T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AGREGA TOZ ATIĞININ ÇİMENTO HARCINDA KULLANIMINA YÖNELİK ALTERNATİF YAKLAŞIMLAR

Ahmet Serhat MUSAOĞULLARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Programı

Danışman

Doç. Dr. Nihat KABAY

Nisan, 2021

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AGREGA TOZ ATIĞININ ÇİMENTO HARCINDA KULLANIMINA YÖNELİK ALTERNATİF YAKLAŞIMLAR

Ahmet Serhat MUSAOĞULLARI tarafından hazırlanan tez çalışması 30.04.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Nihat KABAY
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Nihat KABAY, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Didem OKTAY, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Büşra AKTÜRK, Üye
İstanbul Bilgi Üniversitesi _____

Danışmanım Doç. Dr. Nihat KABAY sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Agrega Toz Atığının Çimento Harcında Kullanımına Yönelik Alternatif Yaklaşımlar başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Ahmet Serhat MUSAOĞULLARI

İmza

Aileme

ve

biricik eşime

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Nihat KABAY' a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

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

Ahmet Serhat MUSAOĞULLARI

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ ix

TABLO LİSTESİ x

ÖZET xi

ABSTRACT xiii

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti ... 3

1.1.1 Atık Döküm Kumu ... 3

1.1.2 Tarımsal Atıklar ... 4

1.1.3 Kağıt Atıklar ... 5

1.1.4 Lastik Atıkları ... 6

1.1.5 Seramik Atıkları ... 6

1.1.6 Mermer Atıkları ... 7

1.1.7 Cam Atıkları ... 8

1.1.8 Beton Atıkları ... 8

1.1.9 Uçucu Kül ... 9

1.1.10 Granit Atığı ... 10

1.2 Tezin Amacı ... 11

1.3 Hipotez ... 12

2 MALZEMELER VE YÖNTEM 13

2.1 Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler ... 13

2.1.1 Çimento ... 13

2.1.2 Atık Malzeme ... 13

2.1.3 Agrega ... 14

2.1.4 Kimyasal Katkı ... 15

2.2 Karışım Tasarımı, Numune Üretimi ve Kürü ... 15

3 KONTROL DENEYLERİ 18

3.1 Taze Harç Deneyleri ... 18

3.1.1 Yoğunluk Deneyi ... 18

3.1.2 Yayılma Deneyi ... 19

3.2 Sertleşmiş Harç Deneyleri ... 20

3.2.1 Basınç Deneyi 20
3.2.2 Yoğunluk, Su Emme ve Boşluk Oranı Deneyi 20
3.2.3 Kılcal Su Emme Deneyi 21
3.2.4 Klorür Geçirimlilik Deneyi 22
4 DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ 27
4.1 Taze Harç Deney Sonuçları ve İrdelenmesi 27
4.1.1 Yoğunluk 27
4.1.2 Yayılma 27
4.2 Sertleşmiş Harç Deney Sonuçları ve İrdelenmesi 29
4.2.1 Basınç Dayanımı 29
4.2.2 Yoğunluk, Su Emme ve Boşluk Oranı 33
4.2.3 Kılcal Su Emme 36
4.2.4 Klorür Geçirimliliği 38
5 SONUÇ VE ÖNERİLER 41
KAYNAKÇA 43
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 50

SİMGE LİSTESİ

I	Akım
Al_2O_3	Alüminyum Oksit
ZnO	Çinko Oksit
dk	Dakika
°C	Derece (Celcius)
Fe_2O_3	Demir (III) Oksit
P_2O_5	Fosfor pentaoksit
Gr	Gram
gr/cm^3	Gram/Santimetreküp
$Ca(OH)_2$	Kalsiyum Hidroksit
CaO	Kalsiyum Oksit
kg	Kilogram
kg/dm^3	Kilogram/Desimetreküp
kg/m^3	Kilogram/Metreküp
kN	Kilonewton
Cl	Klorür
Cr_2O_3	Kromyum (III) Oksit
SO_3	Kükürt trioksit
MgO	Magnezyum Oksit
MnO	Manganez Oksit
MPa	Megapaskal
m^2/sn	Metrekare/Saniye
m^3	Metreküp
μm	Mikrometre
mA	Miliamper
mbar	Milibar
ml	Mililitre
mm	Milimetre
mm^2	Milimetrekare
mm^3	Milimetreküp
N	Newton
K_2O	Potasyum Oksit
sn	Saniye
SiO_2	Silisyum dioksit
NaOH	Sodyum Hidroksit
NaCl	Sodyum Klorür
Na_2O	Sodyum Oksit
SrO	Stronsiyum Oksit
TiO_2	Titanyum dioksit
V	Volt
ρ	Yoğunluk

KISALTMA LİSTESİ

A	Agrega İkame Yöntemi
ASTM	American Society for Testing and Materials
AYÇ	Agrega Yıkama Çamuru
WAS	Washing Aggregate Sludge
C	Çimento İkame Yöntemi
CEM I	CEM I Portland Çimentosu
EN	Europeane Norm
NT	NordTest
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
P	Çimento Hamuru İkame Yöntemi
Ref	Referans

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Çalışmada kullanılan çimento 13
Şekil 2.2 Çalışmada kullanılan atık malzeme 13
Şekil 2.3 Çalışmada kullanılan ince agregalar: (a) doğal kum, (b) kırma kum ..15
Şekil 2.4 Atık malzemenin kullanımı (a) çimento ile ikame, (b) agrega ile ikame, (c) çimento hamuru ile ikame 16
Şekil 2.5 Kür işlemine tabi tutulan harç numuneler 17
Şekil 3.1 Akış tablası 19
Şekil 3.2 Kılcal su emme deneyi şeması 21
Şekil 3.3 Numune, kelepçeler ve anot ile birleştirilmiş kauçuk kılıf 23
Şekil 3.4 Klorür geçirimliliği deney düzeneği 24
Şekil 3.5 Klorür işleme derinliğinin belirlenmesi 25
Şekil 4.1 Yayılma deneyi 28
Şekil 4.2 Basınç deneyi 29
Şekil 4.3 Çimento ikameli serinin basınç dayanımı gelişimi 30
Şekil 4.4 Agrega ikameli serilerin basınç dayanımı gelişimi 31
Şekil 4.5 Çimento hamuru ikameli serilerin basınç dayanımı gelişimi 32
Şekil 4.6 Basınç dayanımının ikame oranı ve yöntemine bağlı değişimi 33
Şekil 4.7 Etüv kurusu yoğunluğun ikame oranı ve yöntemine bağlı değişimi 34
Şekil 4.8 Su emme oranının ikame oranı ve yöntemine bağlı değişimi 35
Şekil 4.9 Boşluk oranının ikame oranı ve yöntemine bağlı değişimi 36
Şekil 4.10 Kılcal su emme deneyi 36
Şekil 4.11 Harç serilerin kılcal su emme-zaman grafikleri 37
Şekil 4.12 Kılcal su emme katsayısının ikame oranı ve yöntemine bağlı değişimi 38
Şekil 4.13 Harç numunelerde klorür işleme derinliğinin belirlenmesi 38
Şekil 4.14 Klorür geçirimlilik katsayısının ikame oranı ve yöntemine bağlı değişimi 39

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Farklı atık malzeme türlerinin yapı sektöründe kullanımı 2
Tablo 2.1 Atık malzeme ve çimentonun kimyasal bileşimi 14
Tablo 2.2 1 m^3 harç için malzeme miktarları (kg).....16
Tablo 3.1 Ölçüm süreleri ve tolerans değerleri 22
Tablo 3.2 Deney koşullarının belirlenmesi 24
Tablo 4.1 Harç serilerin taze yoğunluğu 27
Tablo 4.2 Yayılma deneyi sonuçları 28
Tablo 4.3 Basınç dayanımı sonuçları.....29
Tablo 4.4 Harç numunelerin yoğunluk, su emme ve boşluk oranı değerleri.....33
Tablo 4.5 Harç serilerin kılcal su emme katsayıları.....37
Tablo 4.6 Harç serilerin klorür geçirimlilik katsayıları 39
Tablo 4.7 İkame yönteminin harç serilerin fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerine etkileri 40

ÖZET

Agrega Toz Atığının Çimento Harcında Kullanımına Yönelik Alternatif Yaklaşımlar

Ahmet Serhat MUSAOĞULLARI

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Nihat KABAY

Madencilik faaliyetleri, tüm dünyada doğayı çeşitli yönlerden etkileyen önemli sorunlar yaratmaktadır. Atık malzemelerin bertaraf edilmesi su kaynaklarının kirlenmesine, çevre kirliliğine ve yerel ekolojinin tahrip olmasına neden olur. Bu nedenle, atık malzemelerin kullanımı için ortaya konulan herhangi bir strateji, sürdürülebilir kalkınmaya yardımcı olacaktır. Bu çalışmada, bu nedenle, agrega yıkama çamuru (AYÇ) atık malzemesinin çimento esaslı harçlarda kullanımı araştırılmıştır. Bu çalışmada AYÇ' den elde edilen atık toz malzeme, çimento harcına; çimento ile, agrega ile ve çimento hamuru ile ikame edilerek üç farklı şekilde kullanılmıştır. Her üç yöntemde de AYÇ ikame oranı %0, %10, %20 ve %30 olarak belirlenmiştir. AYÇ ile modifiye edilmiş harçların taze ve sertleşmiş hal özellikleri yayılma, yoğunluk, su emme, boşluk içeriği, basınç dayanımı, kılcal su emme ve klorür geçirimliliği deneyleri ile belirlenmiştir. Deney sonuçları AYÇ' nin harç serilerin fiziksel özellikleri üzerindeki etkisinin, ikame yöntemine bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. AYÇ' nin çimento ile ikame edilmesi, referans seriye kıyasla daha yüksek su emme, boşluk içeriği, kılcal su emme ve klorür geçirimliliğine sebep olmuş, etüv kurusu yoğunluğun ise azaldığı gözlenmiştir.

Bununla birlikte, AYÇ' nin ince agrega ile ikame edilmesi, basınç dayanımını önemli ölçüde değiştirmemiştir. AYÇ, çimento ile ikame edildiğinde ise referans seriye göre basınç dayanımı daha yüksek seviyelerde azalmıştır. AYÇ' nin çimento hamuru ile ikame edilmesi, su emme oranını, boşluk oranını, kılcal su emmeyi ve klorür geçirimliliğini azaltmış ve etüv kurusu yoğunluğu artırmıştır.

Anahtar Kelimeler: Agrega yıkama çamuru atığı, çimento harcı, basınç dayanımı, fiziksel özellikler, klorür geçirimliliği

ABSTRACT

Alternative Approaches for the Use of Aggregate Powder Waste in Cement Mortar

Ahmet Serhat MUSAOĞULLARI

Department of Civil Engineering

Master of Science Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Nihat KABAY

The mining activities create considerable problems all over the world that affect nature in several aspects. The disposal of waste materials causes contamination of water sources, environmental pollution, and the destruction of local ecology. Therefore any strategy put forward for the utilization of waste materials will help to sustainable development. This study, therefore, aims to research the possibility of utilizing washing aggregate sludge (WAS) in cement composites. The washing aggregate sludge was then incorporated into the cement mortar by using three different methods, namely, the cement substitution method, the aggregate substitution method and the cement paste substitution method. In each methods, the substitution ratio of WAS was set as 10, 20 and 30% by volume of cement, aggregate, and cement paste, respectively. The fresh and hardened properties of the WAS modified mortars were obtained by determining the flow value, fresh density, oven-dry density, water absorption, voids content, compressive strength, initial sorptivity and chloride migration. The effect of WAS on the physical properties varied depending on the incorporation method. The substitution of WAS by cement resulted in higher water absorption, voids content, initial

sorptivity, chloride migration and lower oven-dry density, compared to those of the reference. However, substituting WAS with aggregate did not significantly alter the compressive strength. The compressive strength reduced at higher levels when WAS was substituted with cement. The substitution of WAS by cement paste resulted in lower water absorption, voids content, initial sorptivity and chloride migration, higher oven-dry density compared to those of the reference.

Keywords: Aggregate washing sludge waste, cement mortar, compressive strength, physical properties, chloride migration

1
GİRİŞ

Son zamanlarda, inşaat faaliyetlerinin hızlı büyümesiyle birlikte artan nüfus ve artan kentleşme, yüksek kaliteye sahip malzeme kullanımında önemli bir talebe neden olmuştur. Talebi karşılamak için madencilik aktiviteleri ve doğal kaynak tüketimi artmış, özellikle son yıllarda ülkemizle birlikte dünyanın birçok yerinde kaynakların azalmasına yol açmıştır [1, 2]. Bu madencilik faaliyetleri sonuç olarak su kaynaklarının kirlenmesi, çevre kirliliği ve ekolojik yapının tahrip olması gibi çeşitli sorunlar yaratmaktadır [3]. Bu nedenle, atık malzemeleri kullanarak ve/veya geri dönüştürerek bu sorunların üstesinden gelmek için sürdürülebilir çözümler ortaya koymak gerekmektedir [4]. Buradan hareketle endüstriyel ve tarımsal atıkların kullanımı birçok araştırmacı için önemli bir araştırma konusu olmuştur [5, 6].

Endüstriyel işlemlerden kaynaklanan yan ürünler tüm dünyada büyük miktarlarda üretilmekte ve bunların işlenmesi ve bertarafı önemli ölçüde çaba gerektirmekte, ayrıca maliyet ve çevre sorunlarını artırmaktadır [7]. Öte yandan, bina yıkıntılarından elde edilen atık beton parçaları, atık cam, tuğlalar, seramik karolar ve kauçuklar gibi inşaat katı atıklarının, çimento ilave/ikame malzemesi veya agrega olarak olası kullanım için araştırmalar devam etmektedir [8-11].

Puzolan malzemelerin aksine, kireçtaşı tozu, kayaç tozu, maden cevher tozları, deniz kabuğu atıkları ve diğer inert katı atıklar gibi çimentoya benzer tane büyüklüğüne sahip toz malzemeler genellikle bağlayıcı özellik göstermezler [12]. Bununla birlikte, son araştırmalar, bu tür ince malzemelerin kullanımının, basınç dayanımı [13,14], işlenebilirlik [15], maliyet ve en önemlisi atık malzemelerin verimli bir şekilde kullanımı [16] ile betonun farklı perspektiflerde performansını artırabileceğini göstermektedir. Toz malzemelerin çimento harcı veya betonda kullanımı genellikle çimento ile veya agrega ile farklı oranlarda ikame edilmesiyle gerçekleştirilmektedir [12].

Yapı sektöründe kullanılan atık malzemeleri elde edildikleri kaynaklara göre, kentsel, endüstriyel, tarımsal ve maden/mineral atıklar olarak çeşitli gruplara ayırmak mümkündür (Tablo 1.1). Atıkların geri dönüştürülmesi ve yapı malzemesi olarak yapı sektöründe kullanım imkanı Tablo 1.1' den anlaşılmaktadır [17].

