



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



SERAMİK ATIĞI İÇEREN HARÇLARIN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Yüksek Lisans Tezi

Akın AĞAÇHANLI

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İzmir

2024

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SERAMİK ATIĞI İÇEREN HARÇLARIN ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

Akın AĞAÇHANLI

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gözde İNAN SEZER

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

İzmir

2024

KABUL ve ONAY SAYFASI

Akın AĞAÇHANLI tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak sunulan “Seramik Atığı İçeren Harçların Özelliklerin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesinin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:**İmza****Jüri Başkanı : Prof. Dr. Şemsi YAZICI****Raportör Üye: Prof. Dr. Gözde İNAN SEZER****Üye : Prof. Dr. Ali Uğur ÖZTÜRK**

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum **“Seramik Atığı İçeren Harçların Özelliklerin İncelenmesi”** başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

18/01/2024

Akın AĞAÇHANLI



ÖZET

Seramik Atığı İçeren Harçların Özelliklerin İncelenmesi

AĞAÇHANLI, Akın

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gözde İNAN SEZER

Ocak 2024, 46 sayfa

Seramik malzemenin üretimi esnasında pişirme, şekil verme, parlatma vb. aşamalarda oluşan kırıklar, çatlaklar gibi kusurlar sebebiyle çok sayıda atık malzeme ortaya çıkmakta bu durum çevresel sorunlara ve depolama sıkıntılarına sebep olmaktadır. Bu çalışmada harç karışımları içerisinde agrega yerine atık seramiklerin kullanımı sağlamak amaçlanmış ve ürünün harçların bazı mekanik ve durabilite özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır.

Deneysel çalışma kapsamında, öncelikle fabrikadan temin edilen atık seramikler öğütülerek uygun ince agrega gradasyonuna getirilmiştir. Daha sonra elde edilen seramik agrega standart harç karışımlarında %0, 25, 40, 50, 60, 75 oranlarında ağırlıkça kırmataş agrega yerine kullanılmıştır. Tüm harç karışımlarında sabit işlenebilirliğin sağlanması amacıyla akma değerleri sabit tutulmuştur. Hazırlanan harç karışımları üzerinde tek eksenli basınç deneyi, ultrasonik geçiş hızı ölçümü, sodyum sülfat etkisi sonucu dayanım ve genleşme ölçümü, 300, 600 ve 900 °C yüksek sıcaklıklara 1 ve 3 saat maruz kalma sonrası basınç dayanımı ölçümü, alkali silis reaksiyonu sonrası genleşme ölçümü yapılmıştır. Ayrıca örneklerin su emme ve porozite değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar kontrol karışımı ile kıyaslamalı olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık seramik, Harç.

ABSTRACT**An Investigation of Properties of Mortars Containing Ceramic Waste**

AĞAÇHANLI, Akin

MSc in Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Gözde İNAN SEZER

January 2024, 46 pages

During the production of ceramic materials, a large number of waste materials arise due to defects such as fractures and cracks that occur in stages such as baking, shaping and lustering, and this causes environmental issues and storage problems. In this study, it was aimed to utilize waste ceramics instead of aggregate in mortar mixtures and the effects of the product on some mechanical and durability properties of the mortars were investigated.

Within the scope of the experimental study, at first, the waste ceramics obtained from the factory were ground and brought into the appropriate fine aggregate gradation. After that, the obtained ceramic aggregate was used instead of crushed stone aggregate in standard mortar mixtures at the rates of 0, 25, 40, 50, 60, 75% by weight. Flow values were kept constant to ensure constant malleability in all mortar mixtures. Uniaxial compression test, ultrasonic transmission velocity measurement, strength and expansion measurement as a result of sodium sulfate effect were performed on the prepared mortar mixtures. Compressive strength measurements were made after 1 and 3 hours of exposure to high temperatures of 300, 600 and 900 C°, and expansion measurements were made after the alkali silica reaction. Additionally, water absorption and porosity values of the samples were determined. The results obtained were evaluated in comparison with the control mixture.

Keywords: Waste ceramic, Mortar.

ÖNSÖZ

Çeşitli endüstriyel atıklar yarattıkları çevresel kirliliğin yanı sıra depolama konusunda da çeşitli sıkıntılar yaratmaktadır. Bu durum da ek maliyetler getirmektedir. Seramik malzemenin üretimi esnasında da pişirme, şekil verme, parlatma vb. aşamalarda oluşan kırıklar, çatlaklar gibi kusurlar sebebiyle çok sayıda atık malzeme ortaya çıkmaktadır. Bu durum çevresel sorunlara ve depolama maliyetlerine sebep olmaktadır. Beton karışımının yaklaşık %70 ini agreganın oluşturduğu bilinmektedir. Bu sebeple beton karışımında yüksek oranda kullanılan bu malzeme yerine atık malzeme kullanımının önemi bu noktada ortaya çıkmaktadır. Atık değerlendiriminin yanı sıra bu malzemenin betonun gerek dayanım gerekse durabilite performansında sağlayabileceği iyileştirmelerde artı değer katacaktır. Bu tez kapsamında da atık seramiklerin harç karışımları içerisinde agrega yerine kullanımı sağlanmış, mekanik ve durabilite özelliklerine olan etkileri de araştırılmıştır. Atık seramiklerin kullanımı ile hem çevresel kirliliğin önlenmesi hem de ekonomiklik sağlamak amaçlanmıştır.

İÇİNDEKİLERSayfa

KABUL VE ONAY SAYFASI	i
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI	iii
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 TEZİN AMAÇ VE KAPSAMI	3
2. SERAMİK	5
2.1 SERAMİĞİN TARİHÇESİ	7
2.2 SERAMİKLERİN ÖZELLİKLERİ	8
2.3 SERAMİK ÜRETİMİNDE KULLANILAN MALZEMELER	9
2.3.1 KİL	10
2.3.2 FELDSPAT	10
2.3.3 KUVARS	11
3. LİTERATÜR TARAMASI	13
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	21

4.1 KULLANILAN MALZEMELER	21
4.1.1 ÇİMENTO.....	21
4.1.2 AGREGA	21
4.1.3 SU	23
4.1.4 AKIŞKANLAŞTIRICI	23
4.2 METOD.....	23
4.2.1 HARÇ KARIŞIMLARININ HAZIRLANMASI.....	23
4.3. YAPILAN DENEYLER.....	24
4.3.1 YAYILMA ÇAPLARININ TESPİTİ	24
4.3.2 TEK EKSENLİ BASINÇ DENEYİ	24
4.3.3 ULTRASONİK GEÇİŞ HIZI BELİRLENMESİ.....	25
4.3.4 SÜLFAT ETKİSİ DENEYİ.....	25
4.3.5 YÜKSEK SICAKLIK DİRENCİ	26
4.3.6 ALKALİ SİLİKA REAKSİYONU ETKİSİ	27
4.3.7 SU EMME HESABI	27
5. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ.....	29
5.1 BASINÇ DENEYİ SONUÇLARI	29
5.2 ULTRASONİK GEÇİŞ HIZI DENEY SONUÇLARI.....	30
5.3 SÜLFAT ETKİSİ DENEYİ SONUÇLARI.....	31
5.4 YÜKSEK SICAKLIK DİRENCİ DENEY SONUÇLARI	33
5.5 ALKALİ SİLİKA REAKSİYONU ETKİSİ DENEY SONUÇLARI.....	35

5.6 SU EMME VE POROZİTE SONUÇLARI	36
6. SONUÇLAR	37
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	39
TEŞEKKÜRLER.....	45
ÖZGEÇMİŞ.....	46



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Geleneksel seramik türleri Sırasıyla; earthenware, stoneware ve porselen (What are ceramics?, 2023)).....	5
Şekil 2.2 Seramiklerin gruplandırılması (Kalinçimen et al., 2015).....	6
Şekil 2.3 Sümerler dönemine ait bir kil tablet / İp baskılı seramik çömlekler, MÖ 2500 (Okumuş, 2017)	7
Şekil 2.4 Feldspat Minerali (Kogel et al. ,2006).....	11
Şekil 2.5 Kuvars Minerali (The Role of Quartz in Ceramic Production, 2023.)...	12
Şekil 3.1 Aynı gradasyon aralığındaki ince agreganın (alt) seramik ince agregaya (üst) göre farkı (Klimek et al.,2020).....	16
Şekil 3.2 Farklı oranlarda seramik tozu ikame edilmiş çimentoların 2,7 ve 28 günlük Frattini Testi sonuçları (Irassar et al., 2014).....	17
Şekil 3.3 Seramik tozu katkısının kıvam suyu ve priz süresi üzerindeki etkisi (Kalinçimen ve ark., 2015).	18
Şekil 3.4 Seramik tozu katkısının yayılma özelliğine etkisi (Kalinçimen ve ark., 2015).....	19
Şekil 4.1 Beton presi.....	25
Şekil 4.2 Boy ölçüm cihazı.....	26
Şekil 4.3 Yüksek sıcaklık deneyi.....	27
Şekil 5.1 Basınç Dayanımı Deney Sonuçları.....	29
Şekil 5.2 Sülfat etkisinde basınç dayanımı deney sonuçları.....	31
Şekil 5.3 Prizmatik numunelerin genleşme yüzdeleri	32
Şekil 5.4 Alkali silika etkisi sonrası genleşme değerleri	35

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.1 Çimentonun bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri	21
Tablo: 4.2 Seramik Özellikleri	22
Tablo: 4.3 Agrega Elek Analizi Sonuçları.....	22
Tablo: 4.4 Süperakışkanlaştırıcının kimyasal özellikleri.....	23
Tablo 4.5 Harç karışımlarının isimlendirilmesi ve karışım oranları.....	24
Tablo 5.1 Örneklerin ultrases geçiş hızları	30
Tablo 5.2 Yüksek sıcaklık deneyleri sonrası basınç dayanımı değerleri.....	34
Tablo 5.3 Örneklerin su emme değerleri	36

1. GİRİŞ

İnsan medeniyeti ilerledikçe endüstriyel, çevresel, ekonomik ve sosyal sorunları da beraberinde getirmiştir. İnsan nüfusunun hızlı artması, doğal kaynakların hızla tüketilmesi ve buna bağlı olarak artan talepler araştırmacıları bu sorunları olabildiğince azaltmak için alternatif çözümler aramaya yöneltmiştir. Tüm alanlardaki araştırmacıların ilgisini çeken ortak bir konu da doğal kaynakların tüketimini azaltabilecek alternatif malzeme arayışlarıdır. Doğal kaynakların tüketimini azaltabilecek alternatif malzeme arayışı, farklı disiplinlerden araştırmacıların ilgisini çeken son derece önemli bir konudur. Bu arayış, sürdürülebilirlik ve çevre koruma gibi küresel önceliklerin yanı sıra ekonomik ve sosyal dönüşüm gereksinimlerini de yansıtmaktadır. Örneğin, çevre dostu malzemelerin keşfedilmesi ve kullanılması, enerji verimliliğini artırarak kaynakların etkin kullanımını sağlamakta, atık miktarını azaltmakta ve çevresel etkileri minimize etmeye yönelik önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, nanoteknoloji, biyoteknoloji ve malzeme bilimi gibi hızla ilerleyen alanlardaki çalışmalar, alternatif malzemelerin araştırma ve geliştirme sürecini hızlandırmakta ve çeşitlendirmektedir. Bu multidisipliner yaklaşım, yeni ve yenilikçi malzemelerin keşfedilmesini sağlayarak, doğal kaynaklarımızı daha verimli bir şekilde kullanma potansiyelini artırmaktadır. Böylece, insanlık, sürdürülebilir bir geleceğe doğru ilerlemek için doğal kaynaklarla daha dengeli ve uyumlu bir ilişki kurma hedefine adım adım yaklaşmaktadır.

