ince agrega için ince madde oranı tayini TS 3527'e [13] göre tespit edilmiştir. Sonuçlar, Tablo 2.4.'te sunulmuştur. Agreganın ortalama ince madde oranı ağırlıkça %2,4 bulunmuştur.

Tablo 2.3. Agregas ortalama özgül ağırlık ve su emme bulguları

Boş piknometre ağırlığı, g	142,1
Piknometre + KYD numune ağırlığı, g	275,85
Pikno + KYD Num. + saf su ağırlığı, g	722,35
Boş tava ağırlığı, g	845,6
Tava + Fırında kurumuş numune ağırlığı, g	976,5
Kuru Numune Ağırlığı, g	130,9
KYD Numune Ağırlığı, g	133,75
KYD halde emilmiş su ağırlığı, g	2,85
KYD Halde numunenin mutlak hacmi, cm ³	53,5
Numunenin katı madde mutlak hacmi, cm ³	50,65
Numunenin kuru hacim özgül ağırlığı, g/cm ³	2,44
Numunenin KYD hacim özgül ağırlığı, g/cm ³	2,50
Numunenin zahiri özgül ağırlığı, g/cm ³	2,58
Numunenin KYD halinde su emme kapasitesi, %	2,18

Tablo 2.4 Agrega ortalama ince madde oranı

Numune Agrega Ağırlığı	100 g
Kap Darası	709,8 g
Fırın Kurusu Ağırlığı + Kap	807,5 g
Kil Silt Oranı (%)	2,4

2.1.3. Su

Beton karılmasında kullanılacak suyun kalitesi ile ilgili olarak uzun yıllardan bu yana elde edilen tecrübelerle dayanarak kural olarak benimsenmiş olan ve aynı zamanda betonla ilgili birçok kitapta ve hatta suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları standardı olan TS EN 1008'de [14] belirtilmiş olan su içilebiliyor ise, beton yapımında karma suyu olarak kullanılmaya da uygundur hükmü vardır. Şehir sularının hepsi, elbette kalite olarak, birbirinin tamamen benzeri olamaz. Ancak içerdikleri yabancı maddelerin miktarı beton özelliklerine zarar verecek kadar yüksek değildir [15]. Bu sebeple çalışmada şebeke suyu kullanılmıştır.

2.1.4. Mermer Tozu

Bu çalışmada kullanılan mermer tozu Kayseri ili Pınarbaşı yöresinde faaliyet gösteren Çevikler Mermer işletmesine ait mermer fabrikasının çökelti havuzlarından temin edilen mermer atığının laboratuvar ortamında etüv ile kurutulduktan sonra 63 mikronluk elekten elenmesi ile elde edildi. Erciyes Teknik Araştırma Uygulama Merkezi'ne yaptırılan analiz sonucu mermer tozuna ait kimyasal özellikleri Tablo 2.5.'de verilmiştir.

Tablo 2.5. Mermer tozunun kimyasal özellikleri

Oksit	Oran (%)
CaO	53,06
Fe ₂ O ₃	1,45
SiO ₂	0,66
MgO	0,45
SO ₃	0,24
Al ₂ O ₃	0,20
SrO	0,12
Na ₂ O	0,09
BaO	0,03

2.2. Yöntem

2.2.1. Karışım Oranları

Bu çalışmada harç numunelerinde su/bağlayıcı malzeme oranları 0,5 seçilmiştir. Mermer tozu çimento yerine ihtiva oranları ağırlıkça %0, %5, %10, %15 ve %20 olmuştur. Hazırlanan dikdörtgen prizmatik numuneler, kür havuzunda deney gününe kadar muhafaza edilmiştir. Harç karışım oranı detayları Tablo 2.6.' da verilmiştir.

Tablo 2.6. Harç Karışım Oranları

Grup No	Bağlayıcı (%)	Su (g)	Kum (g)	Çimento (g)	Mermer (g)
Şahit	0	225	1350	450,0	0,0
M5	5	225	1347	427,5	22,5
M10	10	225	1344	405,0	45,0
M15	15	225	1341	382,5	67,5
M20	20	225	1338	360,0	90,0

2.2.2. Numunelerin Hazırlanması

Tablo 2.6.'da karışım oranları verilen numunelerin bileşenleri ayrı kaplarda tartılarak karışım için hazır hale getirilmiştir. Bileşenler Şekil 2.1.'de görünümü gösterilen Hobart mikserinde TS EN 196-1 [16] standardına uygun biçimde karıştırılarak hazırlanmıştır.



Şekil 2.1. Hobart mikserinin görünümü

TS EN 196-1'e [16] göre Hobart mikseri otomatik ayarda çalıştırılmıştır; yavaş ayarda 30 saniye karıştırılan harç ikinci adımda 30. saniyeden itibaren mikser karıştırmaya devam ederken deney kumu yavaşça karışıma boşaltılır ve 30 saniye yine yavaş olarak mikser karıştırmaya devam eder. Sonra üçüncü adımda mikser birden hızlanır ve 30 saniye hızlı olarak harcı karıştırır. Dördüncü adımda mikser hızlı olarak 30 saniye karıştırdıktan sonra durur ve 15 saniye karışım dinlenir. Daha sonra mikser 60 saniye hızlı ayarda harcı karıştırır. Mikser durduktan hemen sonra taze harç mikserden alınmış ve numune kalıplarına eşit dağılım sağlanacak şekilde yerleştirilmiştir. Uygun bir kaşıkla karıştırma kabından doğrudan bir veya bir kaç defada, iki tabaka halinde kalıbın her bölmesine doldurulmuştur ve düşme tablasıyla 1 dakika içinde 60 kez düşürülmek suretiyle tam sıkıştırma yapılmış ve üzerleri düzeltilmiştir. Kalıba dökülen harç numuneler tanımlamak amacıyla etiketlenmiştir. Numuneler 24 saat sonra kalıplardan çıkartılarak 21 ± 1 °C de ki su içerisinde deney gününe kadar kür edilmeye bırakılmıştır. Çalışmada kullanılan kalıplar çelikten imal edilmiştir. Kalıplara harç yerleştirilmeden evvel temizlenmiş ve yağlanmıştır. Şekil 2.2.'de çelik kalıbın görünümü gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Çelik harç kalıbının görünümü

2.2.3. Birim Ağırlık Tayini

Birim ağırlık tayini için, eğilme ve basınç dayanım deneyi için hazırlanan 40x40x160 mm dikdörtgen prizma numunelerden kullanılmıştır. Numuneler Şekil 2.2.'de gösterilen çelik kalıplar kullanılarak, iki kademeli olarak ve sarsma cihazı kullanılarak

dökülmüştür. Numune ağırlığı kap hacmine bölünerek harçların 28 günlük sertleşmiş kuru beton birim ağırlıkları hesaplanmıştır.

2.2.4. Kıvam Tayini

Taze harç kıvamının tayini TS EN 1015-3 [17] göre yayılma tablası ile yapılmıştır. Bu işlem kapsamında; dairesel levha ve kesik koni şekilli paslanmaz çelik veya pirinçten, 60 mm \pm 0.5 mm yükseklikte, alt yüz (taban) iç çapı 100 mm \pm 0.5 mm, duvar kalınlığı en az 2 mm olan kalıbın iç ve dış yüzü ve kenarları temiz ve nemli bir bezle silinip kurulandıktan sonra yağla yağlanmıştır. Kalıp; ayak, sert tabla kaidesi ve dairesel levha, yatay mil, kaldırma dirseği ve kaldırma kolundan teşkil edilmiş yayılma tablasının dairesel levhası üzerine merkezlenerek yerleştirilmiştir. Harç, kalıp içerisine iki tabaka halinde her harç tabakasına, daire kesitli sert, su emmez, yaklaşık 40 mm çaplı ve yaklaşık 200 mm uzunlukta çubuktan oluşan tokmak ile, harç yüzeyine düzgün şekilde dağılan en az 10 kısa vuruş yapılarak sıkıştırılmak suretiyle doldurulmuştur. Doldurma esnasında kalıp, diğer elle yayılma tablasının levhasına doğru bastırılmaktadır. Kalıp üst yüzünden tasan fazla harç tesviye bıçağı ile sıyrılarak alınmıştır ve dairesel levhanın boş kısmı silinerek temizlenip kurulanmıştır. Yaklaşık 15 saniye sonra, kalıp düşey olarak yukarıya doğru yavaşça çekilerek alınmakta ve dairesel levha üzerinde kalan harç kütlesi, yayılma tablası yaklaşık olarak saniyede bir defa olmak üzere, sabit sıklıkta 15 defa düşürülerek levhaya yayılması sağlanmıştır. Yayılan harç kütlesinin çapı, birbirine dik iki doğrultuda ölçülerek aritmetik ortalaması alınmıştır. Bu ortalama değerler sonucunda her bir harç numunesinin kıvamı tayin edilmiştir. Şekil 2.3.'de yayılma tablası görünümü verilmiştir.



Şekil 2.3. Yayılma tablası görünümü

2.2.5. Su Emme ve Boşluk Oranı Tayini

Her bir harç karışım oranı için 3 adet dikdörtgen prizma şeklinde hazırlanan numuneler 24 saat sonra kalıplardan çıkartılarak $21\pm 1^\circ\text{C}$ de ki su içerisinde 7, 28, 90 gün kür edilmeye bırakıldı. Numuneler kür dolabından çıkarılarak $105\pm 5^\circ\text{C}$ etüve yerleştirildi.

