



T.C.
KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI



**ATIK SERAMİK TOZUNUN ÇEVRE DOSTU,
PİRİNÇ KABUĞU KÜLÜ ESASLI TUĞLA
ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ**

RIYADH MOHAMMED SALIH MOHAMMED DARFOUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRŞEHİR

2024



T.C.
KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI



**ATIK SERAMİK TOZUNUN ÇEVRE DOSTU,
PİRİNÇ KABUĞU KÜLÜ ESASLI TUĞLA
ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ**

RIYADH MOHAMMED SALIH MOHAMMED DARFOUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Doç. Dr. Arzu ÇAĞLAR

KIRŞEHİR

2024

KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesini okuduğumu ve anladığımı ve Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tez olarak sunduğum bu çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda bu konuda hakkımda yapılacak tüm yasal işlemleri ve aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim. 09/05/2024

Rıyadh Mohammed Salih Mohammed DARFOUN

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa No

İÇİNDEKİLER DİZİNİ	I
TEŞEKKÜR.....	II
ÖZET.....	III
ABSTRACT	IV
TABLolar DİZİNİ	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	VII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
3. MATERYAL VE METOT.....	11
3.1. Materyal.....	11
3.1.1. Atık seramik tozu.....	11
3.1.2. Pirinç kabuğu külü	20
3.1.3. Killi toprak	25
3.1.4. Karışım suyu	26
3.2. Metot.....	26
3.2.1. Katkılı tuğla numunelerinin üretilmesi	26
3.2.2. Numunelere uygulanan deneyler	29
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	33
4.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık	33
4.2. Su Emme (Ağırlıkça).....	34
4.3. Porozite.....	35
4.4. Isı İletim Katsayısı Tayini	36
4.5. Donma Çözülmenin Basınç Dayanımına Etkisi	37
4.6. Basınç Dayanımı.....	38
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	41
6. KAYNAKÇA	43
ÖZGEÇMİŞ.....	53

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisansa başlamamda ve yüksek lisans ders sürecinde kendisini tanıdığım günden bu yana gösterdiği sakin ve sabırlı hali ile her zaman bana örnek olmasının yanı sıra bir bilim insanının nasıl çalışması gerektiğini kendisinden öğrendiğim değerli danışmanım Doç. Dr. Arzu ÇAĞLAR'a büyük bir içtenlikle teşekkür ederim. Eğitimim süresince desteklerini esirgemeyen aileme ve değerli jüri üyelerim Doç. Dr. Selim CEMALGİL ve Doç. Dr. Esin İLHAN'a teşekkürlerimi içtenlikle sunarım.

Tezi yazma sürecimde sorularına verdikleri cevap ile bana destek olan Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇAĞLAR'a teşekkür ederim.

Mayıs, 2024

Rıyadh Mohammed Salih Mohammed DARFOUN

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ATIK SERAMİK TOZUNUN ÇEVRE DOSTU, PİRİNÇ KABUĞU KÜLÜ ESASLI TUĞLA ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ

Rıyadh Mohammed Salih Mohammed DARFOUN

KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI

Danışman: Doç. Dr. Arzu ÇAĞLAR
Yıl: 2024 Sayfa: 53
Jüri: Doç. Dr. Arzu ÇAĞLAR
Doç. Dr. Selim CEMALGİL
Doç. Dr. Esin İLHAN

Tarihin bilinen en eski yapı malzemesi olan tuğla, zaman içerisinde çeşitli değişimler ve iyileştirmeler yaşamıştır. Tuğlanın inşaat sektöründe oldukça yoğun kullanılması tuğlayı sürekli geliştirilmesi gereken bir malzeme statüsüne taşımaktadır. Tuğlaya, bugüne kadar çok çeşitli katkıları kullanılarak iyileştirmeler yapılmıştır. Son zamanlarda geri dönüşüm ve sürdürülebilirlik kavramlarının popüler olması nedeniyle, tuğlaların atıklarla iyileştirilmesi yoluna gidilmiştir.

Bu çalışmada, tuğla bünyesine farklı oranlarda (%5, %10, %15 ve %20) atık seramik tozu ve %10 oranında pirinç kabuğu külü ikame edilerek tuğla özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma üç ana aşamadan meydana gelmiştir. İlk aşamada katkı numunelerinin karşılaştırılması amacıyla referans numunesi üretilmiştir. İkinci aşamada, atık seramik tozu ve pirinç kabuğu külü katkı numunelerinin üretimi gerçekleştirilmiştir. Üçüncü ve son aşamada, üretilen tuğla numunelerine kuru birim hacim ağırlık, su emme (ağırlıkça), porozite, ısı iletim katsayısı tayini, donma çözülmenin basınç dayanımına etkisi ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Çalışmada sonuç olarak, atık seramik tozu ve pirinç kabuğu külü kullanımı ile kuru birim hacim ağırlık, ısı iletim katsayısı ve basınç dayanımı değerlerinde artış meydana geldiği görülmüştür. Bunun yanı sıra su emme (ağırlıkça), porozite ve donma çözülmenin basınç üzerindeki etkisi değerlerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak atık seramik tozunun yapı malzemesi üretiminde aktif bir şekilde kullanılabileceği ve olumsuz etki yarattığı parametrelerde farklı bir atıkla iyileştirilebileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Atık seramik tozu, pirinç kabuğu külü, tuğla, atık, mekanik dayanım

ABSTRACT

MSc THESIS

USABILITY OF WASTE CERAMIC POWDER IN THE PRODUCTION OF ECO-FRIENDLY, RICE HUSK ASH BASED BRICKS

Riyadh Mohammed Salih Mohammed DARFOUN

**KIRŞEHİR AHİ EVRAN UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF ADVANCED TECHNOLOGIES**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Arzu ÇAĞLAR
Year: 2024, Pages: 53
Juries: Assoc. Prof. Dr. Arzu ÇAĞLAR
Assoc. Prof. Dr. Selim CEMALGİL
Assoc. Prof. Dr. Esin İLHAN

Brick, the oldest known building material in history, has experienced various changes and improvements over time. The intense use of brick in the construction industry makes it a material that needs to be constantly improved. To date, improvements have been made to brick using a wide variety of additives. Since the concepts of recycling and sustainability have become popular recently, bricks have been rehabilitated with waste. In this study, it was aimed to improve the properties of the brick by substituting waste ceramic powder in different amounts (5%, 10%, 15% and 20%) and 10% rice husk ash into the brick structure. The study consisted of three main stages. In the first stage, a reference sample was produced to compare the added samples. In the second stage, samples containing waste ceramic powder and rice husk ash were produced. In the third and final stage, dry unit volume weight, water absorption (by weight), porosity, heat conduction coefficient determination, the effect of freezing and thawing on compressive strength and compressive strength tests were applied to the produced brick samples. As a result of the study, it was observed that the use of waste ceramic powder and rice husk ash increased the dry unit volume weight, heat conduction coefficient and compressive strength values. In addition, it was determined that there was a decrease in the values of water absorption (by weight), porosity and the effect of freez and thaw on compressive strenght. As a result, it is thought that waste ceramic powder can be used actively in the production of building materials and can be improved with a different waste in the parameters where it has a negative effect.

Key Words: Waste ceramic powder, rice husk ash, brick, waste, mechanical strength

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa No
Tablo 3.1. Atık seramik tozunun kimyasal özellikleri.....	20
Tablo 3.2. Pirinç kabuğunun kimyasal ve fiziko-kimyasal özellikleri.....	22
Tablo 3.3. Pirinç kabuğu külünün fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	25
Tablo 3.4. Killi toprağın kimyasal analizi.....	26
Tablo 3.5. Karışım reçetesi.....	26
Tablo 4.1. Katkılı numunelerin deney sonuçları	33
Tablo 4.2. Donma çözülme öncesi ve sonrası basınç dayanım değerleri.....	37

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Seramik.....	11
Şekil 3.2. Seramiklerin sınıflandırılması.....	12
Şekil 3.3. Seramiğin tarihçesi.....	15
Şekil 3.4. Seramiklerin kullanım alanları.....	17
Şekil 3.5. AB'deki seramik kullanım alanı ve oranları.....	18
Şekil 3.6. Atık seramik tozu.....	20
Şekil 3.7. Pirinç.....	20
Şekil 3.8. Son üç yılda en fazla pirinç üreten ülkeler.....	21
Şekil 3.9. Türkiye'de pirinç üretimi yapılan iller.....	21
Şekil 3.10. 2022-2023 sezonunda Türkiye'nin diğer ülkelere göre pirinç ithalatı.....	22
Şekil 3.11. Katkılı tuğlanın üretim şeması.....	27
Şekil 3.12. Tuğla hamuru üretiminde kullanılan mikser.....	28
Şekil 3.13. Katkılı tuğla numuneleri.....	28
Şekil 3.14. Numune üretiminde kullanılan çelik kalıplar	29
Şekil 3.15. Donma çözülme kabini.....	31
Şekil 3.16. Numunelere uygulanan basınç dayanımı deneyi.....	32
Şekil 4.1. Kuru birim hacim ağırlık grafiği.....	34
Şekil 4.2. Su emme (ağırlıkça) grafiği.....	35
Şekil 4.3. Porozite grafiği.....	36
Şekil 4.4. Isı iletim katsayısı tayini grafiği.....	37
Şekil 4.5. Donma çözülmenin basınç dayanımı üzerine etkisi grafiği.....	38
Şekil 4.6. Basınç dayanımı grafiği.....	39

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
<i>CO₂</i>	: Karbondioksit
<i>oC</i>	: Santigrad derece
<i>Si</i>	: Silisyum
<i>O</i>	: Oksijen
<i>H</i>	: Hidrojen
<i>Kg</i>	: Kilogram
<i>Al</i>	: Alüminyum
<i>Fe</i>	: Demir
<i>cm</i>	: Santimetre

Kısaltmalar	Açıklama
ASTM	: American Society for Testing and Materials
MP	: Mermer Tozu
BP	: Tuğla Tozu
CW	: Atık Seramik
GP	: Cam Tozu
RHA	: Pirinç kabuğu külü
RC	: Geri Dönüştürülmüş beton
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskopu
XRD	: X Işını Kırılımı
DWS	: İçme Suyu Çamur Tuğlaları
CB	: Kırılmış Tuğla
CC	: Kırılmış Seramik
WBP	: Atık Tuğla Tozu
WCP	: Atık Seramik Tozu
TC	: Türkiye Cumhuriyeti
TS	: Türk Standartları
MÖ	: Milattan Önce
YY	: Yüzyıl
AST	: Atık Seramik Tozu Katkılı Tuğla
REF	: Referans numune

1. GİRİŞ

Tuğlalar, dünya çapında önemli miktarlarda kullanılan yapı malzemesidir. Ucuz olması, ana maddesinin yaygın olarak bulunması ve işlenebilirliğinin rahat olması tuğla malzemesini seçkin bir konuma getirmektedir (Kadir ve Sarani, 2012). Tuğla, hem yük taşıyan hem de taşımayan yapı malzemesi olması sebebiyle inşaat alanında önemli bir role sahiptir. Tuğlalar, konut, ticari ya da endüstriyel alanda her türlü altyapıda kullanılabilir özelliğe sahiptirler (ASTM, 2014).

Tuğla üretiminde kilin sürekli üretime dahil edilmesi nedeniyle doğal ve verimli toprakları hızlı bir şekilde azaltmaktadır. Yılda yaklaşık olarak 1600 milyar tuğla üretilirken bunun için milyonlarca ton verimli toprak harcanmaktadır (Khitab ve ark., 2021). Dünyanın en büyük tuğla üreticisi Çin iken (More ve ark., 2014), Çin'i yıllık yüzseksen milyar ton tuğla imalatı ile Hindistan takip etmektedir (Pawar ve Garud, 2014). Hindistan'nın bir günlük tuğla üretimi için üçyüz milyon ton verimli toprak harcanmaktadır (Kumar ve Hooda, 2014). Üçüncü sırada yer alan Ontario'nun (Kanada) bir yıllık tuğla imalatı yaklaşık olarak 700 milyon olduğu bildirilmiştir (Chidiac ve Federico, 2007). Bu nedenle, bu sorunun üstesinden gelmek için, Çin gibi bazı ülkeler tuğla üretimi için kil kullanımını sınırlamaktadır (Chen ve ark., 2011).

Kilin tuğla üretiminde yaygın olarak kullanılması toprağın doğal seviyesinin hızla azalmasına sebep olmaktadır (Dalkılıç ve Nabikoğlu, 2017).

Sanayinin hızlı bir şekilde ilerlemesi ve teknolojiye yaşanan muazzam gelişmeler, yüksek miktarlarda atık oluşumuna sebep olmaktadır. Atıkların yönetimi, kompleks arıtma prosesleri sebebiyle büyük bir kaygı meselesi olmuştur. Son zamanlarda, bu atıkların yeni ve uygulanabilir fikirlerle değerlendirilmesi küresel endişelere uygulanabilir çözümler sunmuştur. Bunlardan biri atık malzemelerin sürdürülebilir tuğla üretiminde kullanılmasıdır (Raunt ve ark., 2022). Döngüsel ekonomi hedeflerine erişmek amacıyla ortaya çıkan yeni bir alanlardan biri de atıkların yapı malzemesi üretiminde kullanımınıdır (Dubale ve ark., 2022).

Tüketimin artması ve artan sanayi üretimi doğal kaynakların tükenmesine yol açmaktadır. Buna ek olarak endüstriyel üretim atıklarının veya yan ürünlerinin sayısı da giderek artmakta ve çevre sorunlarına yol açmaktadır (Demir ve Orhan, 2003). Bu atıkların yapı malzemesi üretiminde kullanımı atık bertarafının etkili yollarından biridir. Bu atık malzemelerin, inşaat malzemesi olarak kullanılması, atık yönetimi konusunda sürdürülebilir bir çözümdür (Kazmi ve ark., 2016a; Cheah ve ark., 2017; Zakı, 2021).

Gerek endüstriyel atıklar gerekse tarımsal atıklar yapı malzemesi üretiminde aktif bir şekilde kullanılmaktadır. Yapı malzemesi üretiminde endüstriyel atık olarak, silis dumanı (Li ve Guo, 2024; Das ve ark., 2024), uçucu kül (Khan ve ark., 2024; Hao ve ark., 2024), yüksek fırın cürufu (Kumar ve ark., 2024; Ullas ve ark., 2024) sıklıkla kullanılmaktadır. Sadece endüstriyel atık değil aynı zamanda buğday samanı (Ahmadi ve ark., 2020; Aouba ve ark., 2016), şeker kamışı küspesi (Allende ve ark., 2024; Krishna ve ark., 2024), çay atığı (Öztürk ve ark., 2019; Sahu ve ark., 2020), pirinç kabuğu külü gibi tarımsal atıklarda yapı malzemesi üretiminde aktif bir şekilde kullanılmaktadır. Tüm bunların yanı sıra son zamanlarda inşaat atıkları da yapı malzemesi üretiminde katılmaktadır. Kilin bu şekilde değiştirilmesi yeşil ve çevre dostu tuğlalarla sonuçlanır (Velasco ve ark., 2014).

Çalışmada irdelenen atıklardan biri olan pirinç kabuğu külü, pirinç kabuklarının yüksek sıcaklıklarda yakılması sonucu elde edilen atıktır. Pirinç kabuğu külü, büyük miktarda pirinç kabuğu üretimi ile sonuçlanan yerlerde kurulmuş enerji veya elektrik üretmek için gerekli tesislerde doğrudan yakılarak üretilmektedir (Zou ve Yang, 2019). Başta beton olmak üzere birçok yapı malzemesi üretiminde kullanılmaktadır.

Çalışmada irdelenen bir diğer atık ise atık seramik tozudur. Atık seramik tozu, inşaat yığıntıları arasında bulunan seramik ve karoların öğütülmesi sonucu elde edilmektedir. Seramik endüstrisi toplam üretiminin yaklaşık %15-30'unu atık olarak üretmektedir (Rani, 2016).

Yakın geçmişte birçok araştırma grubu atık seramik tozunun betonda başarılı bir şekilde kullanıldığını bildirmiştir (CSA A82, 2006; Dalkılıç ve Nabikoğlu 2017; Riaz ve ark., 2019), ancak tuğlalarda yeniden kullanımı çok azdır.

Tezin Amacı: Bu tez çalışmasında, yıkılmış ya da tadilat yapılırken atık haline gelen seramik atıklarının tozu ve organik atık olan pirinç kabuğunun yüksek sıcaklıklarda yakılması ile elde edilen pirinç kabuğu külü kullanılarak tuğla üretimi hedeflenmiştir. Çalışmada fiziksel ve mekanik açıdan normal tuğlaya göre üstün özelliklere sahip, termal özellikleri daha iyi bir tuğla üretimi amaçlanmıştır.

Tezin Önemi: Bu tez çalışması literatüre kazandırıldığında;

- ✓ Atık seramik tozu ve pirinç kabuğu külü katkılı tuğlalar piyasada bulunan tuğlalara kıyasla daha dayanımlı olacağı için yeni inşa edilecek konutların daha uzun ömürlü olmasını sağlayacaktır.
- ✓ Üretilen tuğlalar iyileştirildiği için binaya yapılacak olan bakım ve onarım süresi kısa ve masrafları daha az olacaktır. Bu durum aile bütçesine katkı sağlayacaktır.

- ✓ Atık seramik tozu ve pirinç kabuğu külü tuğla sektöründe değerlendirildiğinde sadece çevre kirliliği azalmayacak aynı zamanda atık bertarafı için yapılacak olan giderlerin azalmasına yardımcı olacaktır.
- ✓ Atıkların tuğla üretimine katılmasıyla hem geri dönüşüm sağlanmış hem de daha kaliteli bir ürün elde edilmiş olacaktır.
- ✓ Gerek atık seramik tozu gerekse pirinç kabuğu külünün tuğla sektöründe kullanılması ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır.
- ✓ Tez çalışması kapsamında üretilen tuğlaların üretim reçetesi kullanılarak seri üretime geçirilmesi teknolojiye, deneyler sonucu elde edilen bilgiler de literatüre katılarak bilime katkı sağlayacaktır. Bu durum tezin önem derecesini göstermektedir.