Tablo 1.1 Farklı atık malzeme türlerinin yapı sektöründe kullanımı [17]

Atık Madde Grubu	Atık İçeriği ve Kaynağı	Yapı Sektöründe Kullanımı
Tarımsal Atıklar	Hayvan atıkları, hasat atıkları, ağaç ve kereste atıkları	Yalıtım malzemesi, duvar panelleri, çatı levhaları bağlayıcılar, lifli yapı panoları, tuğla, aside dayanıklı çimento
Endüstriyel Atıklar	Cam ve seramik atıklar, kanalizasyon atıkları, evsel kullanımdan kaynaklanan katı atıklar, kullanılmış lastik, plastik ve kağıt atıkları	İnce-kaba agrega, bloklar, tuğlalar, çimento klinkeri, hidrolik bağlayıcı
Kentsel Atıklar	Yüksek fırın cürufu, çimento ve kireç fırını partikül atıkları, inşaat ve moloz atıkları, taş ocağı atıkları, dökümhane atıkları, kağıt hamuru atıkları, asfalt ve beton kaplama atıkları	Tuğla, bloklar, çimento, boya, ince ve kaba agrega, beton, ahşap değiştirme ürünleri, seramik ürünler
Maden/Mineral Atıklar	İşlenmiş maden atıkları, maden ocağı atıkları, fosfojips, kaya atıkları	Tuğla, ince ve kaba agrega, fayans

Yukarıda açıklandığı gibi, doğal kaynakların kullanımını azaltmaya yönelik ve aynı zamanda atık malzemeleri kullanmaya yardımcı olacak her türlü strateji sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunacak ve ortaya çıkan çevresel ve ekonomik sorunları azaltacaktır. Bu nedenle bu çalışmada, yerel bir agrega ocağı tesisinden elde edilen agrega atık malzemesi, belirli oranlarda çimento, ince agrega ve

çimento hamuru ile ikame edilerek çimento esaslı harçta kullanılmış ve harcın taze ve sertleşmiş özelliklerine etkisi ve performansı karşılaştırmalı olarak araştırılmış ve irdelenmiştir.

1.1 Literatür Özeti

Dünya genelinde ve ülkemizde farklı atık malzemelerin çimento esaslı kompozitlerde kullanımının araştırıldığı birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların bazıları olumlu bazıları ise olumsuz sonuçlar vermiştir. Bununla birlikte, yapılan her çalışmanın, ilerde yapılacak birçok çalışmaya ışık tutacağı ve daha az doğal hammadde kullanımı ile yapı sektöründe bir miktar maliyetin düşürülmesine ve daha sürdürülebilir bir çevre imkanı sunmaya yardımcı olacağı açıktır. Çalışmanın bu bölümünde, ülkemizde ve dünyada farklı atık malzemelerin çimento harcı ve/veya beton içerisinde kullanımı ile ilgili örnek çalışmalara yer verilmiştir.

1.1.1 Atık Döküm Kumu

İstenilen formda metal üretimi, eriyik halde bulunan metallerin kalıplara dökülmesi ve soğutulması yöntemi ile yapılabilmektedir. Kum kalıba döküm yöntemi de uygulanan yöntemlerden bir tanesidir. Bu yöntemde kullanılan malzemeler kum, su ve bağlayıcı malzemelerdir. Eriyik haldeki metallerin kum kalıplara dökülmesi ve bu işlemin sürekli yapılması neticesinde kumda özellikle aşınma ve ısı kaynaklı problemler meydana gelmektedir. Bu nedenle kumun sürekli değiştirilmesi gerekmektedir [18]. Dökümhanelerde yılda ortalama 9-13 milyon ton arası atık kum ortaya çıkmaktadır [19].

Atık döküm kumunun agrega ile %20 oranında ikame edildiği bir çalışmada, deney sonuçları bu ikame ile birlikte betonun su emme oranında ve kılcal su emme katsayısında yaklaşık %10' a kadar bir artış olduğunu ve basınç dayanımında da bir miktar azalma olduğunu göstermiştir [20].

Farklı bir çalışmada, %15' e kadar atık kum ikamesinin betonun basınç dayanımını artırdığı bildirilmiştir. %20 ikame oranında ise basınç dayanımında azalma olduğu; nedeninin de ince partiküllerin yüzey alanındaki artışından dolayı

matristeki çimento jelinin azalmasına yol açmış olabileceği bundan dolayı da iri ve ince agregalar ile çimento hamuru aderansının azaldığı bildirilmiştir [21].

Yapılan bir başka çalışmada ise standart beton karışımında doğal kum yerine %15 oranında atık döküm kumu kullanılmış ve farklı su/çimento oranlarında karışımlar hazırlanarak betonun fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Deney sonuçları, atık döküm kumu kullanımının betonun mekanik ve fiziksel özelliklerini olumsuz yönde etkilediğini göstermiştir. Buna rağmen atık döküm kumunun dolgu beton içerisinde kullanılabileceği önerilmiş ve özellikle ekonomik açıdan çeşitli faydalar sağlayacağı bildirilmiştir [22].

1.1.2 Tarımsal Atıklar

Tarım atıklarının geri dönüşümü konusunda yapılan bir çalışmada, yerfıstığı kabuğu hafif agrega olarak kullanılmış ve çimento esaslı numuneler üretilmiştir. Çalışmanın sonunda yerfıstığı kabuğu kullanılan çimento esaslı bağlayıcıların referans numunelere göre daha sünek bir yapıda olduğu belirtilmiştir. Ayrıca yerfıstığının dış hava koşullarına dayanıklı olmasından dolayı, yerfıstığı kabuğu içeren çimento esaslı yapı malzemelerinin yapıların dış mekanlarında kaplama olarak kullanımının uygun olacağı belirtilmiştir [23].

Farklı bir tarımsal atık olan çay atığı üzerine yapılan bir çalışmada ise çay fabrikalarında, çay üretimi sonrasında meydana gelen atıkların betonda lif olarak kullanılabilirliği ve beton üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada, 1 m^3 beton içerisine 1, 3, 5, 7, 9 kg çay atığı ilave edilen numuneler ve hiç atık bulunmayan referans numune hazırlanmıştır. Basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ses geçiş hızı ve beton test çekici deneylerinin sonucunda 7 kg atık ilave edilerek elde edilen beton numunesinin referans ve diğer numunelere göre daha iyi sonuçlar verdiği, ancak aşınma deneyi sonucunda ise 5 kg ilave edilen beton numunesinin en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir [24].

Talaş, yonga levhaların ana bileşenidir. Yanıcılığı açısından imalat sanayinde tehlikeli bir madde olarak değerlendirilmektedir [25]. Hafif beton yapımında talaş kullanımı son yıllarda dikkat çekmektedir [26]. Doğal kum yerine atık talaş

külünün kullanıldığı bir çalışma sonucunda bu atığın betonda ince agrega olarak kullanılabileceği önerilmiştir [27].

Pirinç kabuğu, pirinç üretim işleminin ortasında pirinç tanelerinin dış kaplamasından elde edilen temel tarım atıklarından biridir. Pirinç kabuğunun yararlı bir uygulaması yoktur ve genellikle kirlilik problemi yaratan bir atık madde olarak ele alınmaktadır [28]. Pirinç kabuğunun düşük besin özelliği nedeniyle besleyiciliği yoktur. Bu nedenle, pirinç kabuğu atıkları genellikle pirinç üretim tesislerinde ve elektrik santrallerinde yakıt olarak kullanılmaktadır [29]. Literatürde, pirinç kabuğu külünün betonda çimento ikame malzemesi olarak kullandığı pek çok çalışma mevcuttur [28, 29, 30]. Yapılan bir çalışmada, pirinç kabuğu ve kireçtaşı birlikte agrega ikame malzemesi olarak kendiliğinden yerleşen betonda kullanılmıştır. Pirinç kabuğu külünün tek başına kullanımı birim ağırlığı, işlenebilirliği, basınç dayanımını azaltmıştır. Uygun oranlarda kireçtaşı ve pirinç kabuğunun birlikte ince agrega ile ikame edilmesinin dolgu etkisi ve puzolanik reaksiyonlar nedeniyle erken yaşlarda yüksek basınç dayanımı sağlayacağı bildirilmiştir [31].

1.1.3 Kağıt Atıklar

Geri dönüştürülen atıkların yaklaşık olarak %43' ünü kâğıt, %27' sini plastik, %12' sini cam, %8' ini tekstil ürünleri ve %4' ünü de metaller oluşturmaktadır [32]. Kağıt üretiminde bitkisel lifler ve bazı kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Üretim sürecinde suya ve havaya yapılan salınımlar ve fazla miktarda enerji tüketimi çevre açısından ciddi problemler teşkil etmektedir [33].

Bir çalışmada karışım oranı 1:3:0,5 (çimento:kum:su) olan harç numunesinde kağıt atık malzemesi, kum ile hacimce %0, 25 ve 50 oranında ikame edilerek kullanılmıştır. Numunelere ait birim ağırlıklar 1,68-2,31 kg/dm^3 arasında değişmiş, genel olarak kağıt atığı miktarı arttıkça referans numunesine göre birim ağırlığın azaldığı gözlemlenmiştir. Bu yüzden kağıt atığının hafif beton üretiminde kullanılabileceği önerilmiştir [34].

1.1.4 Lastik Atıkları

Ulaşımda taşıt ihtiyacının artması ve taşımacılık sektörünün ilerlemesine bağlı olarak lastik üretimi de hızlanmıştır. Dünyada ve ülkemizde lastik üretiminin artması beraberinde atık lastiklerin de artması problemini getirmiştir. TÜİK verilerine göre ülkemizde Eylül 2020 itibari ile trafiğe kayıtlı 23.854.820 araç vardır [35] ve her geçen zaman da bu sayı artmaktadır.

Genel anlamda atık lastiklerin beton içerisinde agrega olarak kullanıldığı çalışmalarda, betonun eğilme dayanımı ve basınç dayanımında azalma görüldüğü belirtilmiştir [37, 38, 39]. Bir çalışmada ise lastik atığın %20 oranında kullanımı ile taşıyıcı hafif beton, %60 oranında kullanımı ile de orta dayanımlı hafif beton üretiminin yapılabileceği ifade edilmiştir [36].

Yapılan farklı çalışmalarda, çimento esaslı numunelere hacimce %0, 10, 20, 30, 40 ve 50 oranlarında atık lastik kum ile ikameli olarak ilave edilmiş, hazırlanan numunelerin taze ve sertleşmiş birim ağırlıkları, basınç ve eğilme dayanımları tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre birim ağırlıklarında ve basınç dayanımlarında katkı oranı arttıkça azalmalar görülmüştür. Eğilme dayanımlarında ise %50 ilaveli numunelerde azalma görülürken diğer ikame oranlarında bir miktar artış gözlenmiştir [40, 41].

1.1.5 Seramik Atıkları

Seramik, tüm dünyada uzun süredir kullanılmaktadır. Bununla birlikte, seramik ürünlerin imalatında ve binaların yıkılması sırasında büyük miktarda seramik atığı açığa çıkmaktadır. Seramik atıkları ciddi çevresel problemleri beraberinde getirmekte ve geniş bir depolama alanı işgal etmektedir. Seramik atığın sadece küçük bir kısmı kırma veya öğütme işleminden geçirilerek harç veya beton üretiminde çimento veya agreganın yerini alarak tekrar kullanılmaktadır [8].

Literatürde seramik atıkların çimento ikame malzemesi olarak kullanımına yönelik bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Çimento yerine %40’ a kadar öğütülmüş seramik atığı kullanılan bir çalışmada, betonun donma direncinin referans beton kadar iyi olduğu gözlenmiştir [42].

Çimento yerine %25' e kadar seramik atığı eklenen farklı bir çalışmada ise harcın dayanımı üzerinde çok az olumsuz etkisi olduğu ortaya koyulmuştur [43].

Agrega ikameli çalışmalarda ise; %9' a kadar agrega ikameli porselen atığı kullanımının, basınç dayanımını etkilemeyeceği görülmüştür [44].

Farklı bir çalışmada ise %30 oranında ince agrega ikameli seramik atığı kullanımının, referans betona kıyasla benzer veya daha iyi mekanik ve dayanıklılık özellikleri gösterdiği belirtilmiştir [45].

1.1.6 Mermer Atıkları

Endüstriyel işlemlerden elde edilen yan ürünler dünya çapında büyük miktarlarda üretilmektedir ve bunların kullanımı, işlenmesi ve elden çıkarılması oldukça fazla çaba gerektirmekte, çevresel sorunları ve maliyeti arttırmaktadır [46]. Süs mermerinin kesilmesi ve şekillendirilmesi sırasında ortaya çıkan atık miktarının, işlenen toplam mermerin %20–25' ine karşılık geldiği tahmin edilmektedir [47]. Bu durum büyük miktarda mermer atığı oluşmasına yol açmaktadır.

Bir çalışmada, mermer tozunun dolgu etkisi ile çimento esaslı harçlarda erken yaş dayanımını arttırdığı ve en uygun çimento ikame oranının %10 olduğu deneysel olarak belirlenmiştir [48]. Mermer tozunun çimento ve ince agrega ikameli olarak, ağırlıkça %15' e kadar çeşitli oranlarda test edildiği farklı bir çalışmada, çimento ikameli olarak kullanıldığında çimento harcı ve beton dayanımında düşüş gözlenmiş, fakat ince agrega ikameli olarak kullanıldığında beton dayanımında bir miktar artış olduğu bildirilmiştir [14]. Farklı bir çalışmada, betonda atık mermer bağlayıcı ve ince/kaba agrega olarak kullanmıştır. Sertleşmiş beton özelliklerinin olumlu yönde etkilendiği gözlenirken, kendiliğinden yerleşen betonda, atık mermer oranlarının artmasının mekanik özellikleri düşürdüğü belirlenmiştir [49]. Başka bir çalışmada, betonda çimento ikame malzemesi olarak 100 μm altında mermer tozu atığı kullanılmış, mermer tozu atığının betonun su ihtiyacını arttırdığı, diğer yandan %20' ye kadar ikame oranında mekanik dayanımda artış gözlendiği bildirilmiştir [50].

1.1.7 Cam Atıkları

Dünyadaki tüketim artışına paralel olarak cam atık miktarı da günden güne artmaktadır. Atık cam doğada biyolojik olarak parçalanmadığından depolama sahalarında büyük miktarda yer işgal etmektedir. Ayrıca su ve toprak kirlenmesi gibi ciddi çevresel problemlere de yol açmaktadır [51].

Dünyada ve ülkemizde cam atık miktarını azaltmak için geri dönüşüm yöntemleri üzerinde çalışılmaktadır. Bunlardan biri de cam atıklarını inşaat sektöründe kullanmaktır. Bir çalışmada, normal Portland çimentosu içerisine %5, 10, 15, 20, 25, 30 oranlarında öğütülmüş cam atığı katarak katkılı çimento elde edilmiş, hazırlanan numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri referans çimentoya göre karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, hacim genleşmesi miktarlarında, referans numuneye benzer ya da daha az değerler elde edildiği, basınç dayanımlarında ise ilk günlerde düşüş gözlemlenirken daha sonraki günlerde değerlerin iyileştiği bildirilmiştir. Sonuç olarak, çimento içerisinde şartlar ve kullanım yerleri de dikkate alınmak koşuluyla, %30' a kadar cam atığı kullanılabileceği ifade edilmiştir [52].

1.1.8 Beton Atıkları

Günümüzde inşaat ve yıkıntı atıkları, oranları ülkeye ve şehre göre değişmekle birlikte, katı atıklar içerisinde büyük bir pay tutmaktadır [53,54]. Konut, okul, hastane ve endüstriyel tesisler gibi yapıların yıkım, tadilat, tamirat, güçlendirme, bakım ve iyileştirme faaliyetleri, karayolları, demir yolları ve hava alanı pistlerinin yapımı, yıkımı, tadilatı ve tamiratı faaliyetleri sonucunda inşaat ve yıkıntı atıkları ortaya çıkabilmektedir [55].

Örnek bir çalışmada, dört farklı beton sınıfından elde edilen geri dönüşüm agregaları ile üretilen betonun yoğunluk, ultrases ve basınç dayanımı özellikleri incelenmiş, sonuç olarak yıkıntı atığı agregası ile üretilen betonun özelliklerinin, bir alt sınıftaki beton özelliklerine yaklaştığı bildirilmiştir [56].