İnşaat sektöründe kullanılan temel yapı malzemesi şüphesiz betondur. Ancak, betonun ana bağlayıcı bileşeni olan çimento, üretimi sırasında önemli miktarda enerji tüketimi ve karbondioksit salınımı gibi çevresel etkiler yaratmaktadır. Bu nedenle de araştırmacılar beton üretiminde çevresel etkileri en aza indirmek için çeşitli yöntem arayışına girmişlerdir. Ayrıca, beton karışımının yaklaşık %70 ini agreganın oluşturduğu da düşünülürse beton karışımında yüksek oranda kullanılan bu malzeme yerine atık malzeme kullanımının önemi bu noktada ortaya çıkmaktadır. Araştırmacılar ve mühendisler, atık malzemelerin beton üretiminde kullanımını optimize etmek ve bu süreçte teknik ve sürdürülebilirlik açısından en iyi sonuçları elde etmek için çalışmalarını sürdürmektedirler. Bu çabalar, inşaat sektörünün çevresel sürdürülebilirlik açısından daha ileriye gitmesine yardımcı

olacak ve gelecek nesiller için daha yaşanabilir bir çevre bırakma hedefine ulaşmada önemli bir adım olacaktır (Kalinçimen et al., 2015).

Seramik, kil ve diğer doğal minerallerin ısıtma, pişirme veya yanmasıyla birlikte oluşan kırılğan, sert ve genellikle inorganik malzemeleri oluşturmak için kullanılan yüksek sıcaklıkta işlem görebilen bir malzeme grubudur. Keramik malzemeler, çimento yerine kullanıldığında çevresel avantajlar sunabilmektedir. Keramikler, genellikle doğal kaynaklardan elde edilen hammaddelerden üretilir ve düşük enerji tüketimiyle işlenebilir. Ayrıca, yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek mukavemeti, sertliği, kimyasal olarak inert bir yapıda olması sebebiyle kimyasallara karşı dirençli olması, düşük termal genleşme katsayısı gibi özellikleri sayesinde endüstride yaygın olarak kullanılan bir malzeme sınıfıdır. Bina kaplamaları, mutfak eşyaları, elektronik bileşenlerde ve hatta uzay aracı parçalarında bile kullanım alanları mevcuttur. Keramiklerin yapıda da kullanılması ayrıca durabilite özelliklerini de olumlu yönde etkilemesinin yanında aşınma direnci, hava koşullarına karşı dayanıklılığı da artırır. Keramikler bu çok yönlülükleri sayesinde inşaat, havacılık, medikal, otomotiv ve elektronik gibi birçok sektörde yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Keramik atıklar, çeşitli endüstrilerin yan ürünleri olarak ortaya çıkar. Bu atıklar genellikle seramik, cam ve elektronik üretimi gibi sektörlerde oluşur. Keramik üretim sanayisinde üretimler sonucunda yaklaşık %5 oranında atık seramikler meydana gelmekte ve bu miktar dünya genelinde yaklaşık olarak 550 milyon m² gibi değerlere ulaşmaktadır (Ardahanlı, 2020).

Yapı malzemelerinde seramiklere yönelik araştırmalar devam etmektedir. Keramik malzemelerin üretim teknolojileri, özelliklerinin iyileştirilmesi ve farklı uygulama alanlarında kullanımı konusunda çalışmalar yürütülmektedir. Bu çalışmaların sonucunda, çevre dostu ve sürdürülebilir bir yapı malzemesi olan seramiklerin betonda daha yaygın bir şekilde kullanılması mümkün olabilecektir.

Seramik atıklarının sürdürülebilir bir yapı malzemesi olarak kullanılmasıyla ilgili artan bir ilgi vardır. Bunun birkaç nedeni vardır. İlk olarak, seramik atıkları genellikle biyolojik olarak parçalanamazlar, bu da uzun ömürlü ve dayanıklı bir yapı malzemesi sağlar. İkincisi, seramik atıklarının kullanılması, atıkların bertaraf

edilmesini ve çöplüklere gönderilmesini önleyerek, atık yönetimi sorunlarına çözüm sunar. Ayrıca, seramik atıklarının maliyeti genellikle düşüktür, bu da ekonomik açıdan avantajlı bir seçenek olduğunu gösterir.

1.1 Tezin Amaç ve Kapsamı

Bu tez kapsamında, seramik atıklarının özellikle harç karışımlarında agrega yerine alternatif bir malzeme olarak kullanılması amaçlanmıştır. Bu amaçla yapılan deneysel çalışmada, farklı oranlarda seramik atığı içeren harç karışımlarının bazı mekanik ve durabilite özellikleri araştırılmıştır. Bunlar, porozite, su emme, basınç dayanımı, yüksek sıcaklık etkisi, ultra ses geçiş hızı, alkali silika reaksiyonu etkisi, klor iyon geçirimsizliği ve sülfat etkisi olarak sıralanabilir.

Araştırma kapsamında, atık seramiklerin beton hacminin büyük bir bölümünü oluşturan bir malzeme olan agrega yerine kullanımı hem çevresel kirliliğin önlenmesi hem de ekonomiklik sağlamak amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra seramik atıklarının ilavesiyle harç özelliklerinde beklenen iyileştirmelerle ürünün agrega yerine optimum kullanım oranı belirlenmeye çalışılmıştır.



2. SERAMİK

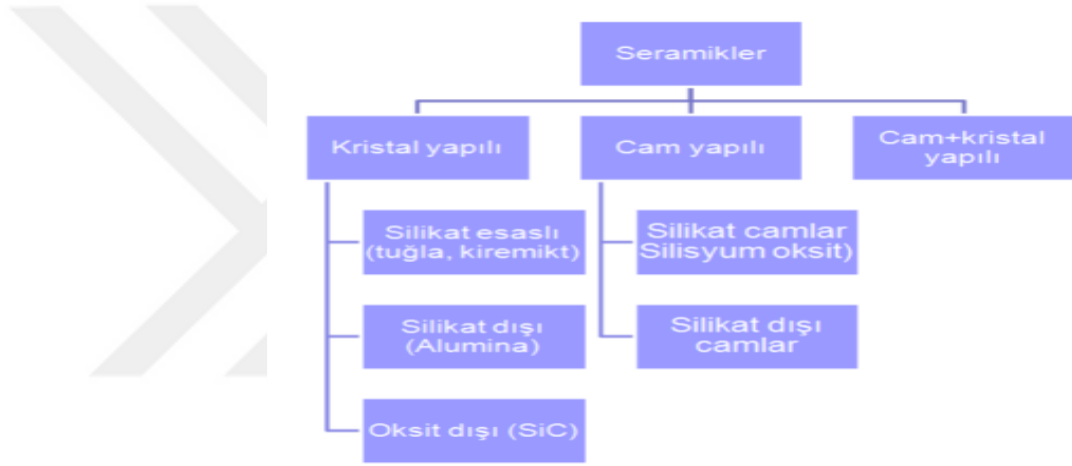
Seramikler, kil gibi inorganik, metalik olmayan bir malzemenin yüksek sıcaklıkta şekillendirilip ardından fırınlanmasıyla yapılan, sert, kırılğan, ısıya ve korozyona dayanıklı bir malzemedir (Loh,W., 2011). Keramikler, sadece kil ile üretilebildiği gibi, kil, kaolin, kuvars ve feldspatın belirli oranlarda karıştırılmasıyla, gerekiyorsa istenen üründen beklentilere göre farklı maddelerin ilave edilmesiyle elde edilir. Keramikler mutfak eşyaları ve yer karoları yapımında yaygın olarak kullanılmakta ayrıca bina giydirmelerinde dekoratif amaçlı olarak da kullanılmaktadır (Okumuş, 2017).

Geleneksel seramikler earthenware, stoneware ve porselen olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır (Şekil 2.1). Earthenware en eski seramik malzemelerdendir ve çanak çömlek, sofa takımı, dekoratif eşyalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapımında, kil nispeten düşük sıcaklıklarda (1000-1150°C) pişirilerek hafif gözenekli kaba bir ürün elde edilir. Gözeneklerden arındırmak için sırlanarak ikinci kez pişirilir. Stoneware ise, kil cam gibi olana kadar yüksek bir sıcaklıkta (yaklaşık 1200°C) pişirilerek elde edilir. Gözeneksiz olduğu için sırlama işlemi sadece dekorasyon için uygulanır. Genellikle mutfaklarda kullanılan dayanıklı bir malzemedir. Porselenler ise çok sert, yarı saydam ve beyaz renkli seramiklerdir. Yapımı için az miktarda cam, granit ve feldspat mineralleri ile ince beyaz kaolin kili öğütülür. Karışıma su eklendikten sonra yoğrulup şekillendirilerek fırında 1200-1450°C sıcaklıklar arasında pişirilerek elde edilir (What are ceramics? 2023).



Şekil 2.1 Geleneksel seramik türleri Sırasıyla; earthenware, stoneware ve porselen (What are ceramics?, 2023)

Seramikler yalnızca pişmiş toprak ürünleri olmayıp geniş bir malzeme grubunu kapsar. Seramikler arasında, refrakter malzemeler, camlar, aşındırıcılar, çimentolar, kayalar gibi farklı malzemeler de sayılabilir. Seramikler yapısal olarak; kristal, cam yapılı ve camsı kristal yapılı olarak 3 grupta incelenebilir (Şekil 2.2). Kristal yapılı seramikler; silikat esaslı oksit seramikler, silikat dışı oksit seramikler ve oksit içermeyen seramiklerden oluşur. Geleneksel seramiklerin çoğu silikat esaslı oksitler grubundadır. Cam yapılı seramikler aynı zamanda amorf yapılı seramikler olarak da bilinir. Kristal yapılı camlar en gelişmiş seramik tipleridir. Diğer seramiklere göre daha yüksek mekanik özelliklere sahiptir ve daha kolay şekillendirilebilir (Kalinçimen et al., 2015).



Şekil 2.2 Seramiklerin gruplandırılması (Kalinçimen et al., 2015)

Geleneksel seramik malzemeler genellikle kil mineralleri gibi doğal hammaddelerden oluşurken, ileri seramik olarak sınıflandırılan modern seramik malzemeler farklı bileşenlere sahiptir. Bu ileri seramik malzemeler arasında alümina (alüminyum oksit), silisyum karbür ve tungsten karbür gibi malzemeler bulunur. Her iki malzeme de aşınma dirençleri sebebiyle değerli görülür ve endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılırlar. Bu özellikleri sayesinde dayanıklı ve uzun ömürlü yapılar oluşturmak için önemli bir rol oynarlar (Kalinçimen et al., 2015).