Tezin kapsamı; çalışmada kullanılan atık seramik tozu Ankara ili Çankaya ilçesinde bulunan ve kentsel dönüşüm uygulaması kapsamında yıkılan binalar içerisinden alınan atık seramikler kullanılmış böylece çalışma kapsamı sınırlandırılmıştır. Ayrıca yine tuğla numuneleri üretiminde kullanılan killi toprakta Ankara il sınırları içerisinden temin edilmiştir. Çalışma 5 aşamadan meydana gelmiştir.

Birinci aşama tezin GİRİŞ bölümüdür. Bu bölümde tuğla, atık seramik ve pirinç kabuğu hakkında kısaca bilgiler sunulmuştur. Bunun yanı sıra tezin amacı, önemi ve kapsamı hakkında da bahsedilmiştir.

İkinci bölüm literatür araştırmasının yapıldığı ve ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR başlığının kullanıldığı bölümdür. Bu bölümde pirinç kabuğu ve atık seramik tozunun yapı malzemesi üretiminde kullanılabilirliği üzerine yapılan uluslararası ve ulusal kapsamlı makale, uluslararası ve ulusal kapsamda sunulan sempozyum, uluslararası ve ulusal düzeyde yazılan kitap ve kitap bölümleri, dergiler ve broşürlerde yer alan bilgiler derlenmiş ve özet haline getirilerek sunulmuştur.

Üçüncü bölüm MATERYAL VE METOT bölümüdür. Bu bölüm ilk olarak, materyal ve metot ayrı ayrı başlıklar halinde verilmiştir. Materyal başlığı altında tuğla üretiminde kullanılan pirinç kabuğu külü, atık seramik tozu, killi toprak ve karışım suyu detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Metot başlığı altında ise tuğla numunelerinin üretilmesi, yapılan deneyler (Kuru birim hacim ağırlık, su emme (ağırlıkça), porozite, ısı iletim katsayısı tayini, donma çözülmenin basınç dayanımı üzerine etkisi, basınç dayanımı) detaylı bir şekilde (formüller ve görsellerle) anlatılmıştır.

Dördüncü bölüm BULGULAR VE TARTIŞMA başlığının kullanıldığı bölümdür. Bu bölümde pirinç kabuğu esaslı atık mermer tozu katkılı tuğla numunelerine

uygulanan Kuru birim hacim ağırlık, su emme (ağırlıkça), porozite, ısı iletim katsayısı tayini, donma çözülmenin basınç dayanımı üzerine etkisi, basınç dayanımı deneyleri sonucunda elde edilen veriler grafikler kullanılarak anlamlı, sonuçlar literatürde yer alan diğer çalışmalarla karşılaştırılarak tartışılmıştır.

Beşinci ve son bölün SONUÇ VE ÖNERİLER bölümüdür. Bu bölümde tez çalışması kapsamında yapılan deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar sunulmuş ve konu ile ilgili ileriki tarihlerde yapılabilecek önerilerde bulunulmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Hafez ve ark., (2017), yapmış oldukları çalışmada, her yıl atmosfere salınan CO₂'de önemli bir azalma sağlamak ve tarımsal ve endüstriyel katı atıkların yeniden kullanılmasını sağlamak için çimentoğunun bir kısmını pirinç kabuğu külü ve kırılmış seramik atıklarıyla değiştirerek modifiye çimento tuğlaları üretmeyi amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda farklı oranlarda pirinç kabuğu külü ve kırılmış seramik atığı kullanarak çimento esaslı tuğlalar üretmişlerdir. Üretilen numunelere XRD, TGA ve DTA analizleri uygulanmıştır. Hazırlanan numunelerin soğuk ve kaynar su emme, basınç dayanımı, görünür gözeneklilik ve kütle yoğunluğunu belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda, %5 RHA ve %3 seramik tozu içeren tuğla numunelerinin diğer numunelere oranla daha yüksek kütle yoğunluğu ve basınç dayanımı gösterdiğini bildirmişlerdir.

Andreola ve ark., (2018), çalışmalarında, killerin farklı yüzdelerde pirinç kabuğu külü (ağırlıkça %0-20) ve istenen su içerikleriyle değiştirilmesiyle farklı bileşimler hazırlayarak tuğla üretimi yapmışlardır. Ürettikleri numunelere teknolojik testler (doğrusal büzülme ve nafta emme) ve pişirme (24 saat daldırma) su emme, doğrusal büzülme, ağırlık kaybı, ortalama eğilme mukavemeti uygulamışlardır. Ayrıca mikroyapı ve mineraloji üzerindeki etkiyi analiz etmek amacıyla pişmiş tuğlaların SEM/EDS ve XRD analizleri yapılmıştır. Çalışmaları sonucunda, pirinç kabuğu külü içeriğinin kuruma sırasındaki doğrusal büzülmenin azaltılmasına katkıda bulunduğunu, ancak su emiliminde bunun tersi bir etkinin olduğunu bildirmişlerdir. Mekanik test açısından ağırlıkça %5'e kadar pirinç kabuğu külü içeren numunelerin önerilen değerlere uygun olduğunu ifade etmişlerdir. Daha yüksek miktarlarda pirinç kabuğu külü içeren tuğlaların, orta düzeyde dayanım ve nüfuz korumasının (gözenek/geçirgenlik) gerekli olduğu bina imalatında (hafif ağırlıklı yüzlü yük taşıyan duvarlar) kullanılabileceğini, pirinç kabuğu külünde bulunan yanmamış karbon, nihai gözenekliliğin artmasına ve tuğlaların ağırlık kaybına katkıda bulunduğunu tespit etmişlerdir.

Oorkalan ve ark., (2020), çalışmalarında, tuğla üretiminde kilin kısmi ikamesi olarak Odun külü, Seramik tozu ve Mermer tozu kullanmışlardır. Hammadde oranlarını %20 odun külü, %5, %10 ve %15 seramik tozu, %5, %10 ve %15 mermer tozu olarak belirlemişlerdir. Hammaddeleri belirledikleri oranlarda karıştırarak ıslak tuğlalar üretmiş ve bu tuğlaları 10 ila 12 gün güneş ışığında kurutmuş ardından 900° ila 1000°C sıcaklıktaki tuğla fırınlamışlardır. Çalışma sonucunda, seramik tozunun yüksek mukavemet ve dayanıklılığa sahip olmasından dolayı tuğlaların mukavemetini arttırdığını

bildirmişlerdir. Ayrıca, atıkların hammadde olarak kullanımının atık üretimini azalttığını ve tuğlaların mukavemetini ve dayanıklılığını arttırdığını ifade etmişlerdir.

Riaz ve ark., (2020), çalışmalarında, Seramik Atık Tozu (CWP), tuğlalardaki taze kilin kısmi ikamesi olarak geri dönüştürmesini amaçlamıştır. Değişirme oranlarını kilin kütlesine göre %4, 8, 12 ve 16 olarak belirlemişlerdir. Numunelerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler belirlemiş ve kontrol örnekleriyle karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda, CWP içeren tuğlaların mukavemet, donma/çözülme ve sülfat saldırısına karşı daha yüksek direnç, daha düşük gözeneklilik ve yoğun mikro yapı sergilediği sonucuna varmışlardır. CWP'nin tuğla üretimine dahil edilmesinin tuğla kalitesini arttırdığını, birim ağırlığı artırarak, tuğlaları ağır hizmet ve ticari yapılara uygun hale getirdiğini bildirmişlerdir. Ayrıca çalışma, CWP kullanılarak oldukça dayanıklı tuğlaların üretilebileceğini ortaya koymuştur.

Hamzah ve ark., (2021), çalışmalarında, pirinç kabuğu külünün (RHA) çeşitli ağırlık yüzdelerinde seramik tuğla üretimindeki etkisini mineralojik, fiziksel, kimyasal ve morfolojik özellikler açısından araştırmışlardır. RHA'nın seramik ürünler için hammadde olarak kullanımının değerlendirilmesi, doğrusal büzülme, hacimsel büzülme, su emme, görünür yoğunluk ve kütle yoğunluğunu belirlemek için testler yapmışlardır. Çalışma sonucunda, RHA ilavesinin seramik tuğlanın fiziksel özelliklerini geliştirebileceğini bildirmişlerdir. Taramalı elektron mikroskobu görüntüleri ile, RHA ve pişirme sıcaklığı ilavesiyle seramik mukavemetinin arttığını teyit etmişlerdir. Ayrıca seramik üretimi için yeşil teknolojide RHA'nın yüksek potansiyelinin olduğunu ortaya koymuşlardır.

Khitab ve ark., (2021), çalışmalarında, tuğla üretiminde doğal kaynak "kil" in tükenmesinin yerine atık tuğla tozu (WBP) ve atık seramik tozundan (WCP) oluşan kompozit bir karışımın kullanılmasının fizibilitesini değerlendirmişlerdir. Çalışmada WCP ve WBP oranı sırasıyla %(4 + 5), %(8 + 10) ve %(12 + 15) olarak belirlendi. Tuğla numunelerini basınç dayanımı, kopma modülü, yoğunluk, su emme, çiçeklenme, görünür gözeneklilik, kimyasal saldırı ve sülfat saldırısına dayanıklılık ve donma-çözülme direnci açısından değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda, kilin yaklaşık %27'sinin, tuğlaların kalitesinden ödün vermeden büyük miktarda doğal kili koruyabilen, seramik atık tozu ve atık tuğla tozu ile değiştirilebileceğini ortaya koymuşlardır.

Uysal ve ark., (2022), yapmış oldukları çalışmada, endüstriyel atık malzemeleri (atık mermer tozu (MP), atık tuğla tozu (BP), seramik atık tozu (CW), atık cam tozu (GP) ve pirinç kabuğu külü (RHA) %25, %50 ve %75 kullanmışlardır. Kırmızı çamur-metakaolin bazlı geopolimer harçlarda geri dönüştürülmüş beton (RC) yerine agrega

olarak %75 oranında kullanmışlardır. Çalışmalarında numunelerin mekanik özellikleri (ultrasonik darbe hızı (UPV), yarmada çekme, basınç ve eğilme dayanımları), fiziksel özellikleri (boşluk oranı, su emme, birim ağırlık ve işlenebilirlik özellikleri), aşınma testi ve mikro yapı analizleri (SEM-EDS ve XRD) belirlenmiştir. Çalışmada sonuç olarak, en yüksek basınç dayanımı sonuçlarının kontrol numunesine göre %74.01 artışla %25 tuğla tozu ikamesinden elde etmişlerdir. Ayrıca seramik atıklarının kullanımının artmasıyla basınç dayanımında da artış meydana geldiğini bildirmişlerdir.

Nalli ve Vysyaraju (2022), yapmış oldukları çalışmada, çimentonun kısmen atık seramik tozu (CWP) ve pirinç kabuğu külü (RHA) ile değiştirilmesiyle beton numunesi üretmeyi amaçlamışlardır. Beton üretiminde %0, 5, 10, 15 ve 20 oranında CWP ve çeşitli oranlarda RHA kullanmışlardır. Ürettikleri betonun mekanik özelliklerini incelemek için taze ve sertleşmiş beton numuneleri üzerinde testler yapılmıştır. Çalışma sonucunda, %15 CWP'nin en iyi sonuçları verdiğini ve bileşim oranında %10-15 RHA'nın, geleneksel betona göre değerlendirildiğinde daha yüksek dayanım sunduğunu ifade etmişlerdir. Maksimum basınç dayanımına %15 CWP ve %15 RHA'da ulaşırken, eğilme dayanımı ve ayırık çekme dayanımına %15 CWP ve %10 RHA dozajında ulaştıklarını bildirmişlerdir.

Raut ve ark., (2022), yapmış oldukları çalışmada sürdürülebilir tuğlalar geliştirmek amacıyla farklı oranlarda fosfojips (PG), pirinç kabuğu külü (RHA) ve çimento (PG-%65 ila %82,5, RHA-%2,5 ila %15, çimento-%15 ila %20) kullanmışlardır. Geliştirdikleri sürdürülebilir tuğlaları Hindistan ve ASTM Standartlarına göre test etmişlerdir. Elde ettikleri bulgular ışında pirinç kabuğu külünün tuğla numunelerinin basınç dayanımı ve su emme değerini yükselttiğini bildirmişlerdir. Çalışmalarının, endüstriyel atıklardan sürdürülebilir inşaat malzemeleri veya tuğlaların geliştirilmesinde aktif olarak kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

De Silva ve ark., (2022), yapmış oldukları çalışmada, atık pirinç kabuğu külü (RHA) ve seramik çamuru (CS) katkılı fayans özellikleri araştırmış, yapısal, dayanıklılık, termal performanslarını araştırmışlardır. Fayanslar ağırlıkça %10 RHA ve %0 CS, %10 RHA ve %10 CS, %10 RHA ve %15 CS ve %10 RHA ve %20 CS. %10 RHA ve %10 CS olmak üzere dört farklı seri olarak üretilmiştir. Çalışma Sonucunda;

- ✓ Kilin %10 RHA ve %10 CS ile değiştirilmesi %15.25 su emilimiyle sonuçlandığı,
- ✓ Atıklarla kil değişimi %10'dan (%10 RHA ve %0 CS) %30'a (%10 RHA ve %20 CS) artırıldığında, asit ve alkalın atıklarından kaynaklanan ağırlık artışı %3.5'tan %3.0'a düşürüldüğünü,

- ✓ Sırasıyla %2.2'den %1.6'ya düşürdüğünü, bu durumun birleşik atıkların dahil edilmesiyle geliştirilmiş dayanıklılık performansının arttığını,
- ✓ SEM tarafından da onaylanan yüksek gözeneklilik, gelişmiş termal performansa katkıda bulunduğunu, %10 RHA ve %10 CS içeren fayansın, geleneksel fayansa kıyasla 4.4 °C sıcaklık düşüşü sağladığını bildirmişlerdir.

Younis ve ark., (2022), Doğal kaynakların tasarrufu ve bina atıklarının değerlendirilmesi amacıyla kaba agrega olarak kırılmış tuğla (CB) ve kırılmış seramiği (CC), fiziksel kütle maddesi olarak %25, %50 ve %75 dolomiti ve çimento ağırlığının %1.5'i oranında PEG 6000 dozajı beton üretiminde kullanmışlardır. Üretilen numunelere basma, yarmada çekme, eğilme gerilmeleri ve elastiklik modülü, dayanıklılık, emicilik, su emme, kuruma büzülmesi ve klorür penetrasyon testleri uygulamışlardır. Çalışma sonucunda; en yüksek basınç dayanımının %1 PEG ve %50 CC karışımından elde edildiğini bildirmişlerdir.

Dubale ve ark., (2022), yapmış oldukları çalışmada, yıkılmış bina zemin ve duvar karosu (DFWT) atıklarının pişmiş tuğla üretiminde kullanmayı amaçlamışlardır. Toprak ve yıkılmış bina zemini ve duvar karosu atığını ağırlıkça %5 ile ağırlıkça %45 arasında değişen farklı oranlarda karıştırmış ve ticari bir fırında tipik pişirme rejimi olan 850 °C ve 900 °C olmak üzere iki farklı sıcaklıkta pişirmişlerdir. Ürettikleri tuğla numunelerine, basınç dayanımı, su emme, doğrusal büzülme ve kütle yoğunluğu deneyleri uygulamışlardır. Çalışma sonunda pişmiş tuğlada ağırlıkça %35 ve ağırlıkça %40 DFWT atıklarının kullanılmasının, 850 °C ve 900 °C pişirme sıcaklığı için Hindistan standardı ve ASTM standartlarını karşıladığı sonucuna varmışlardır.

Rahman ve ark., (2023) yapmış oldukları çalışmada sıcaklık ve pirinç kabuğu külünün içme suyu çamur tuğlalarının (DWS) mekanik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. %100 DWS'den (DWS100) yapılmış tuğlalar ve %80 DWS ve %20 RHA içeren tuğlalar (DWS80) olmak üzere iki tip tuğla üretmişlerdir. Bu numuneleri üç saat boyunca 300 °C ve 700 °C'lik farklı termal değişimlere maruz bırakmışlardır. Referans olması amacıyla pişmemiş tuğla numuneleri üretmişlerdir. Çalışma sonucunda, DWS100 tuğlalarının hacim değişiklikleri, pişirme sıcaklığı 500 °C'ye kadar arttığını, 700 °C'de azaldığını ve tüm sıcaklıklarda DWS80 tuğlalarının sürekli olarak DWS100 tuğlalarından daha az yoğunluğa sahip olduğunu bildirmişlerdir. DWS80 tuğlanın su emmesi değerlerinin pişirme sıcaklığı arttıkça azaldığını tespit etmişlerdir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte basınç dayanımında artış olduğu sonucuna varmışlardır.