Burada sertleşmiş betonda su emme oranı, etüv kurusu betonun suya doymuş kuru yüzeyli duruma getirilmesi ile ortaya çıkan ağırlık artışının, etüv kurusu betonun ağırlığına oranıdır. Prizma numunelerin sırasıyla etüv kurusu ağırlıkları, su içinde tutulduktan sonra suya doymuş ağırlıkları ve su içindeki ağırlıkları tayin edilmiştir. 0,50 su-bağlayıcı oranlarında hazırlanan Portland çimentolu, mermer tozu katkılı karışımlar için TS 3624 [21] doğrultusunda kür edilen 7, 28, 90 günlük numuneler üzerinde su emme ve boşluk oranı değerleri aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\text{Boşluk Oranı (\%)} = \frac{(AKYD - AFK)}{(AKYD - ASU)} \times 100 \quad (2.1)$$

$$\text{Su emme Oranı (\%)} = \frac{(AKYD - AFK)}{(AFK)} \times 100 \quad (2.2)$$

Burada;

AFK: Fırın kurusu ağırlığı (g)

AKYD: Kuru yüzey doymuş ağırlığı (g)

ASU: Su içindeki ağırlığı (g)

2.2.6. Eğilme Dayanımı Tayini

Çalışma kapsamında hazırlanan numunelerin eğilme dayanımı tayini için TS EN 1015–11 (2000)'e [18] uygun olarak çimento presinde eğilme deneyine tabi tutulmuştur. CEM I 42.5 R Portland çimentolu şahit numune, mermer tozu katkılı numuneler üzerinde, eğilme dayanımının tespit edilebilmesi için $40 \times 40 \times 160$ mm boyutlarında, her bir karışım oranı için üçer adet hazırlanan deney numunelerine 7, 28, 90 gün kür dolabında bekletildi. Kür süresi dolan harç prizmaları, kalıptan çıkarılmış yan yüzeylerinden biri üzerine ve uzunluk eksenine, destek silindirler eksenine dik gelecek şekilde yerleştirildi. F yükü yükleyici silindirler vasıtası ile karşı yüzden dik olarak uygulandı. Yükleme hızı saniyede $50 \text{ N} \pm 10 \text{ N}$ olacak şekilde ayarlandı. Aşağıda verilen eşitlik kullanılarak eğilme dayanımı hesaplandı.

$$R_f = 1,5 \times (F \times l / b^3) \quad (2.3)$$

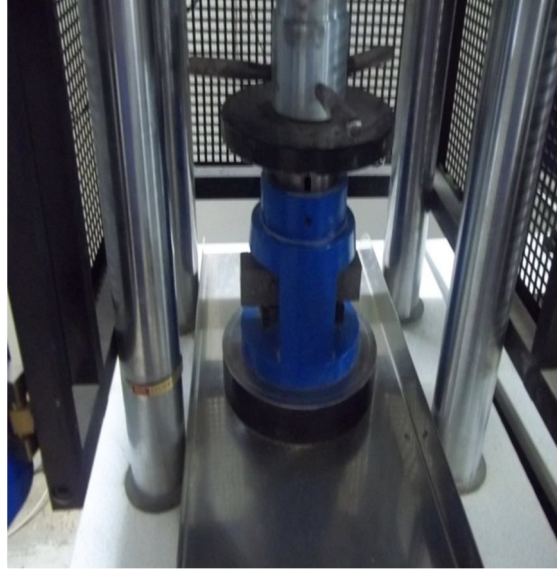
Burada;

R_f : Eğilmede çekme mukavemeti, N/mm^2

b : Prizmanın kare kesitinin kenar uzunluğu, (40 mm)

F : Prizmanın ortasına uygulanmış olan kuvvet, (Newton)

l : Destek silindirlerin eksenleri arasındaki uzaklık, (100 mm)



Şekil 2.4. Eğilme dayanımı tayini deneyi

2.2.7. Basınç Dayanımı Tayini

Eğilme çekme dayanımı tayini deneyinden sonra iki parçaya bölünmüş olan yarım prizmalar, basınç dayanım deneyine süre kaybetmeksizin hemen tabi tutuldu. Her bir yarım prizma 40x40 mm kırma başlığı ile yan yüzeyleri üzerinde kırma presinde kırıldı. Cihazın yükleme hızı 500 N/s olarak ayarlandı. Aşağıda verilen eşitlik kullanılarak basınç dayanımı hesaplandı. Eğilme dayanımı tayini ve basınç dayanımı tayini deneylerinde kullanılan cihazın görünümü Şekil 2.5.'de verilmiştir.

$$R_c = F_c / b^2 \quad (2.4)$$

Burada;

R_c : Basınç mukavemeti, N/mm^2

b : Basınç plakasının kenar uzunluğu, (40 mm)

F_c : Kırılmadaki en büyük kuvvet, (Newton)



Şekil 2.5. Eğilme ve basınç tayini deney cihazının görünümü

2.2.8. Aşınma Kaybı Tayini

Betonların aşınma direnci; böhme aşındırma cihazı üzerinde 71x71x71 mm'lik küp numunelere sürtünme yolu ile aşınma deneyi TS 2824 EN 1338 'e (Nisan 2005) [19] uygun olarak yapılmıştır. Aşınma kaybı, numunenin kütesindeki veya hacmindeki azalma olarak tayin edilmiştir. Küp numuneler deneye başlamadan önce numune üzerinde tespit edilen toplam 9 noktadan yükseklik ölçümü alındıktan sonra, beton numunenin aşındırılacak yüzeyi döner disk üzerine yapışacak ve temas yüzü yukarı gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Baskı pistonu yükleme koluna asılan ağırlık vasıtası ile bastırılmıştır. Sürtünme yolu üzerine standart aşındırıcı olarak 20 gram suni korundum tozu yayıldıktan sonra cihaz çalıştırılır. Bu durumda disk numuneye 294 N aşındırma kuvveti uygulamıştır. Disk 22 devirden sonra (1 periyot sonunda) otomatik olarak durur. Numune saat yönünde 90° döndürülür ve ize yeni aşındırıcı konulur. Her defasında disk ve temas yüzeyi temizlenir. Bu şekilde ikinci, üçüncü ve dördüncü yüzleri de aşındırılır ve toplam 88 devir yani 4 periyot sonunda birinci aşama tamamlanır. Her periyot sonunda fırça ile temizlenen numuneler dikkatlice ölçülmüş ve tartılmıştır. Numunenin hacmi Arşimet deneyine göre belirlenmiş ve ilk hacmi ile olan fark aşınma kaybı olarak bulunmuştur. Her dört dönüşümden sonra temizlenen numuneler dikkatlice ölçülmüş ve tartılmıştır. Araştırmada her numune üzerinde toplam 16 periyod 352 devir uygulanmıştır. Şekil 2.6.'da böhme aşınma deney aletinin teknik çizimi sunulmuştur.

16 çevrim sonunda aşınma; numunenin hacmindeki azalma ΔV olarak aşağıda verilen eşitlikten hesaplanır:

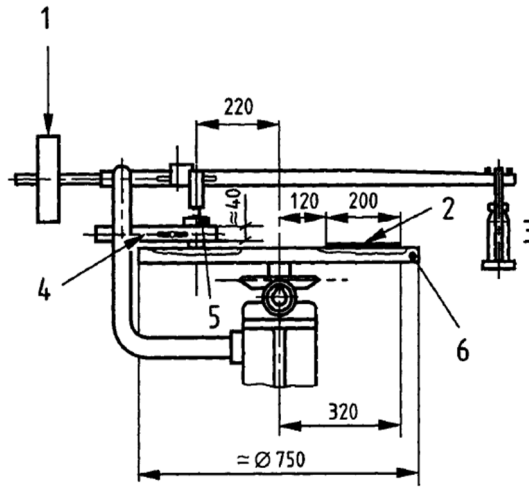
$$\Delta V = \Delta m / \rho r \quad (2.5)$$

Burada:

ΔV = 16 çevrimden sonra hacim kaybı, mm^3 ,

Δm = 16 çevrimden sonra kütle kaybı, g,

ρr = Numunenin yoğunluğu, mm^3 dür.



Şekil 2.6. Böhme aşınma deney aleti

2.2.9. Karbonatlaşma Derinliği Tayini

Çalışma kapsamında $40 \times 40 \times 160$ mm'lik harç numunelerinin $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ve $\%50 \pm 5$ bağıl nemde tutulan 210 günlük, çimento yerine mermer tozu ikame eden harç numunelerinde yapılmıştır. Karbonatlaşma derinliği, harç numunelerinin ikiye bölünmüş kırılma yüzeylerine fenolphtalein çözeltisi püskürtülerek ölçülmüştür. Serbest $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pembe renk gösterirken, karbonatlaşmış kısımlar renk değişimine uğramamaktadır. Su içerisinde kür edilen numunelerde karbondioksit gazının sızmasının mümkün olmaması nedeniyle ıslak küre maruz betonlarda karbonatlaşma oluşmayacağından dolayı karbonatlaşma ölçümleri sadece kuru kür ortamında bekletilen numuneler üzerinde yürütülmüştür [20]. Karbonatlaşma derinliği 40 mm'lik yüzey alanında aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$D = (A1 + A2 + A3 + A4) / 4 \quad (2.6)$$

Burada;

D: Karbonatlaşma derinliği, mm

A_{1,2,3,4}: Dört kenardaki karbonatlaşma derinlikleri, mm

2.2.10. Yangın Etkisi Tayini

Her bir harç karışım oranı ve deney sıcaklığı için 3 adet dikdörtgen prizma şeklinde hazırlanan numuneler 24 saat sonra kalıplardan çıkartılarak $21\pm 1^{\circ}\text{C}$ de ki su içerisinde 28 gün kür edilmeye bırakıldı. Numuneler kür dolabından çıkarılarak $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ etüve yerleştirildi. 24 saat sonra etüvden çıkarılan numuneler, her bir karışım oranı için ilk set 20°C oda sıcaklığında bekletildi. İkinci set Şekil 2.7.'de gösterilen elektrikli yüksek sıcaklık fırınında 300°C 'de, üçüncü set aynı fırında 600°C 'de, dördüncü set yine aynı fırında 900°C 'de yangın etkisine maruz bırakılmıştır.