Yapılan bir çalışmada da, doğal agrega ağırlıkça %5, 10, 15, 20, 25 oranlarında geri dönüşüm ve inşaat moloz atığı ile ikame edilmiş ve elde edilen betonun

mekanik ve fiziksel özellikleri referans beton ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın neticesinde, genel olarak beton tasarımında önemli bir değişiklik yapılmadan %5 oranında atık agrega ikamesinin kullanılabileceği, atık agregayı daha yüksek oranda kullanmak için karışım tasarımının değiştirilmesi gerekeceği belirtilmiştir. Ayrıca geri dönüştürülmüş agrega ve inşaat moloz atığı kullanımının betonun işlenebilirliğini olumsuz yönde etkilediği, eşit su miktarları için kimyasal katkı ihtiyacında önemli artışa neden olduğu görülmüş ve geri dönüştürülmüş agrega ve inşaat moloz atığı kullanımının genel olarak betonun mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilediği gözlenmiştir [57].

Farklı bir çalışmada, tuğla tozunun kendiliğinden yerleşen betonun mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bunun için %5, 10, 15, 20, 25, 30 oranlarında tuğla tozu çimento ile ikame edilerek harç numuneler hazırlanmış ve deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, tuğla tozunun harçların viskozitesini arttırdığı, su ihtiyacının %15 ikame oranına kadar sabit kaldığı ancak daha yüksek oranlarda su ihtiyacının arttığı bildirilmiştir. Tuğla tozunun %20 ve üzerinde kullanımının harcın boşluk oranını artırdığı ve bunun dayanımı ve geçirimsizliği olumsuz etkileyeceği sonucuna varılmıştır [58].

1.1.9 Uçucu Kül

Günümüzde enerji üretiminin en önemli kısmı fosil yakıtların kullanılmasıyla karşılanmaktadır. Fakat kullanılan yakıtın kül içeriğine bağlı olarak, yüksek miktarda atık malzeme ortaya çıkmaktadır. Bu atık malzemeler çevreye doğrudan zarar vermenin yanı sıra, depolanma ve bekletilme sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Günümüzde enerji gereksinimi ve üretimindeki artış dikkate alınırsa yüksek oranda atık malzeme ile karşılaşılması kaçınılmaz olacaktır [59]. Termik santral atığı olan uçucu küller de çok önemli çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu sebeple uçucu külün çeşitli alanlarda kullanılması ve değerlendirilmesi çok önemlidir. Bu alanlardan biri de inşaat sektörüdür. Uçucu külün kimyasal ve fiziksel özellikleri, puzolanik bir malzeme olduğunu ve inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılabileceğini göstermiştir [60].

Uçucu kül beton teknolojisinde genel olarak çimento ile birlikte doğrudan betona ilave edilerek veya çimento üretimi sırasında klinkere katılıp öğütülerek uçucu küllü çimento olarak kullanılmaktadır. Araştırmalar ağırlıkça %20 oranında uçucu kül kullanımının beton basınç dayanımı açısından olumlu sonuçlar verdiğini göstermiştir [61]. Uçucu kül içeren betonların donma-çözülme deneyleri sonunda kayıpların daha az olduğu, betona katkı olarak katılması durumunda basınç dayanımını artırdığı belirtilmiştir [62]. Baraj gibi kütle betonu dökülen yapılarda hidratasyon ısısı düşük çimento [63] ve geçirimsiz betonların tercih edilmesi [64] ve uçucu külün çimento yerine kullanılması uçucu kül içeren betonun yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır [65]. Betonun klorür geçirimliliği, aşınma dayanımı, donma-çözünme gibi dayanıklılık özelliklerinin incelendiği bir çalışmada, uçucu külün betonda %15 oranında kullanımının uygun olacağı sonucuna varılmıştır [66]. Farklı bir çalışma sonucunda ise çimento üretimi sırasında %7,5 oranında uçucu kül kullanılmasının betonun mekanik özeliklerini olumlu yönde etkilediği belirtilmiştir [67].

1.1.10 Granit Atığı

Dekoratif taş endüstrisi, genel olarak iki formda bulunan büyük miktarda atık üretir: katı maddeler (taş ocaklarında, çıkarma aşamasında oluşur) ve nemli, ince toz veya çamur (imalat işlemeleri sırasında oluşur). Sonuncusu, imalat bölgelerinde tüm işleme aşamaları sırasında ortaya çıkan en baskın formdur. Bu tür atıkların her geçen gün artması ve özellikle su içeriğini kaybederek kuruması ciddi bir çevre kirliliğine neden olmakta ve rüzgar ile birlikte ince toz halinde havada taşınarak yakın bölgelerde yer alan endüstriyel, tarımsal ve konut alanlarında hava kirliliğine ve insan sağlığı için potansiyel bir tehdide neden olabilmektedir. Bu ince toz, insanlarda şiddetli solunum yolu hastalıklarına, görme ve cilt bozukluğuna neden olabilmektedir [68,69,70].

Taş ocağı, testere ile kesme ve cilalama gibi süreçleri içeren dekoratif taş endüstrisi ile oluşan atık miktarı pek çok çalışmaya konu olmuştur. Örneğin Hindistan'daki doğal taşların üretim hacminin yaklaşık 35 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir [71]. Taş ocağı aşamasından başlayarak, imalat aşamasından son

ürüne kadar geçen süreçte dekoratif taş sanayi işlemlerinden elde edilen toplam atık, doğal kayaç hacminin yaklaşık %50-60'ını oluşturmaktadır [72]. Mısır'da, endüstriyel toplama alanlarında dekoratif taş endüstrisinden kaynaklanan toplam atık miktarının yılda yaklaşık 800.000 tona ulaştığı tahmin edilmektedir. Bu miktar, bu bölgedeki toplam taş ocakçılığı üretiminin yaklaşık %25' ini oluşturmaktadır [73]. Oluşan büyük hacimdeki atığın değerlendirilmesine yönelik çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Geleneksel betonla kıyaslandığında ince agrega olarak %35' e kadar granit atığı kullanımının beton mukavemetini arttırdığı gözlenmiştir [74]. Bir çalışmada, doğal kuma alternatif olarak %15' e kadar granit tozu atığının kullanılmasının, mukavemet ve dayanıklılığı önemli ölçüde etkilemeden beton üretimi için uygun olduğu bildirilmiştir [75].

Granit çamurunun çimento ikame malzemesi olarak kullanımı birçok araştırmacı tarafından tartışılmıştır; Renkli yığma harç imalatında basınç dayanımından ödün vermeden çimentonun %10' a kadar granit atığı ile değiştirilebileceği belirtilmiştir [76]. %30' a kadar kırmızı granit tozu kullanılan betonların mekanik performansının test edildiği bir çalışmada ise; granit tozu kullanımının uçucu külle karşılaştırıldığında erken yaş beton mukavemetini ve elastisite modülünü geliştirdiği fakat basınç dayanımını azalttığı gözlenmiştir [77].

1.2 Tezin Amacı

Yukarıda da açıklandığı üzere madencilik faaliyetleri tüm dünyada doğayı çeşitli açılardan etkileyen önemli sorunlar yaratmaktadır. Atık malzemeler bilindiği üzere, su kaynaklarının kirlenmesine, çevre kirliliğine, doğanın dengesinin bozulmasına ve yerel ekolojinin tahrip olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, atık malzemelerin verimli bir şekilde kullanımı büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, agrega yıkama çamuru atığı malzemesinin farklı ikame yöntemleri ile çimento esaslı harç içerisinde kullanılabilirliğini fiziksel, mekanik ve dayanıklılık parametreleri temelinde karşılaştırmalı olarak araştırmayı amaçlamaktadır.

1.3 Hipotez

Bu çalışma kapsamında kullanılan atık malzeme ile dayanımı ve dayanıklılığı yüksek, düşük boşluk oranına sahip, kılcal su emme katsayısı ve su emme oranı düşük harç elde edilecek, bu şekilde taş ocaklarında ve hazır beton santrallerinde biriken bu atık malzemenin başarılı bir şekilde geri dönüşümü sağlanarak sürdürülebilirliğe katkı sağlanacaktır.

2
MALZEMELER VE YÖNTEM

2.1 Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler

2.1.1 Çimento

Çalışmada, harç üretiminde bağlayıcı olarak özgül ağırlığı 3,1 olan CEM I 42,5 R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır (Şekil 2.1). Çimentonun kimyasal bileşimi Tablo 2.1' de verilmiştir.



Şekil 2.1 Çalışmada kullanılan çimento

2.1.2 Atık Malzeme

Çalışmada kullanılan atık malzeme, çamur (bulamaç) halinde İstanbul' da yerel bir hazır beton santralinden elde edilmiştir. Atık malzeme ilk olarak, etüvde 100°C' de 24 saat boyunca kurutulmuş ve laboratuvar tipi bir öğütücü kullanılarak toz haline getirilmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Çalışmada kullanılan atık malzeme

Özgül ağırlığı 2,73 olarak belirlenen atık malzemenin dane boyutu lazer difraktometre ile tayin edilmiştir. Kimyasal bileşimi Tablo 2.1'de verilen atık malzemenin tanelerinin %50' sinin 10,7 μm' den, %90' ının ise 70,3 μm' den küçük olduğu belirlenmiştir.

Tablo 2.1 Atık malzeme ve çimentonun kimyasal bileşimi

İçerik	Kimyasal Bileşim (%)	
	Atık Malzeme	Çimento
SiO_2	54,78	19,89
Al_2O_3	14,97	4,74
Fe_2O_3	8,02	3,98
CaO	5,95	62,22
MgO	3,49	1,23
SO_3	0,35	3,74
K_2O	1,78	0,26
Na_2O	2,48	0,83
TiO_2	1,08	-
P_2O_5	0,17	-
Cr_2O_3	0,03	-
MnO	0,16	-
ZnO	0,02	-
SrO	0,02	-
Cl	0,01	0,03
Kızdırma Kaybı	6,54	2,12

2.1.3 Agrega

Çalışmada, ince agrega olarak özgül ağırlığı yaklaşık 2,7 olan kırma kum ve doğal kum kullanılmıştır (Şekil 2.3). Kırma kumun maksimum dane büyüklüğü 4 mm, doğal kumun maksimum dane büyüklüğü ise 2 mm olarak belirlenmiş, her iki malzeme eşit oranda karıştırılarak harç serilere ilave edilmiştir.



a) b)

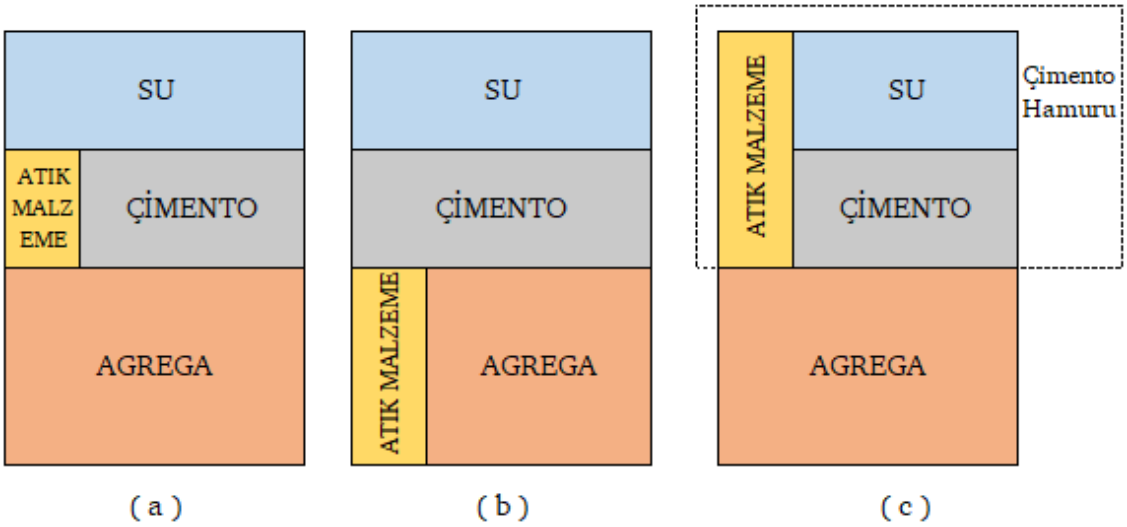
Şekil 2.3 Çalışmada kullanılan ince agregalar: (a) doğal kum, (b) kırma kum

2.1.4 Kimyasal Katkı

Deneysel çalışmada harç serileri kalıba kolaylıkla yerleştirebilmek amacı ile farklı oranlarda polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

2.2 Karışım Tasarımı, Numune Üretimi ve Kürü

Çalışmada atık toz malzeme; çimento ile ağırlıkça, ince agrega ve çimento hamuru ile hacimce %0, 10, 20 ve 30 oranlarında ikame edilerek harç serileri elde edilmiştir. Referans harcı, eşit hacimde çimento harcı (hacimce %50) ve ince agrega (hacimce %50) ihtiva edecek şekilde tasarlanmış, tüm serilerde su/çimento oranı 0,50 olarak sabit alınmış, kırma kum ve doğal kum ağırlıkça eşit olarak kullanılmış, karışımdaki malzeme miktarları Tablo 2.2' de verilmiştir. Karışımlar, atık malzeme ikame yöntemine göre kodlanmış; buna göre C, çimento ile ikameyi, A, agrega ile ikameyi ve P ise çimento hamuru ile ikameyi temsil etmektedir. 10, 20 ve 30 sayıları ise ikame oranlarını belirtmektedir. Atık malzemenin çimento harcı içerisinde kullanımı Şekil 2.4' te şematik olarak sunulmuştur.



Şekil 2.4 Atık malzemenin kullanımı (a) çimento ile ikame, (b) agrega ile ikame, (c) çimento hamuru ile ikame

Tablo 2.2 1 m^3 harç için malzeme miktarları (kg)

Karışım Adı	Çimento	Su	Agrega	AYÇ	Süper akışkanlaştırıcı (%)
Ref	608,0	304,0	1350,0	-	-
C10	547,2	304,0	1350,0	60,8	-
C20	486,4	304,0	1350,0	121,6	0,5
C30	425,6	304,0	1350,0	182,4	0,8
A10	608,0	304,0	1215,0	135,0	-
A20	608,0	304,0	1080,0	270,0	0,5
A30	608,0	304,0	945,0	405,0	1,0
P10	547,0	273,5	1350,0	136,5	0,5
P20	486,0	243,0	1350,0	273,0	1,5
P30	425,5	212,8	1350,0	409,5	3,0

Harç seriler, laboratuvar tipi harç mikserinde homojen bir karışım elde edilinceye kadar (yaklaşık 5 dakika) karıştırılarak elde edilmiştir. Taze harç, her bir seri için 9 adet 50×50×50 mm^3 ebatlarında küp kalıplara ve 2 adet 100/200 mm ebatlarında (çap/yükseklik) silindir kalıplara yerleştirilmiştir. Kalıp yüzeyleri streç filmle kapatılarak hava ile teması kesilmiş ve bir gün boyunca laboratuvar ortam koşullarında bekletilmiştir. Numuneler 24 saatin sonunda kalıplardan alınarak deney gününe kadar 21±2 °C su içerisinde kür işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Kür işlemine tabi tutulan harç numuneler

3
KONTROL DENEYLERİ

Kontrol deneyleri, harç serilerde taze ve sertleşmiş halde yapılan deneyler olmak üzere iki ana başlıkta incelenmiştir.