2.1 Seramiğin Tarihçesi

Seramiğin tarihçesi Orta Avrupa’da yaklaşık MÖ 28.000 yıllarına kadar dayanmaktadır. Tarihi bu kadar eski yıllara dayanan bir malzeme olan seramikler, ilk zamanlarda kilden yapılmış çanak çömlek olarak tanımlayabileceğimiz nesneler veya insan figürlerinde ibarettir (Şekil 2.3) (Okumuş, 2017). Ancak neolitik dönemde tarımcılık yapan toplumların artmasıyla birlikte oluşan su ve yiyecekleri depo etme ihtiyacı ile birlikte seramiklerin kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Ancak bu seramikler geçirgenlik ve su emme gibi çeşitli problemlere sahipti (The American Ceramic Society, 2023). Mezopotamya’da, Bronz Çağı’nın başlarında sırlama yöntemleri keşfedilmiş ve bu keşif ile beraber seramikler; pürüzlülüğü giderme, renkli yüzeylere sahip olma, gözenekliliği ve geçirgenliği azaltma gibi çeşitli amaçlarla, pişirildikten sonra sırlama işlemine tabi tutulmaya başlanmıştır. MÖ 3500 yıllarında tekerleğin icat edilmesiyle birlikte düzgün şekilli, radyal simetriye sahip olan seramik eşyaların yapılması mümkün olmuştur. İlerleyen zamanlarda seramikler üzerlerine işlemler ve resimler yapılması ile beraber sanat eserleri haline gelmiştir (Carter and Norton, 2013)



Şekil 2.3 Sümerler dönemine ait bir kil tablet / İp baskılı seramik çömlekler, MÖ 2500 (Okumuş, 2017)

MS 16. yüzyıla kadar earthenware, Avrupa ve Orta Doğu'da üretilen ana seramik türü olmuştur. Çin de 1350°C'ye kadar çıkabilen yüksek sıcaklıklı fırınlarının yapılmasıyla MS 600 civarında kaolin kilinden, gözenek oranı %1'den az, porselen malzeme geliştirmişlerdir. İpek yolu üzerinden yapılan ticaret, porselenin önce İslam coğrafyasında ve daha sonra ise Avrupa'da yayılmasına olanak sağlamıştır. 15. Yüzyılda Avrupa'da 1500°C'ye kadar çıkabilen en eski yüksek fırınlar geliştirilmiştir. Başlarda sadece demiri eritmek için kullanılsa da daha sonra kok kömürü, çimento, bazı kimyasallar ve seramik üretimi için de kullanılmıştır. Bu tarihsel gelişmeler ile birlikte seramikler insanların günlük hayatında oldukça yaygın olarak kullandığı ve ayrıca sanatlarını icra ettiği bir malzeme haline gelmiştir. Seramiğin ilk fabrikasyon üretimi Almanya'da başlamıştır. Günümüze gelindiğinde ise seramikler, evsel, endüstriyel, inşaat malzemesi, dekorasyon malzemesi ve seramik mühendisliğin gibi çeşitli alanlarda kullanılmak amacıyla üretilmektedir.

2.2 Seramiklerin Özellikleri

Her malzemede olduğu gibi, seramiğin özellikleri de onu oluşturan atomlar, atomlar arasındaki bağ türleri ve atomların bir araya gelme şekilleri tarafından belirlenmektedir. Seramiklerde iyonik ve kovalent olmak üzere iki çeşit kimyasal bağ bulunabilmektedir. Her ne kadar seramik malzemelerde bu iki tür bağ oluşsa da bunların çoğunda özellikle oksitlerde iyonik bağ baskın durumdadır. Bu tür malzemeler, herhangi bir plastik deformasyon göstermeden kırılma eğilimindedir ve bu da malzemede tokluğun düşük olmasına neden olmaktadır. Ayrıca, bu malzemeler gözenekli olma eğiliminde olduğundan, gözenekler ve diğer mikroskobik kusurlar, tokluğu ve çekme mukavemetini azaltan bir etki oluşturmaktadırlar. Ancak belirtilen bu olumsuz özelliklerin aksine seramiklerin; yüksek derecede sertlik, yüksek erime noktası, düşük iletkenlik, düşük ısı genleşme ve kimyasal direnç gibi birçok olumlu özellikleri de mevcuttur (The American Ceramic Society, 2023).

Seramikler tanımı gereği doğal veya sentetik inorganik, metalik olmayan, polikristal malzemelerdir. Kristal malzemenin rijit yapısı nedeniyle hareket kabiliyeti sınırlıdır ve bu nedenle plastik deformasyon gösterme yetenekleri azdır. Bahsi geçen davranışın üstesinden gelmek için seramik matrisli kompozit malzemeler kullanılabilir. Bu uygulama seramiğin tokluğunu önemli ölçüde artırır (Seramik özellikleri Wikipedia, 2023).

Seramiklerin özellikleri, tane boyutlarından ve tane şekillerinden büyük ölçüde etkilenir. Yoğunluk, sertlik, mekanik dayanım ve optik gibi özellikler sinterlenmiş malzemenin mikro yapısı ile ilişkilidir (The American Ceramic Society, 2023).

Seramiklerin genel fiziksel, kimyasal ve optik özelliklerine yüksek elastisite modülü, düşük süneklilik, yüksek aşınma direnci, yüksek kimyasal direnç, yüksek hava direnci, yüksek erime noktası, yüksek çalışma sıcaklığı, düşük termal genleşme, düşük termal iletkenlik, düşük elektrik iletkenliği, düşük çekme dayanımı, yüksek basınç dayanımı, işlenebilirlik, opaklık, kırılma, düşük darbe dayanımı, düşük termal şok direnci örnek olarak verilebilir (Seramik özellikleri Wikipedia, 2023).

Bileşiminde değişik türde silikatlar, alüminatlar ve bir miktar metal oksitler ile alkali ve toprak alkali bileşikler bulunabilir. Seramik grubuna oksitler, nitritler, boridler, karbitler, silikatlar ve sülfidler girmektedir (Seramik özellikleri Wikipedia, 2023).

2.3 Seramik Üretiminde Kullanılan Malzemeler

Doğadan elde edilen kil, kaolin, kuvars ve feldspat gibi minerallerin belli oranlarda su ile karıştırılması sonucu elde edilen hamur şekillendirildikten sonra 1000°C üzerinde yüksek sıcaklık fırınlarında pişirilmesi ile seramik malzemeler meydana getirilmektedir (Seramik özellikleri Wikipedia, 2023).

2.3.1 Kil

Kil doğada bol miktarda bulunan ince taneli bir toprak malzemesi türüdür. Killer ıslandığında etrafını çevreleyen su nedeniyle plastisite geliştirir. Ancak kuruduktan veya fırınlandıktan sonra plastisitesini kaybederek sert ve kırılgan hale gelir (Guggenheim et al., 1995). Saf kil genellikle beyaz ve açık renklidir, buna karşın doğada bulunan killer demir oksit içeriği nedeniyle kırmızımsı veya kahverengimsi bir renkte olabilir (North & Morris, n.d.). Kili meydana getiren maddeler sulu alüminyum silikatlardır. Genel olarak, m Al_2O_3 , n SiO_2 , p H_2O formülü ile ifade edilen killer, çok saf olduğu halde kaolinit adını alır. Kaolinit'in kimyasal formülü, $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ dur.

Kilin en belirleyici mekanik özellikleri, ıslakken plastisitesi yüksek olması ve kurutulduğunda veya pişirildiğinde sertleşmiş bir hal almasıdır. Killerin plastik ve likit limitleri oldukça geniş bir aralığa sahiptir. Kaolinitlerin plastik limitleri yaklaşık %36 ile %40 arasında, likit limitleri ise yaklaşık %58 ile %72 arasındadır (White, 1949).

Kil, seramiğin özellikleri üzerinde çeşitli etkilere sahiptir. Kil, seramiğin su emme kapasitesini artırır, kolayca şekillendirilebilir ve deforme olabilir, böylece seramiğin şekillendirilmesi aşamasında önemli bir rol oynar. Seramik malzemelerin izlenebilirliğini artırır ve daha detaylı şekillerin elde edilebilmesini sağlar. Ayrıca malzemenin rengini de etkileyebilir (White, 1949).

2.3.2 Feldspat

Feldspatlar, yerkabuğunun büyük bir kısmını oluşturan ve sodyum, potasyum, kalsiyum, lityum gibi elementlerin yanı sıra bazen baryum ve sezyum gibi elementlerin izomorf birleşimiyle oluşmuş susuz alümina silikat mineralleridir. Bu mineraller, magma kütlelerinde farklı şekillerde bulunur ve soğuyup kristalleşmesiyle feldspat zonları ve yatakları oluşur (Maden Mühendisleri Odası, 2023)

Feldspatlar, seramik ve cam endüstrisinin temel hammaddelerinden biridir. Türkiye de dahil olmak üzere birçok ülkede yaygın olarak bulunurlar. Ancak, genellikle rutil, sfen, mika gibi demir ve titan mineralleri gibi safsızlıklar içerirler ve kullanılmadan önce bu safsızlıklardan arındırılarak alkali içerikleri zenginleştirilmelidir. Safsızlıklardan temizlenerek alkali içerikleri zenginleştirilen feldspatlar, seramik ve cam üretiminde kullanılırlar. Feldspatlar, bu sektörlerde erime özelliği ve yapısındaki minerallerin çeşitliliği nedeniyle önemli bir rol oynar. Cam üretiminde şeffaflık, dayanıklılık ve termal özellikler gibi faktörlere katkıda bulunurken, seramik üretiminde ise erime sıcaklığı, viskozite kontrolü, renk ve pürüzlülük gibi özelliklerin düzenlenmesine yardımcı olur (Maden Mühendisleri Odası,2023).

Feldspatlar sert ve kimyasal olarak dayanıklı maddelerdir. Bu nedenle seramik üretiminde kullanılabilir (şekil2.4). Feldspatlar, seramik endüstrisinde pişirme sırasında camsı bir faz oluşturmak için kullanılır. Ayrıca sırlama işlemlerinde alkali ve alümina kaynağı olarak kullanılırlar (Kogel et al. ,2006).



Şekil 2.4 Feldspat Minerali (Kogel et al. ,2006).

2.3.3 Kuvars

Kuvars, silisyum dioksit kristallerinden oluşan oldukça saf bir mineraldir. Sert ve kristalli bir yapıya sahiptir. Yarı değerli taşlardan birçoğu kuvars içerir ve farklı kuvars çeşitleri bulunur. Antik çağlardan beri, özellikle Avrasya'da mücevher yapımında ve sert taş oymalarında en çok kullanılan mineraller arasında yer almıştır.

Kuvars, dayanıklı ve sert bir mineraldir. Bu özellikleri nedeniyle seramik endüstrisinde de yaygın olarak özellikle de seramik harcının yoğunluğunu artırmak amacıyla kullanılır. Seramik üretiminde kuvars, malzemenin mukavemetini ve dayanıklılığını aynı zamanda seramiklerin termal şoklara, kimyasallara ve aşınmaya karşı direncini artırır.

Kuvars, silika tozunun mineral halidir ve seramiklerde ve seramik sırlarda kullanılır (Şekil 2.5). Genellikle termal genleşmeyi artırmak için kullanılır ve hem kimyasallara hem de ısıya karşı çok dirençli olması onu birçok uygulama için iyi bir seçenek haline getirir (Quartz Ceramic,2023). Seramiğin pişme aşamasında kuvarsın genleşmesi seramiğin büzülmesini dengeleyen bir etkiye sahiptir. Ancak soğuma aşamasında mikro çatlaklara sebep olarak seramiğin termal şok direncini ve dayanımını düşürebilir (The Role of Quartz in Ceramic Production, 2023.).



Şekil 2.5 Kuvars Minerali (The Role of Quartz in Ceramic Production, 2023.)

3. LİTERATÜR TARAMASI

Seramik atıkların beton üretiminde kullanılabilmesi literatürde bazı araştırmalara konu olmuştur. Yapılan bir araştırmada iri agrega yerine betonda çeşitli oranlarda seramik karosu kullanılmış olup optimum Seramik oranı %30 olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda seramik karo atıkları, doğal iri agrega ikamesi olarak kullanıldığında, seramik karo atığı agregalarının yüksek su emmesi ve köşeli şekilleri nedeniyle betonun işlenebilirliğini ve akış kolaylığını azaltma eğilimindedir. (Daniyal and Sangeetha, 2021).

Başka bir araştırmaya göre, doğal iri agregalar seramik karo atığı agregalar ile değiştirildiğinde seramik agregaların köşeli. Şekli ve üniform olmayan boyutu nedeniyle betonun çökme değerinde %55 kayıp meydana getirdiği görülmektedir (Kabir M, 2016).

Atık Seramik il ilgili Nijerya da yapılan bir çalışma da Seramik atık betonun mukavemetini %75 ve daha fazla oranda ikame edilmesi sonucu azalttığı sonucuna varılmıştır. Bu oran ve üzerinde seramik agrega kullanımını betonun yapısını bozduğunu ifade etmiştir. Ayrıca çeşitli oranlarda seramik atıklarının betonda kullanımının hem maliyeti düşürdüğünü hem de çevre temizliğine katkı sunduğu belirtilmiştir (Ikponwosa and Ehilkhuenmen, 2017).