Şekil 2.7. Yüksek sıcaklık fırını görünümü

Fırının sıcaklık artışı $1^{\circ}\text{C}/\text{dak}$ olarak ayarlanmıştır. Fırın istenilen maksimum sıcaklık değerine ulaştığında o değerde 1 saat kalacak şekilde ayarlanmıştır. Numuneler deney sonrası ani soğumaya maruz kalmamaları için fırın içerisinde bırakılmıştır. 24 saat sonra fırından çıkarılan numuneler soğuması için bekletildikten sonra eğilme dayanımı ve basınç dayanımı tayini deneyleri uygulanmıştır.

2.2.11. Donma ve Çözülme Koşulları Altında Dayanıklılık Tayini

Deneyin amacı donma çözülme etkisi altında kalabilecek betonların veya harçların donma-çözülme direncini saptayarak betonun donmaya karşı kalite kontrolünü yapmaktır. Her bir harç karışım oranı için 3 adet dikdörtgen prizma şeklinde hazırlanan numuneler 24 saat sonra kalıplardan çıkartılarak $21\pm 1^{\circ}\text{C}$ de ki su içerisinde 28 gün kür edilmeye bırakıldı. Numuneler kür dolabından çıkarılarak $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ etüve yerleştirildi. 24 saat sonra etüvden çıkan numunelerin fırın kuru ağırlıkları kaydedildi. Daha sonra numunelerin tamamen su içerisinde kalması sağlanarak plastik kaplarda derin dondurucuya konuldu. $-18\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta 3 saat kaldıktan sonra tekrar oda sıcaklığında çözülmesi beklendi ve tekrar dondurucuya konuldu. Bu tekrar her bir grup için 60 devir yapıldı. Deney sonrası malzemenin fırın kuru ağırlığı kaydedildi. İlk ağırlığa oranla kütle kaybı hesaplandı. Daha sonra aynı numunelere eğilme dayanımı ve basınç dayanımı tayini deneyleri uygulandı. Şekil 2.8.'de deneye ait görüntü verilmiştir.



Şekil 2.8. Donma-çözülme deney örnekleri

2.2.12. Kuruma Rötire Tayini

Taze beton kapiler boşluklarında bulunan serbest suyun buharlaşması ile kurur. Kimyasal reaksiyona girmeyen suyun bir bölümü çimento hidratları tarafından absorbe edilir ve jel sistemi oluşturur. Kuruma esnasında çimento jelinde büzülme olur. Jelin büzülmesi agreganın hacimsel miktarı ile sınırlıdır ki, bu büzülmenin en büyük etkenlerindedir. Fazla agrega miktarı daha az harç miktarı demektir. Yüksek su/çimento oranı harcın genişmesine sebep olur ki bu da daha fazla büzülme demektir. Netice olarak kuruma büzülmesi; betonun sertleşmesi esnasında suyun fiziksel ve

kimyasal olarak kaybolması neticesinde meydana gelen hacim azalmasından dolayı meydana gelir. Isı gerilmelerinde olduğu gibi, betonun şekil değiştirmeleri kısıtlanıyorsa (restrain) gerilmeler çatlamalara sebebiyet verir [21]. Betonların kuruma-büzülme tayini TS 3453'e (1981) [22] uygun olarak her bir grup için 50x50x285 mm'lik kiriş prizma numuneleri üzerinde yapıldı. Her bir karışımdan iki numuneden iki ölçüm yapıldı. Numunelerin kuruma büzölmeleri iki ölçümün ortalaması olarak alındı. 24 saat sonra kalıptan çıkarılan rötre numuneleri ilk günden itibaren $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki bağıl nemi %50 olan kür odasında tutulmuştur. İlk 28 gün boyunca her gün 91 güne kadar her hafta ve daha sonra ise her ay ölçüm alınmıştır. Ölçümler 0,002 mm hassasiyetli Şekil 2.9.'da gösterilen deformasyon saati ile ölçüm yapılmıştır.



Şekil 2.9. Deformasyon saati ile ölçüm yapılması

3. BÖLÜM

BULGULAR

Bu bölümde su/bağlayıcı oranları 0,5 seçilen, çimento yerine %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında ağırlıkça ikame eden mermer tozu ile hazırlanan harç numuneleri üzerinde yapılan deneylerin sonuçları ve bu sonuçlar ile hazırlanan grafikler sunulmuştur.

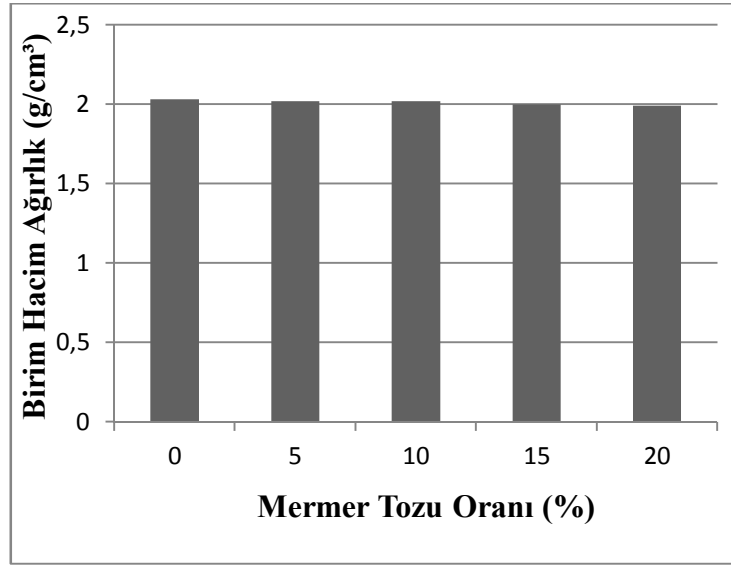
3.1. Birim Ağırlık Tayini Deney Sonuçları

40x40x160 mm'lik dikdörtgen prizmaları şeklinde, her bir karışım oranına göre hazırlanan numuneler için deney yapıldı. Bulunan 28 günlük ortalama sertleşmiş harç etüv kurusu birim hacim ağırlıkları Tablo 3.1.'de sunulmuştur.

Tablo 3.1. Kuru birim hacim ağırlık deney sonuçları

Karışım No	Kuru Birim Hacim Ağırlığı (g/cm ³)
M-0	2,03
M-5	2,02
M-10	2,02
M-15	2,00
M-20	1,99

Mermer tozu ihtiva eden harç numunelerinin birim ağırlıkları 1,99 - 2,02 g/cm³ arasında olduğu görülmüştür. Çimento yerine ihtiva edilen mermer tozu oranı arttıkça birim hacim ağırlığın azaldığı gözlenmiştir. Bunun nedeni mermer tozunun özgül ağırlığının 2,34 g/cm³, kullanılan çimentonun özgül ağırlığının ise 3,17 g/cm³ olmasıdır. Mermer tozu oranı ile kuru birim hacim ağırlığı arasında bağlantıyı gösteren grafik Şekil 3.1.'de sunulmuştur.



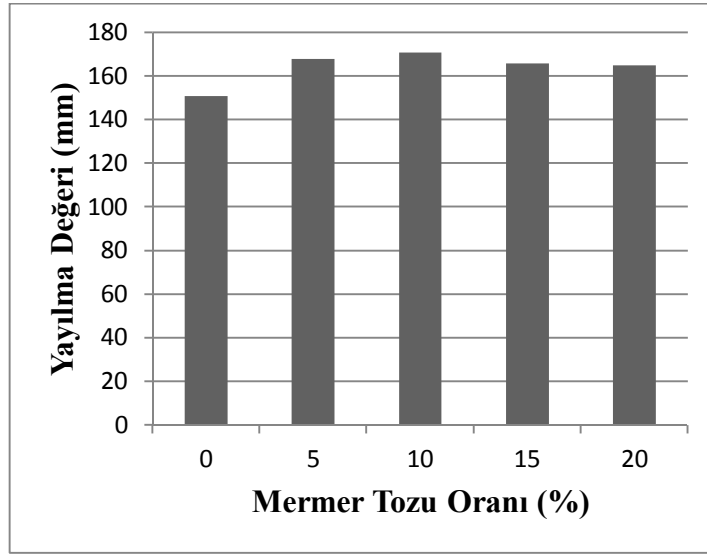
Şekil 3.1. Mermer tozu ile kuru birim hacim ağırlık ilişkisi

3.2. Kıvam Tayini Deney Sonuçları

Mermer tozu katkılı harçların kıvam tayini deneyi sonuçları Tablo 3.2.'de sunulmuştur. Çimento yerine ağırlıkça %0, %5, %10, %15, %20 oranlarında yer alan mermer tozunun oranı ile yayılma değerine arasındaki ilişki Şekil 3.2.'de sunulmuştur. Kıvam tayini ile harçların işlenebilirlik özelliği hakkında fikir edinilmiştir. Yayılma değeri arttıkça harcın kalıba daha kolay yerleşeceği ön görülür. Tablo 3.2. ve Şekil 3.2.'den de anlaşılacağı üzere mermer tozunun katkılı harçlar şahit numuneye kıyasla daha işlenebilir olduğu gözlemlenmiştir. %10 mermer tozu içeren harçların yayılma değerinin en yüksek çıktığı görülmüştür. Mermer tozu oranının, yayılma değerine pozitif bir etkisi olduğu görülmüştür.