Taze halde yapılan deneyler:

- Yoğunluk deneyi
- Yayılma deneyi

Sertleşmiş halde yapılan deneyler:

- Yoğunluk, su emme ve boşluk oranı deneyi
- Basınç deneyi
- Kılcal su emme deneyi
- Klorür geçirimlilik deneyi

3.1 Taze Harç Deneyleri

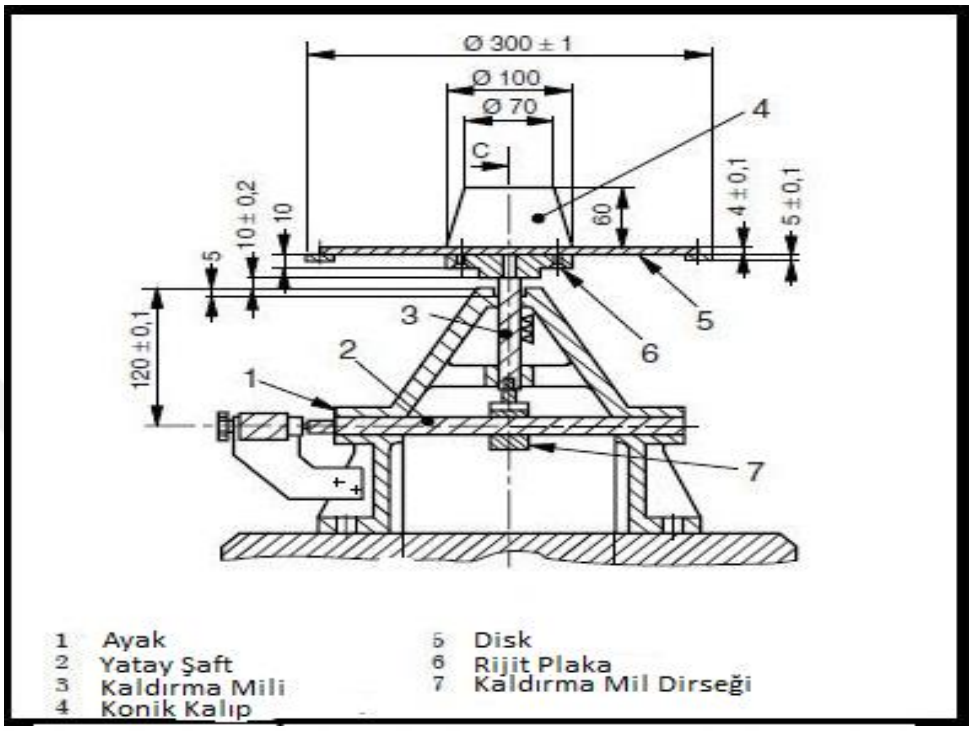
3.1.1 Yoğunluk Deneyi

Harç serilerin taze haldeki yoğunluğunun belirlenmesi için harç karışımı küp kalıplara yerleştirilmeden önce küp kalıpların boş ağırlığı belirlenmiştir (A). Hazırlanan harç, küp kalıplara iki eşit tabakada yerleştirildikten sonra kalıplar sarsma tablasına alınmış ve titreşim uygulanarak hapsolmuş havanın tahliye edilmesi sağlanmıştır. Dolu ağırlıklar tartılmış (B), harç karışımlarının taze haldeki yoğunluğu (ρ_{taze}), harç kütlesinin işgal ettiği hacim (C) ile orantılı olarak (3.1) eşitliği ile belirlenmiştir.

$$\rho_{taze} = \frac{\mathrm{B}-\mathrm{A}}{\mathrm{C}} \tag{3.1}$$

3.1.2 Yayılma Deneyi

Harç karışımların işlenebilirliği EN 1015-3 [78]' e göre Şekil 3.1'de şematik olarak gösterilen akış tablası cihazı kullanılarak ve yayılma çapının ölçülmesi ile belirlenmiştir.



Şekil 3.1 Akış tablası [78]

Deneyden önce disk ve konik kalıbın iç yüzeyi ve kenarları nemli bir bezle silinmiş, konik kalıp akış tablasının diski üzerine yerleştirilmiş ve hazırlanan harç konik kalıp içerisine iki eşit tabaka halinde doldurulmuştur. Her tabaka, tokmak yardımı ile en az 10 vuruş yapılarak sıkıştırılmıştır. Fazla harç sıyrılırak alınmış ve yaklaşık 15 saniye sonra konik kalıp dikey olarak yavaşça kaldırılmıştır. Kaldırma mil dirseği yardımıyla tabla 15 kez sarsılarak taze harcın disk üzerinde yayılması sağlanmış, yayılan harcın çapı birbirine dik iki yönde ölçülmüş ve ortalama değer yayılma çapı olarak alınmıştır.

3.2 Sertleşmiş Harç Deneyleri

3.2.1 Basınç Deneyi

Basınç dayanımı, ASTM C109 [79]' a göre 3., 7. ve 28. günlerde 50×50×50 mm küp numuneler üzerinde tek eksenli basınç deneyi ile belirlenmiş, deneyde her bir harç serisi için 3 adet numune kullanılmıştır. Deney, 600 kN kapasiteli basınç aleti kullanılarak gerçekleştirilmiş, deney sonunda kırma yükü kaydedilmiş ve basınç dayanımı (3.2) eşitliği ile hesaplanmıştır.

$$f_m = \frac{P}{A} \tag{3.2}$$

f_m= Basınç dayanımı (MPa)

P= Kırma yükü (N)

A= Yük uygulanan yüzey alanı (mm^2)

3.2.2 Yoğunluk, Su Emme ve Boşluk Oranı Deneyi

Numunelerin yoğunluk, su emme ve boşluk içeriği, 28. günde çapı 100 mm ve yüksekliği 50 mm olan iki silindir numune üzerinde ASTM C642 [80]' ye göre belirlenmiştir. Bunun için ilk olarak önceden hazırlanıp kür işlemine tabi tutulan 100/200 mm boyutlu silindir numuneler, elmas uçlu kesici yardımı ile 50 mm' lik 4 eşit parçaya bölünmüştür. Hazırlanan numuneler en az 24 saat boyunca 110±5 ° C sıcaklıkta değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş ve tartılmıştır (A).

Etüv kurusu ağırlık belirlendikten sonra numuneler 48 saatten az olmamak üzere suya daldırılmış ve suya doygun ağırlık (B) belirlenmiştir. Bu işlemin ardından deney numunesi 5 saat boyunca kaynar suda bekletilmiş, ardından doğal ısı kaybıyla, 20-25 °C nihai sıcaklığa gelinceye kadar soğumaya bırakılmıştır. Numunelerin yüzey nemi bir havlu ile alınmış ve numunenin havadaki (C) ve su içindeki (D) kütlesi kaydedilmiştir.

Yukarıda açıklanan prosedüre uygun olarak belirlenen kütle değerleri kullanılarak (3.3), (3.4) ve (3.5) eşitlikleri ile, harç serilerin yoğunluğu, su emmesi ve boşluk oranı hesaplanmıştır.

$$\text{Su emme, \%} = [(B-A)/A]x100 \quad (3.3)$$

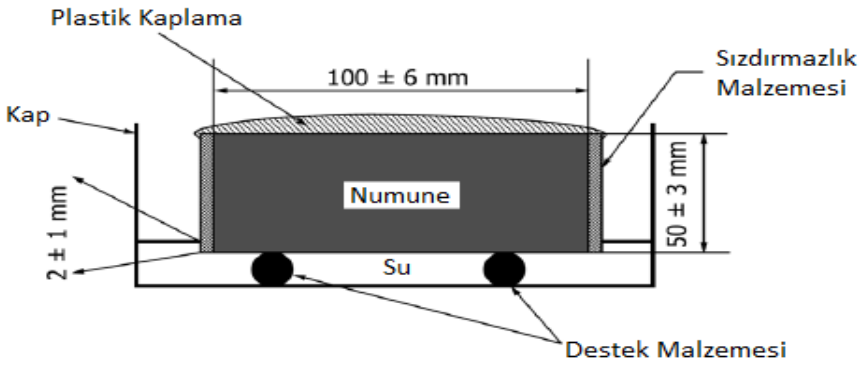
$$\text{Etüv kurusu yoğunluk} = [A/(C-D)] \quad (3.4)$$

$$\text{Boşluk oranı, \%} = [(C-A)/(C-D)]x100 \quad (3.5)$$

3.2.3 Kılcal Su Emme Deneyi

Kılcal su emme deneyi, 28. günde çapı 100 mm ve yüksekliği 50 mm olan iki silindir numune üzerinde ASTM C1585 [81]' e göre belirlenmiştir.

Deney numuneleri öncelikle 3 gün boyunca sıcaklığı 50±2 °C ve bağıl nemi % 80 olan bir ortamda bekletilmiş, ardından plastik kaplara yerleştirilmiş ve 23±2 °C' de en az 15 gün boyunca muhafaza edilmiştir. 15 günlük sürenin sonunda numuneler kaplardan çıkarılmış ve her bir numunenin yan yüzeyi parafinle kaplanmıştır. Numunenin suya maruz kalmayacak üst yüzeyi ise bir plastikle sarılarak kapatılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Kılcal su emme deneyi şeması [81]

Deneye başlamadan önce bütün numuneler 0,01 gr hassasiyetle tartılmış ve bu değer kılcal su emme hesapları için başlangıç kütlesi olarak kaydedilmiştir. Numuneler Şekil 3.2' de gösterildiği gibi su dolu bir kap içerisine, su seviyesi numune tabanını 3 mm aşmayacak şekilde konulmuş, kabın alt yüzü ile numuneler arasına, numenelerin alt yüzünün suyla irtibatını kesmeyecek şekilde bir destek malzemesi yerleştirilmiştir. Deney boyunca su seviyesi korunmuş, numuneler Tablo 3.1' de verilen zaman dilimlerinde sudan çıkarılarak ve tartılarak zamana bağlı kütle değişimi hesaplanmıştır.

Tablo 3.1 Ölçüm süreleri ve tolerans değerleri [81]

Zaman	60 sn	5 dk	10 dk	20 dk	30 dk	60 dk	6 saate kadar her saat
Tolerans	2 sn	10 sn	2 dk	2 dk	2 dk	2 dk	5 dk

Su emme, I (mm), kütle değişiminin (m_t, gr), numunenin kesit alanınına (a, mm^2) bölünmesi ile (3.6) eşitliği yardımıyla hesaplanmıştır.

$$I = \frac{m_t}{a} \tag{3.6}$$

Su emme deneyi sonuçları düşey eksen I (mm) ve yatay eksen zaman (saniye$^{0.5}$) olacak şekilde grafiğe aktarılmış ve harç serilerin kılcal su emme katsayısı (K, mm/saniye$^{0.5}$) veri noktalarının tamamı kullanılarak elde edilen doğrunun eğiminden hesaplanmış, deney harç serilerde %20 ikame oranına kadar yapılmıştır.

3.2.4 Klorür Geçirimlilik Deneyi

Çeşitli çevresel koşullara maruz kalan beton, birçok agresif iyon nedeni ile zamanla hasar görebilir. Klorür iyonları, deniz suyu, deniz çevresinde klorür içeren hava ve buz çözücü tuzlar gibi çeşitli yollarla yapıların dayanıklılığını olumsuz yönde etkiler. Klorür iyonlarının betona nüfuz etmesi donatıların korozyonuna neden olabilir. Çelik donatının korozyonu, açığa çıkan korozyon ürünlerinden dolayı hacimsel genleşmeye ve betonun çatlamasına neden olur [82].

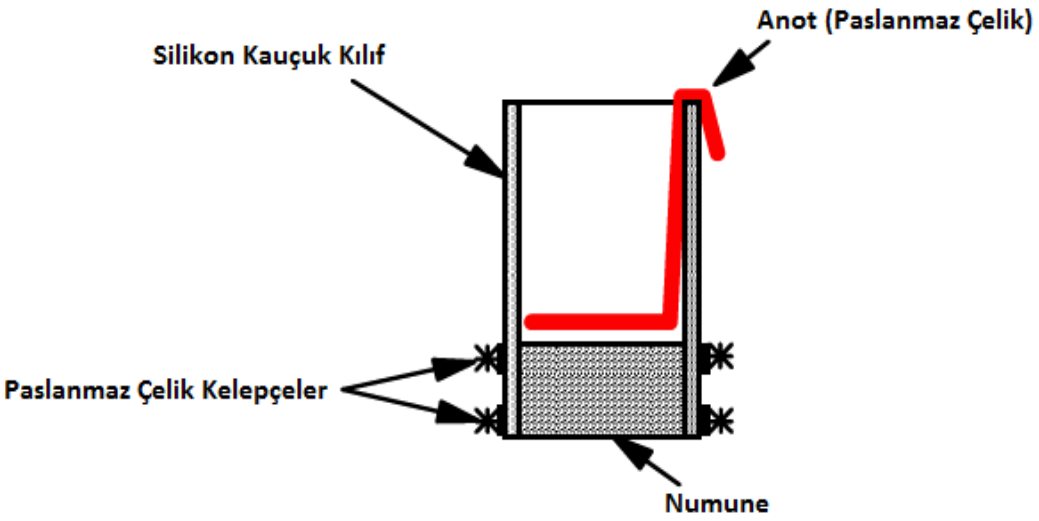
Bu çalışmada harç serilerin klorür geçirimliliği deneyi 28. günde NT Built 492 [83]' ye göre yapılmıştır. Deneyde, her bir seri için iki adet 100×50 mm boyutlu silindir numune kullanılmıştır.

Numuneler öncelikle iki uç yüzeyi açıkta kalacak şekilde vakum kabına dik şekilde yerleştirilmiş, ardından kap içindeki mutlak basınç vakum pompası yardımı ile birkaç dakika içinde 10-50 mbar' a (1-5 kPa) düşürülmüştür. Vakum üç saat boyunca korunmuş ve daha sonra vakum pompası çalışırken, kap, numunelerin

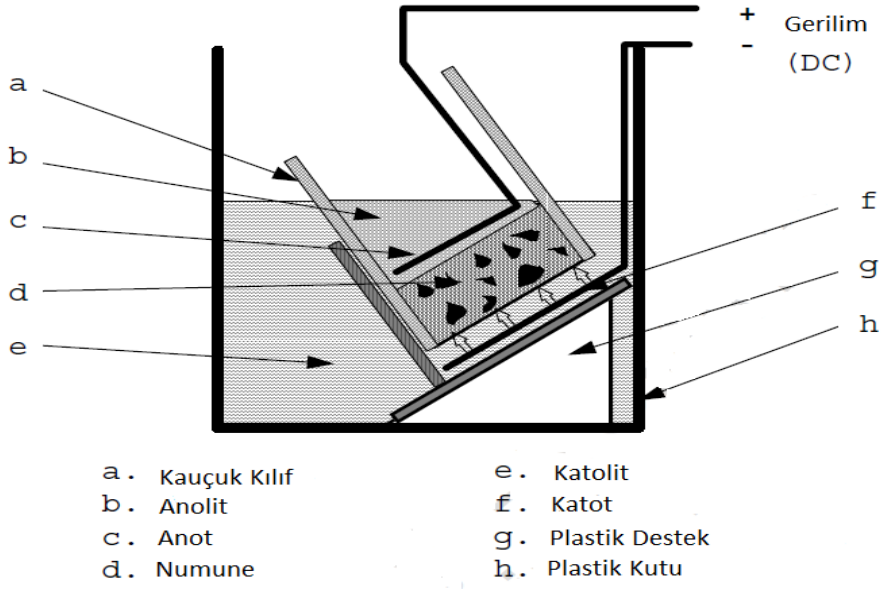
tamamı içinde kalıncaya kadar doymuş $Ca(OH)_2$ (kalsiyum hidroksit) çözeltisiyle doldurulmuştur. Havanın kaba tekrar girmesine izin vermeden önce vakum bir saat daha korunmuş, ardından numuneler 18±2 saat boyunca çözelti içinde tutulmuştur.

Katolit solüsyonu, 900 gram su içinde 100 gram NaCl çözülerek elde edilmiştir. Anolit solüsyonu ise, 1 litre destile veya deiyonize suda 12 gram NaOH çözülerek elde edilmiştir.

Katolit rezervuarı, yaklaşık 12 litre %10 NaCl solüsyonu ile doldurulmuş ardından deney numuneleri, Şekil 3.3' te gösterildiği gibi kauçuk muhafazanın içine yerleştirilip kelepçeler ile sabitlenmiştir. Numunenin kauçuk muhafazasındaki boş kalan kısma, 300 ml anolit solüsyonu dökülmüş, ardından anot (paslanmaz çelik), anolit solüsyonuna batırılmıştır. Cihazın katot ucu güç kaynağının negatif kutbuna, anot ucu ise pozitif kutbuna bağlanmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.3 Numune, kelepçeler ve anot ile birleştirilmiş kauçuk kılıf [83]



Şekil 3.4 Klorür geçirimliliği deney düzeneği [83]

Her bir anolit solüsyonunun sıcaklığı, termometre ile ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Daha sonra, ilk akım değerine bağlı olarak Tablo 3.2' den uygun deney süresi seçilmiştir. Deney bitirilmeden önce akım ve sıcaklık değerleri son bir kez daha ölçülerek kayıt altına alınmıştır.

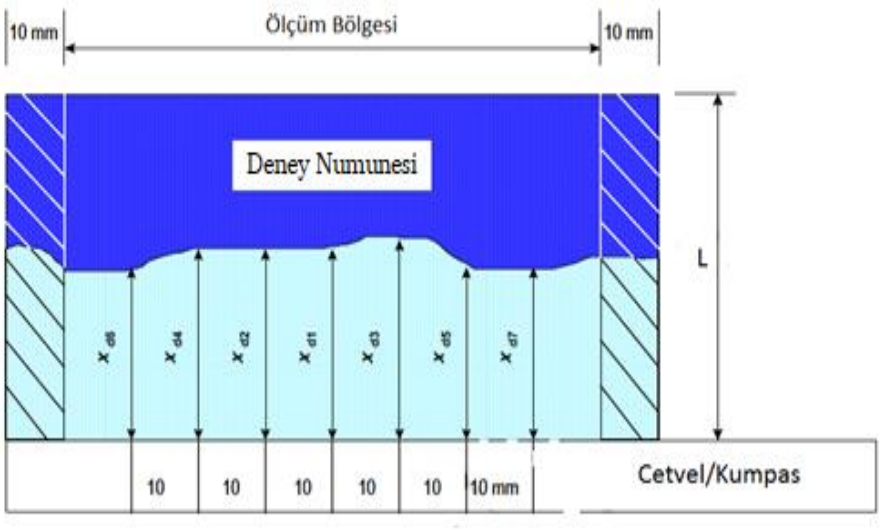
Tablo 3.2 Deney koşullarının belirlenmesi [83]

Başlangıç Akımı I_{30V} (30 V) (mA)	Uygulanan Voltaj (U, V) (Düzeltmeden sonra)	Olası yeni başlangıç akımı (I_0), (mA)	Deney süresi (saat)
$I_0<5$	60	$I_0<10$	96
$5\leq I_0<10$	60	$10\leq I_0<20$	48
$10\leq I_0<15$	60	$20\leq I_0<30$	24
$15\leq I_0<20$	50	$25\leq I_0<35$	24
$20\leq I_0<30$	40	$25\leq I_0<40$	24
$30\leq I_0<40$	35	$35\leq I_0<50$	24
$40\leq I_0<60$	30	$40\leq I_0<60$	24
$60\leq I_0<90$	25	$50\leq I_0<75$	24

Tablo 3.2 Deney koşullarının belirlenmesi [83] (devamı)

Başlangıç Akımı I_{30V} (30 V) (mA)	Uygulanan Voltaj (U, V) (Düzeltmeden sonra)	Olası yeni başlangıç akımı (I_0), (mA)	Deney süresi (saat)
$90 \leq I_0 < 120$	20	$60 \leq I_0 < 80$	24
$120 \leq I_0 < 180$	15	$60 \leq I_0 < 90$	24
$180 \leq I_0 < 360$	10	$60 \leq I_0 < 120$	24
$I_0 \geq 360$	10	$I_0 \geq 120$	6

Deney tamamlandıktan sonra, harç numuneler kauçuk muhafazadan çıkarılmış ve su ile yıkanmıştır. Numune yüzeyindeki fazla su havluyla silinmiş, ardından numune mekanik yöntemle eşit iki parçaya ayrılmıştır. Numunenin yüzeyine, gümüş nitrat çözeltisi püskürtülmüş ve klorür işleme derinliği dijital bir kumpas yardımıyla 10 mm'lik aralıklarla, 7 farklı noktadan ölçülmüştür (Şekil 3.5). Deney, harç serilerde %20 ikame oranına kadar yapılmıştır.



Şekil 3.5 Klorür işleme derinliğinin belirlenmesi [83]

Kararlı olmayan klorür geçirimlilik katsayısı (3.7) eşitliği ile hesaplanmıştır.

$$D_{nssm} = \frac{0{,}0239 \times (273+T) \times L}{(U-2) \times t} \times \left(x_d - 0{,}0238\sqrt{\frac{(273+T) \times L \times x_d}{U-2}}\right) \qquad (3.7)$$

D_{nssm}= Klorür geçirimlilik katsayısı, $\times 10^{-12}$ m^2/sn

U= Uygulanan voltajın mutlak değeri, V

T= Anolit çözeltisindeki başlangıç ve nihai sıcaklıkların ortalama değeri, °C

L= Numunenin kalınlığı, mm

X_d= Klorür işleme derinliğinin ortalama değeri, mm

t= Test süresi, saat

4
DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

4.1 Taze Harç Deney Sonuçları ve İrdelenmesi

4.1.1 Yoğunluk

Harç karışımlarının taze hal yoğunluk değerleri Tablo 4.1' de verilmiştir.

Tablo 4.1 Harç serilerin taze yoğunluğu

Karışım	Yoğunluk (kg/m^3)	Değişim (%)
Ref	2221	-
C10	2214	-0.3
C20	2202	-0.9
C30	2164	-2.6
A10	2210	-0.5
A20	2185	-1.6
A30	2175	-2.1
P10	2236	+0.7
P20	2249	+1.3
P30	2261	+1.8

Deney sonuçları dikkate alındığında, atık malzemenin çimento hamuru ikameli seriler haricinde bütün karışımlarda taze yoğunlukta bir miktar düşüşe neden olduğu görülmüştür. Yoğunluktaki düşüş özellikle %10' un üzerindeki ikame oranlarında belirgin hale gelmiştir. Çimento hamuru ile ikameli seride ise harç içerisindeki atık malzeme oranı arttıkça yoğunluğun da bir miktar arttığı gözlemlenmiştir.

4.1.2 Yayılma

Harç serilerde yapılan yayılma deneyine ait örnek görsel Şekil 4.1' de gösterilmiştir. Tablo 4.2' de ise tüm harç serileri için ortalama yayılma değerleri verilmiştir.



Şekil 4.1 Yayılma deneyi

Tablo 4.2 Yayılma deneyi sonuçları

Karışım	Yayılma (mm)
Ref	191
C10	150±10
C20	
C30	
A10	118±12
A20	
A30	
P10	123±7
P20	
P30	

Deney sonuçları ve üretim sırasında gerçekleştirilen gözlemler harç karışımlarının işlenebilirliğinin AYÇ ikamesi ile önemli ölçüde azaldığını göstermiştir. Diğer iki yönteme kıyasla agrega ikame yönteminin yayılma değerlerinde daha fazla azalmaya neden olduğunu göstermiştir. Bunun temel sebebinin atık toz malzemenin inceliğinin ikame ettiği ince agregadan daha yüksek olması olarak düşünülebilir. Bu nedenle işlenebilirlikteki azalma öngörülebilir bir sonuçtur.

Diğer serilerle kıyaslandığında, çimento ikameli seride işlenebilirlikte ciddi bir kayıp gözlemlenmemiştir. Çimento hamuru ikameli seride ise AYÇ' nin hamur fazın su ve çimentosunu ikame etmesi nedeni ile belirgin bir düşüş gözlenmiş, ancak işlenebilirlik kaybı agrega ikameli seriye göre daha düşük olmuştur.

4.2 Sertleşmiş Harç Deney Sonuçları ve İrdelenmesi

4.2.1 Basınç Dayanımı

Harç serilerde basınç deneyi (Şekil 4.2) 3., 7. ve 28. günlerde belirlenmiştir. Basınç dayanımının ortalama değerleri her bir harç serisi için Tablo 4.3' te verilmiştir.



Şekil 4.2 Basınç deneyi

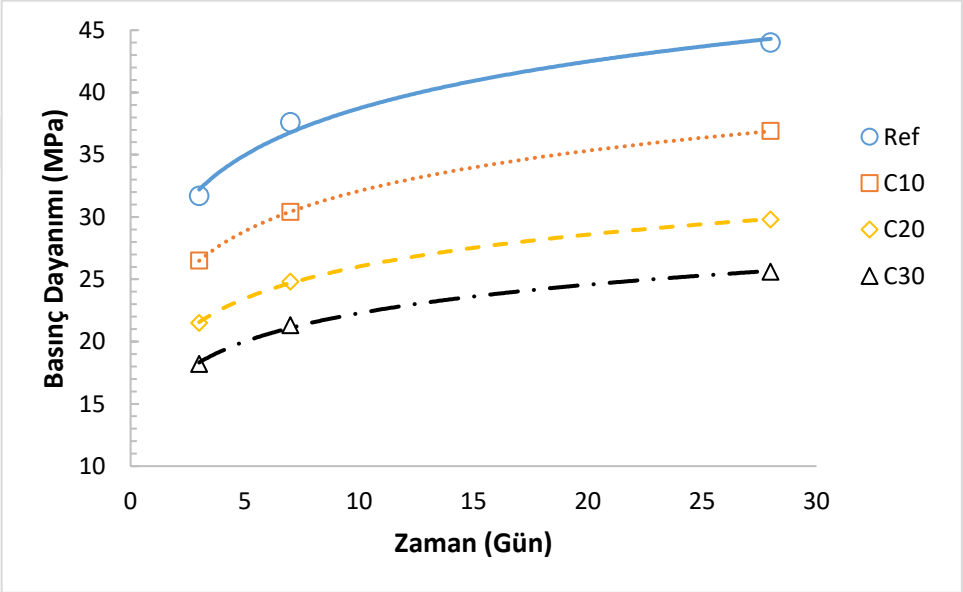
Tablo 4.3 Basınç dayanımı sonuçları

Karışım	Basınç Dayanımı (MPa)			Dayanım Kaybı (%)		
	3. Gün	7. Gün	28. Gün	3. Gün	7. Gün	28. Gün
Ref	31,7	37,6	44,0	-	-	-
C10	26,5	30,4	36,9	16,4	19,1	16,1
C20	21,5	24,8	29,8	32,2	34,0	32,3
C30	18,2	21,3	25,6	42,6	43,4	41,8
A10	32,4	33,7	42,9	-2,2	10,4	2,5
A20	28,1	30,4	37,9	11,4	19,1	13,9
A30	22,2	26,7	30,2	30,0	29,0	31,4

Tablo 4.3 Basınç dayanımı sonuçları (devamı)

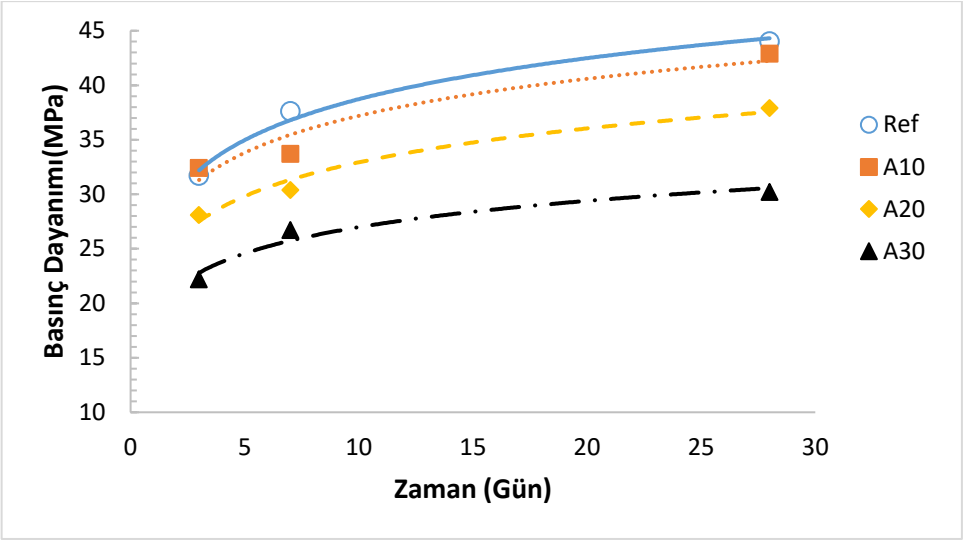
Karışım	Basınç Dayanımı (MPa)			Dayanım Kaybı (%)		
	3. Gün	7. Gün	28. Gün	3. Gün	7. Gün	28. Gün
P10	26,8	32,3	40,6	15,5	14,1	7,7
P20	24,7	24,8	31,6	22,1	34,0	28,2
P30	13,0	20,2	29,0	59,0	46,3	34,1

Harç serilerin basınç dayanımı gelişimi ikame yöntemine bağlı olarak ayrı ayrı Şekil 4.3-4.5' te gösterilmiştir.



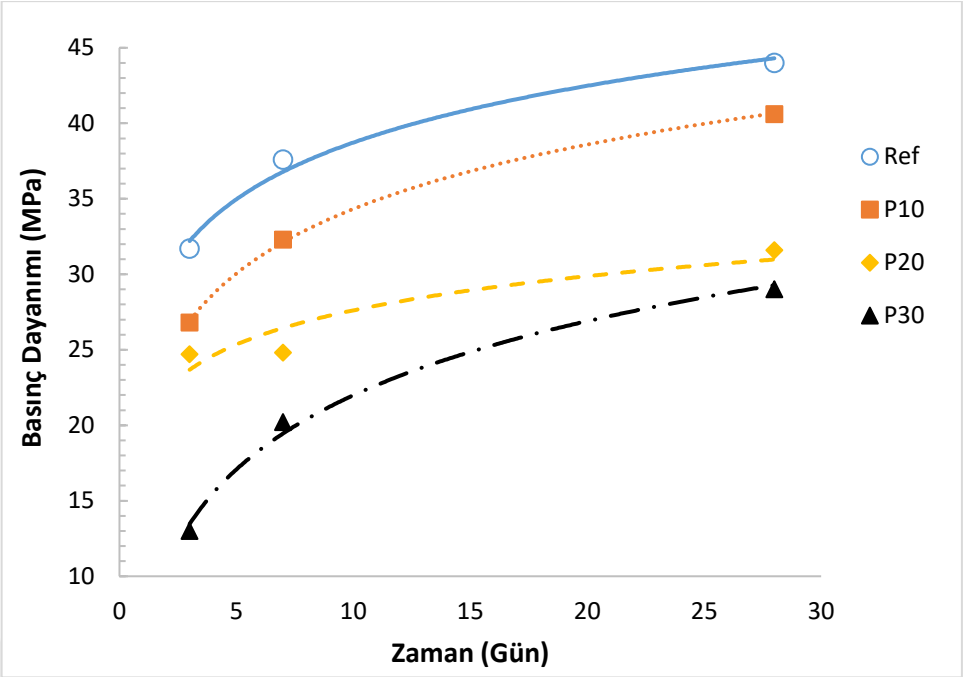
Şekil 4.3 Çimento ikameli serinin basınç dayanımı gelişimi

Çimento ikameli harç seriler dikkate alındığında 3., 7. ve 28. gündeki basınç dayanımı referans seriye kıyasla ikame oranına bağlı olarak sırası ile yaklaşık %16-43, %19-43 ve %16-42 oranında azalmıştır. Dayanımdaki düşüş, ikame oranı arttıkça artmış, dayanım değişiminde zamana bağlı belirgin bir değişim gözlenmemiştir.



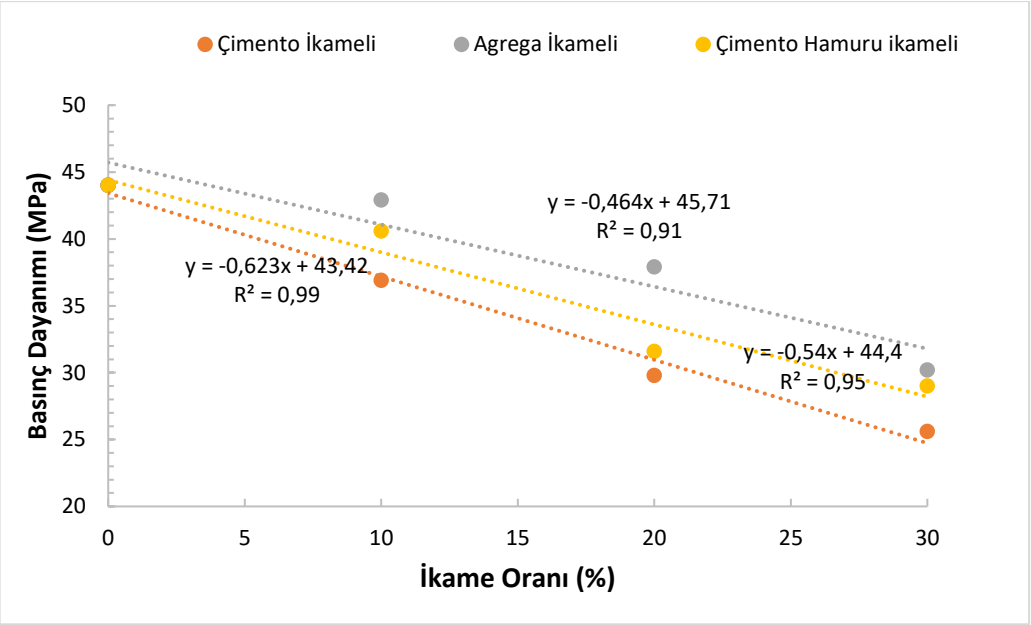
Şekil 4.4 Agrega ikameli serilerin basınç dayanımı gelişimi

Agrega ikameli harç seriler dikkate alındığında 3., 7. ve 28. gündeki basınç dayanımının referans seriye kıyasla ikame oranına bağlı olarak sırası ile yaklaşık %0-30, %10-29 ve %3-31 oranında düşmesine neden olmuştur. Özellikle %10 ikameli seride basınç dayanımının referans harç ile benzer sonuçlar verdiği ve mekanik özellikler dikkate alındığında deneysel çalışmada kullanılan atık malzemenin ince agrega ile %10 oranında ikame edilerek kullanılabileceği görülmektedir. Çimento ikame yöntemi ile kıyaslandığında agrega ikamesinin belirgin şekilde daha az dayanım kaybına sebep olduğu ve atık toz malzemenin kullanımı için daha uygun bir yöntem olduğu söylenebilir.



Şekil 4.5 Çimento hamuru ikameli serilerin basınç dayanımı gelişimi

Çimento hamuru ikameli harç seriler dikkate alındığında 3., 7. ve 28. gündeki basınç dayanımının referans seriye kıyasla ikame oranına bağlı olarak sırası ile yaklaşık %16-59, %14-46 ve %8-34 oranında düşmesine neden olmuştur. Deney sonuçları dayanım kayıplarının 3. günde en yüksek değerleri aldığını ancak 7 ve 28. günlerde bu kayıpların azaldığını, 28. gündeki dayanım kaybının %10 ikameli seride %8' e kadar düştüğünü göstermektedir. Hamur ikameli seride erken yaş dayanımının düşük çıkmasının en önemli sebeplerinden birisi kullanılan kimyasal katkı miktarının oldukça yüksek olması ile açıklanabilir. Diğer iki yöntemle kıyaslandığında genel olarak çimento hamuru ikame yönteminin basınç dayanımını çimento ikame yöntemine göre daha olumlu etkilediği, ancak agrega ikame yöntemine göre daha kötü performans gösterdiği görülmektedir. Deneysel çalışma sırasında özellikle hamur ikameli serilerde kıvamın önemli ölçüde azaldığı ve kıvamın arttırılması amacı ile süperakışkanlaştırıcı miktarının yine önemli ölçüde arttırılması gerektiği görülmüştür. Bu durum özellikle P20 ve P30 serilerinin basınç dayanımı gelişimini olumsuz yönde etkilemiş, Şekil 4.5' te de görüldüğü gibi, özellikle P30 serisinin 3. gündeki dayanımı oldukça düşük çıkmıştır.



Şekil 4.6 Basınç dayanımının ikame oranı ve yöntemine bağlı değişimi

Deney sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde (Şekil 4.6), atık malzeme oranı arttıkça her üç ikame yönteminde de basınç dayanımının farklı oranlarda azaldığı görülmektedir. En yüksek basınç dayanımı kaybının çimento ikameli serilerde olduğu, çimento hamuru ikameli serilerin dayanım kaybının çimento ikameli serilere göre daha az olduğu, öte yandan agrega ikame yönteminin, deneysel çalışmada kullanılan atık toz için, diğer iki yönteme göre daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.

4.2.2 Yoğunluk, Su Emme ve Boşluk Oranı

Harç serilerde 28. günde gerçekleştirilen yoğunluk, su emme ve boşluk oranı deneyine ait ortalama sonuçlar Tablo 4.4' de özetlenmiştir.

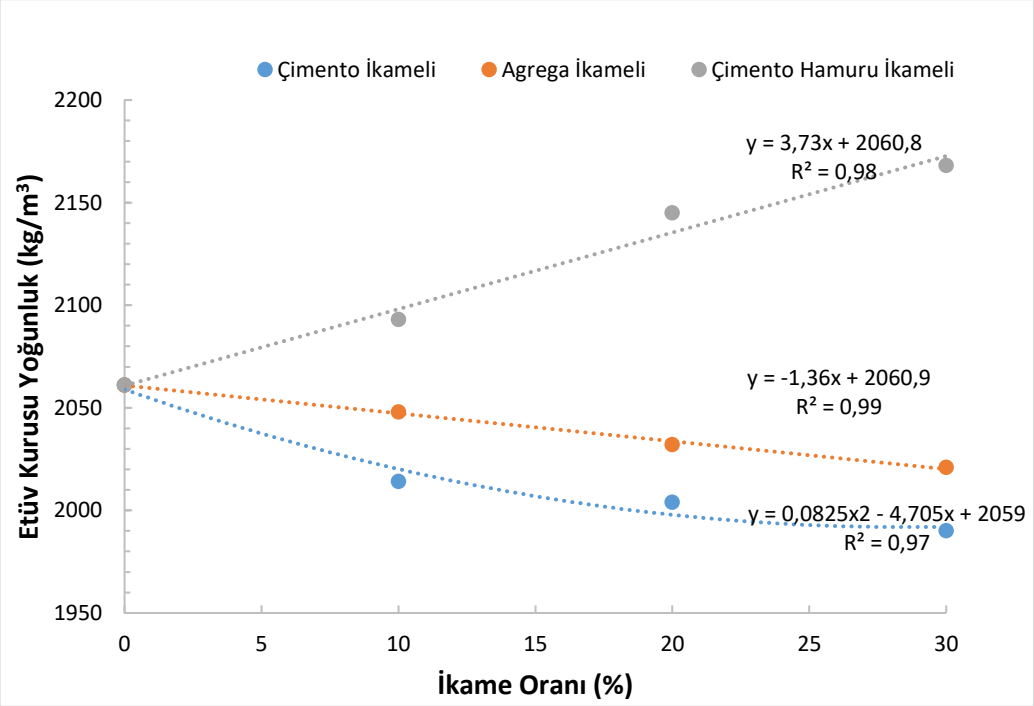
Tablo 4.4 Harç numunelerin yoğunluk, su emme ve boşluk oranı değerleri

Karışım	Etüv kurusu yoğunluk (kg/m^3)	Su emme oranı (%)	Boşluk oranı (%)
Ref	2061	8,6	19,2
C10	2014	9,6	19,2
C20	2004	9,9	20,9
C30	1990	10,6	22,1
A10	2048	8,8	18,2

Tablo 4.4 Harç numunelerin yoğunluk, su emme ve boşluk oranı değerleri (devamı)

Karışım	Etüv kurusu yoğunluk (kg/m^3)	Su emme oranı (%)	Boşluk oranı (%)
A20	2032	9,0	18,5
A30	2021	9,0	18,4
P10	2093	7,5	15,8
P20	2145	5,9	13,1
P30	2168	5,4	12,3

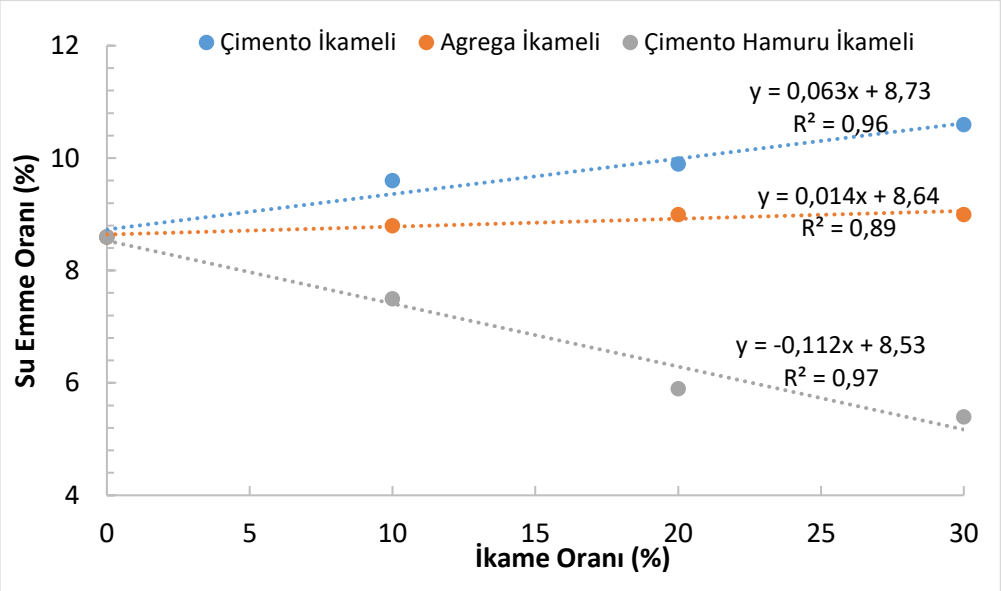
Harç serilerin etüv kurusu yoğunluk değerleri incelendiğinde, atık malzeme ikamesinin çimento ve agrega ile ikameli serilerde yoğunluğu bir miktar düşürdüğü görülmüş, atık malzeme oranı arttıkça, yoğunluğun da azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca, çimento ikamesi, agrega ikamesine kıyasla daha düşük yoğunluk sağlamıştır. Çimento hamuru ikamesinde ise tersi bir durum olarak atık malzeme, etüv kurusu yoğunluğu artırmış, atık oranı arttıkça yoğunluk da artmaya devam etmiştir. Şekil 4.7' de etüv kurusu yoğunluğun üç ikame yönteminde de ikame oranlarına bağlı olarak değişimi verilmiştir.



Şekil 4.7 Etüv kurusu yoğunluğun ikame oranı ve yöntemine bağlı değişimi

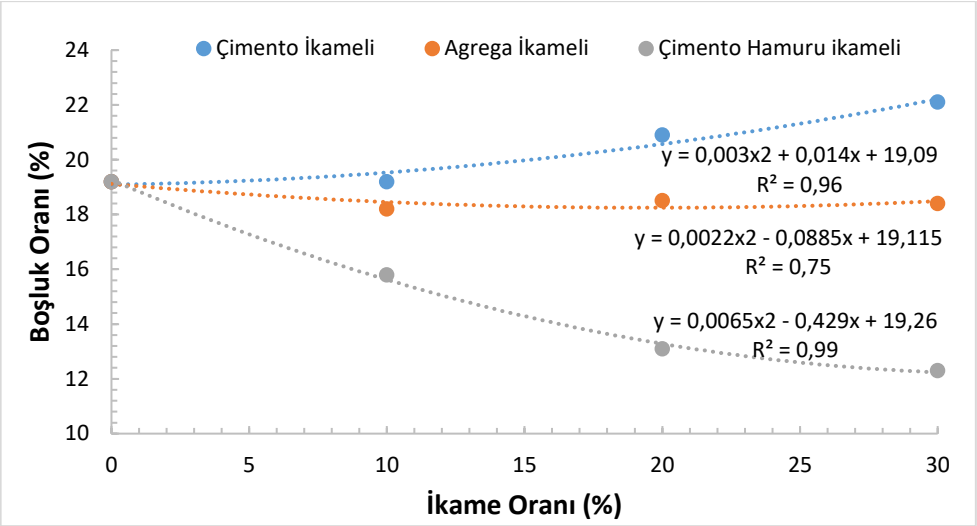
Harç serilerin su emme deneyi sonuçları değerlendirildiğinde; çimento ikameli serilerin su emme oranının referans seriye oranla belirgin şekilde daha yüksek

olduğu, ikame oranı arttıkça su emme oranının da arttığı görülmüştür. Diğer yandan agrega ikameli serilerde su emme oranının referans seriye benzer değerler aldığı, ikame oranının su emme oranını çok fazla etkilemediği gözlenmiştir. Çimento hamuru ile ikameli serilerde ise su emme oranının referans seriye göre belirgin şekilde azaldığı, bu azalmanın ikame oranı ile paralel olarak arttığı tespit edilmiştir. Şekil 4.8' de su emme oranının üç ikame yönteminde de ikame oranlarına bağlı olarak değişimi verilmiştir.



Şekil 4.8 Su emme oranının ikame oranı ve yöntemine bağlı değişimi

Harç numunelerin boşluk oranı değerleri dikkate alındığında; çimento ikameli serilerin hem referans seri ile hem de diğer iki ikame yöntemi ile kıyaslandığında daha yüksek boşluk oranına sahip olduğu görülmüştür. Agrega ikame yöntemi, ikame oranından bağımsız olarak referans seriye göre boşluk oranının yaklaşık %5 oranında azalmasına neden olmuştur. Diğer taraftan çimento hamuru ikamesi boşluk oranını referans seriye göre belirgin bir şekilde azaltmış, ikame oranı arttıkça boşluk oranı da azalmıştır. Şekil 4.9' da boşluk oranının üç ikame yönteminde de ikame oranlarına bağlı olarak değişimi verilmiştir.



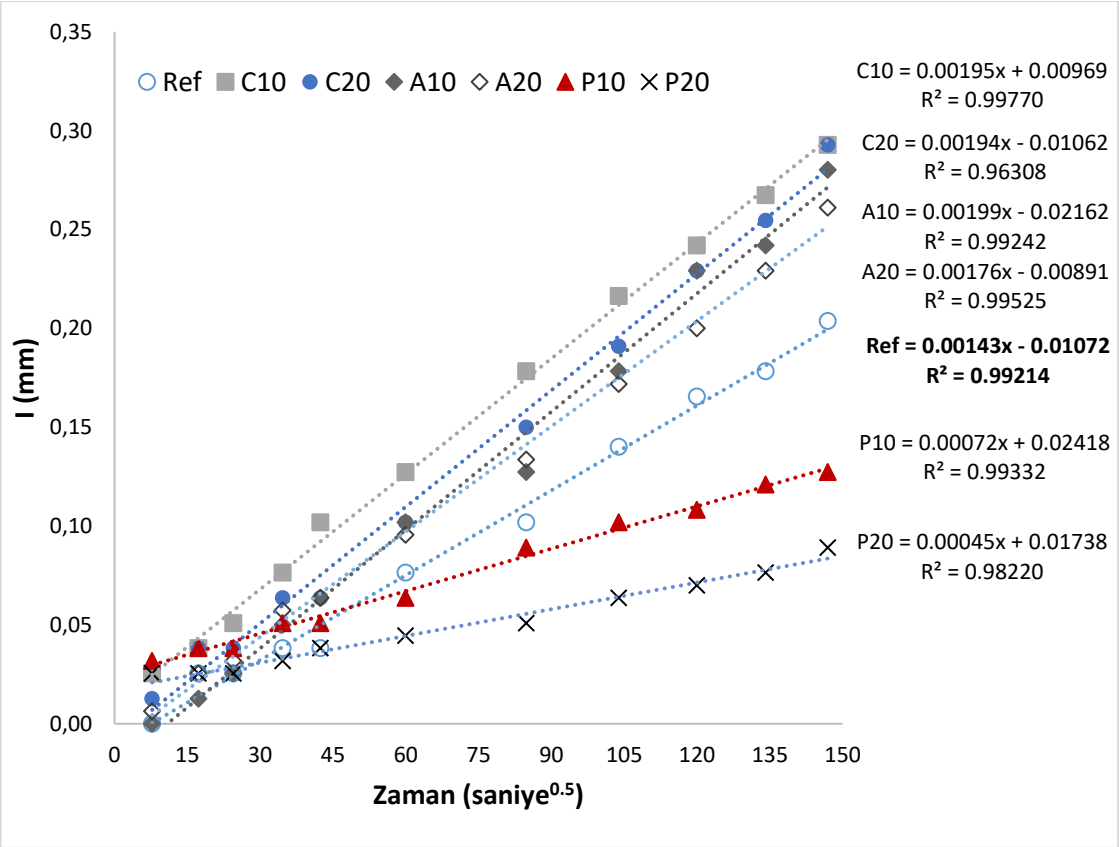
Şekil 4.9 Boşluk oranının ikame oranı ve yöntemine bağlı değişimi

4.2.3 Kılcal Su Emme

Harç serilerde kılcal su emme deneyi 28. günde yapılmış (Şekil 4.10), su emme oranının zamana bağlı değişimi Şekil 4.11' de, deney sonuçları ise Tablo 4.5' te verilmiştir.



Şekil 4.10 Kılcal su emme deneyi



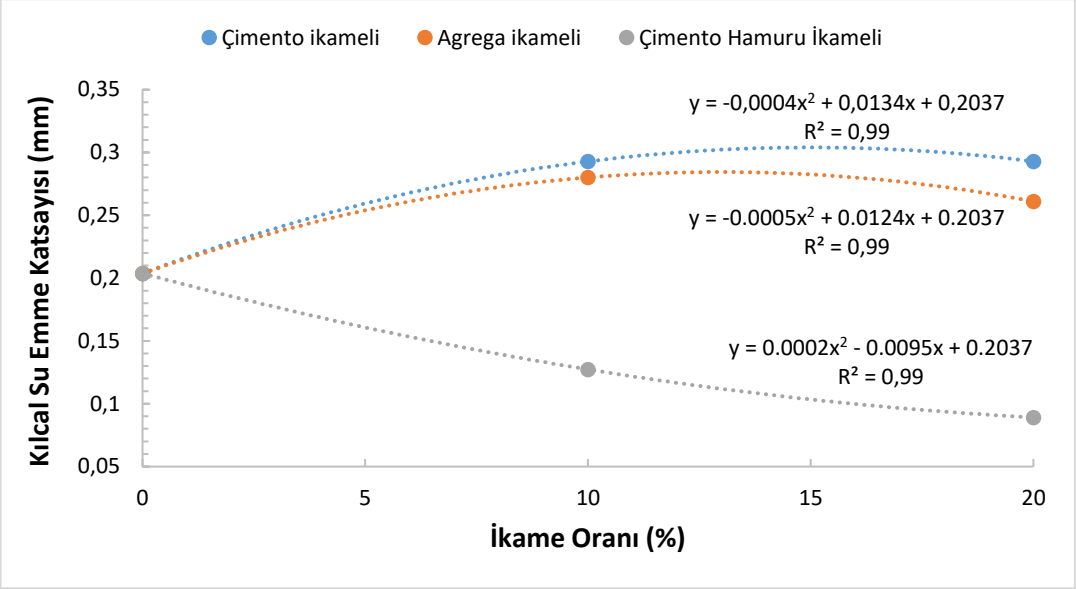
Şekil 4.11 Harç serilerin kılcal su emme-zaman grafikleri

Tablo 4.5 Harç serilerin kılcal su emme katsayıları

Karışım	Kılcal su emme katsayısı (K, mm/saniye$^{0.5}$)×10^{-4}	Değişim (%)
Ref	14,3	-
C10	19,5	36,4
C20	19,4	35,7
A10	19,9	39,2
A20	17,6	23,1
P10	7,2	-49,7
P20	4,5	-68,5

Harç serilerin kılcal su emme deney sonuçları dikkate alındığında; kılcal su emme katsayısının çimento ve agrega ikameli serilerde referans seriye oranla belirgin şekilde arttığı, ancak çimento hamur ikameli serilerde kılcal su emme katsayısının ciddi biçimde azaldığı görülmüştür (Şekil 4.12). Hamur ikameli serilerde kılcal su

emme katsayısı artan ikame oranı ile birlikte azalmış, P20 serisinde referans seriye göre %70 azalma gözlenmiştir.



Şekil 4.12 Kılcal su emme katsayısının ikame oranı ve yöntemine bağlı değişimi

4.2.4 Klorür Geçirimliliği

Harç serilerde klorür geçirimlilik deneyi 28. günde gerçekleştirilmiş (Şekil 4.13), deney sonuçlarının ortalama değerleri Tablo 4.6' da verilmiştir.

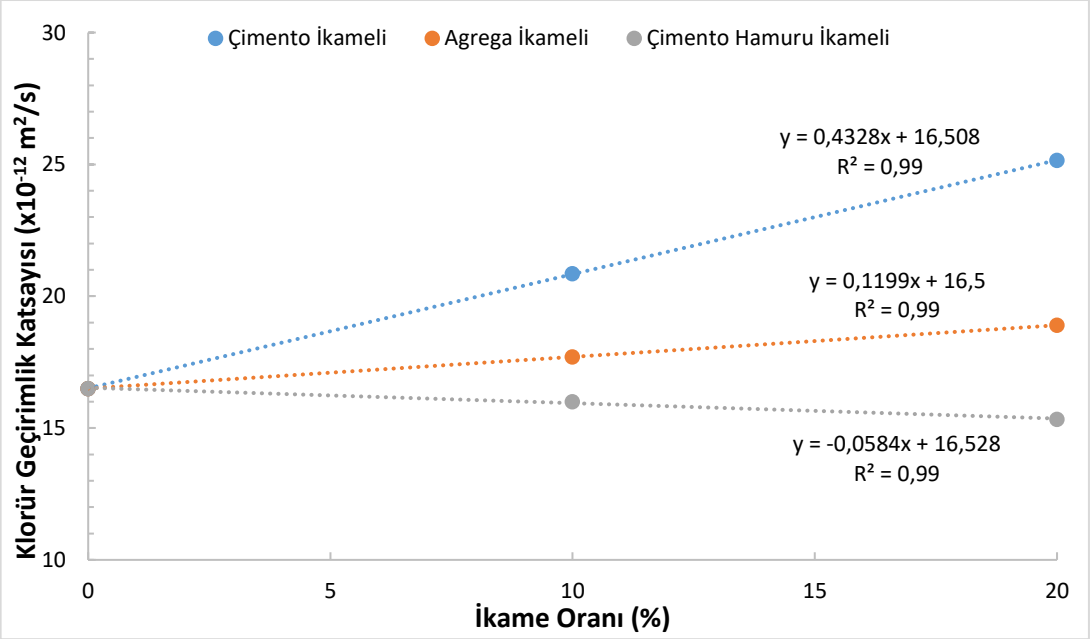


Şekil 4.13 Harç numunelerde klorür işleme derinliğinin belirlenmesi

Tablo 4.6 Harç serilerin klorür geçirimlilik katsayıları

Karışım	Klorür geçirimlilik katsayısı (D_{nssm}, m^2/s)×10^{-12}	Değişim (%)
Ref	16,5	-
C10	20,8	26,1
C20	25,2	52,7
A10	17,7	7,3
A20	18,9	14,5
P10	16,0	-3,0
P20	15,3	-7,3

Harç serilerin klorür geçirimlilik deneyi sonuçları değerlendirildiğinde; agrega ikameli serinin klorür geçirimlilik katsayısının çimento ikameli seriye göre daha düşük olduğu ancak her iki serinin klorür geçirimlilik katsayısının referans seriye göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Hamur ikameli seride ise klorür geçirimliliği referans seriye göre daha düşük değerler almış, ikame oranı arttıkça klorür geçirimliliğinin de azaldığı gözlenmiştir. Şekil 4.14' te klorür geçirimliliğin üç ikame yönteminde de ikame oranına bağlı olarak değişimi verilmiştir.



Şekil 4.14 Klorür geçirimlilik katsayısının ikame oranı ve yöntemine bağlı değişimi

İkame yönteminin harç serilerin deneysel olarak belirlenen çeşitli fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerine etkileri Tablo 4.7' de özetlenmiştir. Bu değerlendirmede (+) simgesi ikame yönteminin ilgili özelliği olumlu yönde etkilediğini, (++) simgesi çok olumlu etkilediğini, (-) simgesi olumsuz etkilediğini, (--) simgesi çok olumsuz etkilediğini, (o) simgesi ise ikame yönteminin ilgili özelliğe belirgin bir etkisinin olmadığını ifade etmektedir. Değerlendirmede basınç dayanımındaki artış olumlu olarak; su emme, boşluk oranı, kılcal su emme katsayısı ve klorür geçirimlilik katsayısındaki artış ise olumsuz olarak dikkate alınmıştır.

Tablo 4.7 İkame yönteminin harç serilerin fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerine etkileri

İkame yöntemi	Fiziksel özellik		Mekanik özellik	Dayanıklılık	
	Su emme	Boşluk oranı	Basınç dayanımı	Kılcal su emme	Klorür geçirimliliği
C	-	-	--	--	--
A	O	+	-	--	-
P	++	++	-	++	+

(+): Olumlu etki (-): Olumsuz etki (o): Önemsiz etki (++): Çok olumlu etki (--): Çok olumsuz etki

Tablo 4.7 incelendiğinde çimento ikamesinin harç numunelerin fiziksel özelliklerini olumsuz yönde, mekanik ve dayanıklılık özelliklerini ise çok olumsuz yönde etkilediği, agrega ikamesinin fiziksel özelliklere belirgin bir etkisinin olmadığı, yalnızca boşluk oranını olumlu etkilediği, buna karşılık mekanik ve dayanıklılık özeliklerini olumsuz veya çok olumsuz yönde etkilediği, hamur ikamesinin ise mekanik özellik dışında tüm özellikleri olumlu veya çok olumlu yönde etkilediği görülmektedir.

5
SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, agrega yıkama çamuru atığının çimento harcında kullanımına yönelik alternatif yöntemler araştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen önemli sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmiştir.

- Harç karışımlarına agrega yıkama çamuru atığının eklenmesi, ikame yönteminden bağımsız olarak ve ikame oranı ile birlikte işlenebilirliği azaltmıştır.
- Agrega yıkama çamuru atığının çimento ile ikamesi, diğer ikame yöntemlerine kıyasla su emmeyi ve boşluk oranını arttırmış, etüv kurusu yoğunluğu ise azaltmıştır. Çimento hamuru ikame yöntemi ile ikame edilen agrega yıkama çamuru atığı, harç numunelerin su emme ve boşluk oranının önemli derecede azalmasını sağlamıştır.
- Basınç dayanımı, genellikle agrega yıkama çamuru atığının harç karışımlarına eklenmesi ile azalmış ancak agrega ikame yöntemi, çimento ve çimento hamuru ikame yöntemlerine oranla daha yüksek mukavemet değerleri sağlamıştır. En düşük basınç dayanımı değerleri ise çimento ikame yöntemi ile elde edilmiştir.
- Kılcal su emme, agrega yıkama çamuru atığının agrega ve çimento ile ikame edilmesi ile artmış, çimento hamuru ile ikame edildiğinde ise azalmıştır.
- Klorür geçirimliliği, agrega yıkama çamuru atığının agrega ile ve çimento ile ikame edildiği serilerde referans seriye göre artmıştır. Diğer taraftan çimento hamuru ile ikame durumunda klorür geçirimliliği önemli ölçüde azalmıştır.
- Bu çalışma ile agrega yıkama çamuru atığının çimento harcında kullanımına yönelik üç farklı yöntem kullanılmış, bu yöntemlerin harcın çeşitli fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır.

- Deney sonuçlarına göre atık malzemenin çimento esaslı harçta kullanımında tercih edilen her bir ikame yönteminin farklı avantajlar sağladığı; örneğin agrega ile ikamenin mekanik özellikleri diğer iki ikame yöntemine oranla daha az düşürdüğü, çimento hamuru ile ikamenin ise diğer iki yöntemle kıyaslandığında harcın boşluk oranını, su emmesini ve klorür geçirimliliğini önemli oranda azalttığı belirlenmiştir. Çimento hamuru ile ikame yönteminde elde edilen düşük mekanik özelliklerin tez içinde de belirtildiği üzere kullanılan kimyasal katkının yüksek dozlarda kullanım gereksiniminden dolayı meydana geldiği düşünülmektedir. Farklı ve/veya daha etkili kimyasal katkılar kullanılarak istenilen işlenebilmenin daha düşük dozajlarda elde edilmesi harcın mekanik özelliklerini de olumlu yönde etkileyebileceği düşünülmekte, dolayısı ile sonraki çalışmalarda bunun da dikkate alınması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

[1] Y. Meng, T.C. Ling, K.H. Mo, Recycling of wastes for value-added applications in concrete blocks: An overview, Resour. Conserv. Recycl. 138 (2018) 298–312.

[2] J.K. Prusty, S.K. Patro, S.S. Basarkar, Concrete using agro-waste as fine aggregate for sustainable built environment – A review, Int. J. Sustain. Built Environ. 5 (2016) 312–333.

[3] H.S. Chouhan, P. Kalla, R. Nagar, P.K. Gautam, Gainful utilization of dimensional limestone waste as fine aggregate in cement mortar mixes, Constr. Build. Mater. 221 (2019) 363–374.

[4] L.D. Poulikakos, C. Papadaskalopoulou, B. Hofko, F. Gschösser, A. Cannone Falchetto, M. Bueno, M. Arraigada, J. Sousa, R. Ruiz, C. Petit, M. Loizidou, M.N. Partl, Harvesting the unexplored potential of European waste materials for road construction, Resour. Conserv. Recycl. 116 (2017) 32–44.

[5] J.M. Paris, J.G. Roessler, C.C. Ferraro, H.D. Deford, T.G. Townsend, A review of waste products utilized as supplements to Portland cement in concrete, J. Clean. Prod. 121 (2016) 1–18.

[6] S. Luhar, T.W. Cheng, I. Luhar, Incorporation of natural waste from agricultural and aquacultural farming as supplementary materials with green concrete: A review, Compos. Part B Eng. 175 (2019).

[7] Y. Xi, E. Anastasiou, A. Karozou, S. Silvestri, Fresh and hardened properties of cement mortars using marble sludge fines and cement sludge fines, Constr. Build. Mater. 220 (2019) 142–148.

[8] L.G. Li, Z.Y. Zhuo, J. Zhu, J.J. Chen, A.K.H. Kwan, Reutilizing ceramic polishing waste as powder filler in mortar to reduce cement content by 33% and increase strength by 85%, Powder Technol. 355 (2019) 119–126.

[9] D. Xuan, C.S. Poon, W. Zheng, Management and sustainable utilization of processing wastes from ready-mixed concrete plants in construction: A review, Resour. Conserv. Recycl. 136 (2018) 238–247.

[10] C.L. Wong, K.H. Mo, S.P. Yap, U.J. Alengaram, T.C. Ling, Potential use of brick waste as alternate concrete-making materials: A review, J. Clean. Prod. 195 (2018) 226–239.

[11] B.S. Thomas, R.C. Gupta, A comprehensive review on the applications of waste tire rubber in cement concrete, Renew. Sustain. Energy Rev. 54 (2016) 1323–1333.

[12] L.G. Li, Y.M. Wang, Y.P. Tan, A.K.H. Kwan, Filler technology of adding granite dust to reduce cement content and increase strength of mortar, Powder Technol. 342 (2019) 388–396.

[13] B. Felekoglu, Utilisation of high volumes of limestone quarry wastes in concrete industry (self-compacting concrete case), Resour. Conserv. Recycl. (2007).

[14] A.A. Aliabdo, A.E.M. Abd Elmoaty, E.M. Auda, Re-use of waste marble dust in the production of cement and concrete, Constr. Build. Mater. 50 (2014) 28–41.

[15] A.S.E. Belaidi, L. Azzouz, E. Kadri, S. Kenai, Effect of natural pozzolana and marble powder on the properties of self-compacting concrete, Constr. Build. Mater. (2012).

[16] H.A.F. Dehwah, Mechanical properties of self-compacting concrete incorporating quarry dust powder, silica fume or fly ash, Constr. Build. Mater. (2012).

[17] Safiuddin, M., Jumaat, M. Z., Salam, M. A., Islam, M.S., Hashim, R., (2010). Utilization of solid wastes in construction materials, International Journal of the Physical Sciences, 5(13), 1952-1963.

[18] Tahir GÖNEN, Onur ONAT, Selim CEMALGİL, Berivan YILMAZER, Yusuf Tahir ALTUNCU. Beton Teknolojisi İçin Yeni Atık Malzemeler Üzerine Bir İnceleme, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 8, No: 1, 2012 (36-43).

[19] https://archive.epa.gov/sectors/web/pdf/reuse.pdf. (erişim 20.02.2021)

[20] Siddique R. ve Kadri E., 2011, Effect of metakaolin and foundry sand on the near surface characteristics of concrete, Construction and Building Materials 25, 3257–3266.

[21] Siddique R. ve Singh G., Effect of waste foundry sand (WFS) as partial replacement of sand on the strength, ultrasonic pulse velocity and permeability of concrete 26 (2012) 416-422.

[22] Muhsin Yalçın, Yücel Güney, Hakan Koyuncu, Ömer Faruk Baş, http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/10632.pdf , Atık Döküm Kumunun Betonda Kullanılabilirliği, 515-524. (erişim 01.03.2021)

[23] Çelik Ç., Gürdal E., (2005), Yerfıstığı kabuğunun agrega olarak kullanım olanakları, itü dergisi/a mimarlık, planlama ve tasarım, 4(1), 37-46.

[24] Cuma Kara, Çay Atığının Doğal Lif Olarak Betonda Kullanılabilirliği, Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğ Afet Çev Derg, 2018; 4(2): 156-165, DOI: 10.21324/dacd.396805.

[25] Ganiron Jr., T.U., 2014. Effect of sawdust as fine aggregate in concrete mixture for building construction. Int. J. Adv. Sci. Technol. 63, 73–82.

[26] Udoeyo, F.F., Dashibil, P.U., 2002. Sawdust ash as concrete material. J. Mater. Civ. Eng. 14 (2), 173–176.

[27] Mageswari, M., Vidivelli, B., 2009. The use of sawdust ash as fine aggregate replacement in concrete. J. Environ. Res. Dev. 3 (3), 720– 726.

[28] Givi, A.N., Rashid, S.A., Aziz, F.N.A., Salleh, M.A.M., 2010. Assessment of the effects of rice husk ash particle size on strength, water permeability and workability of binary blended concrete. Constr. Build. Mater. 24, 2145–2150.

[29] Madandoust, R., Ranjbar, M.M., Hamed Ahmadi Moghadam, H.A., Mousavi, S.Y., 2011. Mechanical properties and durability assessment of rice husk ash concrete. Bio. Syst. Eng. 110, 144–152.

[30] Zaid, A.A., Ganiyat, O., 2009. Comparative utilization of biodegraded and undegraded rice husk in Clarias gariepinus diet. Afr. J. Biotechnol. 8 (7), 1358–1362.

[31] Iam, G.S., Makul, N., 2013. Utilization of limestone powder to improve the properties of self-compacting concrete incorporating high volumes of untreated rice husk ash as fine aggregate. Constr. Build. Mater. 38, 455–464.

[32] Yetim A., 2014. Geri Dönüşüm Sektörünün Dünyadaki Genel Görünümü Ve Türkiye'deki Durumu. AR&GE BÜLTEN.

[33] Avrupa Komisyonu, 2001. Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol (IPPC) Executive Summary – Pulp and Paper Kağıt Hamuru ve Kağıt Sanayiinde Kullanılabilecek En İyi Teknikler Hakkında Referans Belgesi, , Aralık.

[34] Ayşe KAÇAR, Atık Kağıt Katkılı Çimento Harçlarının Bazı Mekanik Özellikleri, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 6(1), 1-6, 2018 e-ISSN: 1308-6693.

[35] https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Eylul-2020-33657. (erişim 27.10.2020)

[36] M. Emiroğlu, S. Yıldız, "Atık lastiklerin inşaat sektöründe kullanılması", Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu (ISBS), Ankara, Türkiye, 837-839, 2010.

[37] O. Sadioğlu, "Lastik Agregalı Betonları Üç Fazlı Kompozit Malzeme Olarak İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2006.

[38] M. A. Aiello, F. Leuzzi, "Waste tyre rubberized concrete: Properties at fresh and hardened state", Waste Management 30: 1696–1704, 2010.

[39] M. Emiroğlu, S. Yıldız, "Atık lastiklerin inşaat sektöründe kullanılması", Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu (ISBS), Ankara, Türkiye, 837-839, 2010.

[40] A. Benazzouk, O. Douzane, T. Langlet, K. Mezreb, J.M. Roucoult, M. Queneudec, "Physico-Mechanical Properties and Water Absorption of Cement Composite Containing Shredded Rubber Wastes", Cement & Concrete Composites, 29: 732–740, 2007.

[41] A. Benazzouk, O. Douzane, T. Langlet, K. Mezreb, J.M. Roucoult, M. Queneudec, “Thermal Conductivity of Cement Composites Containing Rubber Waste Particles: Experimental Study and Modelling”, Construction and Building Materials, 22: 573–579, 2008.

[42] E. Vejmelková,M. Keppert, P. Rovnaníková, M. Ondráček, Z. Keršner, R. Černý, Properties of high performance concrete containing fine-ground ceramics as supplementary cementitious material, Cem. Concr. Compos. 34 (1) (2012) 55–61.

[43] L.R. Steiner, A.M. Bernardin, F. Pelisser, Effectiveness of ceramic tile polishing residues as supplementary cementitious materials for cement mortars, Sustain. Mater. Technol. 4 (2015) 30–35.

[44] I. Guerra, I. Vivar, B. Llamas, A. Juan, J. Moran, Eco-efficient concretes: the effects of using recycled ceramicmaterial from sanitary installations on themechanical properties of concrete, Waste Manag. 29 (2) (2009) 643–646.

[45] A. Gonzalez-Corominas, M. Etxeberria, Properties of high performance concrete made with recycled fine ceramic and coarse mixed aggregates, Constr. Build. Mater. 68 (2014) 618–626.

[46] R.L. Paquin, T. Busch, S.G. Tilleman, Creating economic and environmental value through industrial symbiosis, Long Range Plann. 48 (2015) 95–107.

[47] F. Saboya, G.C. Xavier, J. Alexandre, The use of the powder marble by-product to enhance the properties of brick ceramic, Constr. Build. Mater. 21 (2007) 1950–1960.

[48] V. Corinaldesi, G. Moriconi, T.R. Naik, Characterization of marble powder for its use in mortar and concrete, Constr. Build. Mater. 24 (2010) 113–117.

[49] G.C. Ulubeyli, R. Artir, Properties of hardened concrete produced by waste marble powder, Procedia - Social Behav. Sci. 195 (2015) 2181–2190.

[50] A.O. Mashaly, B.A. El-Kaliouby, B.N. Shalaby, A.M. El – Gohary, M.A. Rashwan, Effects of marble sludge incorporation on the properties of cement composites and concrete paving blocks, J. Clean. Prod. 112 (2016) 731–741.

[51] H. Du, K.H. Tan, Use of waste glass as sand in mortar. Part II. Alkali–silica reaction and mitigation methods, Cement and Concrete Composites 35 (2013) 118–126.

[52] T Kavas, M. Y. Çelik & A. Evcin, Cam Atıklarının Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 13-14 Mayıs 2004, İzmir, Türkiye.

[53] Öztürk M., 2003. İnşaat/Yıkıntı Atıklarının Yönetimi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara

[54] Kartam N., Al-Mutairi N., Al-Ghusain I. ve Al-Humoud J., 2004. Environmental Management of Construction and Demolition Waste in Kuwait, Waste Management, 24, 1049-1059.

[55] İsmail Demir, İnşaat Yıkıntı Atıklarının Beton Üretiminde Kullanımı ve Beton Özelliklerine Etkisi, Fen Bilimleri Dergisi 2009-02 105 -114.

[56] Durmuş, G., Can, Ö. ve Şimşek, O., Geri Dönüşüm Agregalarından Üretilen Farklı Sınıflardaki Betonun Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 1-4, 2009.

[57] İrfan KADİROĞLU, Erdem ÖZ, Oğuzhan TEZCAN, Efe Behlül KURU, Geri Dönüşümlü Agreganın Beton Üretiminde Kullanılabilirliği, Türkiye Hazır Beton Birliği Beton İstanbul 2017 Hazır Beton Kongresi.

[58] Merve AÇIKGENÇ, Tuğla ve Kiremit Atıklarının Kendiliğinden Yerleşen Harcın Mühendislik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, 2009, 94 s.

[59] Barış Akkaya, İhsan Toroğlu, Uçucu Külün Boyutu ile Puzolanik Aktivitesi Arasındaki İlişkinin İncelenmesi, Karaelmas Fen ve Müh. Derg. 7(2):412-418, 2017

[60] Hüseyin Yılmaz ARUNTAŞ, Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 21, No 1, 193-203, 2006

[61] Sümer, M., "Uçucu Kül Atıklarının Beton Üretiminde Değerlendirilmesi", I. Ulusal İnşaat & Çevre Sempozyumu, Salihli, Bildiriler Kitabı, ss. 179-185, 1994.

[62] Atanur, A. ve Yağız, F., "Türkiye'de Elde Edilen Uçucu Küllerin Menşeleri, Özellikleri ve Bu Uçucu Küllerin Agregat-Çimento Karışımlarında Portland Çimentosunun Bir Kısmını İkame Edebilmek İmkanlarının Araştırılması", Teknik Bülten Sayı 30, Karayolları Gen. Müd. Araştırma Fen Heyeti Müd. Yay., 1970, Ankara.

[63] Atiş, C.D., "Heat Evolution of high-Volume Fly Ash Concrete", Cement and Concrete Research, Vol. 32, pp. 751-756, 2002.

[64] Ghosh, A. and Subbarao, C., "Microstructural Development in Fly Ash Modified with Lime and Gypsum", Journal of Materials in Civil Engineering, pp. 65-70, JanuaryFebruary 2001.

[65] Gül, R. ve Yıldız, İ., "Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanılması", DSİ Teknik Bülteni, Sayı 87, ss. 57-64, 1996, Ankara.

[66] Yoon, Y.S., Won, J.P., Woo, S.K. and Song, Y.C., "Enhanced Durability Performance of Fly Ash Concrete for Concrete-Faced Rockfill Dam Application", Cement and Concrete Research, Vol. 32, pp. 23-30, 2002.

[67] Elkhadiri, I., Diouri, A., Boukhari A., Aride, J. and Puertas, F., "Mechanical Behaviour of Various Mortars Made by Combined Fly Ash and Limestone in Moroccan Portland Cement", Cement and Concrete Research, Vol. 32, pp. 1597-1603, 2002.

[68] F. Saboya Jr., G.C. Xavier, J. Alexandre, The use of the powder marble byproduct to enhance the properties of brick ceramic, Constr. Build. Mater. 21 (2007) 1950–1960.

[69] S. Pareek, Gainful Utilization of Marble Waste: an Effort towards Protection of Ecology and Environment, Cent. Dvlp Stone, Department of Mines and Geology, Jaipur, Rajasthan, 2007.

[70] G. Rego, C. Martínez, A. Quero, T.P. Blanco, J.M. Borquea, The effects of dust inhalation in slate industry workers, Med. Clin. 116 (8) (2001) 290–291.

[71] K. Agrawal, P.S. Gaharwar, A study on trend of export of natural stones from india to various countries, Int. J. Advan. Res. Technol. 2 (7) (2013) 360–379.

[72] S. El Haggar, Chapter 10 – Sustainability of industrial waste management, in: Sustainable Industrial Design and Waste Management: Cradle-to Cradle for Sustainable Development, Elsevier Academic Press, 2007, pp. 307–369. 10.1016/B978-012373623-9/50012-5.

[73] R.A. Hamza, S. El-Haggar, S. Khedr, Marble and granite waste: characterization and utilization in concrete bricks, Int. J. Biosci. Biochem. Bioinform. 1 (4) (2011) 286–291.

[74] Y. Divakar, S. Manjunath, M.U. Aswath, Experimental investigation on behaviour of concrete with the use of granite fines, Int. J. Adv. Eng. Res. Stud. 1 (4) (2012) 84–87.

[75] M. Vijayalakshmi, A.S.S. Sekar, G.G. Prabhu, Strength and durability properties of concrete made with granite industry waste, Constr. Build. Mater. 46 (2013) 1–7.

[76] I. Mármol, P. Ballester, S. Cerro, G. Monros, J. Morales, L. Sanchez, Use of granite sludge wastes for the production of coloured cement-based mortars, Cem. Concr. Compos. 32 (2010) 617–622.

[77] S.A. Abukersh, C.A. Fairfield, Recycled aggregate concrete produced with red granite dust as a partial cement replacement, Constr. Build. Mater. 25 (2011) 4088–4094.

[78] EN 1015-3:1999, Methods of test for mortar for masonry, Determination of consistence of fresh mortar (by flow table).

[79] ASTM C109/C109M-16a Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)

[80] ASTM C642-13 Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete.

[81] ASTM C1585-13 Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic- Cement Concretes.

[82] Teresa Zych, Test Methods Of Concrete Resıstance To Chlorıde Ingress, Institute of Building Materials and Structures, Faculty of Civil Engineering, Cracow University of Technology (2014) 118-124.

[83] NT BUILD 492 (1999). NordTest Method: Concrete, mortar and cement-based repair materials: Chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments, Finland.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Makaleler

1. Kabay N. ve Musaoğulları A.S. “Effect of Quarry Waste Powder on the Fresh And Hardened Properties of Cement Mortar” Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Sigma J Eng & Nat Sci 38 (2), 2020, 639-648