Hindistan da yapılan bir araştırmada doğal agrega ile sıhhi seramik atığı agregası karıştırıldığında darbeye karşı direnci ve aşınmaya karşı direncinin azaldığını fakat daha az su emdiği için daha kullanışlı bir malzeme olduğu belirlenmiştir. Ayrıca çeşitli oranlarda seramik atığına az miktarda agreganın %10nu Metakaolin ikame edilerek seramikle hazırlanmış olan çimentonun dayanımını ve diğer fiziksel özelliklerini iyileşme gözlemlendiği belirtilmiştir (Patel et al., 2017).

Başka bir çalışmada seramik karo atıklarını, oranları %0 ile %20 arasında değişecek şekilde 7 ila 28günlük kürlenme sonucunda, ince agrega ikamesi olarak kullanmışlardır. Seramik karo atığı oranı arttıkça daha sert bir beton matrisinin ortaya çıkması nedeniyle betonun işlenebilirliğinin azaldığını tespit etmişlerdir.

Ayrıca 28 günlük dayanım sonuçları 7 günlük sonuçlara göre kontrol karışımında çok fazla fark etse de seramik ile hazırlanan karışımlarda seramik oranı arttıkça dayanımda ki artış azalmıştır. İşlenebilirlik sorunun çözümü için de kimyasal katkıları eklemek veya su içeriğini artırmak çözüm olarak denenebilir. (Daniel and Sangeetha, 2021).

Polonya da bir üniversitede yapılan çalışmada seramik atığın ince ve iri agrega yerine kullanılması ve çimento yerine alüminli çimento kullanılması sonucunda her iki kullanım için de yüksek dayanım sağladığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca bu çalışmada ince agrega yerine tamamen seramik agrega kullanmış ve bunun betonun yangın direncinin üzerindeki etkisini incelemiştir. Seramik agregalı betonun yangına maruz kaldıktan sonra normal betona göre daha iyi dayanım özelliklerine sahip olduğunu bildirmiştir (Halicka et al., 2013).

Seramik atıkların yeniden kullanımı ve geri dönüşümü ile ilgili yapılan bir araştırma kapsamında kireçtaşı agregalarının seramik atıklarla değiştirilebilmesinin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu araştırma sonucunda geri dönüştürülmüş iri seramik agrega içeren beton karışımlarının %67 oranında kullanılması en iyi sonucu verdiği belirlenmiştir. Ayrıca standart betondan daha iyi bir aşınma direncine sahip olduğunu bildirmiştir (Correia et al., 2006).

Başka bir çalışmada ise, beton karışımlarında ince seramik agregalar kullanıldığında aşınmaya karşı direncin arttığını gözlemlemiştir. Seramik atıkları ince agrega yerine %40, 50, 60 oranlarında değiştirilmesi ile elde edilen betonda 7, 28, 90 ve 365 günlük kür sonunda yapılan testler sonucunda tüm kür sürelerinde en iyi basınç dayanımı ve klor karşı geçirimsizlik olarak %60 oranında seramik atık kullanılması sonucunda en iyi sonuç elde edildiğini vurgulamıştır. Sonuç olarak betonda rahatlıkla seramik atığı kullanılabilir (Binici, 2007).

Bu çalışmada banyo seramiğinden elde edilen atıkların yapısal beton üretiminde doğal iri agregaların kısmi ikamesi ile geri dönüştürülmüş kaba agrega olarak yeniden kullanımı incelenmiştir. Ayrıca betonun donma-çözülme direncini incelemiştir. Sonuç olarak elde edilen numunenin geri dönüştürülmüş seramik agrega ve macun arasındaki geçiş bölgesindeki mikro yapının doğal agregaya göre

daha sıkı olduğu ayrıca çatlaklarının daha ince olduğunu ve çatlak gelişiminin geleneksel betondan daha az olduğunu gözlemlemiştir (Medina et al., 2013).

Banyo seramiği atıklarını ince agrega olarak kullanmış ve aşınma derinliğinde bir artış olduğunu bildirmiştir. Etkili su/çimento oranındaki artışın aşınmaya karşı direncin azalmasının ana nedeni olduğu sonucuna varmıştır. Ayrıca basınç ve çekme dayanımlarında da azalmalar olduğunu belirtmiştir (Marques, et al, 2014).

Gonzalez-Corominas and Etxeberria, (2014), yalıtkan malzeme bazlı ince agreganın kararlı doğasının klorür iyonu penetrasyonuna karşı gelişmiş bir direnç sağladığı sonucuna varmıştır. Higashiyama et al. (2012) ise ince seramik agrega içeren beton numunelerin klorür iyonu geçirgenliğinde bir artış olduğunu bildirmiştir.

Daha iyi mekanik özelliklere ve daha düşük su geçirgenliğine sahip harç karışımları oluşturmak için %20 oranına kadar ince seramik agrega kullanılabileceği sonucuna varmıştır (Farinha et al., 2015).

Seramik tozunun ve ince seramik agregaların kullanımının beton üzerindeki etkisini araştırmıştır. İnce agrega yerine tamamen seramik agrega ve çimentoya ikame olarak %10 seramik tozu içeren numunelerin diğerlerine göre daha yüksek basınç ve eğilme dayanımının olduğunu görmüştür (Awoyera et al., 2016).

Aynı gradasyon aralığındaki ince agregaların Seramik ince agregaya göre farkı aşağıdaki şekil 3.1 de gösterilmektedir.



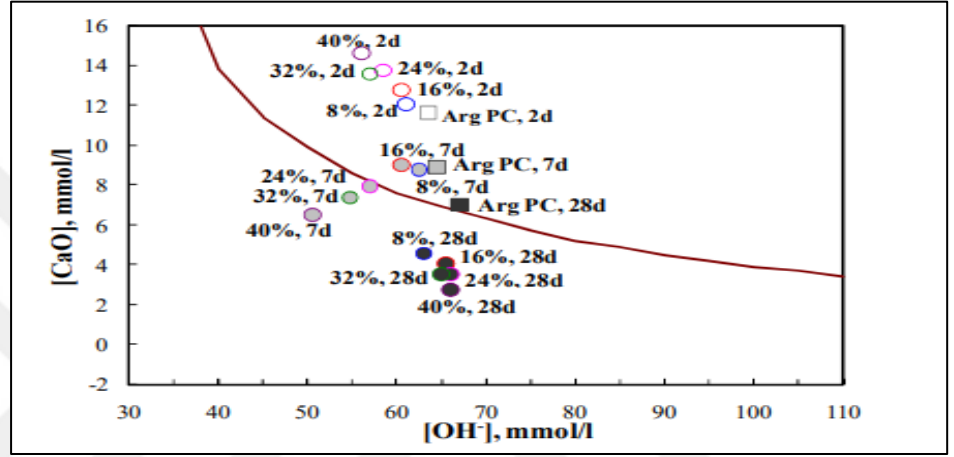
Şekil 3.1 Aynı gradasyon aralığındaki ince agreganın (alt) seramik ince agregaya (üst) göre farkı (Klimek et al.,2020)

Atık seramik karoların kimyasal özellikleri ile ilgili ilk çalışmalar 2000 yılında yapılmıştır. Sonuçlar, atık karonun puzolanik özelliklere sahip olduğunu ve beton yapımında kullanılabileceğini göstermiştir (Toledo et al., 2007). Bazı araştırmacılar, yıkılan binalardan çıkan kil tuğla atıklarının puzolanik malzeme olarak kullanımını araştırmıştır. Sonuçlar, bu malzemenin çimento ikamesi olarak kullanılabileceğini göstermiştir (Lin et al., 2010).

Seramik atık tozunun betonda kullanımının çevreye oldukça faydalı etkilerinin olduğunu açıklamıştır. Betonda çimento yerine kullanılabilecek en yüksek miktarda seramik atık tozunun; kaynak ve enerji tüketimini azaltmak, karbondioksit salınımını azaltmak gibi çevreye yararlı etkilerinin olacağını belirtmiştir. Buna ilave olarak çimento ikamesi olarak seramik tozu kullanarak ekoverimli betonlar üzerine bir deney gerçekleştirmiştir. Çalışmada, C25 sınıfı betonun ağırlığı baz alınarak, %0, %10, %20, %30, %40 ve %50 olmak üzere farklı oranlarda kullanılıp, 7, 14 ve 28 günlük basınç dayanımları incelenmiştir. Elde edilen en iyi basınç dayanımını %30 oranda elde etmiştir (Raval et al., 2013).

Seramik tozunun çimento yerine kullanılabilirliği araştırıldığında, %10 seramik atık tozu oranının 28 günlük eğilme dayanımını, basınç dayanımını ve asitlere dayanıklılığını arttırdığı belirlenmiştir (Kalinçimen, 2015).

Seramik atık tozunun çimento ikamesi olarak etkisini incelemiştir ve kullanımının harç numunelerinde efektif su-çimento oranının gelişmesi ile ilgili olan hidrasyon ürününü arttırdığını gözlemlemiştir. Ayrıca %8-40 oranında seramik atık tozu içeren numunelerin erken yaşta herhangi bir puzolan aktivitesine sahip olmadığı, 28 günlük kürden sonra ise uygun puzolanik aktiviteye eriştiği bildirilmiştir (Irassar et al., 2014). Buna örnek olarak Şekil 3.2'deki grafik verilebilir.



Şekil 3.2 Farklı oranlarda seramik tozu ikame edilmiş çimentoların 2,7 ve 28 günlük Frattini Testi sonuçları (Irassar et al., 2014).

Çimento ikamesi olarak seramik atığı tozu içeren harç numunelerinin ısı yalıtımı artarken, mukavemeti ve termal özelliklerinin azaldığını vurgulamıştır (Pokorný et al., 2014).

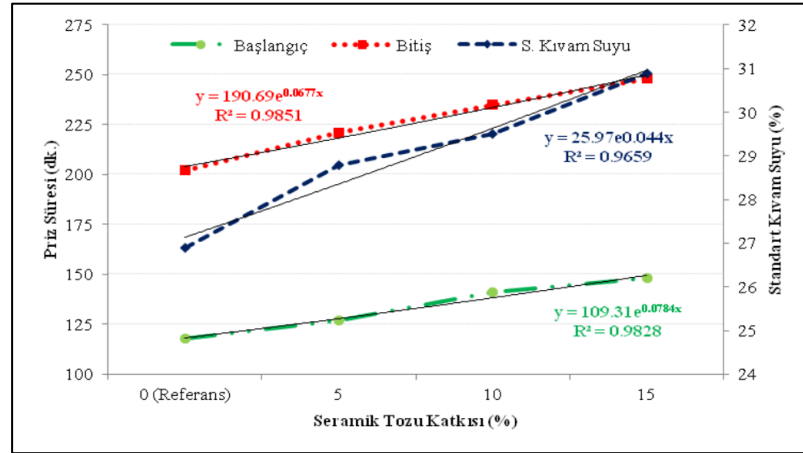
Numunelerin %20'si puzolan olarak seramik atığı içerecek şekilde değiştirmiştir. Sonuçlar, bu malzemeler kullanıldığında kontrol numunesinin %91'ine eşit bir mukavemete ulaşılabileceğini gözlemlemiştir. Ayrıca betonun geçirgenliğinin azalıp veriminin arttığını vurgulamıştır (Torgal and Jalali, 2010).

Seramik atık tozu ilavesinin geleneksel betona kıyasla karakteristik dayanımı azalttığını görmüştür. Ancak seramik atık tozunun ağırlıkça %30'a kadar çimentoyla değiştirilmesinin C20 sınıfı betonun karakteristik dayanımını etkilemediğini belirtmiştir. Ancak çimentonun daha fazla bir oranda seramik

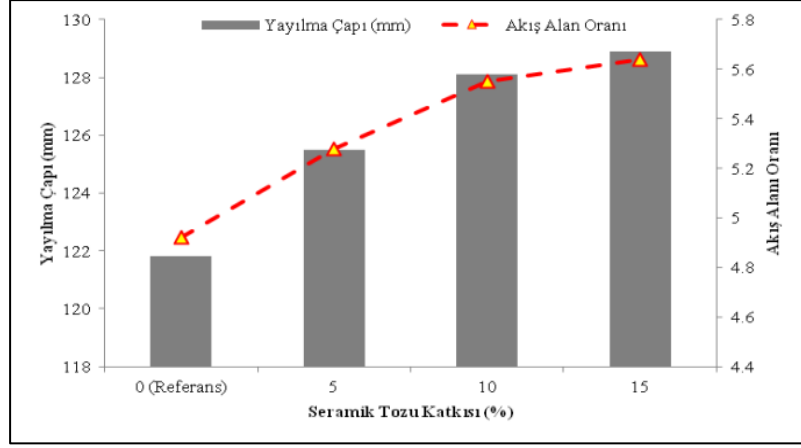
tozuyla değiştirilmesi basınç dayanımını azaltacağını belirtmiştir (Anwar et al., 2015).

Seramik atık tozunun, nano-silika ve metakaolin ile birleştirilip çimento yerine kullanılabilmesini araştırmıştır. Seramik atık tozunun dayanımı erken yaşta azalttığını, nano-silikanın ise erken yaşta dayanımı artırarak bu olumsuz etkiyi dengelediğini gözlemlemiştir. Metakaolinin ise su emilimini azalttığını ve basınç dayanımını arttırdığını belirtmiştir (Heidari et al., 2019).

Harçlarda seramik tozu oranının artması ile kıvam suyu miktarı ve priz süresi değerleri artmaktadır. Kıvam suyu miktarının artmasının sebebi seramik tozunun porozitesinin yüksek olup daha fazla su emmesidir. Özellikle seramik tozunun %15 oranında kullanılması durumunda priz süresi %23 uzarken, kıvam suyu miktarı da %15 artmaktadır. Seramik tozu katkısı taze harç özelliklerini olumlu etkilemektedir. Seramik tozu oranının artması ile yayılma çapında %3-6 oranında artışlar tespit edilmiştir (Kalinçimen ve ark., 2015). Burada Seramik tozu katkısının kıvam suyu ve priz süresi üzerindeki etkisi Şekil 3.3 de Seramik tozu katkısının yayılma özelliğine etkisi şekil 3.4 de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Seramik tozu katkısının kıvam suyu ve priz süresi üzerindeki etkisi (Kalinçimen ve ark., 2015).



Şekil 3.4 Seramik tozu katkısının yayılma özelliğine etkisi (Kalinçimen ve ark., 2015)

Ufak partiküller içeren seramik harçların reolojik özellikleri üzerine çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalara göre, daha ufak partiküller içeren bir karışımla aynı harç durumunu elde etmek için yüksek miktarda akışkanlaştırıcı kullanılması gerektiğini belirtmiştir (Travnickova et al., 1989).

Taze harçlar üzerinde yapılan deneyler seramik tozunun işlenebilirliği arttırdığını göstermektedir. Bazı araştırmacılar seramik tozunun mikroyapısını incelemiştir. İncelemeler sonucunda seramik tozlarına ait tane şekillerinin küresel formda olduğu ve bunun da işlenebilirlik özelliğini iyileştirdiği belirlenmiştir (Paul et al. 2009).



4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1 Kullanılan malzemeler

4.1.1 Çimento

Çalışmada TS EN 197-1 standardına uygun CEM I 42.5 R tipi normal portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun üreticiden alınan özellikleri Tablo 4.1. de sunulmuştur.

Tablo 4.1 Çimentonun bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri

Bileşen	%
SiO ₂	19.32
Al ₂ O ₃	5.21
Fe ₂ O ₃	1.95
CaO	63.02
MgO	2.02
SO ₃	3.12
Na ₂ O	0.36
K ₂ O	0.83
Kızdırma Kaybı	3.67
Çözünmeyen Kalıntı	0.26
Özgül Ağırlık	3.10
Özgül Yüzey (cm ² /gr)	3314

4.1.2 Agregası

Çalışma kapsamında harç karışımlarının hazırlanmasında kırma kireçtaşı agrega ile seramik fabrikasından temin edilen atık seramik parçaları kullanılmıştır. Seramiğin fabrikadan temin edilen özellikleri Tablo 4.2’te sunulmuştur.

Tablo: 4.2 Seramik Özellikleri

Quartz	%20-%30
Kaolin	%30-%40
Kil	%30-%50
Frit	%80-%100
Pigment	%5-%10

Çalışmada kullanılan seramik ve kırmataş agregaların elek analizi sonuçları Tablo 4.3'te sunulmuştur.

Tablo: 4.3 Agrega Elek Analizi Sonuçları

SERAMİK	elek açıklıkları(mm)	elek üstü kalan (g)	yığışımli kalan (g)	elek üstü yığışımli %	elekten geçen %
	4	0	0	0	100
	2	495,3	495,3	50	50
	1	141,7	637	64	36
	0,5	115,8	752,8	76	24
	0,25	75,7	828,5	83	17
	0,125	57,2	885,7	89	11
	pan	108,6	994,3	100	0
KİREÇ TAŞI	elek açıklıkları(mm)	elek üstü kalan(g)	yığışımli kalan(g)	elek üstü yığışımli %	elekten geçen %
	4	0	0	0	100
	2	251	251	25	75
	1	250,5	501,5	51	49
	0,5	162,5	664	67	33
	0,25	102	766	77	23
	0,125	83	849	86	14
	pan	139,5	988,5	100	0

Kırma taş agreganın su emmesi %0,88 iken özgül ağırlığı 2,75'tir. Gevşek birim ağırlığı 1757 kg/m³ iken sıkışık birim ağırlığı 1939 kg/m³'tür. Seramik tozunun gevşek birim ağırlığı 1020 kg/m³ iken sıkışık birim ağırlığı 1178 kg/m³'tür. Seramik tozu agregasının su emmesi %18 iken özgül ağırlığı 1,80'dir.

4.1.3 Su

Deneylerde karışım suyu olarak İzmir ili Bornova ilçesi şebeke suyu kullanılmıştır.

4.1.4 Akışkanlaştırıcı

Gerekli harç karışımlarında istenilen işlenebilirliğin sağlanması için polikarboksilik eter esaslı, ikinci nesil süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Katkı özellikleri Tablo 4.4 de sunulmuştur.

Tablo: 4.4 Süperakışkanlaştırıcının kimyasal özellikleri

Malzemenin Yapısı	Polikarboksilik Eter Esaslı
Görünü	Kahverengi -Sıvı
Özgül ağırlık (20°C’de)	1.069 – 1.109 kg/lt
pH değeri	5-7
Alkali içeriği (%)	≤ 3.00 (Kütlece)
Klor iyon içeriği (%)	≤ 0.10 (Kütlece)
Korozyon davranışı	Sadece EN 934-1:2008, EK A.1 standardına uygun bileşenleri içerir.
Tehlikeli maddeler	Tamamen EN 934-2 Ek-AZ’ye uygundur

4.2 Metod

4.2.1 Harç karışımlarının hazırlanması

Deneyssel çalışma kapsamında öncelikle fabrikadan temin edilen atık seramikler öğütülerek uygun ince agrega gardasyonun agetirilmiştir. Daha sonra elde edilen seramik agrega belirli oranlarda (%0, 25, 40, 50, 60, 75) ağırlıkça kırmataş agrega yerine harç karışımlarında kullanılmıştır. Hazırlanan harç karışımlarının isilendirilmesi ve karışım oranları Tablo 4.5’de sunulmuştur. Harç karışımları TS EN 196-1 standardına uygun olarak hazırlanmıştır. Tüm harç

karışımlarında sabit işlenebilirliğin sağlanması amacıyla gerekli karışımlarda akışkanlaştırıcı katkı ilave edilmiştir. Tüm harç karışımlarında akma değeri sabit tutulmuştur. Çeşitli deneylerde kullanılmak üzere her harç karışımından ayrı ayrı 50x50x50 mm ayrıtlı küp numuneler, 10x20 cm ayrıtlı silindirik numuneler ve 25x25x285 mm ayrıtlı prizmatik numuneler hazırlanmıştır.

Tablo 4.5 Harç karışımlarının isimlendirilmesi ve karışım oranları

Karışımlar	Su (g)	Çimento (g)	Kireçtaşı (g)	Seramik (g)
S0 (Kontrol)	225	450	1350	0
S25 (%25)	225	450	1012,5	337,5
S40 (%40)	225	450	810	540
S50 (%50)	225	450	675	675
S60 (%60)	225	450	540	810
S75 (%75)	225	450	337,5	1350

4.3. Yapılan Deneyler

4.3.1 Yayılma çaplarının tespiti

Seramik atığı içeren harçların işlenebilirlik özellikleri, yayılma çapı testi kullanılarak belirlenmiştir. Bu test ASTM C1437 standardına göre gerçekleştirilmiştir.

4.3.2 Tek eksenli basınç deneyi

50x50x50 mm olarak hazırlanan küp numunelere ASTM C109 standardına uygun olarak 28, 56, 90 ve 180 günlük tek eksenli basınç testi uygulanmıştır. Şekil 4.1 de gösterilen beton presine sıkıştırma plakaları yerleştirilip ardından küp numuneler makine ile plaka arasına yerleştirilmiştir. Küp numune plakanın tam ortasına yerleştirilmiş, test makinesi ve plakayla olan temas yüzeylerinin pürüzsüz olmasına dikkat edilmiştir. Cihaza numune bilgileri girildikten sonra deney başlatılmış ve test makinesi standartta belirtilen hızda yüklemeye başlamıştır. Numunenin kırılması esnasındaki uygulanan yük okunarak kaydedilmiştir.



Şekil 4.1 Beton presi

4.3.3 Ultrasonik geçiş hızı belirlenmesi

Seramik atığı içeren harçların ultrasonik geçiş hızları ASTM C 597 standardına uygun olarak belirlenmiştir. Bu deney için 10×20 mm boyutunda silindirik örnekler kullanılmıştır.

4.3.4 Sülfat etkisi deneyi

Hazırlanan 25x25x285 mm ayrıtlı prizmatik numunelerin ASTM C1012 standartına uygun olarak periyodik aralıklarla Şekil 4.2 de gösterilen boy ölçüm cihazında boy değişimleri ölçülmüştür. Ölçülen değerler mm değerinde olup 0.001 hassasiyetinde ölçülmüştür. Numunelerin ilk ölçtüğümüz boyu referans boy değerimiz olmuştur ve diğer haftalarda ölçtüğümüz boy değerlerine göre aradaki boy değişim farkı alınarak genleşme sonuçları yüzde (%) cinsinden ifade edilmiştir.

Ayrıca sodyum sülfat çözeltisinde bekletilen örneklerin 56, 90 ve 180. Gündeki basınç dayanımları belirlenmiş ve suda bekletilen örneklerle kıyaslamalı olarak değerlendirilmiştir.

Numunelerin su içerisinde çözülmüş sodyum sülfat tuzu içeren çözeltide kürlenmesi için ASTM C1012 standartına göre su içerisinde çözünecek sodyum sülfat tuzu (Na_2SO_4) oranı 50 g/L olacak şekilde çözelti hazırlanmıştır.



Şekil 4.2 Boy ölçüm cihazı

4.3.5 Yüksek sıcaklık direnci

Yüksek sıcaklık deneyinde, 28 günlük standart kütleme süresini tamamlayıp oda sıcaklığında soğutulmuş 50 mm'lik küp numuneler kullanılmıştır. Deneylerde hedef sıcaklıklar 300°C, 600°C, 900°C, fırının sıcaklık artış hızı ise 10 °C/ dakika, hedef sıcaklığa ulaşıldıktan sonra bekletme süresi 120 dakika olarak seçilmiştir. Deney süresi sonunda numuneler kapağı kapalı fırının içinde soğumaya bırakılmış, yaklaşık olarak 24 saat sonra oda sıcaklığına soğuyan numuneler bekletilmeden deneylere geçilmiştir.

Öncelikle numunelerin üzerinde gözlemler yapılmış ve herhangi bir yapısal bozulma, çatlama veya deformasyon belirtileri kaydedilmiştir. Daha sonra mekanik deneyler gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.3 de yüksek sıcaklık fırının içinde yer alan numunelere ait görsel mevcuttur.



Şekil 4.3 - Yüksek sıcaklık deneyi

4.3.6 Alkali silika reaksiyonu etkisi

Seramik atığı içeren harç örneklerinin alkali silika direnci ASTM C1260 standardına uygun olarak belirlenmiştir. Bu amaçla 25×25×285 mm'lik prizmatik örnekler hazırlanmıştır.

4.3.7 Su emme ve porozite hesabı

Seramik atığı içeren harçların porozite ve su emme özellikleri aşağıdaki adımlarla belirlenmiştir:

Hazırlanan harç karışımlarından 50 mm'lik küp örnekler, ASTM C642 standardına uygun olarak hazırlanmıştır. Numuneler, etüvde kurutulmuştur. Ardından numunelerin kuru ağırlığı kaydedilmiştir. Kurutulan numuneler, belirli bir süre suya batırılmış ve emilen su miktarı ölçülmüştür. Numunelerin su emme kapasitesi belirlenmiştir.

$$\text{Su emme (\%)} = \frac{W_{dyk} - W_{kuru}}{W_{kuru}} * 100$$

(Denklem 4.1)

Ayrıca, tüm karışımların porozite değerleri de aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$P = \frac{(W_{dyk} - W_{kuru})}{(W_{dyk} - W_{su})} * 100 \quad (\text{Denklem 4.2})$$

Burada;

p: Porozite (%),

W_{dyk} : Numunenin doygün yüzey kuru ağırlığı (g),

W_{kuru} : Numunenin etüvde kurutulduktan sonraki ağırlığı (g),

W_{su} : Numunenin su altındaki ağırlığı (g)'dir.

5. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ

5.1 Basınç deneyi sonuçları

Çalışma kapsamında hazırlanan örneklerin basınç dayanımları Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Şekil 5.1 incelendiğinde, tüm numunelerde beklenildiği gibi kürlenme süresi arttıkça basınç dayanımı da artmıştır. Seramik içeren örneklerin basınç dayanımları seramik içermeyen kontrol numunesinden daha yüksek elde edilmiştir. 180 günlük dayanımlar değerlendirildiğinde %25, 40, 50, 60 ve 75 seramik içeren örneklerin basınç dayanımları kontrol örneğine kıyasla sırasıyla %25 seramik içeren numune %24, %40 seramik içeren numune %28, %50 seramik içeren numune %35, %60 seramik içeren numune %36, %75 seramik içeren numune ise %4 oranlarında artmıştır. %60 kullanım oranına kadar ikame edilen seramik oranı arttıkça dayanımlarda artmaktadır. Ancak %60 kullanım oranının üzerine çıkıldığında dayanımlarda düşüşler meydana gelmiştir. Basınç dayanımı açısından değerlendirildiğinde optimum seramik kullanım oranı %60 olarak görülmektedir.

Seramik agreganın kireçtaşı agregaya kıyasla su emme oranının fazla olması nedeniyle seramik içeren karışımlarda var olan suyun agrega tarafından daha fazla emildiği dolayısıyla matrisin su/çimento oranının düştüğü ve bunun sonucunda da basınç dayanımlarında yükselme olduğu düşünülmektedir.

5.2 Ultrasonik geçiş hızı deney sonuçları

Çalışma kapsamında hazırlanan örneklerin ultra ses geçiş hızı değerleri Tablo 5.1’ de gösterilmiştir.

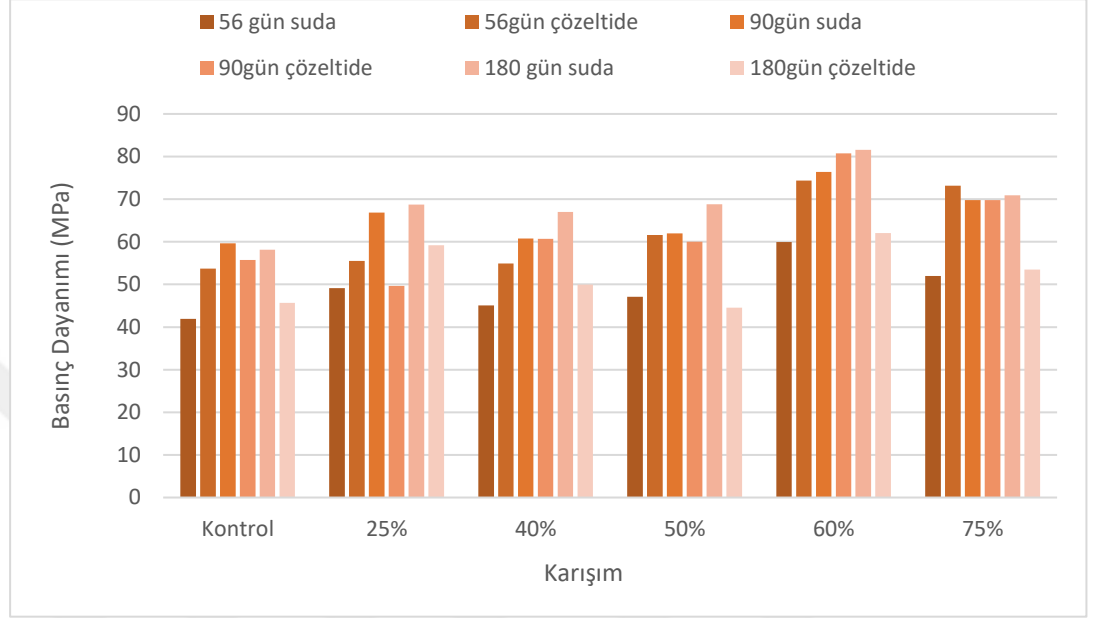
Tablo 5.1 Örneklerin ultrases geçiş hızları

Karışım adı	Süre (s)	Hız (m/s)
S0	21,3	4695
S25	23,3	4292
S40	22,8	4386
S50	22,8	4386
S60	24,3	4115
S75	37,0	2703

Ultrasonik geçiş hızı değerlerinin boşluk miktarına ve bu boşlukların birbirleriyle bağlantılı olup olmadığına bağlı olduğu bilinmektedir. Örnekteki boşluk oranı fazla olduğunda ultrasonik test cihazından gönderilen ses üstü dalgaların numunenin bir yüzünden diğer yüzüne geçiş zamanı uzamakta ve buna bağlı olarak da ultrasonik geçiş hızı değerleri düşmektedir. Tablo 5.1 incelendiğinde seramik içeren karışımlarda elde edilen ultrasonik geçiş hızı değerlerinin kontrol karışımının altında olduğu görülmektedir. Kontrol karışımı ile kıyaslandığında %60’a (%7 ile %12 arasında) kadar seramik içeren örneklerin ultra ses geçiş hızlarının az düşüş gösterdiği görülmektedir. Ancak %75 seramik içeren karışımda ultra ses geçiş hızı daha fazlaca düşüş (%42) göstermiştir. Dolayısıyla bu örnekte boşluk miktarının daha yüksek olması beklenmektedir.

5.3 Sülfat etkisi deneyi sonuçları

Suda ve sodyum sülfat çözeltisinde kürlenmiş seramik içeren örneklerin basınç dayanımı sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 5.2 'de verilmiştir.

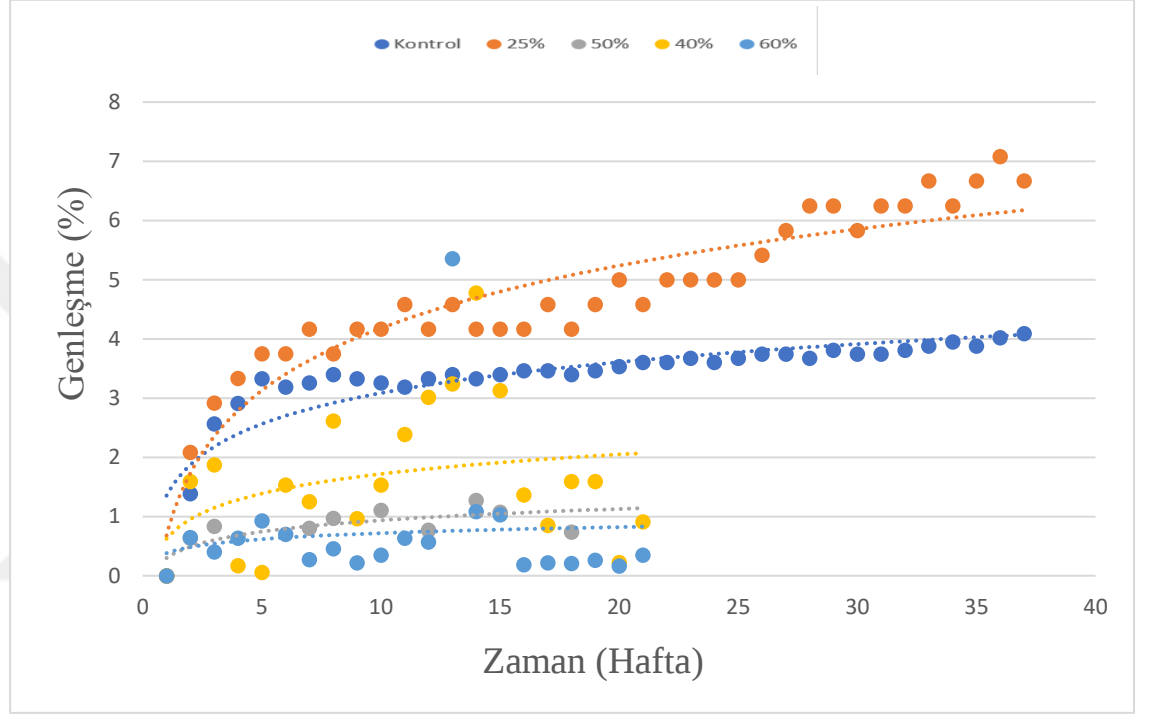


Şekil 5.2 Sülfat etkisinde basınç dayanımı deney sonuçları

Şekil 5.2 incelendiğinde, %60 seramik ikame oranına kadar 56 ve 90. günlerde sülfat çözeltisinde bekletilen örneklerin suda bekletilen örneklere göre bir miktar dayanım kazandığı ancak 180. günde sülfat çözeltisinde dayanım kaybettiği görülmüştür. %75 ikame oranında ise 56. günde sülfat çözeltisinde bekletilen örnekte suda bekletilen örneğe göre dayanım kazancı olurken 90. ve 180. Günde sülfat çözeltisinde bekletilen örneklerde dayanım kaybı gözlenmiştir. Sülfat çözeltisinde bekleme süresi arttıkça sülfat etkisinden dolayı zarar görmenin arttığı görülmektedir. 90 güne kadar sülfat etkisi sonucu oluşan ürünlerin betondaki boşlukları doldurarak geçirimsiz bir ortam yarattığı fakat daha ileri yaşlarda boşlukları dolduran bu ürünlerin artışıyla artan genleşme ve oluşan çatlamalar sebebiyle betonunun boşluk oranının artarak sülfatın beton içerisine girişini daha da kolaylaştırdığı düşünülmektedir.

180 günlük numune için kontrol örneği ile kıyaslandığında %60 a kadar seramik içeren örneklerde dayanımların %35 ile %40 oranında yüksek olduğu tespit edilmiştir. %75 seramik içeren örnek ise genellikle kontrole benzer davranış göstermiştir.

Sodyum sülfat özeltisinde beklemiş seramik içeren prizmatik numunelerin genleşme yüzdeleri şekil 5.3’de verilmiştir.



Şekil 5.3 Prizmatik numunelerin genleşme yüzdeleri

Şekil 5.3 incelendiğinde, numuneler başlangıç boylarına göre %0,9 ile %7 arasında genleşme göstermiştir. %25 seramik katkıları numunesinin %7 genleşme ile kontrol numunesinin (%4) üzerinde genleşme göstererek en çok genleşmeye uğrayan numune olduğu tespit edilmiştir. %60 seramik katkıları numune %0,9 genleşme göstererek en az genleşmeye uğrayan numune olmuştur. %40, %50, %60 seramik katkıları numunelerin yüzde genleşmeleri (%0,9 ile 2 arasında) kontrol numunesinin (%4) altında kalmıştır. İlk 5 haftanın sonunda, %25 seramik katkıları numune toplam genleşmesinin %50’lik kısmını tamamlarken, kontrol, %40, %50 ve %60 seramik katkıları numuneler toplam genleşmesinin %70’lik kısmını tamamlamıştır. Çalışma sonuçlarına göre, sülfat etkisine karşı en az genleşme

gösteren %60 seramik katkılı numune (%0,9) ilk boyuna göre en az değişime uğradığı için en başarılı sonucu verdiği tespit edilmiştir.

Sülfat etkisi, sülfat iyonlarıyla hidrate olmuş çimento hamurundaki bazı bileşenler arasındaki kimyasal reaksiyonun sonucu olarak oluşan ürünler ile aşırı genleşme ve çatlamaya yol açar. Bu reaksiyon sonucu oluşan ana zarar verici ürün etrenjit olarak adlandırılır ve şişebilen bir reaksiyon ürünüdür Etrenjit oluşumu yarattığı genleşme sebebiyle iç basınç yaratır, buda sertleşmiş çimento hamurunda aşırı çatlaklara yol açar. Zamanla artan çatlaklar sebebiyle çimento hamuru daha geçirimli hale gelerek sülfat iyonlarının girişi kolaylaşır ve genleşmeler artarak devam eder.

Yüksek oranda seramik içeren karışımlarda dayanımların kontrol karışımına kıyasla arttığı daha önceki bölümlerde sunulmuştu. Seramik kullanımı ile artan dayanım ile birlikte çimento hamurunun genleşme ve çatlamaya karşı koyma direncinin de arttığı bunda genleşmelerde düşüş olarak ortaya çıktığı düşünülmektedir.

5.4 Yüksek sıcaklık direnci deney sonuçları

Çalışma kapsamında hazırlanan örneklerin yüksek sıcaklık etkisi sonucu elde edilen basınç dayanımı değerleri Tablo 5.2' de gösterilmiştir. Tabloda f_{C1} yüksek sıcaklık sonrası dayanımı, R_d ise kontrol karışımına kıyasla rölatif dayanım değerlerini göstermektedir.

Tablo 5.2 incelendiğine yüksek sıcaklığa maruz bırakılan örneklerde tüm sıcaklıklarda %40 seramik oranına kadar kontrol örneğine kıyasla dayanımlarda artış gözlenmiştir. Bu artış oranı yüksek sıcaklığa maruz kalma süresi arttıkça azalmaktadır. 300°C sıcaklığa maruz bırakılan %25 seramik içeren örneklerde 1 saatte ve 3 saatte sırasıyla %10 ile %3 olarak elde edilmiştir. %40 seramik içeren örneklerde ise sırasıyla %44 ile %17 olarak elde edilmiştir. 600°C sıcaklığa maruz bırakılan %25 seramik içeren örneklerde 1 saatte ve 3 saatte sırasıyla %34 ile %22 olarak elde edilmiştir. %40 seramik içeren örneklerde ise sırasıyla %40 ile %28 olarak elde edilmiştir. 900°C sıcaklığa maruz bırakılan %25 seramik içeren

örneklerde 1 saatte ve 3 saatte sırasıyla %26 ile %4 olarak elde edilmiştir. %40 seramik içeren örneklerde ise sırasıyla %42 ile %8 olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.2 Yüksek sıcaklık deneyleri sonrası basınç dayanımı değerleri

Karışım	1 saat		3 saat	
	F _{C1} (MPa)	R _d (%)	F _{C3} (MPa)	R _d (%)
300°C				
S0	44,34	100	43,06	100
S25	48,72	110	44,30	103
S40	63,72	144	60,50	117
S50	42,86	97	41,98	97
S60	13,96	31	12,34	29
600°C				
S0	31,06	100	28,92	100
S25	42,72	134	35,25	122
S40	54,76	140	46,90	128
S50	31,96	97	24,72	85
S60	11,38	36	10,04	35
900°C				
S0	9,22	100	6,16	100
S25	17,60	126	16,40	104
S40	31,06	142	26,64	108
S50	21,32	99	17,88	95
S60	3,58	39	2,88	47

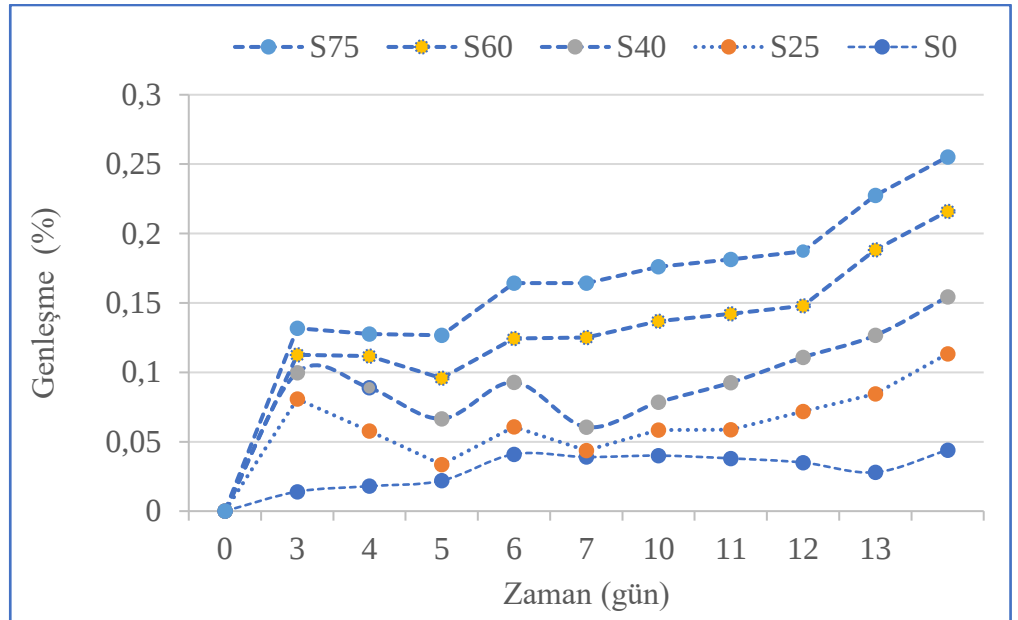
Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan örneklerde tüm sıcaklıklarda %50 ve %60 seramik oranlarında kontrol örneğine kıyasla dayanım kaybı gözlenmiştir. 300°C sıcaklığa maruz bırakılan %50 seramik içeren örneklerde 1 saatte ve 3 saatte %3 olarak elde edilmiştir. %60 seramik içeren örneklerde ise ortalama %70 olarak elde edilmiştir. 600°C sıcaklığa maruz bırakılan %50 seramik içeren örneklerde 1 saatte ve 3 saatte sırasıyla %3 ve %15 olarak elde edilmiştir. %60 seramik içeren örneklerde ise ortalama %65 olarak elde edilmiştir. 900°C sıcaklığa maruz bırakılan %50 seramik içeren örneklerde 1 saatte ve 3 saatte sırasıyla %1 ve %5 olarak elde edilmiştir. %60 seramik içeren örneklerde ise sırasıyla %61 ve %53 olarak elde edilmiştir.

Karışımlarda seramik kullanımı boşluk oranını arttırmaktadır. Seramik içeren karışımlar içerisindeki boşluklar yüksek sıcaklık etkisi sonrası oluşan buhar basıncının düşmesi için ortam yaratmaktadır. Bu sebeple seramik içeren harçlarda matrisin daha az zarar gördüğü ve dayanım düşüşünün oluşmadığı düşünülmektedir. Ancak seramik kullanım oranı %50'nin üzerine çıktığında matris dayanımı da azaldığından oluşan buhar basıncının matrise zarar vererek dayanımlarda düşüşe sebep olduğu değerlendirilmektedir. Ayrıca 300°C üzerindeki yüksek sıcaklıklarda C-S-H jelinde meydana gelecek bozulmanında dayanım düşüşünü desteklediği düşünülmektedir. Sonuç olarak %40 a kadar seramik kullanımının yüksek sıcaklık direnci üzerinde olumsuz etkisi olmadığı görülmüştür.

Beklenildiği gibi maruz bırakılan sıcaklık ve süresi arttıkça örneklerin dayanımları da düşmektedir.

5.5 Alkali silika reaksiyonu etkisi deney sonuçları

Çalışma kapsamında hazırlanan örneklerin alkali silika etkisi sonucu elde edilen genleşme değerleri Şekil 5.4'de gösterilmiştir.



Şekil 5.4 Alkali silika etkisi sonrası genleşme değerleri

Şekil 5.4 incelendiğinde harç karışımlarında seramik kullanımı alkali silika etkisi sebebiyle oluşan genleşmelerde artışa sebep olmuştur. Seramik kullanım oranı arttıkça genleşme değerleri de artmaktadır. %0, 25, 40, 60, 75 oranında seramik içeren örneklerde 14 günlük genleşme değerleri sırasıyla S0 için %0,04, S25 için %0,13, S40 için %0,16, S60 için %0,22, S75 için %0,26 olarak elde edilmiştir. Seramik agregası içeren tüm karışımların ASTM 1260 da verilen 14 günlük genleşme limitini (%0,10) aştığı görülmektedir. Kontrol karışımı bu limitin altında kalmıştır.

Alkali silika reaksiyonu çimento içerisindeki alkalilerle reaktif agregası arasında oluşan bir reaksiyondur. Bu reaksiyon sonucu genleşme potansiyeli olan alkali silika jeli meydana gelmektedir. Literatürde porozitesi yüksek olan agreganın içine boşluk suyunun, dolayısıyla iyonların girişinin daha kolay olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle seramik agreganın su emme değerinin kireçtaşı agreganın üzerinde olduğu düşünülürse karışımlarda seramik oranı arttıkça boşluk suyunun agregası içerisine daha kolay girdiği ve alkali silika reaksiyonu sebebiyle genleşmelerin arttığı söylenebilir.

5.6 Su emme ve porozite sonuçları

Çalışma kapsamında hazırlanan örneklerin su emme değerleri Tablo 5.3 de gösterilmiştir.

Tablo 5.3 Örneklerin su emme ve porozite değerleri

Karışım adı	Su emme (%)	Porozite (%)
S0	4.29	14.91
S25	7.74	15.61
S40	9.56	17.40
S50	12.07	18.50
S60	14.62	19.94
S75	16.10	20.45

Tablo 5.3 incelendiğinde harç karışımlarında seramik kullanımının su emme ve porozite değerlerini arttırdığı açıkça görülmektedir.

6. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında kullanılan malzemeler dikkate alındığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Seramik içeren örneklerin basınç dayanımları seramik içermeyen kontrol numunesinden daha yüksek elde edilmiştir. 180 günlük dayanımlar değerlendirildiğinde seramik içeren örneklerin basınç dayanımları kontrol örneğine kıyasla %25 seramik içeren numune %24, %40 seramik içeren numune %28, %50 seramik içeren numune %35, %60 seramik içeren numune %36, %75 seramik içeren numune ise %4 oranlarında artmıştır. %60 kullanım oranına kadar ikame edilen seramik oranı arttıkça dayanımlarında arttığı görülmüştür.
- Seramik agrega içeren örneklerde %60 kullanım oranına kadar ikame edilen seramik oranı arttıkça dayanımlarda artmaktadır. Ancak %60 kullanım oranının üzerine çıkıldığında dayanımlarda düşüşler meydana gelmiştir. Basınç dayanımı açısından değerlendirildiğinde optimum seramik kullanım oranı %60 olarak görülmektedir.
- Seramik agrega içeren karışımlarda ultra ses geçiş hızlarının kontrol karışımına kıyasla azaldığı ve bu düşüşün seramik oranı arttıkça, arttığı gözlenmiştir. %75 seramik içeren karışımda ultra ses geçiş hızının ciddi oranda (%42) düştüğü görülmüştür.
- %60 seramik ikame oranına kadar sülfat çözeltisinde bekletilen örneklerin suda bekletilen örneklere göre 90. güne kadar bir miktar dayanım kazandığı ancak 180. günde dayanım kaybettiği görülmüştür. %75 ikame oranında ise 56. günden sonra sülfat çözeltisinde bekletilen örnekte suda bekletilen örneğe göre dayanım dayanım kaybı gözlenmiştir.
- Sülfat çözeltisinde bekleme süresi arttıkça sülfat etkisinden dolayı zarar görmenin arttığı görülmüştür.
- Sülfat etkisindeki genleşme değerleri değerlendirildiğinde %25 seramik katkılı numunenin kontrol numunesinin de üzerinde genleşme göstererek en yüksek genleşmeye uğrayan numune olduğu tespit edilmiştir. %25 üzerinde seramik içeren karışımlar kontrolden düşük genleşme değerleri göstermiştir.

- Çalışma sonuçlarına göre, sülfat etkisine karşı en az genleşme gösteren %60 seramik içeren örnek olurken en fazla genleşmeyi %25 seramik içeren örnek göstermiştir. Karışımlarda kullanılna seramik oranı arttıkça sülfat etkisi sebebiyle oluşan genleşmeler de azalmaktadır.
- Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan örneklerde tüm sıcaklıklarda %40 seramik oranına kadar kontrol örneğine kıyasla dayanımlarda artış gözlenmiştir. Bu artış oranı yüksek sıcaklığa maruz kalma süresi arttıkça azalmaktadır.
- Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan örneklerde sıcaklık seviyesi ve maruz kalma süresi arttıkça dayanım kaybı artmıştır.
- Karışımlarda seramik kullanımı alkali silika etkisi sebebiyle oluşan genleşmelerde artışa sebep olmuştur. Seramik kullanım oranı arttıkça genleşme değerleri de artmaktadır.
- Seramik agregaya içeren tüm karışımların ASTM 1260 da verilen 14 günlük genleşme limitini (%0.10) aştığı görülmektedir. Kontrol karışımı bu limitin altında kalmıştır.
- Seramik agregaya kullanımının su emme ve porozite değerlerini arttırmaktadır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Anwar, A., Ahmad, S., Husain, S. M. M. A., Ahmad, S. A.,** 2015, Replacement Of Cement By Marble Dust And Ceramic Waste in Concrete For Sustainable Development. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 2(6), 496–503.
- ASTM C1437,** Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C109-20,** 2020, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C597-16,** 2016, Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C642-13,** 2013, Standard Test Method for Density. Absorption and Voids in Hardened Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C1012-18,** 2019, Standard Test Method for Length Change Of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C1260-20,** 2020, Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method), ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Ardahanlı, M.,** 2020, Atık Seramik, Çinko Cürufu ve Obsidiyen Kullanılarak Üretilen Betonların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Erzurum, 102s.
- Awoyera, P. O., Akinmusuru, J. O., Ndambuki, J. M.,** 2016, Green concrete production with ceramic wastes and laterite. *Construction and Building Materials*, 117, 29–36.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Binici, H.**, 2007, Effect of crushed ceramic and basaltic pumice as fine aggregates on concrete mortars properties. *Construction and Building Materials*, 21(6), 1191–1197.
- Carter, C. B. and Norton, M. G.**, 2013, Ceramic materials: Science and engineering. *Ceramic Materials: Science and Engineering*, 1–766.
- Correia, J. R., De Brito, J., Pereira, A. S.**, 2006, Effects on concrete durability of using recycled ceramic aggregates. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 39(2), 169–177.
- Daniel, R. J. and Sangeetha, S. P.**, 2020, Experimental study on concrete using waste ceramic as partial replacement of aggregate. *Materials Today: Proceedings*, 45), 6603–6608.
- Daniyal, M. and Ahmad, S.**, 2015, Application of Waste Ceramic Tile Aggregates in Concrete. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (An ISO, 4(12)*, 12808–12815.
- Farinha, C., de Brito, J., Veiga, R.**, 2015, Incorporation of fine sanitary ware aggregates in coating mortars. *Construction and Building Materials*, 83, 194–206.
- Gonzalez-Corominas, A. and Etxeberria, M.**, 2014, Properties of high performance concrete made with recycled fine ceramic and coarse mixed aggregates. *Construction and Building Materials*, 68, 618–626.
- Guggenheim, S., Martin, R. T., Alietti**, 1995, Definition of clay and clay mineral: Joint report of the AIPEA nomenclature and CMS nomenclature committees. *Clays and Clay Minerals*, 43(2), 255–256.
- Halicka, A., Ogrodnik, P., Zegardlo, B.**, 2013, Using ceramic sanitary ware waste as concrete aggregate. *Construction and Building Materials*, , 295–305.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Heidari, A., Tavakoli, S., Tavakoli, D.,** 2019, Reusing waste ceramic and waste sanitary ware in concrete as pozzolans with nano-silica and metakaolin. International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology, 10(1), 55–67.
- Higashiyama, H., Yagishita, F., Sano, M., Takahashi, O.,** 2012, Compressive strength and resistance to chloride penetration of mortars using ceramic waste as fine aggregate. Construction and Building Materials, 26(1), 96–101.
- Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği (TMMOB), Maden Mühendisleri Odası,** <https://www.maden.org.tr/resimler/ekler/8c09c2ec26db837>. (Erişim Tarihi: 09 Temmuz 2023).
- Ikponmwosa, E. E., and Ehikhuenmen, S. O.,** 2011, The Effect Of Ceramic Waste As CoArse Aggregate On Strength Properties Of Concrete, Nigerian Journal of Technology, Nigeria, 691-696, 6p.
- Irassar, E., Rahhal, V., Tironi, A., Trezza, M., Pavlík, Z., Pavlíková, M., Jerman, M., Cerný, R.,** 2014, Utilization of ceramic wastes as pozzolanic materials. Technical Proceedings of the 2014 NSTI Nanotechnology Conference and Expo, NSTI-Nanotech 2014, 3, 230–233.
- Kabir, M.,** 2016, An Assessment of the Properties of Concrete Made with Ceramic Waste as Aggregate. Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria., 64.
- Kalınçimen, G., Öztürk, A. U., Kaplan, G., Yıldız, S. A.,** 2015, Seramik Atıklarının Çimento İkame Malzemesi Olarak Kullanılması ve Asit Dayanıklılığının İncelenmesi. 9–16.
- Klimek, B., Szulej, J., Ogródnik, P.,** 2020, The effect of replacing sand with aggregate from sanitary ceramic waste on the durability of stucco mortars. Clean Technologies and Environmental Policy, 22(9), 1929–1941.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kogel, J. E., Trivedi, N. C., Barker, J. M. and Krukowski, S. T.,** 2006, Industrial Minerals & Rocks, Commodities, Markets and Uses. 7th, 1548p.
- Lin, K. L., Wu, H. H., Shie, J. L., Hwang, C. L., An Cheng.,** 2010, Recycling waste brick from construction and demolition of buildings as pozzolanic materials. Waste Management and Research, 28(7), 653–659.
- Loh,W.,** 2011, Classification and Refression Trees Wiley Interdisciplinary Reviews 14-23 10p.
- Marques, M., Alves N., Guimaraes, P., Almeida, A. J.,** 2014, Stranger’s in the classroom, 869-876 ,8p.
- Medina, C., Sanchez, M. I., and Frias, M.,** 2012, Reuse of sanitary ceramic wastes as coarse aggregate in eco-efficient concretes, Cement and Concrete Composites, Vol.34, pp.48-54.
- North, C. P., Morris, S. C., Klein, C., Hurlbut., C. S.,** 1993, Manual of Mineralogy,491p.
- Okumuş, H.,** 2017, The Fields of Usage of Ceramics In The Past And Today, Journal of Awareness, 2(3), 1-14pp.
- Pacheco-Torgal, F., Jalali, S.,** 2011, Compressive strength and durability properties of ceramic wastes based concrete. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 44(1), 155–167.
- Paul, F., Binder, J. R., Gesswein, H., Ritzhaupt-Kleissl, H. J., Hausselt, J.,** 2009, Synthesis of doped Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ ceramic powder via a sol-freeze-granulation and freeze-drying process. *Ceramics International*, 35(1), 479–486.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Pokorný, J., Fořt, J., Pavlíková, M., Studnička, J., Pavlík, Z.,** 2014, Application of mixed ceramic powder in cement based composites. Advanced Materials Research, 1054, 177–181pp.
- Quartz, Ceramics, Applied,** Retrieved from <https://www.appliedceramics.net/material/quartz/>. (Erişim Tarihi 9 Temmuz 2023).
- Raval, A. D., Patel, I. N., Pitroda, J.,** 2013, Stone Waste : Effective Replacement Of Cement For Establishing Sustainable Concrete. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), 4(6), 2324–2329p.
- Seramik,** <https://tr.wikipedia.org/wiki/Seramik> (Erişim Tarihi: 8 Temmuz 2023).
- The American Ceramic Society** 'Brief history of ceramics and glass" (n.d.). Retrieved from, (Erişim Tarihi: 8 Temmuz 2023).
- Toledo Filho, R. D., Gonçalves, J. P., Americano, B. B., Fairbairn, E. M. R.,** 2007, Potential for use of crushed waste calcined-clay brick as a supplementary cementitious material in Brazil. Cement and Concrete Research, 37(9), 1357–1365.
- Trávníčková, J., Havrda, J., Oujíř, F.,** 1989, JANA TRÁVNÍČKOVÁ, JIŘÍ HAVRDA, FRANTIŠEK Oujíř. 16, 11–16.
- TS EN 197-1,** 2012, Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 196-1,** 2009, Çimento- Bölüm 1: Dayanım tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- W. Arthur White.,** 1949, Atterberg plastic limits of clay minerals. American Mineralogist, 34p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

"What are ceramics?" Science Learning Hub,
<https://www.sciencelearn.org.nz/resources/1769-what-are-ceramics> (Erişim Tarihi
: 9 Temmuz 2023).



TEŞEKKÜRLER

Bu çalışma süresince gerekli malzemelerin temininde Kütahya Keramika Fabrikasına, bu malzemelerin üniversiteye ulaşımını sağlayan ve bu tez kapsamında bir an olsun maddi ve manevi desteğini eksik etmeyen değerli ailemin her bir ferdine, Laboratuvar çalışmasında birlikte çalıştığımız Ayberk ÖZDAŞ, Görkem KARAKÖSE, Berkay ERENER' e tez yazım aşamasında yardımlarından ötürü İlker BAYLAN arkadaşıma, laboratuvarda çalışmada takıldığım yerlerde bana yardımcı olan başta değerli Danışmanım Gözde İNAN SEZER ve başta Saeid MOGHIMI' ye ve hali hazırda Laboratuvar da çalışan tüm arkadaşlarıma destekleri için teşekkür ederim.

18/01/2024

Akın AĞAÇHANLI

ÖZGEÇMİŞ

Akın AĞAÇHANLI. İlköğretim eğitimini İzmir Mustafa Urcan İlköğretim Okulu'nda, lise eğitimini İzmir Balçova Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. Lisans eğitimini Uşak Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde 2020 yılında mezun olmuştur. 2021 yılında Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemesi Ana Bilim Dalı'na girdi. Halen Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemesi Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimini güncel olarak sürdürmektedir.