Tablo 3.2. İşlenebilirlik deney sonuçları

Karışım No	Yayılma Değeri (mm)
M-0	151
M-5	168
M-10	171
M-15	166
M-20	165



Şekil 3.2. Yayıma değeri ile mermer tozu oranı ilişkisi

3.3. Su Emme ve Boşluk Oranı Tayini Deney Sonuçları

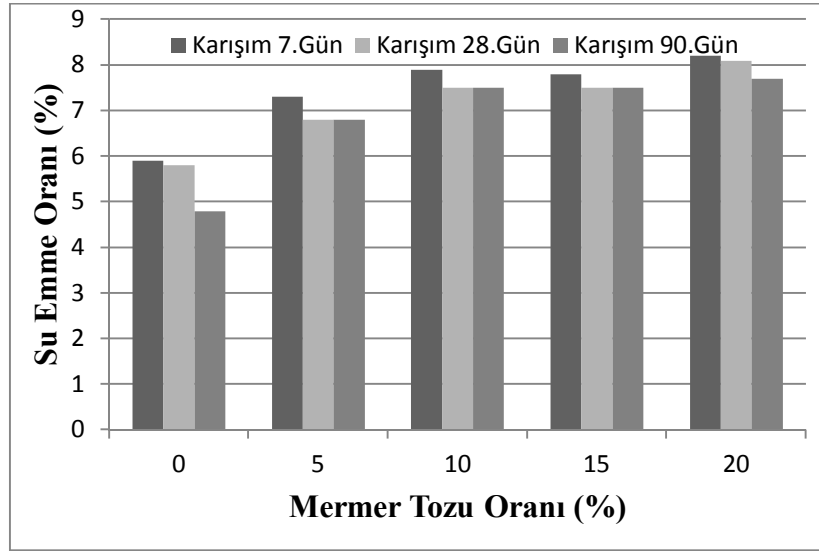
Çimentoya ağırlıkça ikame eden mermer tozu katkılı harçlara ait ortalama su emme ve boşluk oranı deneyi sonuçları Tablo 3.3. ve Tablo 3.4.'de sunulmuştur. Çimento yerine ağırlıkça %0, %5, %10, %15, %20 oranlarında yer alan mermer tozunun, su emme ve boşluk oranına etkisi ve kür süresi ile olan ilişkisi Şekil 3.3.'de ve Şekil 3.4.'de sunulmuştur.

Tablo 3.3. Su emme oranı deney sonuçları

Karışım No	Su Emme Oranı (%)		
	7.Gün	28.Gün	90.Gün
M-0	5,9	5,8	4,8
M-5	7,3	6,8	6,8
M-10	7,9	7,5	7,5
M-15	7,8	7,5	7,5
M-20	8,2	8,1	7,7

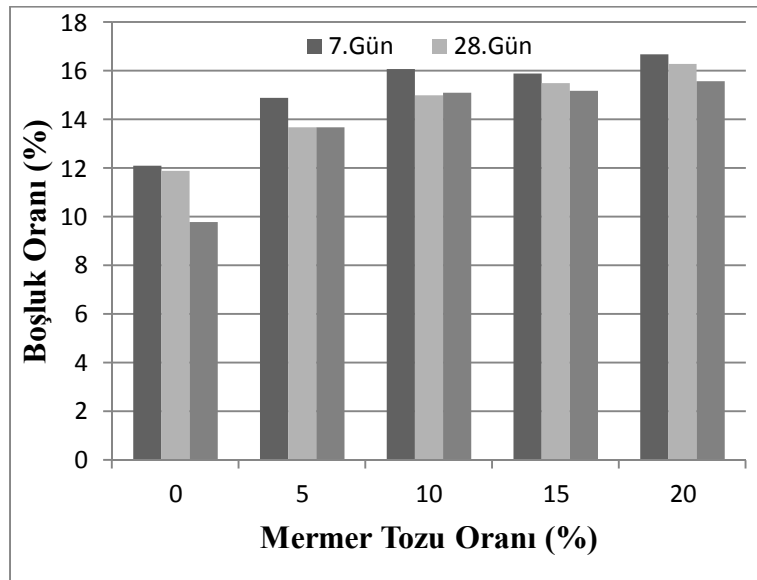
Tablo 3.4. Boşluk oranı deney sonuçları

Karışım No	Boşluk Oranı (%)		
	7.Gün	28.Gün	90.Gün
M-0	12,1	11,9	9,8
M-5	14,9	13,7	13,7
M-10	16,1	15,0	15,1
M-15	15,9	15,5	15,2
M-20	16,7	16,3	15,6



Şekil 3.3. Su emme oranı ile mermer tozu oranı ilişkisi

Harcın su emme oranı, boşluk oranı ile doğru orantılıdır. Sunulan Şekil 3.3. ve Şekil 3.4. analiz edildiğinde bu durumu destekler niteliktedir. Kür süresi arttıkça boşluk oranının azaldığı görülmektedir. Buna neden olarak hidrasyon olayı gösterilebilir. Kür süresi boyunca devam eden hidrasyon sonucu boşluk oranı azalmakta dolayısı ile su emme oranı azalmaktadır. Çimento yerine ağırlıkça ikame eden mermer tozu miktarı arttıkça boşluk oranı buna bağlı olarak su emme oranı arttığı görülmüştür.



Şekil 3.4. Boşluk oranı ile mermer tozu oranı ilişkisi

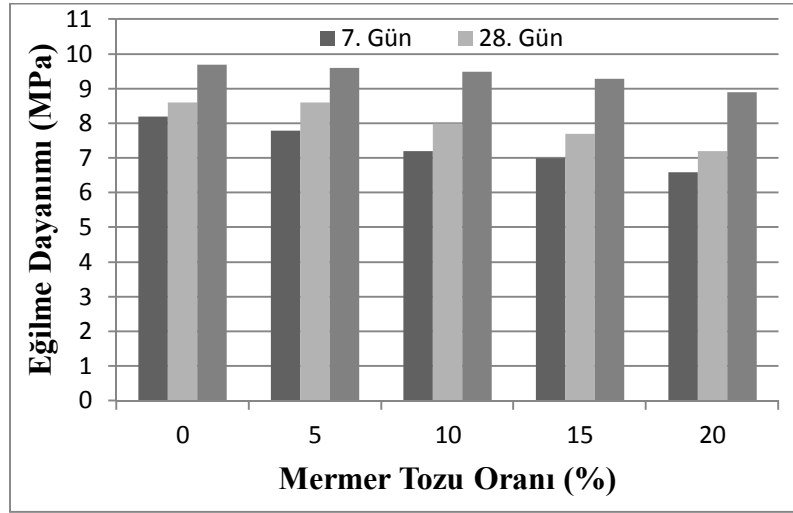
3.4. Eğilme Dayanımı Tayini Deney Sonuçları

Çimento yerine ağırlıkça ikame eden mermer tozu katkılı harçların eğilme deneyleri basit kiriş metodu ile yapılmıştır. 40x40x160 mm dikdörtgen prizma olarak hazırlanan numuneler sırası ile 7, 28, 90 günlük kür uygulandıktan sonra üçte bir noktalarından yüklenmiştir. Çimento yerine ağırlıkça %0, %5, %10, %15, %20 oranlarında yer alan mermer tozunun; 7, 28, 90 günlük ortalama eğilme dayanımları Tablo 3.5.'de sunulmuştur.

Tablo 3.5. Eğilme dayanımı tayini deney sonuçları

Karışım No	Eğilme Dayanımı (MPa)		
	7.Gün	28.Gün	90.Gün
M-0	8,2	8,6	9,7
M-5	7,8	8,6	9,6
M-10	7,2	8,0	9,5
M-15	7,0	7,7	9,3
M-20	6,6	7,2	8,9

Mermer tozu oranının, eğilme dayanımına olan etkisi ve kür süresi ile olan ilişkisi Şekil 3.5.'de sunulmuştur. Çimento yerine ağırlıkça ikame eden mermer tozu oranı artıkça eğilme dayanımının şahit numuneye kıyasla azaldığı görülmektedir. Fakat 90 gün kür uygulanan, farklı oranlarda mermer tozu içeren numunelerin eğilme dayanımlarının yakın olduğu görülmüştür. %5 ikame oranında mermer tozu içeren harç karışımının 28 günlük kür sonrası eğilme dayanımının şahit numuneye ait aynı kür sonrası elde edilen eğilme dayanımı ile benzer olduğu görülmüştür. Numunelerin kendi ikame oranları içinde kür süreleri baz alınarak kıyaslandığında tüm oranlarda kür süresi artıkça dayanımın arttığı görülmüştür. %10 ikame oranında mermer tozu içeren harç karışımının 7 günlük kür sonrası ortalama eğilme dayanımı 7,2 MPa, 28 günlük kür sonrası ortalama eğilme dayanımı 8,0 MPa, 90 günlük kür sonrası ortalama eğilme dayanımı 9,5 MPa bulunmuştur. %15 ikame oranında mermer tozu içeren harç karışımının 7 günlük kür sonrası ortalama eğilme dayanımı 7 MPa, 28 günlük kür sonrası ortalama eğilme dayanımı 7,7 MPa, 90 günlük kür sonrası ortalama eğilme dayanımı 9,3 MPa bulunmuştur. %20 ikame oranında mermer tozu içeren harç karışımının 7 günlük kür sonrası eğilme dayanımı ile şahit numune eğilme dayanımı arasındaki farkın 90 günlük kür sonrası azaldığı görülmektedir.