Benedet ve ark., (2024) çalışmalarında atık seramik malzemelerinin, özellikle de pirinç kabuğu külünün (RHA), seramik üretiminde ikincil mineral kaynağı olarak sürdürülebilir şekilde yeniden kullanımını amaçlamışlardır. Çalışma, RHA'nın üç farklı (sarı ve siyah plastik kil (plastik) ve Kumlu kil) kil türüne dahil edilmesinin fizibilitesini değerlendirmektedir. Malzemeleri karakterize etmek için X-ışını floresansı, X-ışını kırınım ölçümü, diferansiyel termal analiz ve termogravimetrik analiz dahil olmak üzere çeşitli analitik teknikler kullanmışlardır. Değişen RHA ve kil içeriklerine sahip beş farklı karışım hazırlamışlardır. Bu karışımları, Weibull dağılımları kullanılarak değerlendirilen direnç güvenilirliği ile termal büzülme, yoğunluk, gözeneklilik, su emme ve çapsal mekanik dayanım gibi özellikler açısından değerlendirmeye tabi tutmuşlardır. Çalışma sonucunda, kil seramiklerine %15'in üzerinde RHA eklenmesinin aşırı su emilimine yol açarak onu uygunsuz hale getirdiğini, yük taşımayan duvarcılıkta içi boş seramik bloklar üretmek için %8.3'lük bir RHA içeriğinin yeterli olduğunu bildirmişlerdir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Atık seramik tozu

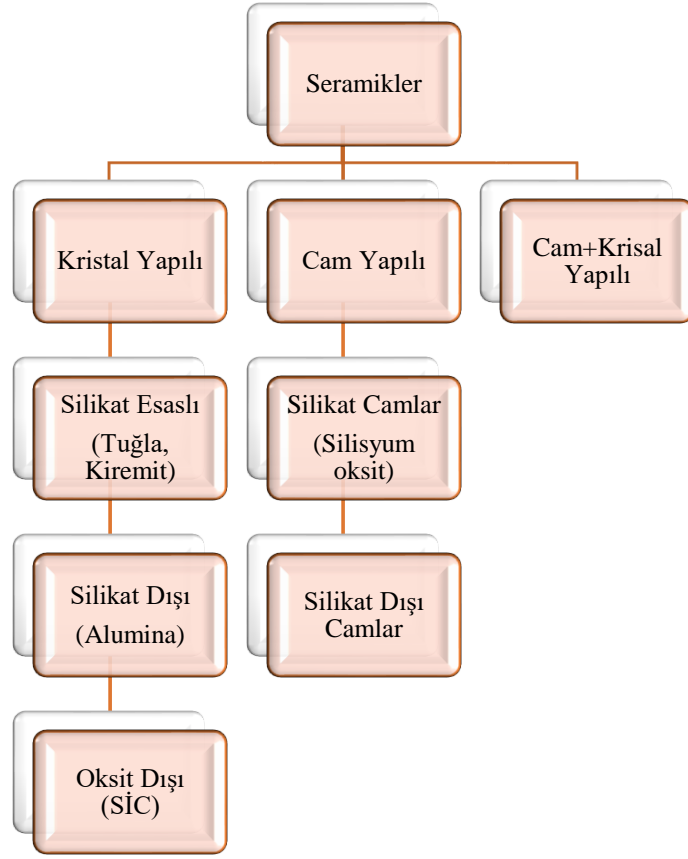
Seramik, su, killi toprak ve tozun bir araya getirilerek karıştırılması sonucu elde edilen ve kalıplama işlemi tamamlandıktan sonra yüksek sıcaklıktaki fırınlarda pişirilen bir yapı malzemesidir (Şekil 3.1). Hammaddesi kuvars olan seramik, karıştırma, kalıplama, kurutma ve yakılma proseslerinden geçirilerek üretilmektedir (Bilal, 2019; Gündoğdu, 2023).



Şekil 3.1. Seramik (Web İleti, 1)

Geçmişten günümüze kadar varlığını sürdüren seramikler ev eşyası, sıhhi tesisat ve yüksek gerilim yalıtkanları gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra inşaat sektöründe de oldukça geniş bir kullanım yelpazesi bulunmaktadır (Anderson ve ark., 2016).

Seramikler kimyasal ifadeyle, bir ya da iki metalin bir ametal atom ile belirli oranlarda karıştırılması ile meydana gelmektedir (Akkurt ve ark., 2019; Çalık, 2023). Aynı zamanda, metaller ve polimerlerle çok geniş bir malzeme gurubu meydana getirmektedirler. Çimentolar, camlar, pişmiş malzemeler, aşındırıcılar birbirinden farklı temele dayanan malzemeler olsa da seramikler arasında yer almaktadır (Baradan, 2003). Seramiklerin sınıflandırılması Şekil 3.2’de verilmiştir (Kalınçimen, 2015).



Şekil 3.2. Seramiklerin Sınıflandırılması

Seramikler iki guruba ayrılmaktadır (Akkurt ve ark., 2019)

- ❖ **Geleneksel seramikler:** metal oksit içerikli kil, kalsit, feldspat ve kaolin gibi organik olmayan maddelerin istenilen miktarlarda karıştırılması ve şekillendirilmesi sonrasında yüksek sıcaklıklarda fırınlanması sonucu elde edilmektedir. Üretiminde genellikle kuvars, kil ve feldspat kullanılmaktadır. Seramik üretiminde kil mukavemeti sağlarken kuvars iskelet yapısını oluşturmaktadır. Yer ve duvar karosu, cam, yapı gereçleri, emaye, sır ve mutfak gereçleri geleneksel seramik malzemelere örnek olarak verilebilmektedir (Kilerci, 2002).
- ❖ **İleri teknoloji seramikler:** feldspat, kuvars, kaolin ve kile ek olarak karbür, nitrür gibi oksit olmayan ve silikat malzemelerinin harmanlanması kalıplanıp pişirilmesi sonucu üretilmektedir (T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2021).

3.1.1.1. Seramik malzemenin fiziksel özellikleri

- ❖ **Geometrik özellikler:** Seramik malzemelerin geometrik şekilleri ve boyutları çeşidine göre değişmektedir. Geometrik özellikler TS EN 14411 “Seramik karolar - tarifler, sınıflandırma, özellikler ve işaretleme” standardında bulunmaktadır.
- ❖ **Birim ağırlık:** Seramiklerin birim ağırlığı, malzemenin 105° C’de etüv fırınında değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletip bulunan ağırlığının dış hacmine oranlaması sonucu bulunmaktadır.
- ❖ **Hacim ağırlık:** Seramikler 105° C’de etüv fırınında değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilip bulunan ağırlığının malzeme hacmine bölünmesi sonucu hesaplanmaktadır. Seramik malzeme sınıfında yer alan tuğlaların delik durumuna göre hacim ağırlıkları değişmektedir.
- ❖ **Su emme:** Su emme, seramik malzemeler arasında gözenekli yapıya sahip malzemeler için oldukça önemlidir. Bu malzemeler arasında kiremit ve tuğlalar ilk sırada yer almaktadır.
- ❖ **Dona dayanıklılık:** Dona dayanıklılık seramik malzemelerde aranan önemli özelliklerden biridir. Seramikler arasında fayanslar, kiremitler ve tuğlaları dona maruz kalan seramik malzemeleri arasında ilk sırada yer almaktadır. Seramik malzemeler dona maruz kaldıktan sonra kopma, parçalanma ya da kırılmanın yaşanmaması istenmektedir.
- ❖ **Isı iletkenliği:** Isı iletkenliği, hacim ağırlığının azalmasıyla küçülmektedir. Bu sebeple, boşluklu seramik malzemelerin ısı iletkenliği boşluksuz malzemelere göre daha düşüktür. Ayrıca delikli ya da şaşırtmalı delik yapısına sahip malzemelerinde ısı iletkenliği diğer malzemelere göre daha düşüktür (Kalınçimen, 2015).

3.1.1.2. Seramik malzemenin kimyasal özellikleri

Yapıda kullanılan seramik malzemeler kullanımları sırasında, çiçeklenme (Effloresans), seramik malzemede kireç ve manyezi bulunması ve seramik malzemenin asit, alkali ve deterjanlara dayanıklılık gibi kimyasal etkilere maruz kalmaktadır. Bunlardan en sık karşılaşılan kimyasal olay ise çiçeklenme olayıdır.

Çiçeklenme Olayı: Seramik yapı malzemelerinden olan pişmiş tuğla malzemesinde sıkça görülen bir olaydır. Çiçeklenmede malzeme bünyesinde yer alan çözülebilir tuzların suyla buluşmasıyla çözülmesi ve tuğlanın kuruması ile tuzların tuğlanın yüzeyinde kalması sonucu oluşmaktadır. Genellikle beyaz renkte bulunmaktadır. Çiçeklenme tuğlada çok

büyük problem yaşatmasa da duvarın işlevine zarar vermektedir. Bu durum mekan içi konfor şartlarını olumsuz yönde etkilemektedir.

Çiçeklenmenin Giderilmesi: seramik malzemelerde meydana gelen çiçeklenme suyla yıkayarak ya da fırçalayarak temizlenmektedir. Bunun yanı sıra aşağıdaki yöntemlerle de çiçeklenme giderilmektedir.

- Pişmiş toprak yapı malzemelerinin sürekli kuru yerde muhafaza edilmesi ile
- Tuğla yüzeyinde meydana gelen pullanmaların hidroklorür asitle temizlenmesi ile
- Sodyum sülfat kökenli çiçeklenmelerin suyla yıkanması ile
- Karbonat kaynaklı çiçeklenmelerin asitle temizleme ile (Kalinçimen, 2015).

3.1.1.3. Seramik malzemenin mekanik özellikleri

Gevrek kırılma: Seramikler bağ yapılarından ötürü gevrek bir yapıda olduklarından iyi bir plastik şekil verme özelliğine sahip değildirler. Bu nedenle çekme testi uygulanamamaktadır. Bunun yerine üç noktadan eğme deneyi yapılmaktadır.

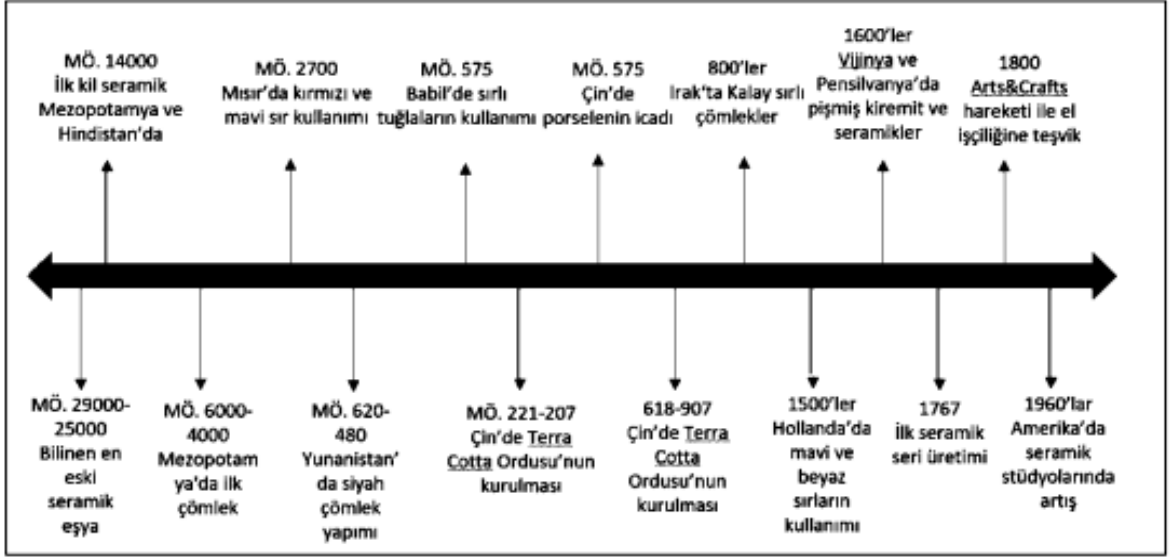
Statik yorulma: Oda sıcaklığı ve sulu ortamında zorlama olayı kimyasal olarak görülür. Su molekülü Si-O-Si molekülü ile reaksiyona girerek Si-O-H bağları meydana gelmekte ve seramiğin ağ yapısını yıpratmaktadır.

Sürünme: Seramiklerin ergime sıcaklıkları yüksek olduğu için sürünme dayanımları yüksektir (Kalinçimen, 2015).

İnsanın yaşam süreci ele alındığında, bu süreç içinde en eski malzemelerden biri de seramiklerdir. İnsanlar hayatta kalabilmek adına ilk olarak suyu taşıma ve korumanın yollarını bulmaya çalışmışlardır. Bitki sapları kullanarak yapmış oldukları sepeti, kil içerisine su katarak elde ettikleri bulamaçla sıvamışlardır. Bu sepeti ateşle buluşturarak sertleştirmiş ve böylece ilk seramiğini üretmişlerdir (Ertuna, 1995).

3.1.1.4. Seramiğin tarihçesi

Seramiğin tarihsel süreci incelendiğinde, insanlık tarihi ile bütünleşik olduğu görülmüştür. Kilin dünya yüzeyinde oldukça fazla miktarda bulunması, kolay ulaşılabilmesi, su ile kolaylıkla karıştırılıp kalıplanabilmesi, fırınlanarak mukavemet kazandırılması gibi özelliklerinden dolayı seramik kullanım oranının oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Şekil 3.3'de seramiğin tarihçesi verilmiştir (Carter, 2013).



Şekil 3.3. Seramiğin tarihçesi (Web ileti 2)

Seramiğin tarihçesine kısaca bakıldığında;

- Arkeolojik kazılardan çıkarılan pişmiş ve pişmemiş eşyaların Paleolitik Çağ'a (yaklaşık 2 milyon yıl önce) ait olduğu bu da seramiğin ilk örnekleri niteliğini taşıdığı görülmektedir (Doğdu, 2022).
- Çekoslovakya'da yapılan kazılarda M.Ö. 24.000 yılına ait insan eliyle üretilmiş seramikler çıkarılmıştır. Bu çıkarılan seramikler genellikle hayvan ve insan figürlerinden oluşmaktadır.
- Fonksiyonel çömleklerin ilk kullanımının M.Ö. 9.000 yıllara dayandığı görülmüştür.
- M.Ö. 8000 yıllarında Mısır'da antik cam üretiminin olduğu yapılan kazı çalışmalarında ortaya çıkmıştır.
- Yakın Doğu'da M.Ö. 4000 yılında seramik üretiminin olduğuna dair parçalar bulunmaktadır.
- Selçuklular döneminde Anadolu'ya kadar uzanan ve hala etkinliğini sürdüren çinicilik yine seramiğin bu dönemlerde aktif bir şekilde kullanıldığının göstergesidir (Kalınçimen, 2015).
- Anadolu'da yapılan kazı çalışmalarında 13. Yy a ait ilk Türk seramik örneklerine rastlanmıştır.
- 1700'lü yıllarda Avrupa'da sanayinin de gelişmesiyle seramikler imalat sanayilerinde üretilmeye başlanmıştır.

- 18. Yy sonlarına doğru Birleşik Krallık ve Avrupa'daki sanayi devrimi ile seramik endüstrisi de kendini geliştirmeye devam etmiştir.
- Josiah Wedgwood, 1767 yılında ilk seri üretim seramiğine geçmiş yapmıştır.
- Yine bu yıllarda, geliştirilmiş sırsız siyah taş olarak bilinen bazalte ismini verdiği seramiği üretmiştir (Carter, 2013).
- 1960 yılında yapı sektörünün hızla ilerlemesine paralel olarak seramik sektörü de popülerliğini arttırmıştır (Çalık, 2023).

3.1.1.5. Seramiğin kullanım alanları

Seramikler ilk çağlarda, çanak çömlek gibi yaşamsal ihtiyaçların giderilmesinde aracı olan eşyaların üretiminde kullanılmıştır. Teknolojinin gelişmesiyle birçok alanda ve çok farklı dallarda üretim ve kullanım imkanı bulunmuştur. Seramik uygulama alanları aşağıda sunulmuştur.

- ❖ **Mekaniksel Uygulamalar:** Endüstriyel seramikler, mukavemet, aşınma ve sertlik ihtiyacı duyulan uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Metal kesme tahtalarında ve metallere şekil vermede silisyum karbür ve silisyum nitrür kullanımı, silisyum karbür, silisyum nitrür ve zirkonya tipleri dizel araç motorlarının supaplarında kullanımı mekaniksel uygulamalara örnek olarak verilebilmektedir.
- ❖ **Elektriksel ve Manyetik Uygulamalar:** Seramikler elektriksel özellikleri açısından oldukça yoğun bir şekilde kullanılmaktadırlar. Bu alanda yalıtkan, yarı iletken ve iyi iletken olarak tercih edilirler. Demir oksit içerikli seramik olan ferrit, elektrik motorlarında manyetikler olarak kullanılırlar. Bu ferritler motor içerisindeki elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirmede katkı sağlamaktadır.
- ❖ **Uzay Sanayi Uygulamaları:** seramikler uzay araçlarının parçalarını üretmede kullanılmaktadırlar. Seramikten üretilen ve uzay mekiğinde kullanılan ısı kalkarı tuğlalar bu alandaki uygulamaya en iyi örnektir.
- ❖ **Biyoseramik Uygulamaları:** Kemik ve yumuşak doku ile uyumlu seramikler bulunmaktadır. Bu seramikler vücudun bazı bölgelerinde implantasyon yapmak için tercih edilmektedir.
- ❖ **Nükleer Güç Uygulamaları;** Uranyum seramik taneleri nükleer enerji üretimi için mühendislerin vazgeçemediği bir malzeme olmuştur. Mühendisler, uranyum seramik tanelerini nükleer güç üretmek için kullanırlar.

- ❖ **Yapı ve inşaat uygulamaları:** Tuğlalar, borular ve kiremitler bu alanda en çok kullanılan seramiklerdir. Bunun yanı sıra lavabo, banyo küveti gibi malzemelerde seramiklerden yapılan yapı malzemeleridir.
- ❖ **Seramik Kaplama Uygulamaları:** Metalleri seramik emaye ile kaplamak için kullanılmaktadır. Yüksek sertlik ve metaller için yüksek korozyon direncine sahip olması seramiklerin bu alanda kullanımında tercih sebebi olmaktadır (Ling ve Dutta, 2001).