Şekil 3.5. Eğilme dayanımı ile mermer tozu oranı ilişkisi

3.5. Basınç Dayanımı Tayini Deney Sonuçları

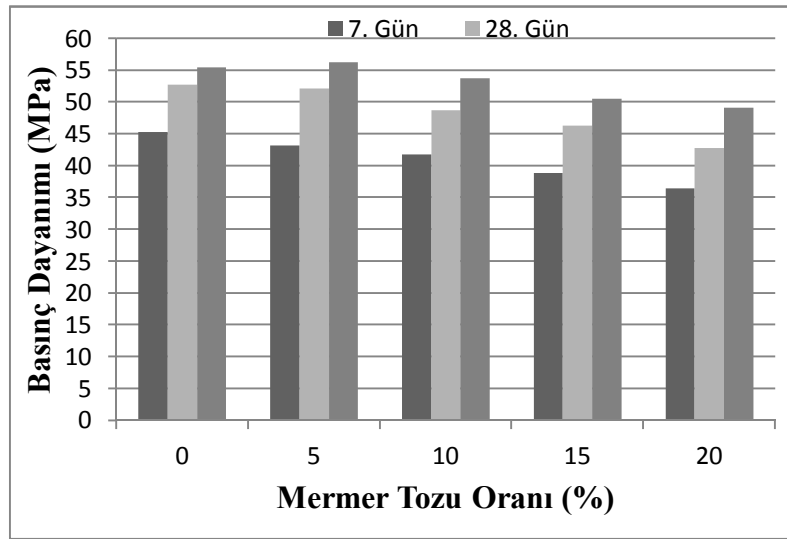
Eğilme dayanımı tayini deneyi ardından kırılan numunelere, hiç vakit kaybetmeden 40x40 mm yan yüzeyleri üzerinde kırma presinde basınç dayanımı deneyi uygulandı. Deney sonucu elde edilen ortalama basınç dayanımları Tablo 3.6.'da sunulmuştur. Mermer tozu oranının, basınç dayanımına olan etkisi ve kür süresi ile olan ilişkisi Şekil 3.6.'de sunulmuştur.

Tablo 3.6. Basınç dayanımı tayini deney sonuçları

Karışım No	Basınç Dayanımı (MPa)		
	7.Gün	28.Gün	90.Gün
M-0	45,3	52,7	55,5
M-5	43,2	52,1	56,3
M-10	41,8	48,7	53,7
M-15	38,9	46,3	50,5
M-20	36,5	42,8	49,1

Şekil 3.6. analiz edildiğinde, bütün deney gruplarında kür süresi uzamasının basınç dayanımına pozitif etkisi olduğu açıkça görülmüştür. Buna neden olarak hidrasyon olayı gösterilebilir. Mermer tozu ikame oranları incelendiğinde, ağırlıkça çimento yerine % 5 oranında mermer tozu ikame eden, 7 günlük kür süreli harç karışımına ait basınç dayanımının şahit numuneye yakın olduğu görülmüştür. Aynı ikame oranın 28

günlük kür süreli deney sonucu incelendiğinde şahit numuneye ait değere daha da yaklaştığı görülmüştür. Yine %5 ikame oranında yapılan, 90 günlük kür süreli deney sonucunun aynı şartlarda şahit numuneye kıyasla bir miktar yüksek olduğu görülmüştür. Mermer tozu ikame oranı %5'den fazla arttırıldığında şahit numuneye kıyasla basınç dayanımının azaldığı görülmüştür.



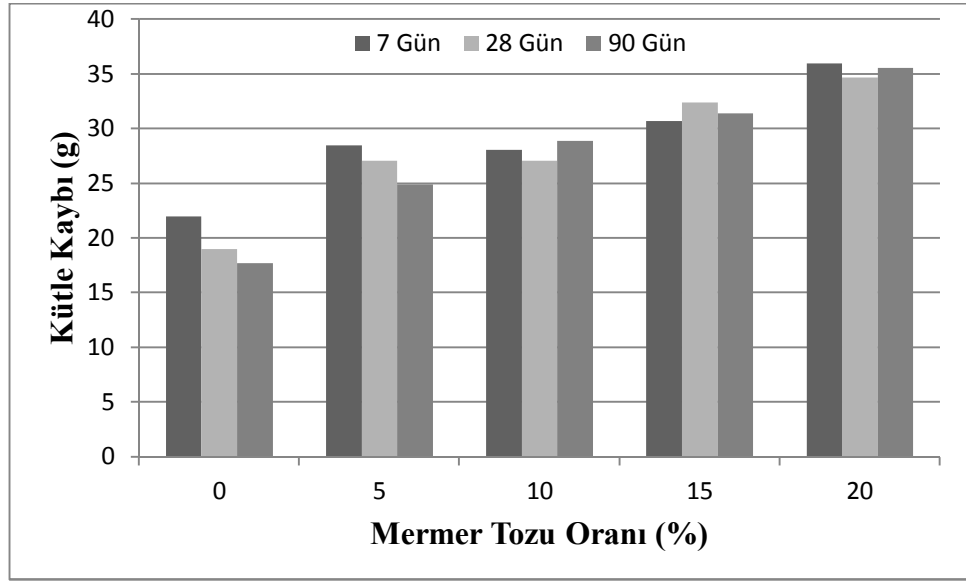
Şekil 3.6. Basınç dayanımı ile mermer tozu oranı ilişkisi

3.6. Aşınma Kaybı Tayini Deney Sonuçları

Aşınma deneyi, böhme aşınma cihazı kullanılarak, 71x71x71 mm'lik küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Deney öncesi her numunenin ağırlık ve hacim kayıtları alınmıştır. Deney sonunda numuneler ilk ağırlıkları ve hacimlerine göre kıyaslanmıştır. Kütle kayıpları g cinsinden, hacim kayıpları mm³/5000 mm² cinsinden saptanmıştır. Bulunan değerler Tablo 3.7.'de sunulmuştur.

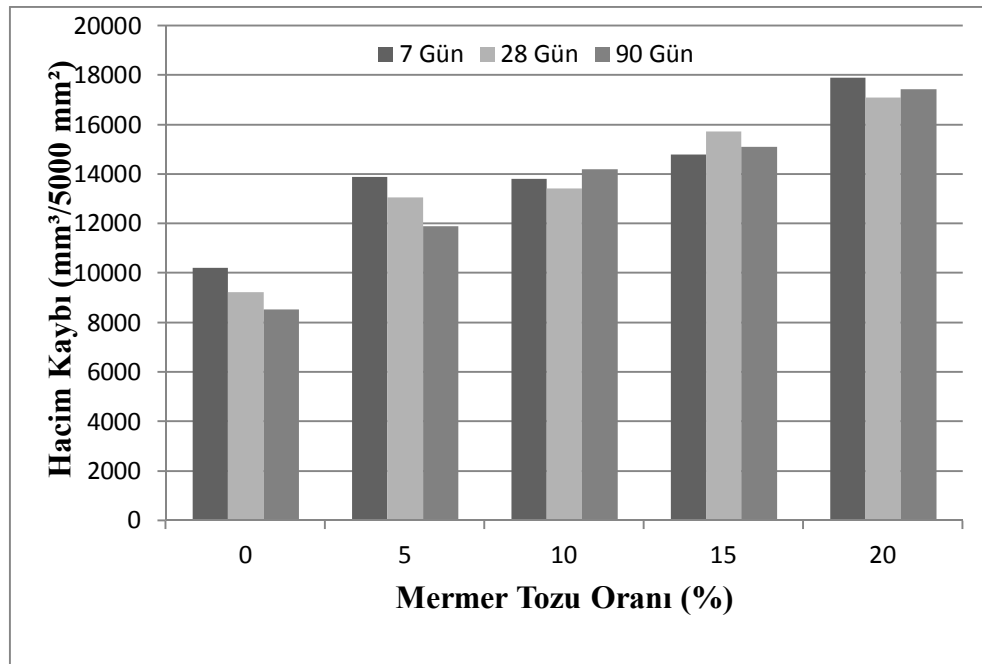
Tablo 3.7. Aşınma kaybı tayini deney sonuçları

Karışım No	Kütle Kaybı (g)			Hacim Kaybı (mm ³ /5000 mm ²)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
M-0	22,0	19,0	17,7	10207	9241	8545
M-5	28,5	27,1	24,9	13894	13071	11914
M-10	28,1	27,1	28,9	13828	13434	14213
M-15	30,7	32,4	31,4	14798	15736	15108
M-20	36,0	34,7	35,6	17902	17102	17446



Şekil 3.7. Kütle kaybı ile mermer tozu oranı ilişkisi

Mermer tozu oranının, kütle kaybına olan etkisi ve kür süresi ile olan ilişkisi Şekil 3.7.'de sunulmuştur. Mermer tozu oranının, hacim kaybına olan etkisi ve kür süresi ile olan ilişkisi Şekil 3.8.'de sunulmuştur. Tablo 3.6. Şekil 3.6. ve Şekil 3.7. analiz edildiğinde, kür süresinin aşınma direncini arttırdığı görülmüştür. Ancak mermer tozu ikame oranının artması ile aşınma kaybının arttığı görülmüştür.



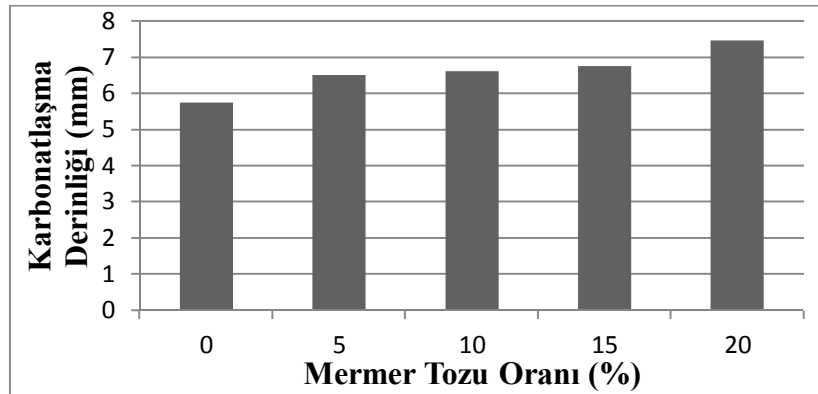
Şekil 3.8. Hacim kaybı ile mermer tozu oranı ilişkisi

3.7. Karbonatlaşma Derinliği Tayini Denev Sonuçları

Havada bulunan CO₂ gazı harç numunesine nüfuz etmesi ile karbonatlaşma meydana gelmektedir. CO₂ gazının numune i cidarlarına nüfus edebilmesi adına deneyde kullanılan numunelere su kr uygulanmamıştır. Numuneler %50 bağıl nemli ortamda 210 gün boyunca bekletilmiştir. Denev sonrası elde edilen veriler Tablo 3.8.'de sunulmuştur. Mermer tozu oranının, karbonatlaşma derinliğine olan etkisi Şekil 3.9.'da sunulmuştur. Şekil 3.9. analiz edildiğinde, ağırlıkça imento yerine ikame eden mermer tozu oranı artıkça karbonatlaşma derinliği artmaktadır. Buna neden olarak mermer tozu katkılı harçların boşluk oranının fazla olması gösterilebilir. Fazla olan boşluk oranına CO₂ gazına daha derine nüfus edebilme imkânı tanımaktadır. Bu durum karbonatlaşma derinliğini artırmaktadır.

Tablo 3.8. Karbonatlaşma derinliği tayini denev sonuçları

Karışım No	Karbonatlaşma Derinliği (mm)
M-0	5,76
M-5	6,51
M-10	6,63
M-15	6,76
M-20	7,47



Şekil 3.9. Karbonatlaşma derinliği ile mermer tozu oranı ilişkisi

3.8. Yangın Etkisi Tayini Denev Sonuçları

Çimento yerine ağırlıkça %0, %5, %10, %15, %20 oranlarında yer alan mermer tozu içeren harç karışımları sırasıyla ilk set olan şahit numuneler 20°C oda sıcaklığında

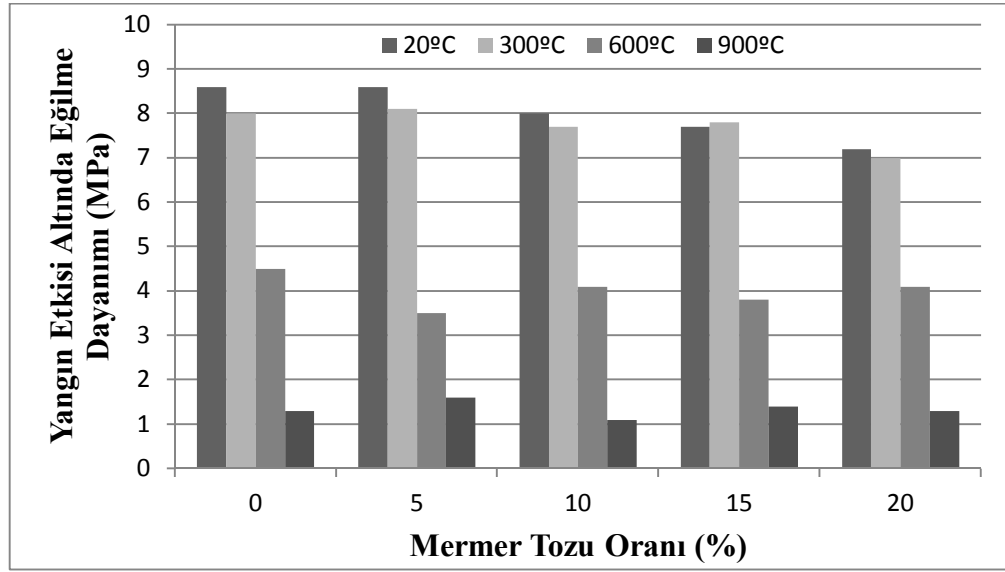
bekletildi. İkinci set elektrikli yüksek sıcaklık fırınında 300°C 'de, üçüncü set aynı fırında 600°C 'de, dördüncü set yine aynı fırında 900°C'de yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmıştır. Yangın deneyi sonrası çıkan numuneler eğilme ve basınç dayanımı tayini deneylerine tabi tutulmuştur. Elde edilen eğilme dayanımı değerleri ve şahit numuneye göre yüzdece eğilme dayanımı kayıpları Tablo 3.9.'da sunulmuştur. Eğilme dayanımı deneyi sonucu iki parçaya bölünen numuneler vakit kaybetmeden basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen veriler ve şahit numuneye göre yüzdece basınç dayanımı kayıpları Tablo 3.10.'da sunulmuştur. Yüksek sıcaklık etkisi altında eğilme dayanımı ile mermer tozu oranı arasındaki ilişki Şekil 3.10. verilmiştir. Yüksek sıcaklık etkisi altında basınç dayanımı ile mermer tozu oranı arasındaki ilişki Şekil 3.11.'de verilmiştir.

Tablo 3.9. Yangın etkisi eğilme dayanımı deney sonuçları

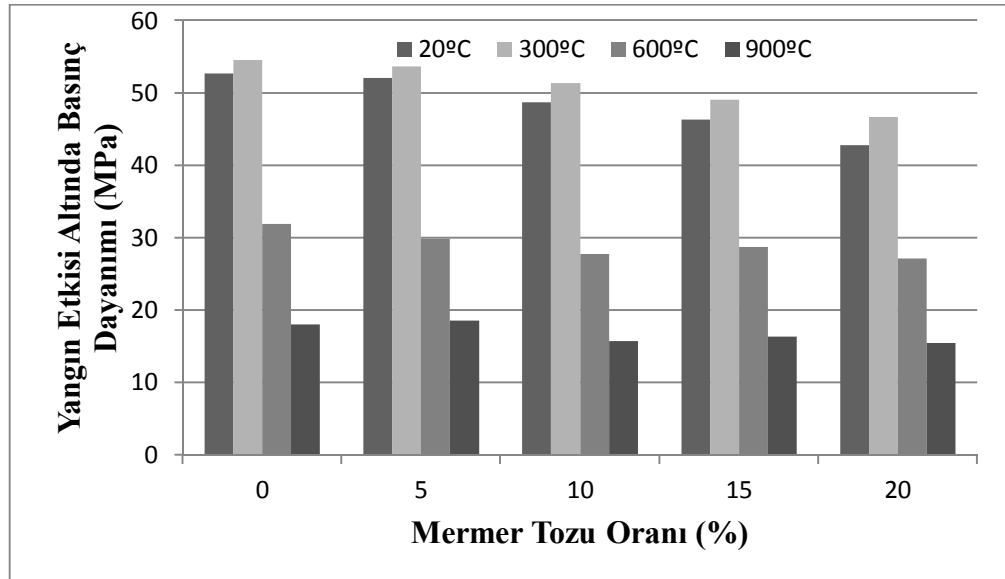
Karışım No	Eğilme Dayanımı (MPa)			
	20°C	300°C	600°C	900°C
M-0	8,6	8,0	4,5	1,3
M-5	8,6	8,1	3,5	1,6
M-10	8,0	7,7	4,1	1,1
M-15	7,7	7,8	3,8	1,4
M-20	7,2	7,0	4,1	1,3
Karışım No	Eğilme Dayanımı (%)			
	20°C	300°C	600°C	900°C
M-0	100	93	53	15
M-5	100	94	41	19
M-10	100	97	51	14
M-15	100	101	49	18
M-20	100	97	56	17

Tablo 3.10. Yangın etkisi basınç dayanımı deney sonuçları

Karışım No	Basınç Dayanımı (MPa)			
	20°C	300°C	600°C	900°C
M-0	52,7	54,6	31,9	18,1
M-5	52,1	53,7	29,9	18,6
M-10	48,7	51,4	27,8	15,8
M-15	46,3	49,1	28,8	16,4
M-20	42,8	46,7	27,2	15,5
Karışım No	Basınç Dayanımı (%)			
	20°C	300°C	600°C	900°C
M-0	100	104	61	34
M-5	100	103	57	36
M-10	100	105	57	32
M-15	100	106	62	35
M-20	100	109	63	36