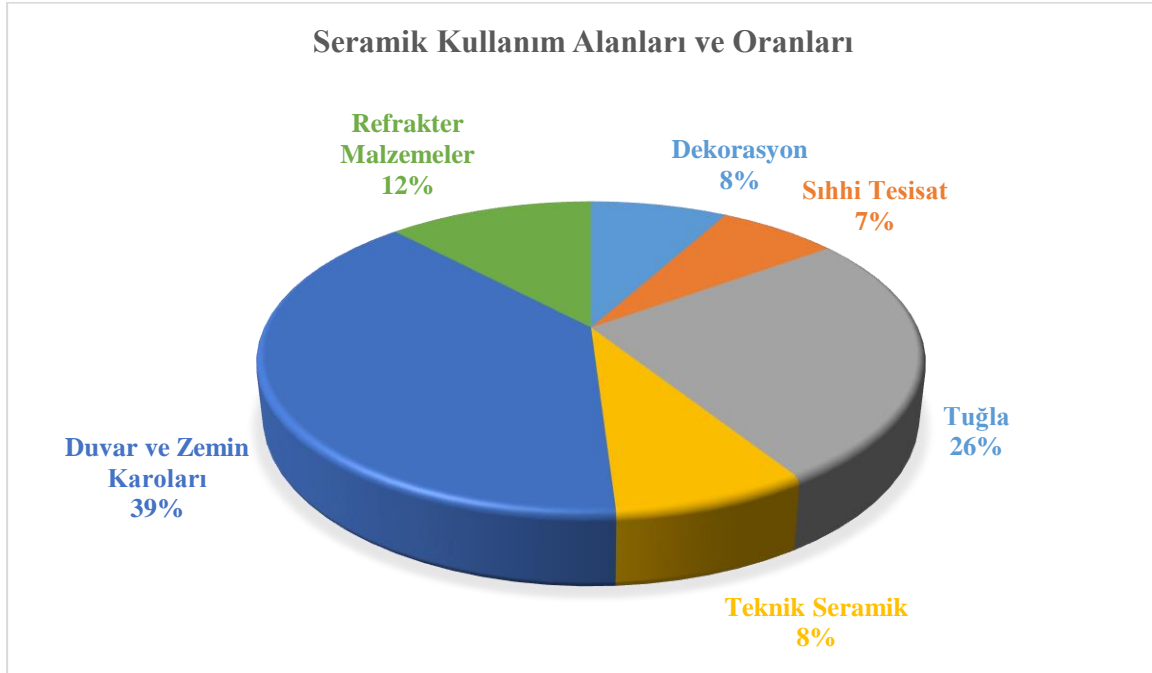
Seramikler, genel hatlarıyla yapısal, yüzey koruma amacıyla kaplama ve süsleme olarak kullanılmaktadır (Okumuş, 2013). Seramiklerin kullanım alanları Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Seramiklerin kullanım alanları

Avrupa Birliği kapsamında seramik üretiminin alt birimlerinin yer aldığı Şekil 3.5'de duvar ve zemin karolarının (%39) en yüksek paya sahip olduğunu, tuğla (%26)

malzemesinin ikinci sırada yer aldığı görülmektedir. En son sırada ise sıhhi tesisat (%7) yer almaktadır (Anderson, 2010).



Şekil 3.5. AB'deki seramik kullanım alanı ve oranları

3.1.1.6. Seramik atıkları

İnşaat sektöründe yapı duvar ve zeminlerinde kullanılan seramikler bir günde üretilen seramiklerin yüzde otuzunu oluşturmaktadır. Bu sektörde oluşan seramik atıklarının tamamı geri dönüştürülmemektedir (Subaşı ve ark., 2017).

Küresel çapta üretilen seramiklerin üretim aşamasında açığa çıkan atıkları tesislerin atık depolama alanında muhafaza edilmektedir. Bu durum zamanla depolama alanlarının yetersizliğine neden olacaktır. Bu sırada inşaat sektörü beton, çimento ve agrega temin etme konusunda doğal kaynakları kullanmaktadır (Penteado ve Vi 2016; Hwang, ve ark., 2019). Bu durumun önlenmesi için depolarda bulunan ya da inşaat yığıntılarından temin edilen seramik atıkları inşaat sektöründe aktif bir şekilde kullanılmalıdır (Hafez ve ark., 2017; Huseien ve ark., 2018; Hwang ve ark., 2019). Seramik atıkları, sadece beton, çimento ve agrega olarak değil aynı zamanda harç ve sıva üretiminde de kullanılabilir (El-Dieb ve Kanaan, 2018).

Dünya çapında, gerek toplum gerekse araştırmacılar sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma stratejileri üzerine odaklanmıştır. Bu strateji çevre güvenliği ve korunumu için atık azaltımı, atıkların tekrar kullanımı ve atıkların geri dönüşümü başlıklarından oluşmaktadır (Bilal, 2019). Oikonomou yapmış olduğu çalışmada, inşaat

atıklarının %40 ı beton, %30 u seramik, %10 u ahşap, %10 u plastik ve metal ve %10 u diğer malzemelerden meydana geldiğini bildirmiştir (Oikonomou, 2005).

Dünya çapında gelişmiş ülkeler bu konuda çeşitlik araştırmalar yapmışlardır.

- ✓ Hollanda ve Danimarka inşaat atıklarının yaklaşık %85 ini duvar ve beton malzemesi attığı olduğunu bildirmişlerdir.
- ✓ Kanada'da yer alan bir eyalete toplam atığın, %26'sı ahşap, %17 si asfalt malzemesi, %14ü kağıt, %10 u kontrplak, %9 u beton, %9 u metal, %3 ü briket ve %12 si diğer atıklardan meydana geldiğini tespit etmiştir (Kutalmış, 2014).
- ✓ Amerika seramik üretim prosesinde, olası atıkların zamanında ve düzenli bir biçimde ilgilenilmesi amacıyla süper fon adında bir yasa tasarısı önermiştir.
- ✓ Ekonomi ve teknolojik gelişmeler sebebiyle, Japonya'da seramik firmaları, yer problemi ve çevre koruması sebebiyle, üretim prosesinde atık yönetimi ve tekrar üretime katılması önem taşımaktadır.
- ✓ British Ceramics Research Association, atık seramiklerin geri dönüşümünün çevre koruması üzerine yaptığı etkiyi araştırmıştır.
- ✓ Guangdong'daki Fengxi Ceramics Research Institute, 2001 yılında, seramik atıklarının tekrar üretime dahil edilmesi ve geri dönüştürülmesi tamamlanmıştır. Sonuç olarak, atık miktarının azaldığı görülmüştür (Yaba, 2021).

Tez çalışması kapsamında kullanılan atık seramik tozu, Ankara/Çankaya ilçesinde bulunan kentsel dönüşüm kapsamında yıkılan eski binaların atıklarından elde edilmiştir. Seramik atıkları, ilk olarak, laboratuvarında çekiçle kırılmıştır. İkinci aşamada, küçük seramik parçaları iki çeneye sahip konkasörde kırılmıştır. Tuğla üretiminde kullanılacak atık seramik tozu belirlenen boyutlara gelmesi amacıyla 600 devir/sa dönme hızında değirmende 2 saat süreyle öğütme işlemi uygulanmıştır.

Tablo 3.1'de atık seramik tozunun kimyasal özellikleri Şekil 3.6'da görüntüsü verilmiştir. Tabloya göre atık seramik tozu içerisinde %68.23 oranında silisyum oksit, %27.51 oranında ise alüminyum oksit bulunmaktadır. Ayrıca kızdırma kaybının %0.12 olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3.1. Atık seramik tozunun kimyasal özellikleri, %

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Kızdırma Kaybı
Atık Seramik Tozu	68.23	27.51	1.79	0.33	1.15	0.09	1.30	0.45	0.03	0.12



Şekil 3.6. Atık seramik tozu

3.1.2. Pirinç kabuğu külü

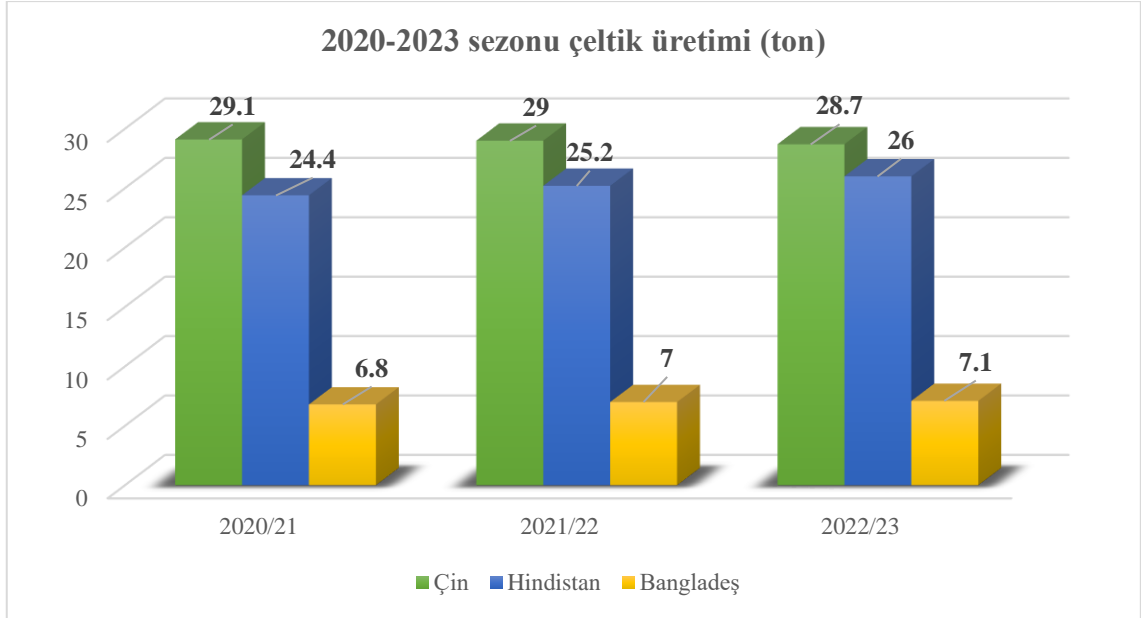
Pirinç, dünya çapında en çok üretilen besin kaynağı sıralamasında ikinci sırada yer almaktadır (Şekil 3.7). Dünya çapında tüketilen besin maddesi olan pirinç ekilen tüm alanların %11'ini oluşturmaktadır (Gülyaprak, 2019). Bu ekim alanlarında yılda yaklaşık 780 milyon ton çeltik üretimi yapılmıştır (Kim ve ark., 2019).



Şekil 3.7. Pirinç (Web ileti 3)

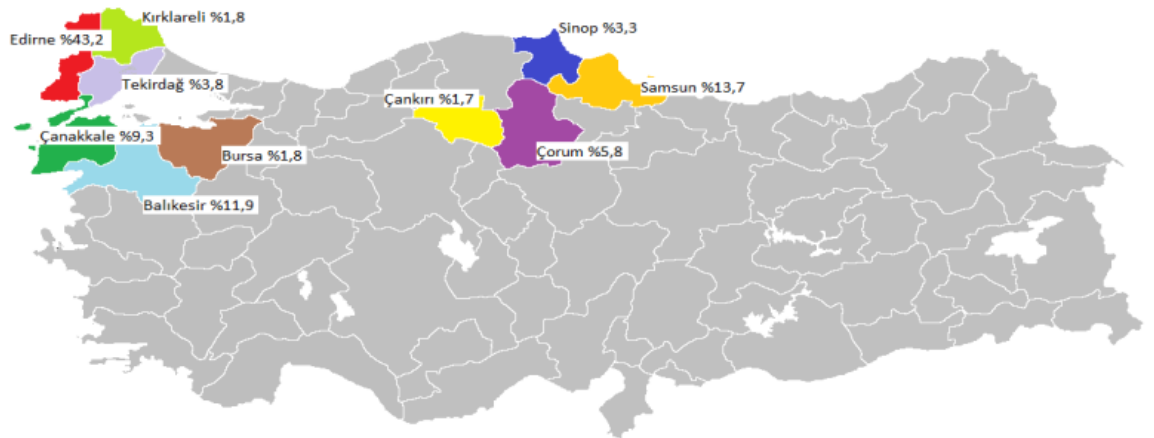
Türkiye’de 2022-2023 sezonunda 121.000 hektar alanda pirinç ekimi yapılmıştır. Bu alanlarda toplam 950.000 ton pirinç üretimi yapılmıştır. 2022-2023 sezonunda Ağustos ayı sonuna kadar 31.526 ton çeltik üretimi yapılmıştır. Aynı sezonda, 467.874 ton pirinç ithal edilirken 147.502 ton pirinç ise ihraç edilmiştir (Tarım Ürünleri Piyasaları, 2023).

Şekil 3.8’de 2020-2023 yılları en fazla çeltik üretimi yapan ülkeler verilmiştir. Bu tabloya göre üç yılda da 146 milyon ton ile Çin ilk sırada yer almaktadır. Çini Hindistan ve Bangladeş takip etmektedir.



Şekil 3.8. Son üç yılda en fazla pirinç üreten ülkeler

Ülkemizde çeltik üretimi yıldan yıla artarak devam etmektedir (Anonim 2019). 2020/21 sezonunda 125.000 hektar alanda toplam 980.000 ton pirinç üretimi yapılmıştır. Aynı sezonda 98.716 ton çeltik 227.690 ton değirmenden geçirilmiş pirinç, 8.000 ton kahverengi pirinç ithalatı yapılmıştır (Tarım Ürünleri Piyasaları, 2023). Şekil 3.9’da Türkiye’de pirinç üretimi yapılan şehirlerin yer aldığı harita sunulmuştur. Haritaya göre, sırasıyla Edirne Samsun ve Balıkesir yüksek miktarda pirinç üretimi yapan illerdir.



Şekil 3.9. Türkiye’de pirinç üretimi yapılan iller (Yazıcı, 2020)

Şekil 3.10’da 2022-2023 sezonunda Türkiye’nin diğer ülkelere göre pirinç ithalatı verilmiştir. Grafiğe göre, Çin %35.8 ile en yüksek orana sahipken, %9.2 ile Vietnam en düşük orana sahiptir.



Şekil 3.10. 2022-2023 sezonunda Türkiye’nin diğer ülkelere göre pirinç ithalatı

Üretimi yapılan çeltiğin, kabukları çıkarılarak pirinç elde edilmektedir (Wang ve ark., 2020). Pirinç kabuğu iki tabakadan oluşmaktadır. İlk tabaka ince zar şeklindedir ve besin değeri yüksektir. Bu nedenle hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. İkinci tabaka ise dış katmandır ve kavuz olarak bilinmektedir. Kavuzun yapısı su emme durumu, iklim, jeolojik yapı gibi etmenlerden dolayı değişiklik göstermektedir. Dış katmanın %20 oranında silis içermesi, hafif olması ve besin değerinin olmaması nedeniyle çiftliklerde hayvanların altına, demir çelik fabrikalarında soğutma işleminde, yalıtım malzemesi üretiminde ve yakıt briketi üretiminde kullanılmaktadır (Aydın, 2022). Pirinç kabuğunun kimyasal ve fiziko-kimyasal özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Pirinç kabuğunun kimyasal ve fiziko-kimyasal özellikleri (Yıldız ve ark., 2007)

Pirinç Kabuğunun Kimyasal Özellikleri	
	%
SiO ₂	96.34
K ₂ O	2.31
MgO	0.45
Fe ₂ O ₃	0.20
Al ₂ O ₃	0.41
CaO	0.41
Fiziko-kimyasal özellikleri	

Pirinç Kabuğunun Kimyasal Özellikleri	
Birim Hacim Ağırlığı (g/ml)	0.73
Katı Yoğunluğu (g/ml)	1.5
Nem İçeriği (%)	6.62
Kül İçeriği (%)	45.97
Tane Büyüklüğü (mesh)	200-16
Yüzey Alanı (m ² /g)	272.5
Yüzey Aktivitesi (meq/gm)	0.1
Yüzey Bazlık (meq/gm)	0.45

Çeltik miktarının 5 te 1 i kabuk olarak pirinç tanesinden ayrılmaktadır (Khan, 2018). Yani 2022/23 sezonunda üretilen 780 milyon ton çeltiğin 156 milyon tonu kabuk olarak ayrılmaktadır. Bu kabuk bünyesinde %90'dan fazla silis içeriği bulunmaktadır. Bu kabuklar çöp şeklinde araziye bırakıldığında yüksek oranda yer kaplamaktadır. Yakılması durumunda ise oluşacak küller çevreye saçılmakta bu da hem hava hem de çevre kirliliğine neden olmaktadır. Ayrıca kabuk mikro organizmaların parçalayarak toprağa karıştırması sırasında metan gazı salınımı gerçekleşmektedir. Bu durum küresel ısınmayı tetiklemektedir. Bu nedenler doğal yollarla imha edilmesine izin verilmemelidir (Thomas 2018).

1 ton çeltikten yaklaşık 200 kg kabuk meydana gelmektedir. 200 kg kabuğun yakıldığında ise 40 kg pirinç kabuğu külü elde edilmektedir (Erdoğan, 2007). Başka bir deyişle çeltik oranının %4 ü küle dönüşmektedir. Bu da ciddi bir orandır. Külün yüksek oranda (%85-95) silis içerdiğinden dolayı bertaraf edilmesinin en etkili yollarından biri inşaat sektöründe kullanımıdır. Böylelikle hem ekonomik hem de çevresel etki üzerinde olumlu sonuçlar elde edilecektir (Aydın, 2022) (Mahmud ve ark., 2010; Zunino ve Lopez, 2016; Zakı, 2021).

Pirinç kabukları kontrollü ve kontrolsüz olmak üzere iki şekilde yakılmaktadır (Demirbağ, 2021).

❖ **Kontrollü yakma işlemi**

Pirinç kabuğunun 800 °C sıcaklığa sahip fırınlarda yakılarak puzolanik, amorf formda silika esaslı bir malzeme olan pirinç kabuğu külü elde edilmektedir. Pirinç kabuğu külünün bünyesi yakma ortamına göre değişmektedir. Yakılmadan önce kabuk %50 selüloz, %25–30 lignin ve %15-20 silikadan oluşmaktadır. Yakma işleminin ardından selüloz ve lignin kül bünyesini terk ederek uzaklaştırılmaktadır.

Pirinç kabukları 500-700°C'de on iki saatten fazla sürede yakılırsa yüksek reaktivite özelliğine sahip kül elde edilmektedir. Kızdırma kaybı %70-80 arasında

değişmektedir. 15 dakika-6 saat arası yanma süresinde, kabuklar 500 -700°C'de yansa bile yüksek oranda karbon içerirler. Bunun yanı sıra kısa süre ve düşük sıcaklıklarda yüzde otuzdan fazla kızdırma kaybına neden olmakta, karbon oranı yüksek amorf silika formunda kül elde edilir. Bu parametrelerdeki yakma işleminde % 50- 70 oranında amorf silika ve %30-50 oranında karbon içeriği ya da kızdırma kaybına sahip kül üretilmiş olmaktadır (Chandrasekhar, 2003; Reddy ve Marcelina, 2006; Venkatanarayanan, 2013).

Kabuğun 700 °C'nin altındaki yakma işleminde elde edilen kül çoğunlukla şekilsizdir. En yüksek amorf silika içeriği 500-700°C sıcaklıklarda elde edilmektedir (Maeda ve ark., 2001; Ahmed ve Adam, 2007; Hwang ve Chandra 2016).

Elde edilen kül açık gri renge sahiptir. Yakma işleminden sonra küllerin soğuması için 24 saat beklenmektedir. Kontrollü yakma ve hızlı soğutma işlemine tabi tutulan küller, silika amorf yapıda olmaktadır (Erdoğan, 2007). Külün kalitesi kül tanelerinin boşluklu yapısı ve özgül yüzey alanına da bağlı olarak değişmektedir (Van Tuan, 2011; Coutinho ve Papadakis, 2011; Le, 2015).

❖ **Kontrolsüz yakma işlemi;**

Kontrolsüz yakma işlemi kabukların açık alanda yakılması işlemine denilmektedir. Bu yanma şekli çevre kirliliğine ve kalitesiz pirinç kabuğu külü elde edilmesine neden olacağı için çok fazla kullanılmamaktadır. İlk olarak, kabuklar 300 - 450°C sıcaklıklarda açık alanda yakılarak pirinç kabuğu külü elde edilmektedir. Bu sıcaklıklar arasında yanma işlemi tamamlanmadığı için kül içerisinde ciddi ölçüde yanmamış karbon yer almaktadır. Yüksek karbon içeriği ve reaktivite özelliğinin düşük olması külün yüksek kristalli bir yapıya sahip olmasına sebep olmaktadır (Zakı, 2021).

3.1.2.1. Pirinç kabuğu külünün kullanım alanları

Pirinç kabuğu külü yapısındaki yüksek silika oranı ve ısı yalıtım özelliğinden dolayı inşaat sektöründen enerji sektörüne kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Külün başlıca kullanım alanları;

- İnşaat Sektörü
- Enerji Amaçlı Kullanım
- Refrakter malzeme-seramik-cam üretiminde
- Kimyasal üretiminde
- Adsorban olarak
- Tekstil Boyaları üretimidir (Şirin, 2014).

Pirinç kabuğu külünün inşaat sektöründe kullanımı ile;

- Çimento talebi azalmakta
- Beton maliyeti düşmekte
- Çimento üretiminde meydana gelen CO₂ emisyonlarının çevre üzerindeki etkisini düşürmekte
- Yüksek puzolanik özelliğinden dolayı ek çimento katkı malzeme kullanımı gerektirmemektedir (Bie ve ark., 2015).

Tez çalışması kapsamında materyal olarak kullanılan pirinç kabuğu külü, Erdoğanlar Gıda Aş. Firmasından temin edilmiştir. Külün fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3. Pirinç kabuğu külünün fiziksel ve kimyasal özellikleri

Fiziksel Özellik	
Özgül Ağırlık	2.19
Özgül Yüzey (cm ² /g)	14841
Kimyasal Özellik	
SiO ₂	93.30
Al ₂ O ₃	1.87
Fe ₂ O ₃	1.13
MgO	0.29
SO ₃	0.26
Na ₂ O	0.15
CaO	0.63
K ₂ O	1.29
Kızdırma Kaybı	1.49

3.1.3. Killi toprak

Çalışmada kullanılan killi toprak Ankara il sınırları içerisinde bulunan killi toprak yığınlarından alınmıştır. Killi toprağın kimyasal içerikleri Tablo 3.4’de sunulmuştur. Tabloya göre killi toprak içerisinde %39.41 oranında Silisyum bulunmaktadır. Bunun yanı sıra Al, Fe, O, Mg elementlerine de rastlanmaktadır.

Tablo 3.4. Killi toprağın kimyasal analizi

Element	Ağırlık (%)
Si	39.41
Al	10.12
Fe	6.23
Mg	1.47
O	21.07
Nb	6.47
Ca	15.24
K	2.55

3.1.4. Karışım suyu

Çalışmada Ankara ili şehir şebeke suyu olarak tercih edilmiştir. Kullanılan su, berrak, organik madde içermeyen ve içilebilir özelliğe sahiptir.

3.2. Metot

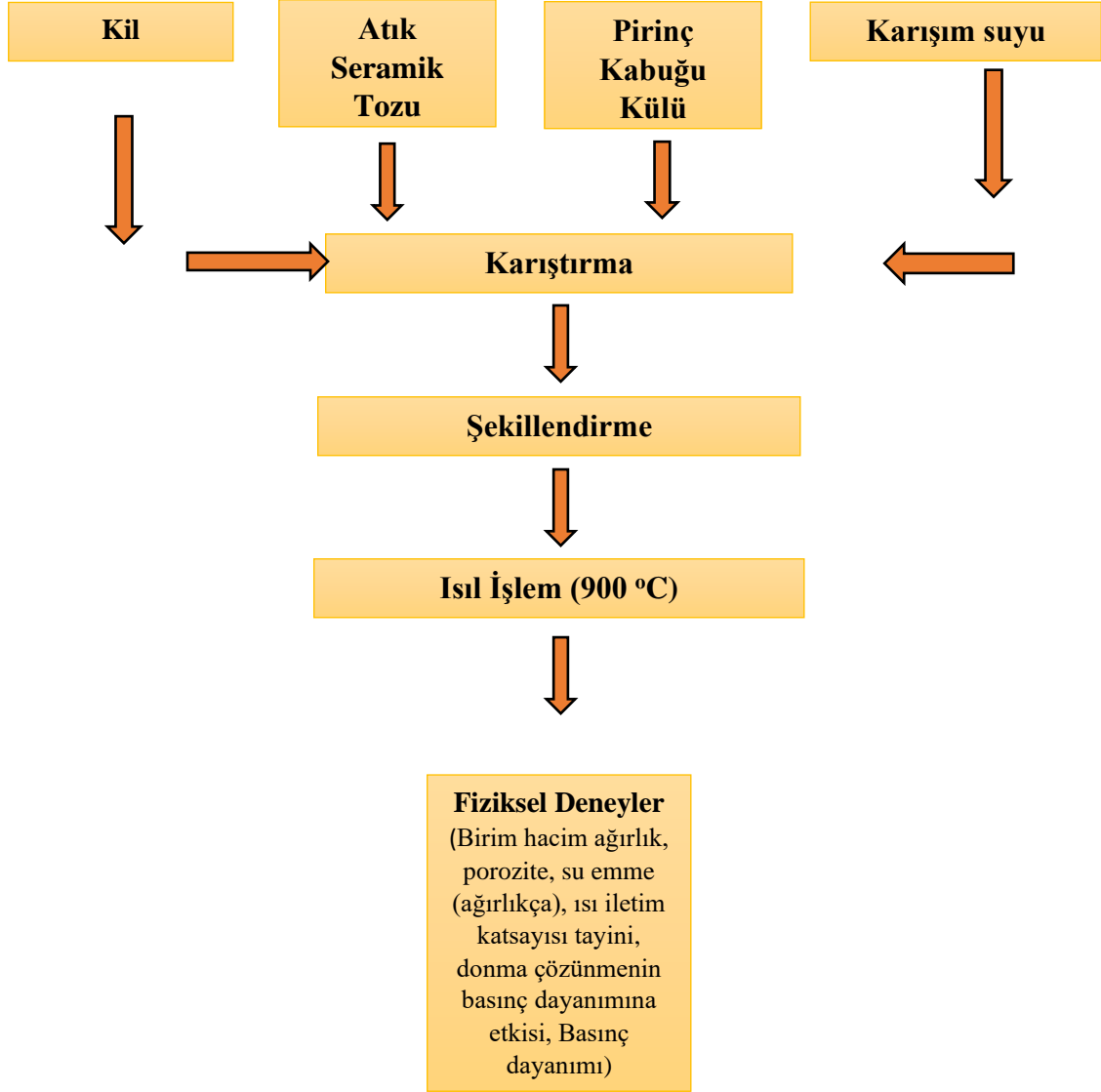
3.2.1. Katkılı tuğla numunelerinin üretilmesi

Tezin deneysel bölümü için ilk olarak atık seramik tozu, pirinç kabuğu külü, killi toprak ve karışım suyu temin edilerek laboratuvar ortamına getirilmiştir. Atık seramikler kentsel dönüşüme uğrayan inşaat yıkıntı atıklarında alınmıştır. İki çeneli konkasörde toz haline getirilmiştir. Killi toprak, homojen bir yapıya sahip olması için yığın içerisinde çeyrekleme yöntemi kullanılarak alınmıştır. Merdaneli ezicide ezilip 1 mmlik elekten elenerek elek altı malzemesi elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan pirinç kabuğu külü %10 oranında sabit tutulmuştur. Kil-atık seramik tozu oranları sırasıyla, 95:5, 80:10, 75:15, 70:20 olarak planlanmıştır. Karışım suyu toplam karışımın %20 oranında kullanılmıştır. Katkılı tuğla numune üretimi için Tablo 3.5’de verilen reçete baz alınmıştır. Reçete de yer alan REF; referans numuneyi, AST5; %5 oranında atık seramik tozu katkı numuneyi, AST10; %10 oranında atık seramik tozu katkı numuneyi, AST15; %15 oranında atık seramik tozu katkı numuneyi, AST20; %20 oranında atık seramik tozu katkı numuneyi ifade etmektedir. Numune üretimi TS EN 771-1+A1 standardına göre yapılmıştır.

Tablo 3.5. Karışım reçetesi

	Kil (%)	Atık Seramik Tozu (%)	Pirinç Kabuğu Külü (%)
REF	100	--	---
AST5	85	5	10
AST10	80	10	10
AST15	75	15	10
AST20	70	20	10

Katkılı tuğla numunelerinin üretim şeması Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11. Katkılı tuğlanın üretim şeması

Numune üretiminde ilk olarak, önceden istenilen boyutlara getirilen killi toprak, atık seramik tozu ve pirinç kabuğu külü, homojen bir karışım olması amacıyla, mikser içine konularak 1 dakika boyunca karıştırılmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Tuğla hamuru üretiminde kullanılan mikser

Kuru karıştırma işleminin ardından, karışım içerisine karışım suyu eklenmiş ve 1.5 dakika yavaş derecede, 1.5 dakika da hızla derece boyunca karıştırılmıştır. Hazırlanan tuğla hamuru 4x4x16 cm ebatlarındaki çelik kalıplara (Şekil 3.13) dökülmüş, yeterli sıkışmanın sağlanması için düz zemin üzerine 60 vuruş yapılmış ve 1 gün bekletilmiştir.



Şekil 3.13. Numune üretiminde kullanılan çelik kalıplar

Günün sonunda kalıptan çıkarılan numuneler yarı açık alanda 7 gün kurumaya bırakılmıştır. Kuru işlemi tamamlandıktan sonra yüksek ayarlı fırınlarda pişirme işlemi yapılmıştır. Pişirme işleminin ardından, numuneler fırın içerisinde 1 gün süreyle bekletilerek çatlama riskini önlemek amacıyla yavaş yavaş soğutulmuştur. Fırından alınan numunelere (Şekil 3.14) kuru birim hacim ağırlık, su emme (ağırlıkça), porozite, ısı iletim katsayısı tayini, donma çözülmenin basınç dayanımına etkisi ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır.



Şekil 3.14. Katkılı tuğla numuneleri

3.2.2. Numunelere uygulanan deneyler

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında üretilen numunelere uygulanacak olan, birim hacim ağırlık su emme (ağırlıkça), porozite, ısı iletim katsayısı tayini, donma çözülmenin basınç dayanımına etkisi ve basınç dayanımı deneyleri başlıklar halinde sunulmuştur. Numunelere uygulanan deneyler için Ankara Karayolları 4. Bölge Müdürlüğü Ar-Ge laboratuvarı kullanılmıştır.

3.2.2.1. Kuru birim hacim ağırlık

Üretilen tuğla numunelerinin kuru birim hacim ağırlık deneyi TS EN 771-1+A1 standardına göre yapılmıştır. Deney için 30 numune kullanılmıştır.

Kuru birim hacim ağırlık deneyinde su dolu bir kap içerisinde 30 adet numune bir gün boyunca bekletilmiştir. Daha sonra kapın alınan numuneler kuru bir bezle silinmiş ve etüv fırınında ± 105 °C’de bir gün bekletilmiştir. Etüvden çıkarılan numuneler hassas terazide tartılmış ve elde edilen değerler formülde yerine yazılarak kuru birim hacim ağırlık değeri bulunmuştur. Formülde bulunan E; etüv kurusu ağırlık, V; Hacim anlamına gelmektedir.

$$\text{Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/cm}^3\text{)}=E/V$$

3.2.2.2. Porozite

Malzeme yapısının gözenek oranı anlamına gelen porozite değerinin hesaplanması amacıyla TS EN 772-4 (2000) standardı kullanılmıştır. Porozite değerinin hesaplanmasında 30 adet numune kullanılmıştır.

Standarta göre, katkılı tuğla numuneleri bir kaptaki yüz seksen dakika süreyle kaynatılmıştır. Kaynar su içinden alınan numuneler su dolu kap içerisine alınmış ve sudaki ağırlıkları tespit edilmiştir. Ölçümün ardından numuneler su içerisinden alınarak yüzey kuru hale getirildikten sonra etüv fırınında (± 105 °C) bir gün boyunca bekletilmiştir. Son birkez daha ölçüm yapılarak bulunan değerler aşağıdaki formülde yerine yazılarak hesaplama yapılmıştır. Formülde yer alan K1, kuru ağırlık, K2, suya doymuş havadaki ağırlık, K3, suya doymuş sudaki ağırlık anlamına gelmektedir.

$$\text{Porozite (\%)} = ((K2-K1) / (K2-K3)) \times 100$$

3.2.2.3. Su Emme (Ağırlıkça)

Üretilen tuğla numunelerinin su emme (ağırlıkça) deneyi TS EN 772-4 (2000) standardına göre yapılmıştır. Deney için 30 numune kullanılmıştır.

Kuru birim hacim ağırlık deneyinde su dolu bir kap içerisinde 30 adet numune bir gün boyunca bekletilmiştir. Daha sonra kaba alınan numuneler kuru bir bezle silinmiş ve etüv fırınında ± 105 °C'de bir gün bekletilmiştir. Etüvden çıkarılan numuneler hassas terazide tartılmış ve elde edilen değerler formülde yerine yazılarak kuru birim hacim ağırlık değeri bulunmuştur. Formülde bulunan S_{sh} , numunenin havadaki ağırlığı, S_0 ise numunenin kuru ağırlık anlamına gelmektedir,

$$\text{Su Emme (Ağırlıkça) (\%)} = (S_{sh}-S_0)/S_0$$

3.2.2.4. Isı iletim katsayısı tayini

Katkılı numunelerin ısı performansını değerlendirmek için ısı iletim katsayısı tayini yapılmalıdır (Çağlar, 2018). Bu amaçla, katkılı tuğla numunelerine uygulanan ısı iletim katsayısı tayini deneyinin doğru ve güvenilir sonuçlar vermesi için üç değişik ısı ve nem ortamında, altı adet numune üzerinde deney uygulanmıştır. Her bir test 10 adet termal ölçümden oluşmuştur. Katkılı tuğlaların ısı iletim katsayısı, 180 termal test için ($3 \times 6 \times 10 = 180$) ortalama değer alınarak tespit edilmiştir (Gencel, 2015).

3.2.2.5. Donma Çözülmenin basınç dayanımına etkisi

Donma çözülmenin basınç dayanımına etkisinin belirlenmesi için öncelikle 30 adet katkılu tuğla numunelerine donma çözülme deneyi uygulanmıştır. Deney için TSE CEN/TS 12390-9 (2017) standardından yararlanılmıştır.

Donma çözülme deneyinde, katkılu tuğla numuneleri bir saat içerisinde su bulunan bir kap içerisinde bekletilmiştir. Kap içerisinden alınan numuneler yüzey kuru hale getirilmiş ve $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de dondurulmuştur. Donma işleminin ardından, numuneler dolaptan çıkarılmış ve $\pm 23\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de bir saat çözülmeye bırakılmıştır. Ardından tekrar donma çözülme kabine konmuş ve bu döngü 20 defa tekrarlanmıştır. Deney için Şekil 3.15'de görülen donma çözülme kabini kullanılmıştır. Donma çözülme deneyinin ardından numuneler basınç presi kullanılarak basınç dayanımları belirlenmiştir. Sonuçlar % olarak ifade edilmiştir.



Şekil 3.15. Donma çözülme kabini

3.2.2.5. Basınç dayanımı

Tez çalışması kapsamında üretilen katkılu numunelerin basınç dayanımı değerini belirlemek için TS EN 772-1, (2012) standardından yararlanılmıştır. Numuneler bilgisayar destekli basınç presine düz ve sabit bir şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 3.16). Ardından numune yüzeyine belirli bir yük uygulanmış ve numunenin kırılma anında deney sona erdirilmiştir. Basınç dayanımı kırılma anındaki yükün numunenin yüzey alanına bölünmesi sonucu elde edilmiştir.



Şekil 3.16. Numunelere uygulanan basınç dayanımı deneyi

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez çalışması kapsamında katkılı tuğla numunelerine kuru birim hacim ağırlık, su emme (ağırlıkça), porozite, ısı iletim katsayısı tayini, donma çözülmenin basınç dayanımına etkisi ve basınç dayanımı deneyler yapılmış ve başlıklar halinde sunulmuştur. Çalışmada pirinç kabuğu külü %10 oranında sabit tutulduğu için tuğla bünyesinde nasıl etki ettiği açıkça anlaşılamamıştır. Fakat yapılan literattür çalışmalarında, pirinç kabuğu külünün neredeyse atık seramik tozu ile paralel etki yarattığı tespit edilmiştir.

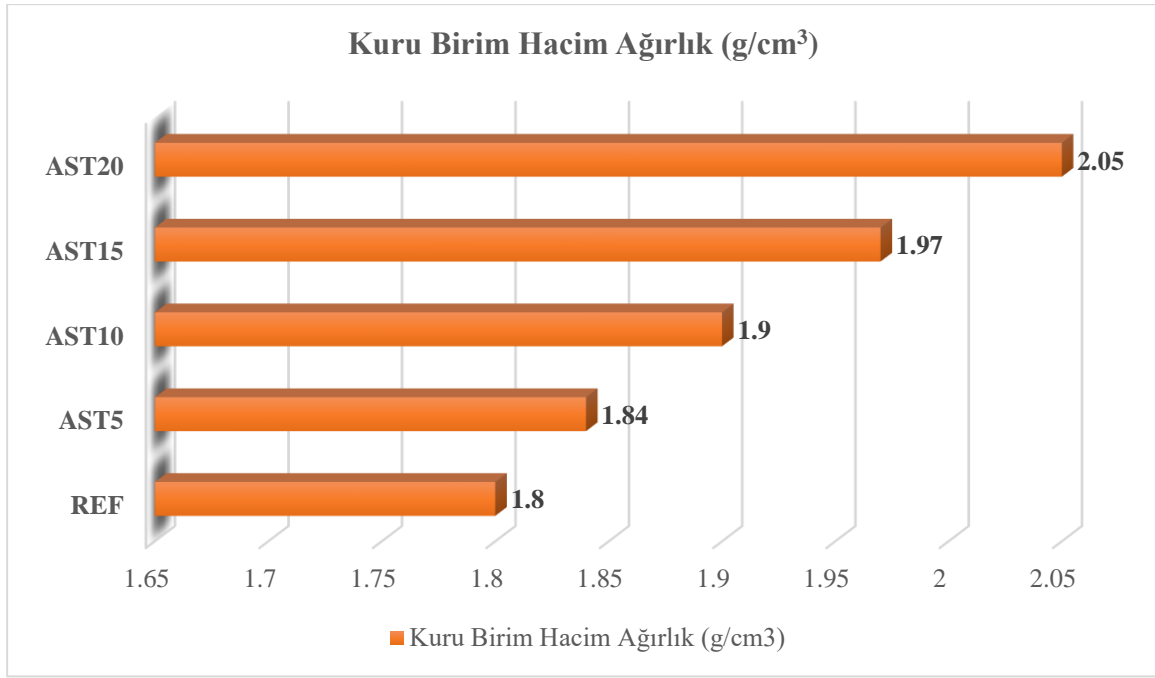
Deneylerde elde edilen sonuçlar Tablo 4.1’de verilmiştir. Tabloya göre; atık miktarının artmasıyla kuru birim hacim ağırlık, ısı iletim katsayısı ve basınç dayanımının arttığı, su emme (ağırlıkça), porozite, ve donma çözülmenin basınç üzerine etkisinin azaldığı görülmüştür.

Tablo 4.1. Katkılı numunelerin deney sonuçları

	REF	AST5	AST10	AST15	AST20
Kuru Birim Hacim Ağırlık(g/cm ³)	1.80	1.84	1.90	1.97	2.05
Su Emme (Ağırlıkça) (%)	20.9	20.4	19.7	18.1	16.0
Porozite (%)	22.2	21.5	20.0	19.2	17.9
Isı İletim Katsayısı Tayini	1.06	1.10	1.17	1.2	1.24
Donma Çözülmenin Basınç Dayanımına Etkisi (%)	13.9	11.7	9.1	6.3	3.7
Basınç Dayanımı (MPa)	4.5	6.3	8.7	11.9	15.7

4.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık

Tez çalışması kapsamında üretilen katkılı numunelerin kuru birim hacim ağırlık deney sonuçları Şekil 4.1’de verilmiştir. Şekle göre, numunelerin kuru birim hacim ağırlıklarının 2.05-1.8 g/cm³ arasında değiştiği tespit edilmiştir. En yüksek değer AST20 numunesinden elde edilirken, en düşük değer REF numunesinden elde edilmiştir. Atık seramik tozu miktarının artmasıyla kuru birim hacim ağırlığının arttığı görülmüştür. Artış oranının sırasıyla %2.22, %5.55, %9.44, %13.9 olduğu görülmüştür. Bu artışın nedeninin atık seramik tozunun yoğunluğunun ve özgül ağırlığının kilden daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

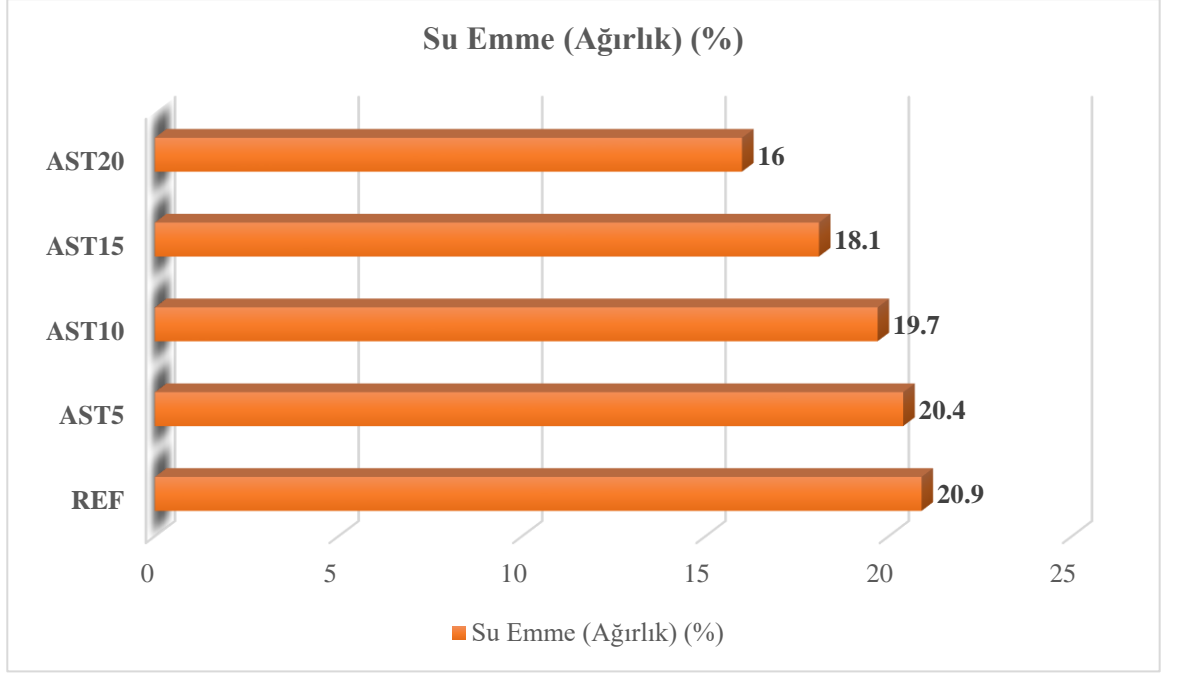


Şekil 4.1. Kuru birim hacim ağırlık grafiği

Sonuçlar aynı zamanda kilin düşük yoğunluklu bir malzeme ile değiştirilmesinin üretilen numunenin birim ağırlığının azalmasına neden olduğu ve bunun tersinin de geçerli olduğu önceki çalışmalarla da yakın koordinasyon içinde olduğu bilinmektedir (Kadir ve ark., 2017). Bunun yanı sıra Riaz ve ark. (2020)'nin yapmış oldukları çalışmada atık seramik tozu miktarının artmasıyla kuru birim hacim ağırlığının azaldığını tespit etmiştir. Elde ettikleri veriler tez çalışmasını desteklemektedir.

4.2. Su Emme (Ağırlıkça)

Şekil 4.2 de atık seramik tozu katkılı numunelerin su emme (ağırlıkça) değerleri verilmiştir. Grafikte su emme değerlerinin %16 ile %20.9 arasında değiştiği görülmüştür. En yüksek değer REF numunesinden elde edilirken, en düşük değer ATS20 numunesinden elde edilmiştir. Atık seramik tozu miktarının artmasıyla su emme değerinde azalma meydana gelmiştir. Azalma oranı AST5 numunesinde %2.24, AST10 numunesinde %6.09, AST15 numunesinde %14.21, AST20 numunesinde ise %30.62 olarak gerçekleşmiştir. Bu azalmanın nedeni atık seramik tozu içeren tuğlaların daha düşük gözenekliliğine bağlanmaktadır. Bununla birlikte, herhangi bir malzemenin dayanıklılığı büyük ölçüde su emme oranına bağlıdır. Atık seramik tozu ile su emme oranının azalması atık seramik tozu kullanılarak dayanıklı tuğla üretilebileceğini göstermektedir.

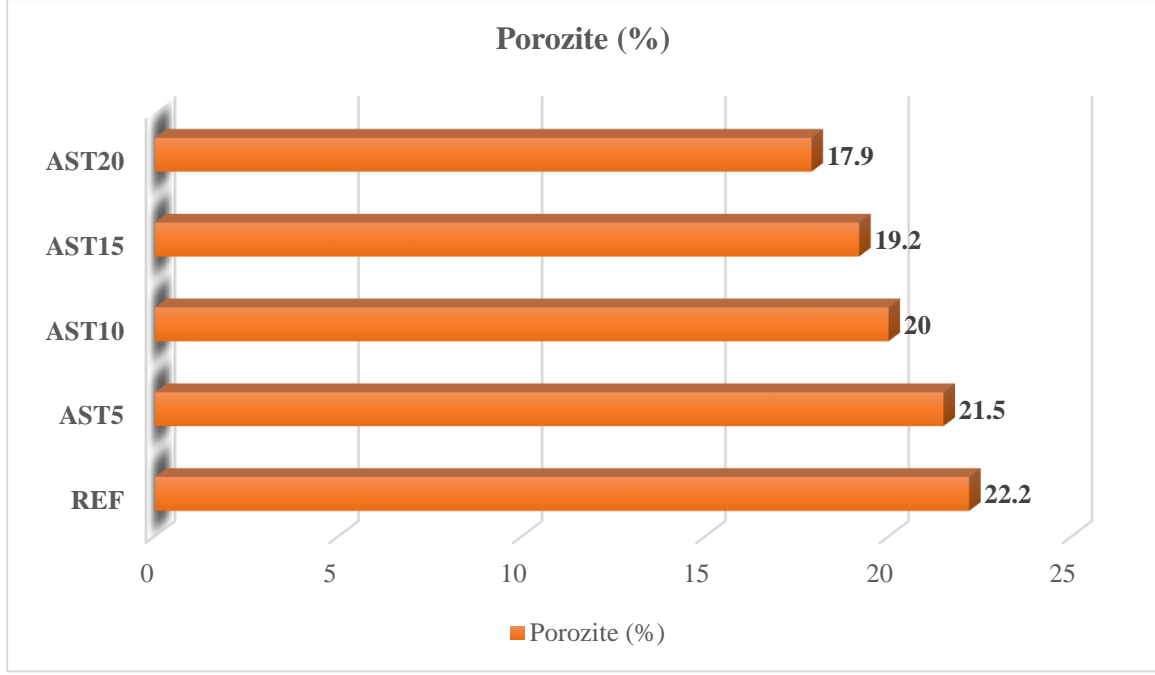


Şekil 4.2. Su emme (ağırlıkça) grafiği

Burada sunulan sonuçlar, kilin düşük yoğunluklu, yüksek gözenekli bir malzemeyle değiştirilmesinin daha yüksek su emme oranıyla sonuçlandığı önceki çalışmalarla da tutarlıdır (Kazmi ve ark., 2016a, b; Riaz ve ark., 2019). Riaz ve ark. (2020)'nin yapmış oldukları çalışmada atık seramik tozu miktarının artmasıyla kuru birim hacim ağırlığının azaldığını tespit etmiştir. Elde ettikleri veriler tez çalışmasıyla paralellik göstermektedir.

4.3. Porozite

Katkılı numunelerin porozite deney sonuçları Şekil 4.3'de verilmiştir. Şekle göre, numunelerin porozite değerlerinin %17.9 ile %22.2 arasında değiştiği tespit edilmiştir. En yüksek değer REF numunesinden elde edilirken, en düşük değer AST20 numunesinden elde edilmiştir. Atık seramik tozu miktarının artmasıyla porozite oranının azaldığı görülmüştür. Azalma oranının sırasıyla %3.25, %11, %15.62, %24.02 olduğu görülmüştür. Atık seramik tozu kilden daha yoğundur ve yoğun bir malzeme, yapısında daha az boşluk veya sıkı yapı ile ilişkilidir. Atık seramik tozunun daha yüksek yoğunluğu tuğla numunelerinin gözenekliliğinin azalmasına katkıda bulunmuştur.

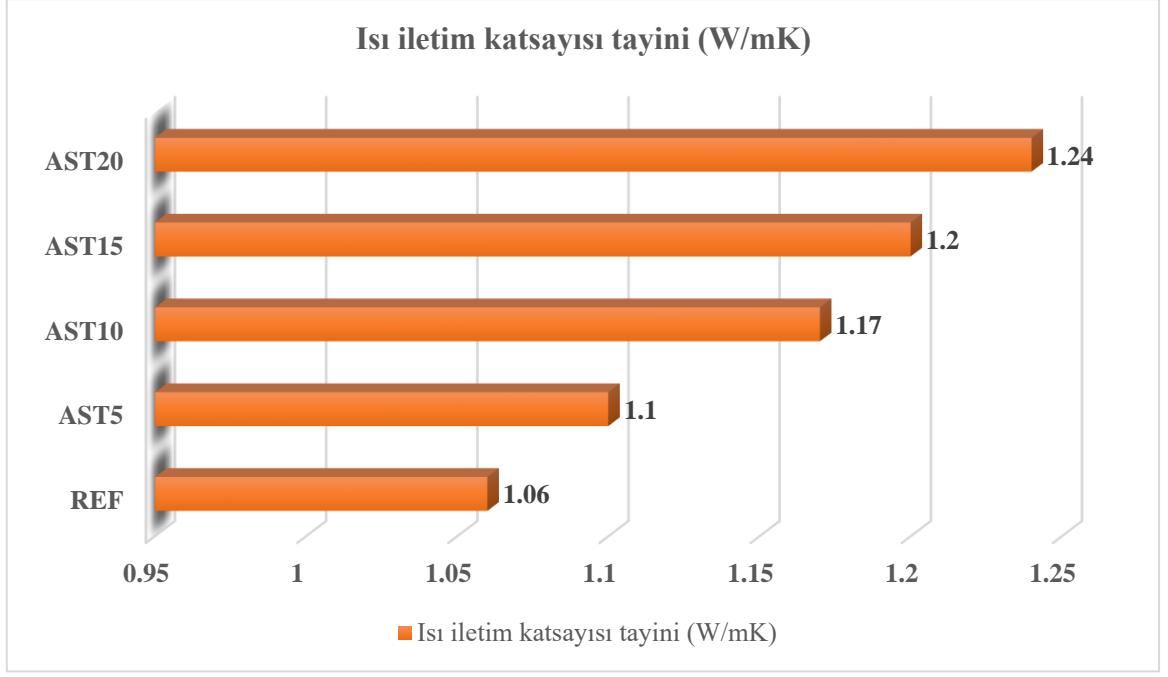


Şekil 4.3. Porozite grafiği

Tuğla imalatında kilin kısmi ikamesi olarak daha hafif malzemelerin kullanıldığı önceki çalışmalarda her zaman kontrol numunelerine göre daha yüksek gözenekliliğe sahip tuğla numuneleri elde edilmiş ve bunun tersi de geçerli olmuştur (Kadir ve Sarani 2012; Kazmi ve ark., 2016; Riaz ve ark., 2019). Atık seramik tozu ikamesinin artmasıyla porozite değerinin azaldığı çalışmada literatürde yer almaktadır (Riaz ve ark., 2020). Bu durum tez çalışmasını destekler niteliktedir.

4.4. Isı İletim Katsayısı Tayini

Şekil 4.1’de atık seramik tozu katkılı tuğla numunelerin ısı iletim katsayısı tayini deney sonuçları verilmiştir. Şekle göre, numunelerin ısı iletim katsayısı değerlerinin 1.06-1.24 W/mK arasında değiştiği tespit edilmiştir. En yüksek değer AST20 numunesinden elde edilirken, en düşük değer REF numunesinden elde edilmiştir. Atık seramik tozu miktarının artmasıyla ısı iletim katsayısı değerinin arttığı görülmüştür. Artış oranının sırasıyla %3.63, %9.40, %11.96, %14.51 olduğu görülmüştür. Bu artışa, atık seramik tozunun porozite değerini azaltarak daha sıkı bir yapıda tuğla meydana getirmesi, bu durumun ısı iletiminin engellenmesine neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.4. Isı iletim katsayısı tayini grafiği

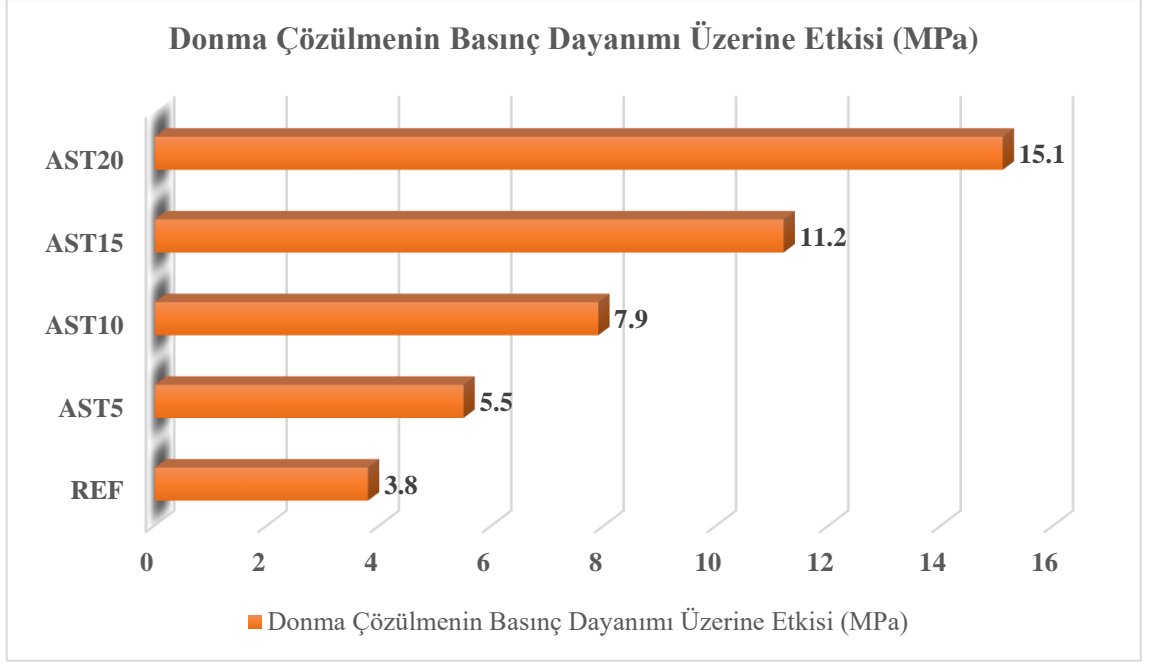
4.5. Donma Çözülmenin Basınç Dayanımına Etkisi

Atık seramik tozu katkılı tuğla numunelerin donma çözülme öncesi ve sonrası basınç dayanımı değerleri Tablo 4.2’de verilmiştir. Tabloya göre donma çözülme sonrası basınç dayanımlarının MPa arasında değiştiği görülmüştür. Donma çözülme sonrası en düşük basınç dayanımı REF numunesinden elde edilirken, En yüksek basınç dayanımı AST20 numunesinden elde edilmiştir.

Tablo 4.2. Donma çözülme öncesi ve sonrası basınç dayanım değerleri

	Donma çözülme deneyi	
	Öncesi (MPa)	Sonrası (MPa)
REF	4.5	3.8
AST5	6.3	5.5
AST10	8.7	7.9
AST15	11.9	11.2
AST20	15.7	15.1

Donma çözülmenin basınç dayanımı üzerindeki etkisini gösteren grafik Şekil 4.5’de sunulmuştur. Grafiğe göre, numunelerin donma çözülmenin basınç dayanımı üzerine etkisinin %3.7 ile %13.9 oranları arasında değiştiği tespit edilmiştir. En yüksek oran REF numunesinden elde edilirken, en düşük oran AST20 numunesinden elde edilmiştir. Atık seramik tozu miktarının artması donma çözülmenin basınç üzerindeki etkisini azalttığı görülmüştür.



Şekil 4.5. Donma çözülmenin basınç dayanımına etkisi grafiği

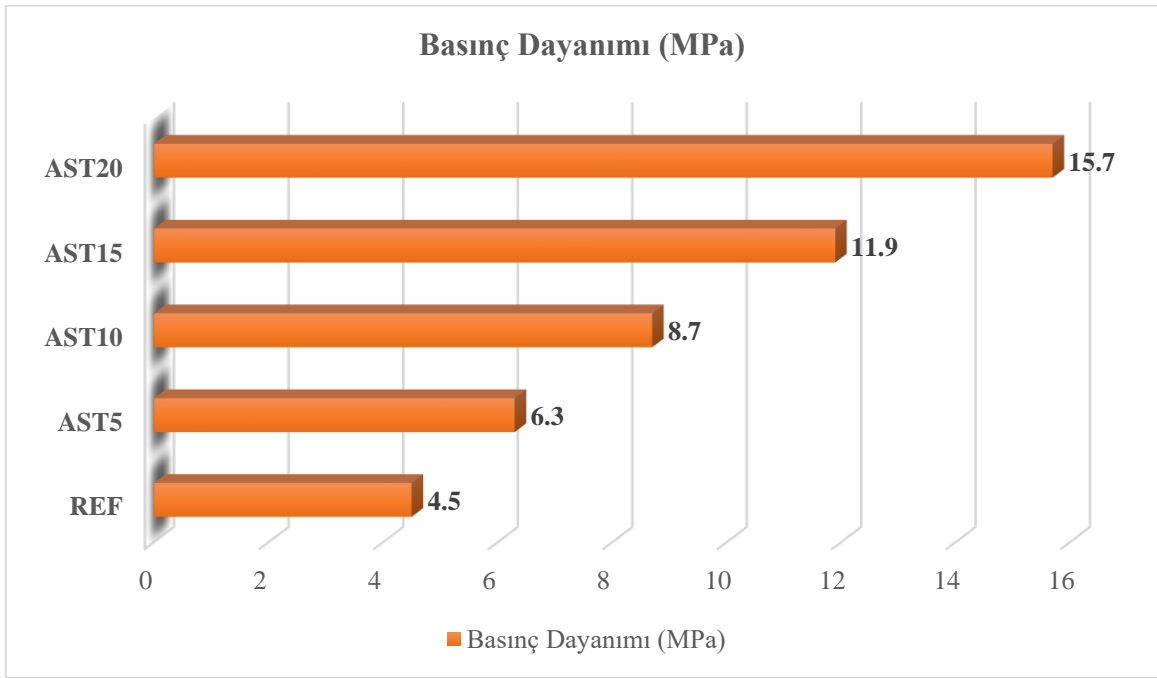
ASTM C67 (ASTM, 2014) standardına göre çatlaklı veya ağırlık kaybı %3'ün üzerinde olan tuğlalar “Başarısız” olarak kabul edilmektedir. %20 atık seramik tozu katkılı tuğla numunesinin ağırlık kaybı %3'ün biraz üzerinde olmasına rağmen herhangi bir çatlak veya leke fark edilmemiştir. Donma ve çözülmeye karşı dirençteki %13.9'dan %3.7'ye iyileşme, donmanın neden olduğu gerilmeleri kontrol etmede anahtar faktör olduğundan gözenekliliğin azalmasına bağlanmıştır. Bu durum, atık seramik tozunun tuğla üretimine dahil edilmesiyle tuğlaların kalitesinin, donma veya donma noktasının altındaki sıcaklıklara eğilimli şiddetli hava koşullarıyla başa çıkacak şekilde iyileştirilebileceği anlamına gelmektedir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, tez çalışmasında olduğu gibi, atık seramik tozu katkısının yapı malzemelerinin donma çözülmenin basınç dayanımına etkisi üzerinde olumlu etkisi olduğu görülmüştür (Vračević ve ark., 2014; Riaz ve ark., 2020).

4.6. Basınç Dayanımı

Şekil 4.6'da atık seramik tozu katkılı numunelerin basınç dayanımı değerleri verilmiştir. Grafikte basınç dayanımı değerlerinin 4.5 ile 15.7 MPa arasında değiştiği görülmüştür. En yüksek değer AST20 numunesinden elde edilirken, en düşük değer REF numunesinden elde edilmiştir. Atık seramik tozu miktarının artmasıyla basınç dayanımı değerinde artış meydana gelmiştir. Artış oranı AST5 numunesinde %28.55, AST10

numunesinde %48.27, AST15 numunesinde %62.18, AST20 numunesinde ise %36.69 olarak gerçekleşmiştir. Basınç dayanımındaki artış, tuğla numunesine atık seramik tozu eklenmesiyle sıkı yapıya sahip olmasına bağlanmaktadır. TS 706, harman tuğlaları için minimum 4.5 MPa basınç dayanımı önermektedir. ASTM C 62, normal ve orta hava koşulları için sırasıyla minimum 8.6 MPa ve 15.2 MPa'lık bir minimum basınç dayanımı önermektedir (C62 2006). Bu, duvarın normal ila orta dereceli hava koşullarına maruz kalması durumunda atık seramik tozunun kil için etkili bir alternatif olabileceği anlamına gelmektedir.



Şekil 4.6. Basınç dayanımı grafiği

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, atık seramik tozu miktarının basınç dayanımını arttırdığına dair elde edilen sonuçlar, tez kapsamında elde edilen sonuçlarla örtüşmektedir (Chen ve Zhou, 2013; Ifat 2015; Riaz ve ark., 2020).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında atık seramik tozu ve pirinç kabuğu külü katkılı tuğla numuneleri üretilmiş ve üretilen numunelere kuru birim hacim ağırlık, su emme (ağırlıkça), porozite, ısı iletim katsayısı tayini, donma çözülmenin basınç dayanımı üzerine etkisi ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Çalışmadan çıkarılan sonuçlar ve öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- ✓ Katkılı numunelere uygulanan kuru birim ağırlık deneyi sonucunda, atık seramik tozu miktarının artmasıyla kuru birim hacim ağırlık değerlerinde de artış meydana gelmiştir. En yüksek kuru birim hacim ağırlık değeri AST20 numunesinden elde edilmiştir.
- ✓ Su emme (Ağırlıkça) deneyinde, atık seramik tozu miktarının artmasının su emme oranı üzerinde olumlu etki yarattığı görülmüştür. En düşük su emme (ağırlıkça) oranı AST20 numunesinden elde edilmiştir.
- ✓ Porozite deney sonuçlarına göre atık seramik tozu miktarının artmasıyla porozite değerlerinde azalma meydana geldiği görülmüştür. En düşük porozite değeri %17.9 ile AST20 numunesinden elde edilmiştir.
- ✓ Isı iletim katsayısı tayini deneyinde, atık seramik tozunun ısı iletim katsayısı üzerinde olumsuz etki yarattığı görülmüştür.
- ✓ Donma çözülmenin basınç üzerine etkisi deney sonuçlarına göre, atık seramik tozu, tuğla numunelerinin donma çözülmeye karşı dayanımını arttırdığı görülmüştür. En iyi sonuç AST20 numunesinden elde edilmiştir. AST20 numunesinde donma çözülme sonrasında çatlama veya lekelenme görülmemiştir. Bu durum AST20 numunelerinin donma olayının yoğun yaşandığı veya orta şiddetli iklim şartlarına sahip bölgelerde rahatlıkla kullanılabileceği tespit edilmiştir.
- ✓ Basınç dayanımı deney sonuçlarından atık seramik tozu ikamesinin basınç dayanımını arttırdığı görülmüştür. En yüksek basınç dayanımı 15.7 MPa ile AST20 numunesinden elde edilmiştir.
- ✓ Pirinç kabuğu ikamesi %10 oranında sabit tutulduğu için numuneler üzerindeki etkisi net olarak anlaşılamamıştır. Fakat literatürde yapılan araştırmalar sonucunda atık seramik tozu ile paralel etkiler yarattığı tespit edilmiştir.

- ✓ Tuğla üretiminde atık seramik tozu kullanımının yıkıntı atıklarının ortadan kaldırılmasına katkı sağladığı anlaşılmıştır.
- ✓ Tarımsal atık olan pirinç kabuğunun yüksek sıcaklıklarda yakılması sonucu üretilen pirinç kabuğu külü ikamesinin tuğla üretiminde rahatlıkla kullanılabileceği görülmüştür.
- ✓ Atık seramik tozu ve pirinç kabuğu külü kullanılarak çevre dostu bir tuğla üreilebileceği görülmüştür.
- ✓ Pirinç kabuklarının doğaya atılıp seragazı etkisinin azaltılması açısından yapı malzemesi üretiminde kullanımının çevre sağlığı üzerinde olumlu etkileri olacağı görülmüştür.
- ✓ Atıkların tuğla üretiminde ham madde olan kilin yerine kullanılmasıyla verimli toprakların azalması riskinin önüne geçilebileceği kanısına varılmıştır.
- ✓ Atıkların tuğla üretimine katılması ile atık berterafı için bütçe ayrılmaya gerek kalmayacak bu durum işletmelerin ekonomisine katkı sağlayacaktır.
- ✓ Atık seramik tozu ve pirinç kabuğu gibi atıkların sadece tuğla değil, beton, çimento vb. yapı malzemelerinde de kullanımı için daha fazla çalışmalar yapılmalı ve yapılan çalışmalar desteklenmelidir.
- ✓ Atıkların her alanda kullanımı için üniversiteler bazında verilen desteklerle sınırlı kalmayıp devlet tarafından teşvikler ve hibe destekleri verilmelidir.
- ✓ Atıkların geri dönüştürülmesi ile sürdürülebilir yapı malzemesi üretimi geliştirilmelidir.
- ✓ Yapılan bu tür çalışmalar prototip üretimlerle kalmayıp, endüstriyel açıdanda üretime geçilmelidir.

6. KAYNAKÇA

- Ahmadi, R., Souri, B., & Ebrahimi, M. (2020). Evaluation of wheat straw to insulate fired clay hollow bricks as a construction material. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120043.
- Ahmed, A.E., Adam, F., (2007). Indium incorporated silica from rice husk and its Catalytic activity, *Microporous and Mesoporous Materials*, 103(1–3), 284–295.
- Akkurt F., Kalender E., Yörükoğlu A., 2019, Üstün özelliklere sahip ileri teknoloji seramiği: Titanyum diborür, *Bor Dergisi, Boron* 4(4), 203 – 208.
- Allende, S., Tuladhar, R., & Jacob, M. V. (2024). Sugarcane bagasse-derived carbon for partial replacement of cementitious material in concrete. *Materials Circular Economy*, 6(1), 1-12.
- Anderson, D. J., Smith, S. T., & Au, F. T. K. (2016). Mechanical properties of concrete utilising waste ceramic as coarse aggregate. *Construction and Building Materials*, 117, 20–28.
- Andreola, F., Lancellotti, I., Manfredini, T., Bondioli, F., & Barbieri, L. (2018). Rice husk ash (RHA) recycling in brick manufacture: effects on physical and microstructural properties. *Waste and Biomass Valorization*, 9, 2529-2539.
- Anonim, (2019). <http://www.tmo.gov.tr>, Erişim Tarihi: (25.07.2023).
- Aouba, L., Bories, C., Coutand, M., Perrin, B., & Lemercier, H. (2016). Properties of fired clay bricks with incorporated biomasses: cases of olive stone flour and wheat straw residues. *Construction and Building Materials*, 102, 7-13.
- ASTM. (2014). C67-14: Standard test methods for sampling and testing brick and structural clay tile. *Waste Management*.
- Aydın, A.T (2022). *Beton üretiminde puzolan olarak çeltik kavuzu külünün kullanılabilirliğinin araştırılması*, Doktora Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Baradan, B. (2003). İnşaat mühendisleri için malzeme bilgisi. *İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayın*, 307: 394.

- Benedet, G. A., Zaccaron, A., Inocente, J. M., de Souza Nandi, V., Arcaro, S., Raupp-Pereira, F., & Neto, D. G. (2024). Development of eco-friendly clay ceramics using rice husk ash as a secondary mineral source of quartz. *Materials Today Communications*, 108103.
- Bilal, M.A.M. (2019). *Geopolimer betonda piriç kabuğu külü ve atık seramik tozu kullanımının araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.
- Carter, P. (2013). *The road to Botany Bay: An exploration of landscape and history*. U of Minnesota Press.
- Chandrasekhar, S. A. T. H. Y., Satyanarayana, K. G., Pramada, P. N., Raghavan, P., & Gupta, T. N. (2003). Review processing, properties and applications of reactive silica from rice husk—an overview. *Journal of Materials Science*, 38, 3159-3168.
- Cheah, C.B., Part, W.K., Ramli, M., (2017). The longterm engineering properties of cementless building block work containing large volume of wood ash and coal fly ash, *Construction and Building Material*,143, 522–536.
- Chen Y., Zhang Y., Chen T., Zhao Y., Bao S., (2001). Preparation of eco-friendly construction bricks from hematite tailings, *Construction and Building Materials*, 25(4): 2107–2111.
- Chen, X., Wu, S., & Zhou, J. (2013). Influence of porosity on compressive and tensile strength of cement mortar. *Construction and Building Materials*, 40, 869-874.
- Chidiac, S.E. & Federico L.M., (2007). Effects of waste glass additions on the properties and durability of fired clay brick, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 34(11), 1458–1466.
- Coutinho, J. S. (2003). The combined benefits of CPF and RHA in improving the durability of concrete structures. *Cement and Concrete Composites*, 25(1), 51-59.
- CSA A82. (2006). *Fired masonry brick made from clay or shale*. Ontario: Mississauga
- Çağlar, A. (2018). *Geleneksel kastamonu evlerinde kullanılan harman tuğlası özelliklerinin bor atığı katkısı ile iyileştirilmesi üzerine deneysel araştırma*, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

- Çalık, N.B. (2023). *Yer seramik atıklarının asfalt betonunun performans özelliklerine etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Dalkılıç, N., & Nabikoğlu, A. (2017). Traditional manufacturing of clay brick used in the historical buildings of Diyarbakir (Turkey). *Frontiers of Architectural Research*, 6(3), 346-359.
- Das, K. K., Lam, E. S. S., Ip, C. T., Chau, Y. K., & Jang, J. G. (2024). Modified pull-off test evaluation of bond properties in preplaced aggregate concrete incorporating silica fume. *Journal of Building Engineering*, 82, 108264.
- Demirbağ, H. (2021). *Vollastonit ve pirinç kabuğu külü içeren uçucu kül ve cüruf esaslı geopolimer kompozitlerin taze, reolojik, mekanik ve durabilite özelliklerinin belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- De Silva, G. S., Aagani, T. H. F., Gebremariam, K. F., & Samarakoon, S. S. M. (2022). Engineering properties and microstructure of a sustainable roof tile manufactured with waste rice husk ash and ceramic sludge addition. *Case Studies in Construction Materials*, 17, e01470.
- Demir I., Orhan M., (2003). Reuse of waste bricks in the production line, *Building Environment*, 38; 1451-1455.
- Doğdu, M. (2022). *Silika aerojel katkılı hafif seramik sağlık gerecinin geliştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dubale, M., Goel, G., Kalamdhad, A., & Singh, L. B. (2022). An investigation of demolished floor and wall ceramic tile waste utilization in fired brick production. *Environmental Technology & Innovation*, 25, 102228.
- El-Dieb, A. S., & Kanaan, D. M. (2018). Ceramic waste powder an alternative cement replacement–Characterization and evaluation. *Sustainable Materials and Technologies*, 17, e00063.
- Erdoğan, T. Y., 2007. Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., 757, Ankara.
- Ertuna, C., (1995). Keremos'a küskünüz, *Seramik Dünyası Dergisi*, 13,1-17.

- Gencel, O., Sütçü, M., Erdoğan, E., Koc, V., Çay, V.V., Gök, M.S., (2013). Properties of bricks with waste ferrochromium slag and zeolite, *Journal of Cleaner Production*, 59(2013), 111–119.
- Gülyaprak, H.Y. (2019). *Artvin yusuveli bölgesindeki pirinç kabuğu külünün betonda bağlayıcılık özelliğinin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Gündoğdu, K., (2023). *Yapı sektöründe seramik karo atıklarının değerlendirilmesine yönelik bir inceleme: Birleşik Krallık Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Hafez, A. I., Khedr, M. M. A., Mohammed, M. S., Osman, R. M., & Sabry, R. M. (2017). Utilization of rice husk ash and ceramic wastes in manufacturing of developed cement bricks. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(9), 2854–2862.
- Hamzah, A. M., Zakaria, S. K., Salleh, S. Z., Yusoff, A. H., Ali, A., Mohamad, M., ... & Teo, P. T. (2021). Physical, morphological and mineralogical properties of ceramic brick incorporated with Malaysia's Rice Husk Ash (RHA) agricultural waste. *Journal of Ceramic Processing Research*, 66; 1-14.
- Hao, Y., Qin, L., He, X., Sun, H., Wu, Z., & Hou, Y. (2024). Mechanical properties and constitutive model of fibre-reinforced high-performance class-F fly ash foam concrete. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 28(2), 437-456.
- Huseien, G. F., Sam, A. R. M., Mirza, J., Tahir, M. M., Asaad, M. A., Ismail, M., & Shah, K. W. (2018). Waste ceramic powder incorporated alkali activated mortars exposed to elevated Temperatures: Performance evaluation. *Construction and Building Materials*, 187, 307-317.
- Hwang, C. L., Damtie Yehualaw, M., Vo, D. H., & Huynh, T. P. (2019). Development of high-strength alkali-activated pastes containing high volumes of waste brick and ceramic powders. *Construction and Building Materials*, 218, 519–529.

- Hwang, C.L., Chandra, S., (2016), The use of rice husk ash in concrete, [https://3c11105uvd.files.wordpress.com/2013/06/book-bysatish-,\(assessed; 27.4.2016\).](https://3c11105uvd.files.wordpress.com/2013/06/book-bysatish-,(assessed; 27.4.2016).)
- Ifat, S. (2015). Relation between density and compressive strength of hardened concrete. *Concrete Research Letters*, 6(4), 182–189.
- Kadir, A. A., & Sarani, N. A. (2012). An overview of wastes recycling in fred clay bricks. *International Journal of Integrated Engineering*, 4(2), 53–69.
- Kalınçimen, G. (2015). *Artık seramik tozu kullanımının çimento harcı özelliklerine etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Kazmi, S.M.S., Abbas, S., Saleem, M.A., Munir, M.J., Khitab, A., 2016a, Manufacturing of sustainable clay bricks: Utilization of waste sugarcane bagasse and rice husk ashes. *Construction and Building Materials*, 120, 29–41.
- Kazmi, S.M.S, Abbas, S., Munir, M.J., Khitab, A., 2016b, Exploratory study on the effect of waste rice husk and sugarcane bagasse ashes in burnt clay bricks, *Journal of Building Engineering*, 7, 372– 381.
- Khan, W., Shehzada, K., Bibi, T., Islam, S. U., & Khan, S. W. (2018). Performance evaluation of Khyber Pakhtunkhwa Rice Husk Ash (RHA) in improving mechanical behavior of cement. *Construction and Building Materials*, 176, 89-102.
- Khan, A., Khan, M., Ali, M., Khan, M., Khan, A. U., Shakeel, M., ... & Gamil, Y. (2024). Predictive modeling for depth of wear of concrete modified with fly ash: A comparative analysis of genetic programming-based algorithms. *Case Studies in Construction Materials*, 20, e02744.
- Khitab, A., Riaz, M. S., Jalil, A., Khan, R. B. N., Anwar, W., Khan, R. A., Arshad, M.T., Kirgiz, M.S., Tariq, Z. & Tayyab, S. (2021). Manufacturing of clayey bricks by synergistic use of waste brick and ceramic powders as partial replacement of clay. *Sustainability*, 13(18), 10214.
- Kilerci, D. K., (2002), *Aşınma direnci yüksek yer karosu sırlarının üretim imkanlarının araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Kim, M., Peng, J. L., & Sung, K. (2019). Causality between climatic and soil factors on Italian ryegrass yield in paddy field via climate and soil big data. *Journal of Animal Science and Technology*, 61(6), 324.
- Krishna, Y. M., Dhevasenaa, P. R., Srinivasan, G., & kumar, C. N. S. (2024). Enhancing sustainability in concrete: synergistic effects of sugarcane bagasse ash and iron ore tailings as eco-friendly cement and sand replacements. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 9(1), 20.
- Kumar R. & Hooda N. (2014). An experimental study on properties of fly ash bricks. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 2(9), 56–67.
- Kumar, P., Pratap, B., Sharma, S., & Kumar, I. (2024). Compressive strength prediction of fly ash and blast furnace slag-based geopolymer concrete using convolutional neural network. *Asian Journal of Civil Engineering*, 25(2), 1561-1569.
- Le, H. T., Siewert, K., & Ludwig, H. M. (2015). Alkali silica reaction in mortar formulated from self-compacting high performance concrete containing rice husk ash. *Construction and Building Materials*, 88, 10-19.
- Liang, Y., Dutta, S. P. (2001). Application trend in advanced ceramic technologies. *Technovation*, 21(1), 61-65.
- Li, H., & Guo, X. (2024). Fabricating hydrophobic silica fume to improve mechanical strength and anti-corrosion of integral hydrophobic cement mortar. *Journal of Cleaner Production*, 140857.
- Maeda, N., Wada, I., Kawakami, M., Ueda, T., & Pushpalal, G. K. D. (2001). Development of a new furnace for the production of rice husk ash. *Special Publication*, 199, 835-852.
- Mahmud, H. B., Hamid, N. A. A., & Chin, K. Y. (2010). Production of high strength concrete incorporating an agricultural waste-rice husk ash. In 2010 2nd International Conference on Chemical, Biological and Environmental Engineering (pp. 106-109). IEEE.

- More, A., Tarade, A., Anant, A., (2014). Assessment of suitability of fly ash and rice husk ash burnt clay bricks, *International Journal of Scientific and Research Publication (IJSRP)*, 4(7), 1–6.
- Nalli, B. R., & Vysyaraju, P. (2022). Utilization of ceramic waste powder and rice husk ash as a partial replacement of cement in concrete. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 982, No. 1, p. 012003). IOP Publishing.
- Oikonomou, N. D. (2005), Recycled concrete aggregates. *Cement and concrete composites*, 27(2), 315-318.
- Okumuş H., (2013), Geçmişte ve günümüzde seramiğin kullanım alanları, *Journal of Awareness*, 1-14.
- Oorkalan, A. S., Gopinath, V., Abhilash, M., Manikandan, P. U. H., & Haran, P. U. (2020). Experimental investigations of bricks using ceramic powder, marble dust and wood ash. *International Research Journal of Engineering Technology*, 7, 2914-2920.
- Ozturk, S., Sutcu, M., Erdogmus, E., & Gencel, O. (2019). Influence of tea waste concentration in the physical, mechanical and thermal properties of brick clay mixtures. *Construction and Building Materials*, 217, 592-599.
- Pawar A. & Garud D., (2014). Engineering properties of clay bricks with use of fly ash. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(9), 75–80.
- Penteado, C. S. G., Viviani De Carvalho, E., & Lintz, R. C. C. (2016). Reusing ceramic tile polishing waste in paving block manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 112, 514–520.
- Rahman, Z. A., Nazarah, H., Idris, W. M. R., & Lihan, T. (2023). Mechanical Characteristics of Developed Brick from Drinking Water Sludge under Different Firing Temperatures and Rice Husk Ash Contents. *Sains Malaysiana*, 52(7), 2115-2126.
- Rani, S. (2016). A study on ceramic waste powder. *SSRG International Journal of Civil Engineering*, 3(16), 1–5.

- Raut, S. P., Patil, U. S., & Madurwar, M. V. (2022). Utilization of phosphogypsum and rice husk to develop sustainable bricks. *Materials Today: Proceedings*, 60, 595-601.
- Reddy, D.V., Marcelina, B.S., (2006). Marine durability characteristics of rice husk ashmodified reinforced concrete, *International Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*, 2006 Jun 21-22, Mayaguez, Puerto Rico. Puerto Rico, University of Puerto Rico at Mayagüez.
- Riaz, M. H., Khitab, A., & Ahmed, S. (2019). Evaluation of sustainable clay bricks incorporating Brick Kiln Dust. *Journal of Building Engineering*, 24, 100725.
- Riaz, M. H., Khitab, A., Ahmad, S., Anwar, W., & Arshad, M. T. (2020). Use of ceramic waste powder for manufacturing durable and eco-friendly bricks. *Asian Journal of Civil Engineering*, 21, 243-252.
- Sahu, V., Attri, R., Gupta, P., & Yadav, R. (2020). Development of eco friendly brick using water treatment plant sludge and processed tea waste. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 18(3), 727-738.
- Subaşı, S., Öztürk, H., & Emiroğlu, M. (2017). Utilizing of waste ceramic powders as filler material in self-consolidating concrete. *Construction and Building Materials*, 149, 567–574.
- Şirin, Y. (2014). *Analysis of economic value of rice husk and producing high value industrial substances*, Master Thesis, University Of Gaziantep Graduate School Of Natural & Applied Sciences, Gaziantep.
- Tarım Ürünleri Piyasaları, (2023). Tarım ve orman bakanlığı. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF>. Erişim Tarihi: 30.11.2023.
- T.C. Kalkınma Bakanlığı (2021). Onuncu kalkınma planı: 2014-2018. Seramik çalışma raporu, 2015, Ankara.
- Thomas, B. S. (2018). Green concrete partially comprised of rice husk ash as a supplementary cementitious material—A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 3913-3923.

- TS EN 14411, (2013). Seramik karolar - tarifler, sınıflandırma, özellikler ve işaretleme, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 771-1+A1, 2015, Kâgir birimler - Özellikler - Bölüm 1: Kil kâgir birimler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 772-1, 2012, Kâgir birimler - Deney yöntemleri - Bölüm 1: Basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 772-4, 2000, Kâgir birimler- deney metotları- Bölüm 4: Tabii taş kâgir birimlerin toplam ve görünen porozitesi ile boşluksuz ve boşluklu birim hacim kütlelerinin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE CEN/TS 12390-9, (2012). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 9: Donma çözülme direnci-Yüzeysel kabuk atma (yüzeysel yıpranma), Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Ullas, S., Bindu, C. S., & Radhakrishnan, V. (2024). Ground granulated blast furnace slag as a partial replacement of cement in open-graded cement-stabilized macadam. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 36(4), 04024011.
- Uysal, M., Aygörmmez, Y., Canpolat, O., Cosgun, T., & Kuranlı, Ö. F. (2022). Investigation of using waste marble powder, brick powder, ceramic powder, glass powder, and rice husk ash as eco-friendly aggregate in sustainable red mud-metakaolin based geopolymer composites. *Construction and Building Materials*, 361, 129718.
- Van Tuan, N., Ye, G., Van Breugel, K., Fraaij, A. L., & Dai Bui, D. (2011). The study of using rice husk ash to produce ultra high performance concrete. *Construction and Building Materials*, 25(4), 2030-2035.
- Velasco, P. M., Ortíz, M. M., Giró, M. M., & Velasco, L. M. (2014). Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material—A review. *Construction And Building Materials*, 63, 97-107.
- Venkatanarayanan, H.K., Rangaraju, P.R., (2013). Material characterization studies on low and high-carbon rice husk ash and their performance in Portland cement mixtures, *Advances in Civil Engineering Materials*, 2, 265–287.

- Vračević, M., Ranogajec, J., Vučetić, S., & Netinger, I. (2014). Evaluation of brick resistance to freeze/thaw cycles according to indirect procedures. *Gradaviner*, 66(3); 197-209.
- Wang, S., Li, H., Zou, S., & Zhang, G. (2020). Experimental research on a feasible rice husk/geopolymer foam building insulation material. *Energy and Buildings*, 226, 110358.
- Web iletı 1, <https://aradbranding.com/tr/turkiyede-seramik-fiyatlari/>. Erişim Tarihi: 14.09.2023.
- Web iletı 2, (2022), <https://www.hse.gov.uk/construction/safetytopics/demolition.htm>, (Erişim Tarihi: 23/12/2023).
- Web iletı 3, <https://www.tarbigem.com.tr/urunler/hububatlar/pirincoryza-sativa>. Erişim Tarihi: 20.12.2023.
- Younis, M. O., Amin, M., & Tahwia, A. M. (2022). Durability and mechanical characteristics of sustainable self-curing concrete utilizing crushed ceramic and brick wastes. *Case Studies in Construction Materials*, 17, e01251.
- Yaba, S.A.S, (2021). *Using waste ceramic in stabilization of clay soils*. Yüksek Lisans Tezi, Institute Of Graduate Studies Of Near East Unıvercity, Nicosia.
- Yazıcı, E. (2020). Durum ve tahmin piriņ. Tarımsal ekonomi ve politika geliştirme enstitüsü, TEPGE YAYIN NO: 322, E-ISBN: 978-605-7599-49-0, 1-44.
- Yıldız, S., Balaydı, İ.,Ulucan, Z. Ç. (2007). Piriņ kabuğu külünün beton dayanımına etkisi, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(1), 85-91.
- Zakı, A. (2021). *Durabilite ortamlarında kürlenlen piriņ kabuğu külü katkı harçların termal ve porozite özelliklerinin araştırılması*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Zou, Y., & Yang, T. (2019). Rice husk, rice husk ash and their applications. In *Rice bran and rice bran oil* (pp. 207-246). AOCS Press.
- Zunino, F., & Lopez, M. (2016). Decoupling the physical and chemical effects of supplementary cementitious materials on strength and permeability: A multi-level approach. *Cement and concrete composites*, 65, 19-28.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER	
Adı Soyadı:	Rıyadh Mohammed Salih Mohammed DARFOUN
Uyruğu:	Libya
Orcid Numarası:	0009-0008-8434-3452

EĞİTİM BİLGİLERİ	
Lisans	
Üniversite:	Mühendislik Teknolojisi Üniversitesi
Fakülte:	Mühendislik Bilimleri Fakültesi
Bölümü:	İnşaat Mühendisliği Bölümü
Mezuniyet Yılı:	2018
Yüksek Lisans	
Üniversite:	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Enstitü:	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı:	İleri Teknolojiler Anabilim Dalı
Mezuniyet Yılı:	2024
Doktora	
Üniversite:	
Enstitü:	
Anabilim Dalı:	
Mezuniyet Yılı:	

Tezden Üretilen Makaleler ve Bildiriler
<p>Uluslararası Konferans ve Sempozyumlarda Sunulan Bildiriler</p> <p>Darfoun, R. M. S. M., Çağlar, A., & Çağlar, H. (2024). Usability of waste ceramic powder and rice husk ash in building material production in an academic context, <i>16th International İstanbul Scientific Research Congress On Life, Engineering, Architecture, And Mathematical Sciences</i>, İstanbul, 371-383.</p>