Şekil 3.10. Yangın etkisi altında eğilme dayanımı ile mermer tozu oranı ilişkisi



Şekil 3.11. Yangın etkisi altında basınç dayanımı ile mermer tozu oranı ilişkisi

Tablo 3.9. ve Şekil 3.10. incelendiğinde eğilme dayanımlarında 300°C yüksek sıcaklık etkisinde dayanımların yaklaşık olarak ortalama %4 azaldığı görülmüştür. 600°C yüksek sıcaklık etkisinde numunelerin eğilme dayanımlarında ortalama %50 civarında azalma olduğu görülmüştür. 900°C yüksek sıcaklık etkisinde numunelerin eğilme kapasitelerinde ortalama %85 miktarında azalma olduğu görülmüştür. %5 mermer tozu oranında, 300°C yüksek sıcaklık etkisinde eğilme dayanımı şahit numuneye kıyasla benzer olduğu görülmüştür. Numunelerde mermer tozu oranı arttıkça 300°C yüksek

sıcaklık etkisinde eğilme dayanımının azaldığı görülmektedir. 600°C yüksek sıcaklık etkisinde %5 mermer tozu oranına ait eğilme dayanımın şahit numuneye ait eğilme dayanımına göre daha azaldığı görülmüştür. 900°C yüksek sıcaklık etkisinde %20 oranında mermer tozu içeren numune ile şahit numuneye ait eğilme dayanımlarının benzer olduğu görülmüştür. Bu durum 900°C yüksek sıcaklık etkisinde mermer tozu oranının eğilme dayanımına etkisi olmadığını göstermektedir.

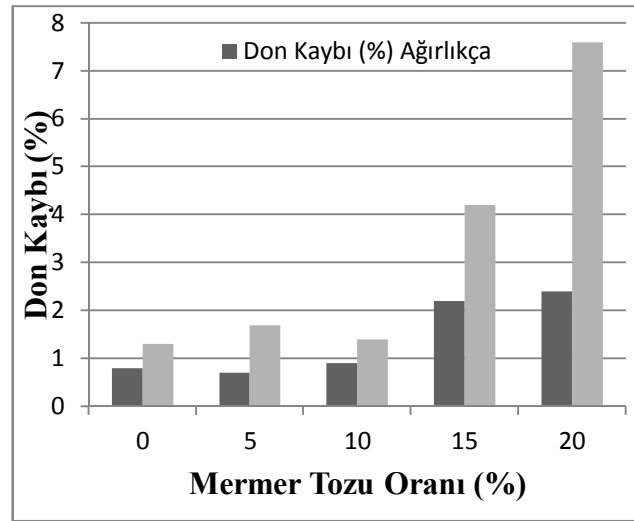
Tablo 3.10. ve Şekil 3.11 incelendiğinde 300°C yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmış numunelerin basınç dayanımlarında 20°C tespit edilen basınç dayanımlarına kıyasla ortalama %5 miktarında artış olduğu görülmüştür. Numunelerde mermer tozu oranı artıkça 300°C yüksek sıcaklık etkisi altında basınç dayanımlarının şahit numuneye kıyasla arttığı görülmüştür. 600°C yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmış numunelerin basınç kapasitelerinde ortalama %40 miktarında azalma olduğu görülmüştür. Numunelerde mermer tozu oranı artıkça 600°C yüksek sıcaklık etkisinde basınç dayanımlarında şahit numuneye kıyasla azalma olmuştur. 600°C yüksek sıcaklık etkisinde %10 mermer tozu içeren harç numunesi ile %20 oranında mermer tozu içeren harç karışımlarının birbirlerine yakın basınç dayanımlarına sahip oldukları görülmüştür. 900°C yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmış numunelerin basınç kapasitelerinde ortalama %65 miktarında azalma olduğu görülmüştür. Numunelerde mermer tozu oranı %5 olan harç karışımının şahit numune ile benzer basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Mermer tozu oranı artıkça 900°C yüksek sıcaklık etkisinde basınç dayanımının şahit numuneye kıyasla azaldığı görülmüştür.

3.9. Donma ve Çözülme Koşulları Altında Dayanıklılık Tayini Deneyi Sonuçları

Hazırlanan numuneler 24 saat sonra kalıplardan çıkartılarak $21\pm 1^{\circ}\text{C}$ de ki su içerisinde 28 gün kür edilmeye bırakıldı. Numuneler kür dolabından çıkarılarak $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ etüve yerleştirildi. 24 saat sonra etüvden çıkan numunelerin fırın kurusu ağırlıkları kaydedildi. Daha sonra numunelerin tamamen su içerisinde kalması sağlanarak plastik kaplarda derin dondurucuya konuldu. $-18\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta 3 saat kaldıktan sonra tekrar oda sıcaklığında çözülmesi beklendi ve tekrar dondurucuya konuldu. Bu tekrar her bir grup için 60 devir yapıldı. Deney sonrası elde edilen veriler Tablo 3.11.'de sunulmuştur.

Tablo 3.11. Donma - Çözülme deneyi sonuçları

Karışım No	Don Kaybı (%)	
	Ağırlıkça	Dayanım
M-0	0,8	1,3
M-5	0,7	1,7
M-10	0,9	1,4
M-15	2,2	4,2
M-20	2,4	7,6

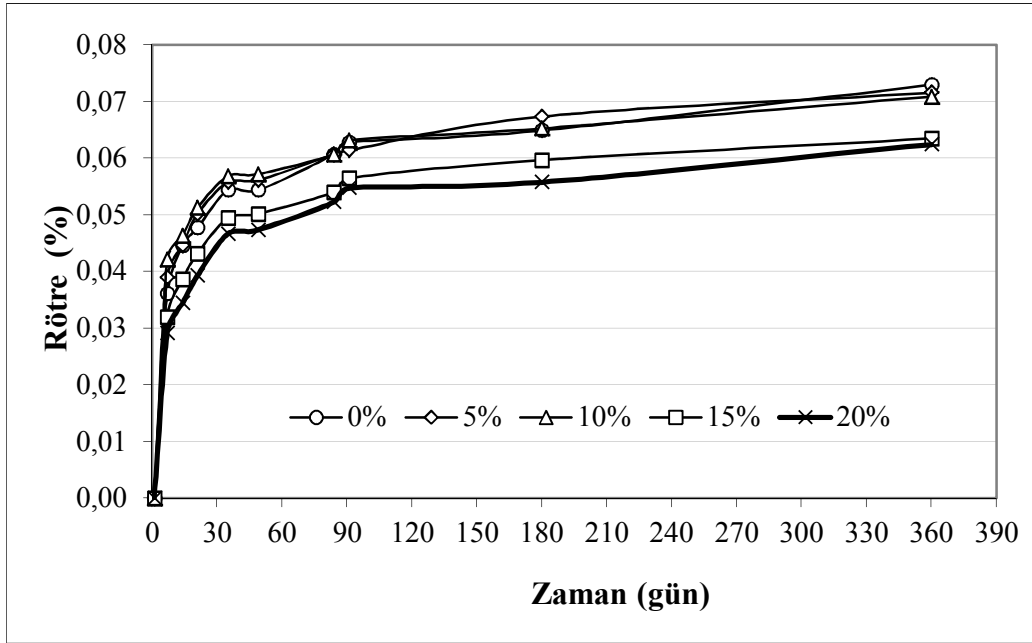


Şekil 3.12. Don kaybı ile mermer tozu ilişkisi

Donma çözülme deneyi sonrası elde edilen ağırlıkça ve dayanımca yüzde kayıplar ile mermer tozu oranı arasındaki ilişki Şekil 3.12.'de verilmiştir. Şekil 3.12. incelendiğinde, mermer tozu oranı arttıkça, donma kaybının arttığı görülmüştür. Buna sebep olarak mermer tozu katkılı numunelerin, su emme oranlarının yüksek olması gösterilebilir. Deney esnasında, çözünme safhasında daha fazla su emen mermer tozu katkılı numuneler donma esnasında daha fazla kayba maruz kalmaktadır. Su, numune içinde boşluklara dolmaktadır. Bu boşluklara nüfus eden su, donma esnasında genişerek numunede iç gerilmelere neden olmaktadır. Bu olay harç numunesinde ağırlık kaybına dolayısıyla dayanım kaybına neden olmaktadır.

3.10. Kuruma Rötire Tayini Deneyi Sonuçları

Çimento yerine ağırlıkça %0, %5, %10, %15, %20 oranlarında yer alan mermer tozu içeren harç karışımları üzerinde yapılan kuruma rötire tayini deneyi sonucu veriler ile oluşturulan grafik Şekil 3.13.'de verilmiştir.



Şekil 3.13 Rötre oranı ile mermer tozu oranı ilişkisi

Şekil 3.13. incelendiğinde mermer tozu oranı artıkça rötre miktarının azaldığı görülmüştür. Rötre oranında ilk günlerde hızlı bir artış olduğu ancak sonraki günlerde artış hızının azaldığı görülmüştür. Doksan günden sonra rötre oranındaki artış hızının iyice azaldığı görülmüştür. Mermer tozu katkısının %5 ve %10 olduğu harçların rötre değerlerinin Portland çimentolu şahit harç numunesine benzer olduğu ancak %15 ve %20 ikame oranlarındaki mermer tozu katkılı harçların rötre değerlerini oldukça azalttığı görülmüştür.

4. BÖLÜM

SONUÇLAR

Çimento yerine ikame eden mermer tozu oranı artıkça birim hacim ağırlığın azaldığı gözlenmektedir. Buna sebep olarak mermer tozunun özgül ağırlığının $2,34 \text{ g/cm}^3$, kullanılan çimentonun özgül ağırlığının $3,17 \text{ g/cm}^3$ olması gösterilebilir.

Mermer tozu oranı artıkça işlenebilirliğin arttığı görülmüştür. Şahit numuneye kıyasla mermer tozu katkılı numunelerin yayılma değerleri daha yüksek olduğu görülmüştür.

Harçlar her ne kadar katı cisimler olsa da içlerinde boşluklar bulunmaktadır. Bulunan bu boşlukların sürekli olması dayanımı olumsuz etkilediği bilinmektedir. Çimento yerine ağırlıkça ikame eden mermer tozu miktarı artıkça boşluk oranı dolayısı ile su emme oranı artmaktadır.

Çimento yerine ağırlıkça ikame eden mermer tozu oranı artıkça eğilme dayanımında şahit numuneye kıyasla azalma görülmektedir. Fakat 90 gün kür uygulanan, farklı oranlarda mermer tozu içeren numunelerin eğilme dayanımlarının yakın olduğu görülmüştür. %5 ikame oranında mermer tozu içeren harç karışımının 28 günlük kür sonrası eğilme dayanımın şahit numuneye ait aynı kür sonrası elde edilen eğilme dayanımı ile benzer olduğu görülmüştür. Numunelerin kendi ikame oranları içinde kür süreleri baz alınarak kıyaslandığında tüm oranlarda kür süresi artıkça dayanımın arttığı görülmüştür.

Bütün deney gruplarında kür süresi uzamasının basınç dayanımına pozitif bir etkisi olduğu açıkça görülmüştür. Buna neden olarak hidratasyon olayı gösterilebilir. Mermer tozu ikame oranı incelendiğinde, ağırlıkça çimento yerine % 5 oranında mermer tozu ikame eden, 7 günlük kür süreli harç karışımının, basınç dayanımının şahit numuneye yakın olduğu görülmüştür. Aynı ikame oranın 28 günlük kür süreli deney sonucu

incelendiğinde şahit numuneye ait değere daha da yaklaştığı görülmüştür. Yine %5 ikame oranında yapılan, 90 günlük kür süreli deney sonucunda, aynı şartlarda şahit numuneye kıyasla basınç dayanımının bir miktar yüksek olduğu görülmüştür. Mermer tozu ikame oranı %5'den fazla arttırıldığında şahit numuneye kıyasla basınç dayanımının azaldığı görülmüştür.

Kür süresinin aşınma direncini arttırdığı görülmüştür. Ancak mermer tozu ikame oranının artması ile aşınma kaybının arttığı görülmüştür.

Ağırlıkça çimento yerine ikame eden mermer tozu oranı artıkça karbonatlaşma derinliği artmaktadır. Buna neden olarak mermer tozu katkılı harçların boşluk oranının fazla olması gösterilebilir.

300°C yüksek sıcaklık etkisinde kalan numunelerin eğilme dayanımların ortalama %4 azaldığı görülmüştür. 600°C yüksek sıcaklık etkisinde numunelerin eğilme dayanımlarında ortalama %50 civarında azalma olduğu görülmüştür. 900°C yüksek sıcaklık etkisinde numunelerin eğilme kapasitelerinde ortalama %85 miktarında azalma olduğu görülmüştür. 300°C yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmış numunelerin basınç dayanımlarında 20°C tespit edilen basınç dayanımlarına kıyasla ortalama %5 miktarında artış olduğu görülmüştür. Numunelerde mermer tozu oranı artıkça 300°C yüksek sıcaklık etkisi altında basınç dayanımlarının, 20°C tespit edilen basınç dayanımlarına kıyasla oranın arttığı görülmüştür. 600°C yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmış numunelerin basınç kapasitelerinde ortalama %40 miktarında azalma olduğu görülmüştür. Numunelerde mermer tozu oranı artıkça 600°C yüksek sıcaklık etkisinde basınç dayanımlarında şahit numuneye kıyasla azalma olmuştur. 600°C yüksek sıcaklık etkisinde %10 mermer tozu içeren harç numunesi ile %20 oranında mermer tozu içeren harç karışımlarının birbirlerine yakın basınç dayanımlarına sahip oldukları görülmüştür. 900°C yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmış numunelerin basınç kapasitelerinde ortalama %65 miktarında azalma olduğu görülmüştür. Sonuç olarak yüksek sıcaklık etkisindeki harçların eğilme ve basınç dayanımlarına mermer tozu katkısının etkisinin olmadığını görülmüştür.

Mermer tozu oranı artıkça, donma kaybının arttığı görülmüştür. Buna sebep olarak mermer tozu katkılı numunelerin, su emme oranlarının yüksek olması gösterilebilir.

Deney esnasında, çözünme safhasında daha fazla su emen mermer tozu katkılı numuneler donma esnasında daha fazla kayba maruz kalmaktadır. Su, numune içinde boşluklara dolmaktadır. Bu boşluklara nüfus eden su, donma esnasında genişerek numunede iç gerilmelere neden olmaktadır. Bu olay harç numunesinde ağırlık kaybına dolayısıyla dayanım kaybına neden olmaktadır.

Mermer tozu oranı artıkça rötre miktarının azaldığı görülmüştür. Rötre oranında ilk günlerde hızlı bir artış olduğu ancak sonraki günlerde artış hızının azaldığı görülmüştür. Doksan günden sonra rötre oranındaki artış hızının iyice azaldığı görülmüştür. Mermer tozu katkısının %5 ve %10 olduğu harçların rötre değerlerinin Portland çimentolu şahit harç numunesine benzer olduğu ancak %15 ve %20 ikame oranlarındaki mermer tozu katkılı harçların rötre değerlerini oldukça azalttığı görülmüştür.

KAYNAKLAR:

1. Demirel, B., Yazıcıoğlu, S. 2010. İnce malzeme olarak kullanılan atık mermer tozunun betonun mekanik özellikleri üzerine etkisi. *International Sustainable Buildings Symposium*. Ankara
2. Filiz, M., Özel, C., Soykan, O., Ekiz, Y. 2010. Atık mermer tozunun parke taşlarında kullanılması. **Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi**, 6(2) 57-72.
3. http://tr.wikipedia.org/wiki/Mermer_Atiklarinin_Değerlendirilmesi (Erişim tarihi: Haziran 2014).
4. Ünal, O., Kibici, A. 2001. Mermer tozu atıklarının beton üretiminde kullanılmasının araştırılması. *Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersem '2001) Bildiriler Kitabı* 3. Afyon.
5. Yıldız, A. H., 2008. Mermer Toz Atıklarının Yol İnşaatında Değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta.
6. Çelik, M. Y., 1996. Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar.
7. Bilensoy, M., 2010. Mermer Fabrikaları Toz Atıklarının Değerlendirilmesi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
8. Ceylan, H., 2000. Mermer Fabrikalarındaki Mermer Toz Atıklarının Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 50 s.
9. Yıldız, T., 2012. Atık Mermer Tozu Ve Cam Elyaf Katkısının Birlikte Kullanımının Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 58 s.
10. Bilgin, N., 2010. Mermer Tozu Atıklarının Yapı Malzemesi Üretiminde Kullanımı. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 98 s.
11. Muratoğlu, İ., 2010. Atık Mermer Tozu Katkılı Killi Zeminlerin Konsolidasyon Ve Permeabilite Özelliklerinin Araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyon, 96 s.

12. Gücek, S., 2011. Mermer Tozu Ve Uçucu Külün Kil Zeminlerin İyileştirilmesinde Kullanımı. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyon, 77 s.
13. TS EN 3527, 1980. Beton agregalarında ince madde tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
14. TS EN 1008, 2003. Beton-Karma Suyu-Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su da Dahil Olmak Üzere Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
15. Erdoğan, T. Y., 2003. Beton ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara
16. TS EN 196-1, 2002. Çimento Deney Metotları – Bölüm 1: Dayanım Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
17. TS EN 1015-3, 2000. Kagir Harcı Deney Metotları-Bölüm 3: Taze Harç Kıvamının Tayini (Yayıma Tablası ile). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
18. TS EN 1015-11, 2000. Kagir Harcı Deney Metotları-Bölüm 11: Sertleşmiş Harcın Basınç ve Eğilme Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
19. TS 2824 EN 1338, 2005. Zemin döşemesi için beton kaplama blokları – Gerekli şartlar ve deney metotları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
20. Karahan, O., 2006. Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 241 s.
21. Cilason, N., Aksoy, N., 2000. Beton Yapı Hasarları Onarım ve Korunması ve Sıcak İklimlerde Beton. Lebib Yalkın Yayınları, İstanbul, 152 s.
22. TS 3453, 1981. Beton Elemanlarda Büzülme Oranı (Rötre) Tayini Metodu. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Kenan YAMANEL

Uyruğu: Türkiye (TC)

Doğum Tarihi ve Yeri: 26 Ağustos 1986, Keskin

Medeni Durumu: Bekâr

Tel: +90 506 688 96 71

email: kenan_yamanel@hotmail.com

Yazışma Adresi: Altınoluk Mah. Neslihan Sok. No:16/36 Melikgazi/KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	EÜ Y.M.M.F. İnşaat Müh.	2009
Lise	Sami Yangın Anadolu Lisesi, Kayseri	2004

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2014- Halen	Yüksel Proje A.Ş.	Hakediş ve Planlama Uzmanı
2012–2014	Başyazıcıoğlu A.Ş.	Saha Mühendisi
2009–2012	Tepe İnşaat A.Ş.	Teknik Ofis Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce