



T.C.
KIRSEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI



SİLİKA AEROJEL VE PİRİNÇ KABUĞU KÜLÜNÜN TUĞLA ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

ANAS KHALID MUKHTAR MAZİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRSEHİR

2024



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



SİLİKA AEROJEL VE PİRİNÇ KABUĞU KÜLÜNÜN TUĞLA ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

ANAS KHALID MUKHTAR MAZİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Doç. Dr. Arzu ÇAĞLAR

KIRSEHİR

2024

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

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

- Tez içinde sunduđum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiđimi,
- 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

Anas Khalid Mukhtar MAZIN

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
1.1. Silika Aerojel.....	4
1.2. Pirinç Kabuğu Külü	6
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	15
3. MATERYAL VE METOT	19
3.1. Materyal.....	19
3.1.1. Silika Aerojel	19
3.1.2. Pirinç kabuğu külü	20
3.1.3. Killi toprak	21
3.1.4. Karışım suyu	21
3.2. Metot.....	22
3.2.1. Silika aerojel ve pirinç kabuğu külü katkılı numunelerin üretilmesi.....	22
3.2.2. Numunelere uygulanan deneyler	26
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	31
4.1. Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık.....	31
4.2. Porozite	32
4.3. Kılcal Su Emme.....	33
4.4. Isı İletim Katsayısı Tayini	34
4.5. Sülfat Etkisi	36
4.6. Basınç Dayanımı.....	37
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	39
6. KAYNAKÇA	43
ÖZGEÇMİŞ.....	55

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. Desteklerini hiçbir zaman 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

Anas Khalid Mukhtar MAZIN

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİLİKA AEROJEL VE PİRİNÇ KABUĞU KÜLÜNÜN TUĞLA ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Anas Khalid Mukhtar MAZIN

KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI

Danışman: Doç. Dr. Arzu ÇAĞLAR
Yıl: 2024, Sayfa: 55
Jüri: Doç. Dr. Arzu ÇAĞLAR
Doç. Dr. Selim CEMALGİL
Doç. Dr. Esin İLHAN

Atıkların bertaraf edilmesi gerek ülke gerekse üretim yapan firmaların en büyük problemi haline gelmiştir. Bu problemin çözümü için sürekli yeni yollar ve farklı çözümler aranmaktadır. Son yıllarda, atıkların yapı malzemesi üretiminde kullanılması atık bertarafı için oldukça iyi bir yöntem olmuştur. Bu konuda yapılan bilimsel çalışmalar hızla çoğalmaktadır.

Bu çalışmada, tarımsal atık olan ve pirinç kabuğunun yakılması sonucu elde edilen pirinç kabuğu külü ve silika aerogelin tuğlanın özelliklerine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, farklı oranlarda silika aerogel (%0.5, %1.0 ve %1.5) ve pirinç kabuğu külü (%10, %20 ve %30) kullanılarak tuğla üretimi yapılmıştır. Üretimi yapılan tuğla numunelerine suya doygun birim hacim ağırlık, porozite, kılcal su emme, ısı iletim katsayısı tayini, sülfat etkisi ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Çalışmada sonuç olarak, silika aerogel ve pirinç kabuğu külü oranının artmasıyla suya doygun birim hacim ağırlık ve porozite değerlerinin arttığı, basınç dayanımını ve kılcal su emme miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, silika aerogel miktarının artması ısı iletim katsayısını azaltırken, pirinç kabuğu külü ikamesinin artması ısı iletim katsayısını arttırdığı görülmüştür. Üretilen bazı numunelerin (B1,B2,B3 ve B4) orta dayanımlı, bazı numunelerin (B5, B6 ve B7) az dayanımlı tuğla sınıfına girdiği görülmüştür. Ayrıca, pirinç kabuğu külü ve silika aerogelin tuğla üretimi için uygun ikame malzemesi ve atık bertarafı için iyi bir alternatif olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Silika aerogel, pirinç kabuğu külü, tuğla, atık, yapı malzemesi

ABSTRACT

MSc THESIS

EFFECT OF SILICA AEROGEL AND RICE HUSK ASH ON BRICK PROPERTIES

Anas Khalid Mukhtar MAZIN

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Arzu ÇAĞLAR
Year: 2024 Pages: 55
Juries: Assoc. Prof. Dr. Arzu ÇAĞLAR
Assoc. Prof. Dr. Selim CEMALGİL
Assoc. Prof. Dr. Esin İLHAN

Disposal of waste has become the biggest problem of both the country and the manufacturing companies. New ways and different solutions are constantly being sought to solve this problem. In recent years, the use of waste in the production of building materials has become a very good method for waste disposal. Scientific studies on this subject are increasing rapidly.

In this study, it was aimed to investigate of the effect on the properties of bricks of silica aerogel and rice husk ash, which are agricultural wastes and obtained by burning rice husk. For this purpose, bricks were produced using different amounts of silica aerogel (0.5%, 1.0% and 1.5%) and rice husk ash (10%, 20% and 30%). Water-saturated unit volume weight, porosity, capillary water absorption, heat conduction coefficient determination, sulfate effect and compressive strength tests were applied to the produced brick samples. As a result of the study, it was determined that as the ratio of silica aerogel and rice husk ash increased, the water-saturated unit volume weight and porosity values increased, and the compressive strength and capillary water absorption decreased. In addition, it has been observed that increasing the amount of silica aerogel reduces the heat conduction coefficient, while increasing the substitution of rice husk ash increases the heat conduction coefficient. It was seen that some of the samples produced (B1, B2, B3 and B4) were in the medium strength brick class, and some samples (B5, B6 and B7) were in the low strength brick class. Moreover, rice husk ash and silica aerogel are considered to be suitable substitute material for brick production and a good alternative for waste disposal.

Key Words: Silica aerogel, rice husk ash, brick, waste, building material

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Silika arojellerin özellikleri.....	5
Tablo 1.2. Pirinç kabuğunun kimyasal ve fiziko-kimyasal özellikleri.....	10
Tablo 3.1. Kullanılan silika arojelin özellikleri.....	19
Tablo 3.2. Kullanılan pirinç kabuğu külünün fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	20
Tablo 3.3. Killi toprağın kimyasal analizi.....	21
Tablo 3.4. Karışım suyu özellikleri.....	22
Tablo 3.5. Karışım reçetesi.....	23
Tablo 4.1. Tuğla numunelerinin deney sonuçları.....	31



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Aerojel.....	4
Şekil 1.2. Çeltik üretiminde öncü ülkeler.....	7
Şekil 1.3. Türkiye’de pirinç üretimi yapılan iller.....	7
Şekil 1.4. Fabrikaların il bazında dağılımı.....	9
Şekil 1.5. Pirinç kabuğu.....	9
Şekil 1.6. Pirinç kabuğu külü.....	11
Şekil 1.7. Pirinç kabuğunun kullanım alanları.....	13
Şekil 3.1. Silika aerojel.....	19
Şekil 3.2. Pirinç kabuğu külü.....	20
Şekil 3.3. Killi toprak.....	21
Şekil 3.4. Numunelerin üretim şeması.....	23
Şekil 3.5. Numune hazırlanmasında kullanılan mikser.....	24
Şekil 3.6. Çelik kalıp.....	25
Şekil 3.7. Üretilen katkılı tuğla numuneleri.....	25
Şekil 3.8. Kılcal su emme deneyi görüntüsü.....	28
Şekil 3.9. Basınç dayanımı.....	29
Şekil 4.1. Suya doymun birim hacim ağırlık grafiği.....	32
Şekil 4.2. Porozite grafiği.....	33
Şekil 4.3. Kılcal su emme grafiği.....	34
Şekil 4.4. Isı iletim katsayısı tayini grafiği.....	35
Şekil 4.5. Sülfat etkisi grafiği.....	37
Şekil 4.6. Basınç dayanımı grafiği.....	38

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
$^{\circ}C$: Santigrad derece
W/mK	: Watt/metre Kelvin
mm	: Milimetre
MPa	: MegaPaskal
N/mm^2	: Newton/milimetrekare
dB	: Desibel
KPa	: Kilopaskal
Si	: Silisyum
Al	: Alüminyum
Fe	: Demir
O	: Oksijen
Ca	: Kalsiyum

Kısaltmalar	Açıklama
RHA	: Pirinç kabuğu külü –Rice Husk Ash
DWS	: İçme Suyu Çamur Tuğlaları
REF	: Referans Numune
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskopu
URHA	: Öğütülmemiş Pirinç Kabuğu Külü
FA	: Uçucu Kül
ŞKKK	: Şeker Kamışı Küşpesi Külü
PKK	: Pirinç Kabuğu Külü
TS	: Türk Standartları
Ar-Ge	: Araştırma Geliştirme
BAP	: Bilimsel Araştırma Projesi

1. GİRİŞ

Şimdilerde, dünya çapında büyük bir artış gösteren hammadde kullanımı, çoğu endüstriyel dallarda hammadde kıtlığına ve yüksek enerji kullanımına neden olmaktadır (Göl ve ark., 2023). Endüstriyel dallardan biri olan tuğlanın üretiminde de hammadde ve enerji kullanımı oldukça yüksektir. Maliyetinin az olması, dayanıklılığının yüksek olması ve kolay kullanım özelliklerinin olması tuğlanın vazgeçilmez bir yapı malzemesi olmasını sağlamaktadır (Khitab ve Anwar, 2016). Varlığı tarih öncesine dayanan tuğlanın imalatında, sebze ve meyvelerin yeşirilmesinde önemli rol oynayan killi toprak tüketilmektedir (Demir, 2009; Okunade, 2008; Gorai, 2018).

Tuğlanın hammaddesi olan kil, istenilen ürün için esneklik, gözeneklilik ve yeterli mukavemet sağladığından dolayı tuğlalar için kritik bileşendir (Dalkılıç ve Nabikoğlu, 2017; Wang ve ark., 2023). Tuğla imalatında kullanılmak üzere yılda üç yüz kırk milyar ton kil tüketilmektedir (Pawar ve Garud, 2014). Kil oranının düşmesi, erozyon başta olmak üzere su tablasının azalması ve ekosistemin bozulması gibi olumsuz etkilere yol açmaktadır (Ramakrishnan ve ark., 2023).

Kil kullanımını azaltmak için tuğla bünyesine farklı ikame malzemeleri ilave edilmektedir. Silis dumanı (Salem ve ark., 2023), uçucu kül (Parkash ve ark., 2023), yüksek fırın cürufu (Yu ve ark., 2024), volkanik tüf (Djafri ve ark., 2023), perlit (Sütçü ve ark., 2023), pomza (Kumar ve ark., 2023) bu ikame malzemelerinden bazılarıdır. Bunun yanı sıra ayçiçeği sapı (Grădinaru ve ark., 2021; Binici ve ark., 2015), buğday samanı külü (Khan ve ark., 2019; Ahmadi ve ark., 2020; Aksoğan ve ark., 2016), fındık kabuğu (Jannat ve ark., 2021; Cintura ve ark., 2024; Özocak ve ark., 2024), çay atığı (Öztürk ve ark., 2019; Sahu ve ark., 2020; Datta ve ark., 2019), şeker kamışı küspesi külü (Khalil ve ark., 2021; Sobuz ve ark., 2024; Singh ve ark., 2023; Vanathi ve ark., 2023), pirinç kabuğu külü (Elhusna ve ark., 2024; Nagaraju ve ark., 2024; Diaz ve ark., 2024) gibi tarımsal atıklarda tuğla üretiminde kullanılmaktadır. Bunlarda en önemlisi çalışma kapsamında incelenen pirinç mahsullerinin atıklarından üretilen pirinç kabuğu külüdür (Khan ve Shahab, 2022).

Pirinç kabuğu külü, pirinç kabuklarının 500-700 °C arasındaki bir sıcaklıklarda yakılması sonucu elde edilmektedir (Tuan ve ark., 2011). Pirinç kabuğu külü yaklaşık %94 oranında silis içermektedir (Zaki ve Sola, 2020). Bu içeriğinden dolayı başta beton olmak üzere birçok yapı malzemesi üretiminde aktif bir şekilde kullanılmaktadır (Paul ve ark., 2024; Alyami ve ark., 2024).

Pirincin rafine edilmesi sırasında pirinç kabuklarının çıkarılması doğaya zarar vermektedir. Pirinç kabukları insanlar tarafından sindirilemediği ve yararlı ekonomik avantajlara sahip olmadığı için, toprağı ve pirincin atıldığı yakın bölgeyi kirletmektedir (Hu, 2020). Bu nedenle pirinç kabuğunun küle dönüştürülmesi ve külünün inşaat sektöründe ticari kullanımı, bertaraf sorununa alternatif bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır (Alam ve ark., 2024).

Çalışma kapsamında kullanılan bir diğer ikame malzemesi aerojeldir. Silika aerojeller, çapraz bağlı silika nanopartiküllerinden (<%5) ve çok sayıda gözenekten (>%95) oluşan ultra hafif, gözenekli katı malzemelerdir (Zhang ve ark., 2021). Silika aerojellerin olağanüstü üç boyutlu gözenekli yapısı, son derece düşük yoğunluk (0.03–0.50 g/cm³), düşük ısı iletkenliği (17–21 mW/m/K) ve yüksek yüzey alanı (500–1200 m²/g) gibi birçok ayırt edici özelliğe sahiptirler (Li ve ark., 2024). Aerojeller, 20-40 nm aralığında değişen gözeneklere sahip, -200 +1200 dereceye dayanıklı son derece düşük yoğunluk ve mükemmel süper hidrofobik özelliklerine sahip dünyanın en hafif katı yalıtım maddesidir. Dondurulmuş duman olarak bilinen bu ürün dünyanın en hafif katı yalıtım maddesidir (Anonim, 2024).

Tezin Amacı: Bu tez çalışmasında, silika aerogel ve tarımsal atık olan pirinç kabuğu külü ikamesinin tuğla özellikleri üzerine etkisinin incelenmesini hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda istenilen özelliklere sahip termal açıdan iyileştirilmiş tuğlalar üretilmesi amaçlanmıştır.

Tezin Önemi: Bu tez çalışması literatüre kazandırıldığında;

- ✓ Silika aerogel ve pirinç kabuğu külü katkılı tuğlalar piyasada bulunan tuğlalara kıyasla daha düşük ısı iletim katsayısına sahip olacağı için konuların enerji verimliliğini iyileştirecektir.
- ✓ Termal özellikleri iyileşeceği için ısıtma ve soğutma masrafı azalacak bu da aile bütçesine katkı sağlayacaktır.
- ✓ Üretilen tuğlalar iyileştirildiği için uzun vadede bakım onarım yapılmayacaktır.
- ✓ Pirinç kabuğu külü tuğla imalatında kullanıldığında çevreye verilen zararın azalmasının yanı sıra atıkların imhası için yapılan harcamaların düşürülmesi sağlanacaktır.
- ✓ Pirinç kabuğu külünün tuğla imalatına dahil edilmesiyle sürdürülebilir ve geri dönüşümlü tuğlalar üretilmiş olacaktır.
- ✓ Pirinç kabuğu külü gibi tarımsal atıkların tuğla üretimine ikame edilmesi ülke ekonomisine faydalı olacaktır.

- ✓ Çalışma bünyesinde imal edilen tuğlaların seri üretim yapılması teknolojiye, elde edilen veriler ise bilime katkıda bulunacaktır. Tüm bunlar tez çalışmasının ne derece önem az ettiğinin göstergesidir.

Tezin kapsamı; çalışmada kullanılan killi toprak Ankara ili il sınırlarından temin edildiği için tez çalışması kapsamı Ankara ili ile sınırlandırılmıştır. Tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölüm tezin giriş bölümüdür. Bu bölümde tez çalışmasının genel hatları hakkında kısaca bilgiler verilmiştir. Tezin amacı, önem ve kapsamından da bahsedilmiştir. Bunun yanı sıra silika aerojel, pirinç kabuğu külü ve tuğla malzemeleri başlıklar halinde sunulmuş ve her biri detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

İkinci bölüm önceki çalışmalar bölümüdür. Bu bölümde konu hakkında literatür araştırması yapılmıştır. Bölümde silika aerojel ve pirinç kabuğunun 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 derlenmiştir. Elde edilen bilgiler özet haline getirilerek sunulmuştur.

Üçüncü bölüm materyal ve metot bölümüdür. Bu bölüm materyal ve metot ayrı başlıklar şeklinde verilmiştir. Materyal bölümünde tuğla üretiminde kullanılan pirinç kabuğu külü, silika aerojel, killi toprak ve karışım suyu detaylı bir şekilde anlatılmış, fiziksel ve kimyasal özelliklerinde bahsedilmiş ve görsellerle zenginleştirilmiştir. Metot bölümünde, tuğla numunelerinin üretilmesi, yapılan deneyler (suya doymun birim hacim ağırlık, kılcal su emme, porozite, ısı iletim katsayısı tayini, sülfat etkisi, basınç dayanımı) detaylı bir şekilde (formüller ve görsellerle) anlatılmıştır.

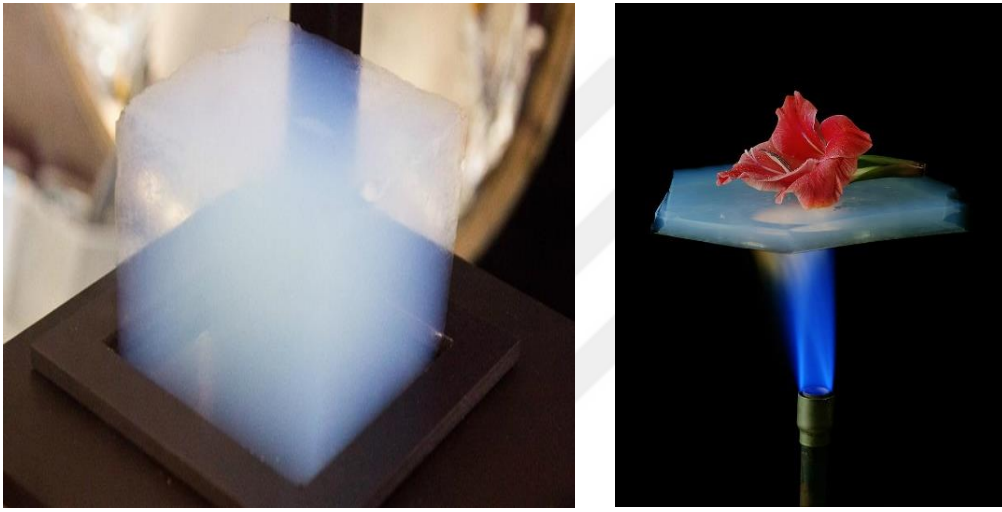
Dördüncü bölüm bulgular ve tartışma bölümüdür. Bu bölümde tez çalışması kapsamında üretilen silika aerojel ve pirinç kabuğu külü ikameli tuğla numunelerine uygulanan suya doymun birim hacim ağırlık, kılcal su emme, porozite, ısı iletim katsayısı tayini, sülfat etkisi, basınç dayanımı deneyleri başlıklar halinde sunulmuştur. Her bir başlık altında deneylerden elde edilen veriler grafikler yardımıyla yorumlanmıştır. Ayrıca bulunan sonuçlar farklı çalışmalarla karşılaştırılmış ve tartışma bölümü oluşturulmuştur.

Beşinci bölüm sonuç ve öneriler bölümüdür. Bu bölümde tez kapsamında yapılan tüm çalışmalardan elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Daha sonraki çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

1.1. Silika Aerojel

Aerojel, gözenekler içerisinde bulunan sıvının hava ile değiştirilmiş olduğu katı maddelerdir. Oldukça hafif, gözenekli yapıda ve gözeneklerinde sıvı yerine hava bulundurmaktadır (Bheekhun ve ark., 2013).

Yüzeyleri fiziksel olarak incelendiğinde çok fazla küçük deliklerden oluştuğu, süngere benzediği görülmektedir. Aerojeller Şekil 1.1’de görüldüğü üzere dünyanın en hafif katı malzemeleri olup çok düşük yoğunluklu ve son derece düşük ısı iletkenliğinin yanı sıra yüksek spesifik yüzey alanına sahip sentetik gözenekli bir malzemedir (Doğdu, 2022).



Şekil 1.1. Aerojel (Web iletı 1)

İlk olarak Silika 1930’lu yıllarda Kistler’in bulduğu aerojelin, Teichner grubu sonraki yıllarda, sol-jel metodu kullanarak silika aerojelin üretimini ve popülerliğini artırmıştır. Silika aerojeller, tüm aerojeller içerisinde son 30 yıldır üzerinde en fazla araştırma yapılan aerojel çeşididir. Sahip olduğu olağanüstü özellikleri ve oldukça geniş uygulama alanı aerojeli ön plana çıkarmaktadır (Yılmaz, 2013). Silika aerojeller genellikle sol-gel yöntemi ile üretilmektedir. Üretim parametrelerine bağlı olarak (yaşlandırma, başlatıcılar, kurutma vb.) farklı mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olmaktadır (Doğdu, 2022)

Tablo 1.1’de özellikleri verilen silika aerojeller zayıf mekanik özelliklere sahiptirler. Bu durum aerojel numuneleri gevrek, yumuşak ve kırılabilir hale getirmektedir. Bu eksiklikler büyük oranda silika aerojellerin gelişimi ve uygulama alanlarını

sınırlamaktadır. Günümüzde silika aerojellerin mekanik özelliklerini geliştirmek için aerojellere bazı lifler ve sert malzemeler eklenmektedir (Huang, 2012).

Tablo 1.1 Silika aerojellerin özellikleri (Doğdu, 2022)

Özellik	Değer
Yoğunluk	0.003 g/cm ³
Yüzey Alanı	500-1000 m ² /g
Gözeneklilik	%80-99.8
Gözenek Çapı	20-150 nm
Partikül Çapı	2-5 nm
Isıl İletkenlik	0.017-0.021 W/mK
Isıl Genleşme Katsayısı	2.0-4.0*10 ⁻⁶
Ses Hızı	100 m/s
Dielektrik Sabiti	1.1
Kırılma İndeksi	1-1.05

Yüksek gözeneklilik dışında, aerojellerin olağanüstü özelliklerinden biri çok düşük ısı iletkenliğidir. Aerojellerin düşük ısı iletkenlik özelliğinin nedeni;

- ✓ % 1-10 arasında değişen katı maddenin miktarının oldukça az olması,
- ✓ Birbirleriyle bağlantılı veya bağlantısız gözenekli yapısının olması,
- ✓ 3 boyutlu ağ yapılı parçacıklardan oluşmasıdır.

Normalde, silika aerojel için sıcaklık aralığı -190 °C – 1200 °C'dir. Nano gözenekli yapı sebebiyle silika aerojel 10°C'de ve atmosferik basınçta çok düşük ısı iletkenlik değerine sahiptir. Statik ısı iletkenlik değeri havadan daha düşüktür (Huang, 2012).

Silika aerojeller, ısıya dirençli elyaf malzemelerle birleştirilerek, sanayi, inşaat, sıhhi tesisat, otomotiv, havacılık ve diğer alanlarda yaygın olarak kullanılan farklı yalıtım malzemeleri haline getirilebilmektedir (Doğdu, 2022). Başlıca kullanım alanları aşağıda sıralanmıştır:

- **Kompozit malzeme:** Silisyum alkoksit öncüsü diğer metal oksitlerle jel ağları oluşturacak kadar reaktif olduğundan farklı malzemeler ile kompozit yapı oluşturulabilir (Kafalı, 2005).
- **Kimya sektöründe adsorban:** Organik çözücülerin ve yağların adsorbsiyonunda hidrofilik ve hidrofobik silika aerojeller kullanılmaktadır.
- **Sensör malzemesi:** Aerojeller yüksek gözenekliliğe, iyi gözenek erişilebilirliğine ve yüksek yüzey aktif bölgelere sahiptir. Bu nedenle nem sensörü, biyosensör olarak kullanılmaktadır (Wang ve ark., 2005).

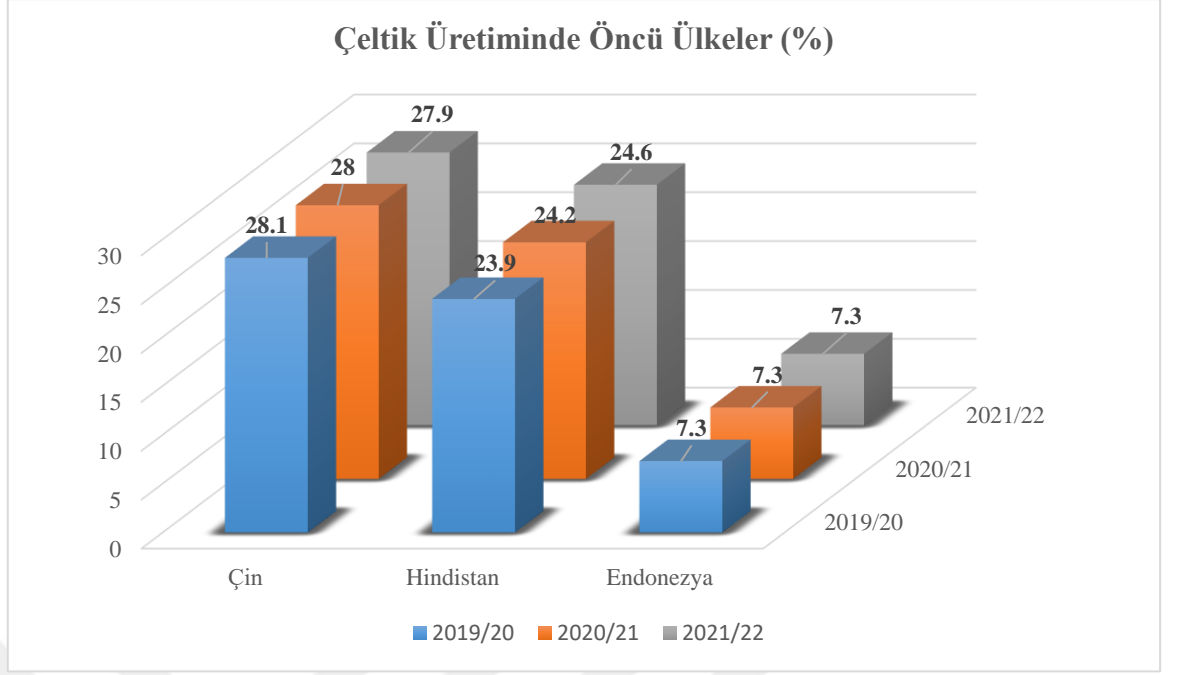
- **Katalizör:** Geniş yüzey alanı ve yüksek gözeneklilik silika aerojellerin katalizör veya katalizör taşıyıcı olarak kullanımını sağlar. Yüksek seçicilik ve iyi zaman kararlılığı sağlar.
- **Termal Yalıtım Malzemesi:** Silika aerojeller, -273 ile 650 °C arasındaki geniş sıcaklıklara ve yangınlara dayanabilmektedir. Ekonomik, enerji tasarruflu yalıtım malzemeleri olarak binalarda, çatı pencerelerinde, buzdolaplarında, pencerelerde gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Riffat ve Qiu, 2013). Petrol, kimya ve metalurji endüstrilerinde, silika aerojeller kompozitleri, ısı kayıplarını azaltarak ve termal enerjinin kullanımını geliştirerek borularda, fırınlarda, motorlarda ve diğer termal cihazlarda yalıtkan olarak kullanılmaktadır.
- Akustik Bariyer, Süperkapasitör, Cherenkov Dedektörü (Keçeci, 2022).

1.2. Pirinç Kabuğu Külü

Doğal liflerin endüstriyel uygulamalarda kullanımı son yıllarda hızla artmıştır. Son gelişmeler arasında pirinç kabuğunun kullanımı da dikkat çekmektedir.

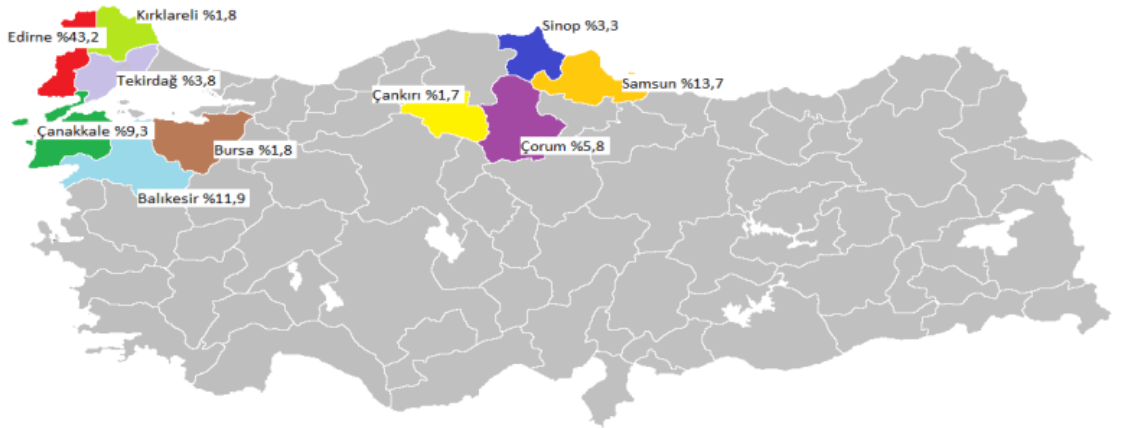
Dünyada ve Türkiye’de üretilen önemli tahıllardan biri pirinçtir. Yıllık 780 milyon tondan fazla pirinç üretimi gerçekleşmektedir. Çin 2018 yılında üretim açısından yıllık 210 milyon ton pirinç üretimi ile birinci sırada yer almaktadır.

Şekil 1.2’de, 2019/20, 2020/21 ve 2021/22 sezonlarında pirinç üretiminde öncü olan ülkelerin çeltik üretim grafiği verilmiştir. Grafiğe göre, dünya çapında çeltik üretiminde öncü ülkeler Çin, Hindistan ve Endonezya’dır. Yıl bazında Çin çeltik üretimini düşürse de ilk sırada yer almaktadır. Hindistan’nın yıllar ilerledikçe çeltik üretiminde artış olduğu görülürken, Endonezya her üç sezonda da aynı miktarda çeltik ürettiği yapılmıştır.



Şekil 1.2. Çeltik üretiminde öncü ülkeler (Tarım Ürünleri Piyasaları, 2023)

Ülkemiz 2020/21 sezonunda yüzyirmibeş bin hektar alanı pirinç yetiştirmek için kullanmıştır. Ekilen alanlardan toplam dokuz yüz seksen bin ton pirinç elde etmiştir. Aynı sezonda doksan sekiz bin yedi yüz onaltı ton çeltik iki yüz yirmi yedi bin altı yüz doksan ton değirmenden geçirilmiş pirinç, sekiz bin ton kahverengi pirinç ithal etmiştir (Tarım Ürünleri Piyasaları, 2023). Şekil 1.3’de ülkemizde pirinç yetiştirilen şehirlerin yer aldığı harita sunulmuştur. Harita baz alındığında, %43.2 ile en yüksek pirinç yetiştirilen şehir Edirne olmuştur. en az pirinç yetiştiriciliği ise %1.8 ile Kırklareli ve Bursa’da yapılmıştır.



Şekil 1.3. Türkiye’de pirinç üretimi yapılan iller (Yazıcı, 2020)

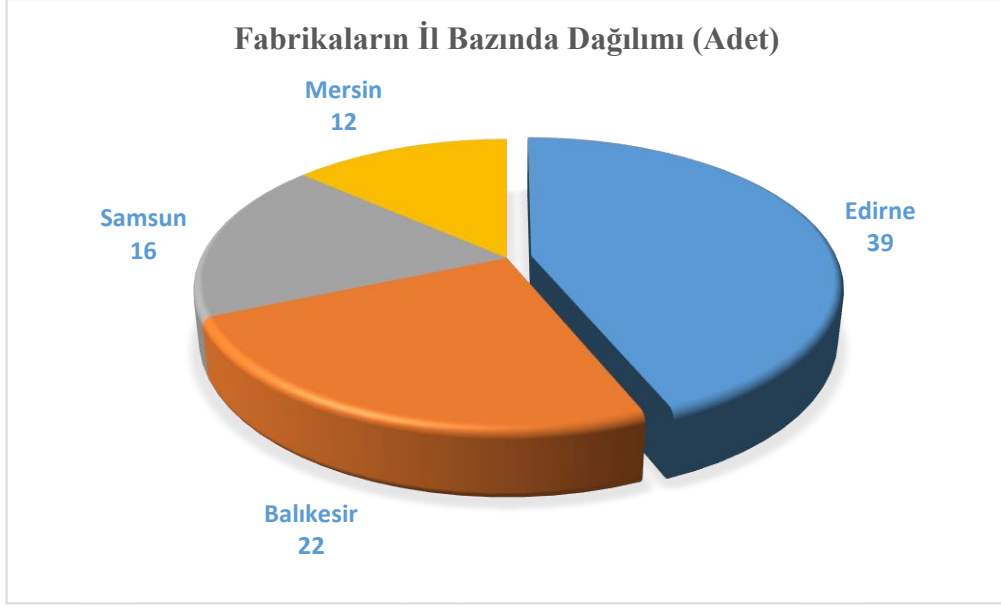
2022 yılında TC. Tarım ve Orman Bakanlığının yayınlamış olduğu makalede, 2021/2022 sezonunda çeltik üretiminin 1.000.000 ton (pirinç karşılığı 600.000 ton) olduğu bildirilmiştir. 28 ilde üretilen çeltiğin;

- ✓ %70.2 Marmara Bölgesinden,
- ✓ %19.4 Karadeniz Bölgesinden,
- ✓ %8.6 İç Anadolu Bölgesinden,
- ✓ %1.8 diğer bölgelerden üretildiği bildirilmiştir.

İl bazında değerlendirildiğinde;

- ✓ %41.2'lik en yüksek oranla Edirne
- ✓ %15.3'lük oranla Samsun
- ✓ %13.7'lik oranla Balıkesir
- ✓ %9.8'lik oranla Çanakkale
- ✓ %5.9'luk oranla Çorum
- ✓ %2.8'lik oranla Çankırı
- ✓ %1.9'luk oranla Bursa
- ✓ %1.7'lik oranla Kırklareli
- ✓ %1.6'lık oranla Tekirdağ çeltik üretimi yapmaktadır.

Yayınlanan makaleye göre 2022 yılı itibariyle Türkiye'de 111 adet çeltik fabrikası bulunmaktadır. Bu fabrikaların il bazında dağılımını gösteren grafik Şekil 1.4'de verilmiştir. 39 adet fabrika ile Edirne en yüksek fabrika sayısına sahiptir. Edirne'yi 22 adet ile Balıkesir, 16 adet ile Samsun takip etmektedir. 12 adet ile en düşük fabrika sayısının Mersin ilinde olduğu görülmektedir.



Şekil 1.4. Fabrikaların il bazında dağılımı (Web ileti 2)

Endüstriyel işlemlerden sonra çok miktarda pirinç kabuğu açığa çıkmaktadır (Wang ve ark., 2020). Başka bir deyişle Şekil 1.5’de verilen pirinç kabuğu, çeltik hasadı sonucunda pirincin elde edilmesi ile birlikte yan ürün olarak ortaya çıkmaktadır. Tablo 1.2’de pirinç kabuğunun kimyasal ve fiziko kimyasal özellikleri verilmiştir.



Şekil 1.5. Pirinç kabuğu (Web ileti 3)

Tablo 1.2. 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	
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
Fiziko-kimyasal özellikleri	
Yüzey Alanı (m ² /g)	272.5
Yüzey Aktivitesi (meq/gm)	0.1
Yüzey Bazlık (meq/gm)	0.45

Her bir ton pirinç üretiminden yaklaşık olarak 250 kg pirinç kabuğu atık olarak oluşmaktadır. Bu atıklar çevreye bırakılmaktadır (Candan, 2023).

Pirinç kabukları yakılma işleminin ardından içeriğinde çok miktarda silika bulunmaktadır. Silika içeriğinin fazla olması külü popüler bir ikame malzemesi haline getirmiştir. Maliyetinin düşük olması ve bünyesinde, aynı statüdeki diğer atık doğal liflerden daha iyi silis bulundurması küle olan talebi arttırmaktadır (Yeşiloğlu, 2023).

Pirinç kabuğu yaklaşık %75 oranında organik uçucu madde içermekte ve bu kabuğun ağırlığının %25'lik kısmı, bilinen pişirme işlemi sırasında pirinç kabuğu külüne dönüşmektedir. Başka bir deyişle Şekil 1.6'da verilen pirinç kabuğu külü, pirinç değirmenciliği endüstrisinde çeltik pirincinin işlenmesi sırasında tarımsal atık olarak ortaya çıkan pirinç kabuklarının yakılmasıyla elde edilmektedir (Safiuddin, 2008). 1000 kg pirinç tanesinden 200 kg pirinç kabuğu oluştuğu ve pirinç kabuğunun yakılmasından sonra yaklaşık %20 veya 40 kg'ının pirinç kabuğu külü haline geldiği tahmin edilmektedir (Mehta, 1994).



Şekil 1.6. Pirinç kabuğu külü (Web ileti 4)

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 kabuğundan kül üretmek için, kabuğun 500 ila 700°C sıcaklıkta yavaş yavaş yanması gerekmektedir (Jamellodin ve ark., 2015). 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 (Ahmed ve Adam, 2007; Hwang ve Chandra 2016; Maeda ve ark., 2001).

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 İŞLEMİ;**

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).

Pirinç kabuğu külü yapısındaki yüksek silika oranı ve ısı yalıtım özelliğinden dolayı inşaat sektöründen enerji sektörüne kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Şekil 1.7’de pirinç kabuğu külünün başlıca kullanım alanları verilmiştir.

İnşaat sektörü



- Harç ve sıva
- Çimento üretiminde
- Zemin iyileştirilmesi
- Köprü, baraj gibi yapılarda dolgu malzemesi
- Beton üretiminde ince agrega



Enerji Amaçlı Üretim



Seramik Sanayi

- Bünye ve sırlama işlemlerinde
- Gözenekliliği azaltmada



Cam Sanayi

- Pencere camı ve şişe imalatında
- özel tasarım cam imalatında



Absorban olarak



Boya Sanayi



Kimya Sanayi

Şekil 1.7. Pirinç kabuğunun kullanım alanları (Şirin, 2014)



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Janbuala ve Wasanapiarnpong (2015), yapmış oldukları çalışmada, pirinç kabuğu ve pirinç kabuğu külünün hafif tuğlaların gözeneklilik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada pirinç kabuğu ve pirinç kabuğu külünü ağırlıkça %10, 20, 30, 40 oranında kullanmışlardır. Çalışma sonucunda;

- ✓ Pirinç kabuğu ve pirinç kabuğu külü miktarının artmasıyla yapıdaki gözenekler ve su emilimi artarken, kütle yoğunluğunun azaldığını bildirmişlerdir.
- ✓ Pirinç kabuğunun %40 oranında eklenmesiyle gözeneklilik ve su emme miktarının maksimum düzeye ulaştığını,
- ✓ %10 pirinç kabuğu ikameli tuğlanın, 1.20 g/cm^3 kütle yoğunluğu, 4.6 MPa basınç dayanımı ve %36.57 gözeneklilik ile en iyi özelliklere sahip tuğla olduğunu,
- ✓ %10 oranında pirinç kabuğu külü ikameli tuğlanın, 1.18 g/cm^3 yığın yoğunluğu, %37.27 gözeneklilik ve 5.97 MPa basınç dayanımına sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Hwang ve Huynh (2015), yapmış oldukları çalışmada, ince agrega yerine %0-40 oranında öğütülmemiş pirinç kabuğu külü (URHA) ve uçucu kül (FA) kullanarak tuğla üretmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada resmi Vietnam ürün standartları baz alınarak $220 \times 105 \times 60$ mm boyutunda masif tuğlalar üretmişlerdir. Ürettikleri numunelere basınç dayanımı, eğilme dayanımı, su emme, kütle yoğunluğu ve boşluk hacmi deneyleri uygulamışlardır. Çalışma sonucunda;

- ✓ Tüm tuğla örneklerinin iyi fiziksel ve mekanik özellikler sergilediğini
- ✓ Basınç dayanımı ve eğilme dayanımı sırasıyla 20.9–31.5 MPa ve 5.7–6.7 MPa arasında değiştiğini
- ✓ Bu değerlerin tümü, resmi Vietnam standartlarının gerektirdiği değerlerden daha iyi olduğunu bildirmişlerdir.

Kazmi ve ark., (2016), yapmış oldukları çalışmada, kil ağırlığına göre %5, %10 ve %15 oranında şeker kamışı küspesi külü (ŞKKK) ve pirinç kabuğu külü (PKK) kullanarak tuğla üretimi yapmışlardır. Ürettikleri numunelerin mekanik ve dayanıklılık özellikleri incelemişlerdir. Sonuçta; pirinç kabuğu külü ve şeker kamışı küspesinin tuğlaların basınç dayanımını düşürdüğünü bildirmişlerdir. Ayrıca ŞKKK ve PKK ikamesinin birim hacim ağırlığını azalttığını ifade etmişlerdir. Bu durumun hafif ve

ekonomik yapılar elde edilmesine neden olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca ikameli numunelerin çiçeklenmeye karşı direncini artırdığını ortaya koymuşlardır.

Ernery ve ark., (2017), yapmış oldukları çalışmada, perlit esaslı yalıtım tuğlasının termal özelliklerini azaltmak için arojel ikame etmişlerdir. Ürettikleri perlit ve arojel dolgululu yalıtım tuğlalarının ısı iletkenliğini hem korumalı bir sıcak plaka düzeneği hem de termal simülasyonlar kullanarak belirlemişlerdir. Çalışmalarında sonuç olarak; termal iletkenlikte belirgin bir düşüş olduğunu bildirmişlerdir. Arojel dolgusu ile izolasyon tuğlalarının kalınlığının azaltılabileceğini ifade etmişlerdir. Bu durumun yerden tasarruf ve yeni mimari olanaklar sağladığını tespit etmişlerdir.

De Silva ve Perera (2018), yapmış oldukları çalışmada, ağırlıkça %0, %2, %4, %6, %8 ve %10 oranında pirinç kabuğu külü (RHA) kullanarak tuğla üretmişlerdir. Ürettikleri numuneleri yapısal, termal ve akustik açıdan değerlendirmişlerdir. 195mm×95mm×50mm ebatlarındaki tuğlalar hazırlayarak endüstriyel ölçekli fırında pişirilmiştir. Çalışma sonucunda,

- ✓ Pirinç kabuğu ikameli tuğlaların optimum basınç dayanımının 3.55 N/mm² olduğu,
- ✓ Bu sonucun referans numuneye göre %32.7 iyileştirmeyi ifade ettiğini,
- ✓ %4 oranında RHA ikameli tuğlaların %19 oranında su emme özelliğine sahip olduğunu,
- ✓ %4 RHA tuğla, referans numuneye karşılaştırıldığında, iç mekan sıcaklığında 6°C azalma ve 10dB gürültü azalması gösterdiğini bildirmişlerdir.

Buratti ve ark., (2022), yapmış oldukları çalışmada, kil-aerjel karışımı tuğlalardaki granüler aerjelin hem termal hem de akustik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Çalışmada %5 oranında %5 granüler aerjel kullanmışlardır. Çalışmada sonuç olarak; referans numunesi 0.310 W/(mK) termal iletkenliğe sahip iken %5 aerjel bulunan kil numunesinin termal iletkenliğinin, 0.212 W/(mK)'ye düştüğünü ortaya koymuşlardır.

Senthilkumar ve ark., (2023), yapmış oldukları çalışmada uçucu kül bazlı tuğla üretiminde %5, %10 ve %15 oranında şeker kamışı küspesi ve pirinç kabuğu külü kullanmışlardır. Ürettikleri tuğlalara basınç dayanımı, çatlak modülü, su emme, donmaya ve sülfata dayanıklılığını testleri uygulamışlardır. Çalışmada sonuç olarak, şeker kamışı küspesi ve pirinç kabuğu külünün tuğlaların sülfat saldırısına ve çiçeklenmeye karşı

direncinin arttığını bildirmişlerdir. Basınç dayanımında önemli bir etki gözlememişlerdir. Tuğlaya atık ikamesi ile birim ağırlığında azalma meydana geldiği ifade edilmiştir.

Ani ve Nahid (2023), yaptıkları çalışmada, pirinç kabuğu külü ikameli tuğla üretimi yapmışlardır. Üretimde kil yerine ağırlıkça %5-20 oranında pirinç kabuğu kullanmışlardır. Ürettikleri numunelere su emme, basınç dayanımı, büzülme, yoğunluk ve termal özellik deneyleri uygulamışlardır. Çalışmada sonuç olarak;

- ✓ Pirinç kabuğu külü ikamesinin artmasıyla tuğlaların su emiliminin arttığını
- ✓ %5 RHA içeren tuğlanın %17.8 ile en düşük su emme oranına sahip olduğunu
- ✓ En yüksek su emme oranının %21.33 ile %20 RHA içeren tuğlalarda görüldüğünü
- ✓ En yüksek basınç dayanımının %5 RHA içeren tuğlalarda görüldüğünü
- ✓ %5 RHA içeren tuğlaların maksimum yoğunluğa (1676.395 Kg/m³) ve ısı iletkenliğe (0.584 Wm-1K-1) sahip olduğunu bildirmişlerdir.

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.

Çağlar, (2023), yapmış olduğu çalışmada, bor atıklarından üretilen silika aerojelin tuğlanın basınç dayanımı ve ısı performansına etkisinin incelemiştir. Çalışmasını üç aşamada gerçekleştirmiştir. İlk aşamada Türkiye/Eskişehir/Kırka bölgesinden temin ettiği bor atığını kullanarak silika aerjel üretimi yapmıştır. İkinci aşamada, ürettiği silika aerjeli hacimce farklı oranlarda (%0 (REF), %15 (AB1), %25 (AB2), %35 (AB3), %45 (AB4)) tuğla bünyesine ikame etmiştir. Ürettiği numuneleri 900 °C ve 1000 °C pişirilerek katkılı tuğla numuneleri üretmişlerdir. Üçüncü ve son aşamada, üretilen numunelere basınç dayanımı ve ısı iletim katsayısı tayini deneyleri uygulamıştır. Ayrıca numunelerin içyapısının incelenmesi amacıyla SEM görüntüleri almıştır. Sonuç olarak;

- ✓ Her iki sıcaklıkta da arojel miktarının artması ile basınç dayanımı ve ısı iletim katsayısı değerinde azalma meydana geldiği,
- ✓ SEM görüntülerinde silika arojel miktarının artmasıyla amorf yapının artığı ve yer yer boşluklar ve çatlaklar oluştuğu,
- ✓ Bor atığı gibi silis içeren atıkların arojel üretiminde kullanılmalarının atıkların bertaraf edilmesi için uygun bir çözüm yolu olduğunu bildirmiştir.

Ganobjak ve ark., (2023), çalışmalarında yüksek düzeyde yalıtım sağlayan arojel cam tuğlalarının termal ve yapısal karakterizasyonunu incelemişlerdir. Çalışmalarında gün ışığını iletebilen, mükemmel ısı yalıtım özelliklerine sahip, estetik açıdan hoş bir yapı bileşeni oluşturmayı amaçlamışlardır. Çalışma sonucunda elde ettikleri verileri geleneksel tuğla malzemesiyle kıyaslamışlardır. Çalışmalarında arojel cam tuğlaların enerji tüketimini önemli ölçüde azaltabildiğini ve gün ışığını iletebildiğini tespit etmişlerdir. Elde ettikleri veriler, arojel cam tuğlanın sürdürülebilir ve verimli bir yapı bileşeni arayan mimarlar ve mühendisler için uygun bir seçenek olduğunu göstermektedir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Silika Aerojel

Tez çalışması kapsamında üretilen tuğla numunelerinde ikame malzemesi olarak kullanılan aerojel Ama Aerogel firmasından temin edilmiştir. Düşük yoğunluğa sahip aerojeller, hafif ve geniş yüzey alanına sahip olmalarından dolayı birçok uygulama alanında aktif bir şekilde kullanılmaktadır. Aerojeller, homojen partikül dağılımı ve düşük partikül boyutuna sahiptirler. % 90 üzerinde gözenekliliğe ve nano gözenekli yapıda olan aerojeller, hidrofobik olarak üretildiğinde nem ve su itici özelliğe sahiptirler. Tablo 3.1’de deneyde kullanılan aerojelin özellikleri, Şekil 3.1’de ise aerojelin görüntüsü verilmiştir.

Tablo 3.1. Kullanılan silika aerojelin özellikleri

Özellik	Değer
Partikül çapı (nm)	2-5
Gözenek çapı (nm)	2-100
Ortalama gözenek çapı (nm)	20-40
Porozite (%)	85-99.9
İç yüzey alanı (m ²)	600-1000
Kütle yoğunluğu (kg/m ³)	3-350
İnşaat amaçlı kütle yoğunluğu (kg/m ³)	70-150
Termal iletkenlik (W/mK)	0.004
İnşaat amaçlı termal iletkenlik (W/Kg)	0.013-0.014
Basınç dayanımı (KPa)	300
Çekme dayanımı (KPa)	16
Sıcaklık kararlılığı (°C)	600 kadar
Yanma	Evet
Reaktif	Hayır
Yangın sırasında zehirli gaz salınımı	Hayır



Şekil 3.1. Silika aerojel

3.1.2. Pirinç kabuğu külü

Tez çalışması kapsamında materyal olarak kullanılan pirinç kabuğu külü, Erdoğanlar Gıda Aş. Firmasından temin edilmiştir. Pirinç kabuğu külünün özellikleri, pirinç kabuklarının yapısına göre değişmektedir. Pirinç kabuklarının yüksek sıcaklıklarda kontrollü bir şekilde yakılması sonucu üretilen pirinç kabuğu külünde bileşiklerin yapısından açığa çıkan az oranda karbon mevcuttur (Özdemir, 2021). Külün fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.2’de, görüntüsü ise Şekil 3.2’de verilmiş ve en yüksek oranın silise ait olduğu görülmüştür.

Tablo 3.2. Kullanılan pirinç kabuğu külünün fiziksel ve kimyasal özellikleri

Fiziksel Özellik	
Özgül Ağırlık	2.17
Özgül Yüzey (cm ² /g)	14875
Kimyasal Özellik	
SiO ₂	93.30
Al ₂ O ₃	1.87
Fe ₂ O ₃	1.13
MgO	0.29
SO ₃	0.31
Na ₂ O	0.15
CaO	0.53
K ₂ O	1.18
Kızdırma Kaybı	1.24



Şekil 3.2. Pirinç kabuğu külü

3.1.3. Killi toprak

Tez çalışmasında katkıli tuğla numunelerinin hammaddesi olan killi toprak Ankara il sınırları içerisinde bulunan killi toprak yığınlarından temin edilmiştir. Killi toprağın kimyasal analizi Tablo 3.3’de, görüntüsü Şekil 3.3’de verilmiştir. Tabloya göre killi toprak içerisinde %40.20 oranında Silisyum bulunmaktadır. Bunun yanı sıra yüksek oranda Al, Fe, O ve Ca elementlerine de rastlanmaktadır.

Tablo 3.3. Killi toprağın kimyasal analizi

Element	Ağırlık (%)
Si	40.20
Al	9.46
Fe	5.79
Mg	1.63
O	21.50
Nb	6.01
Ca	14.03
K	1.54



Şekil 3.3. Killi toprak

3.1.4. Karışım suyu

Çalışma kapsamında üretilen numunelere karışım suyu olarak Ankara ili şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Tuğla üretimi için kullanılacak karışım suyunun TS EN 1008 ‘e uygun olması gerekmektedir. Satandartta verilen karışım suyu özellikleri Tablo 3.4’de sunulmuştur.

Tablo 3.4. Karışım suyu özellikleri

Özellik	Kabul Şartı
Deterjanlar	Herhangi bir köpük iki dakika içerisinde kaybolmalı
Renk	Geri kazanılan suların dışında rengi açık sarıdan daha açık olmalı
Askıdaki katı madde miktarı	Geri kazanılan suların dışında 4ml'den az olmalı
Koku	Geri kazanılan sularda içinde çimento veya yüksek fırın cürufu çimento olması halinde az bir miktar sülfür kokusu dışında koku bulunmamalıdır. Diğer sularda içilebilir sularda bulunannın dışında herhangi bir koku bulunmamalı, hidroklorik asit eklendiğinde hidrojen sülfür kokusu alınmamalıdır.
Asitler	pH \geq 4 olmalıdır
Organik madde	NaOH eklendiğinde belirlenen renk sarıya dönük kahverengi veya daha açık olmalıdır

3.2. Metot

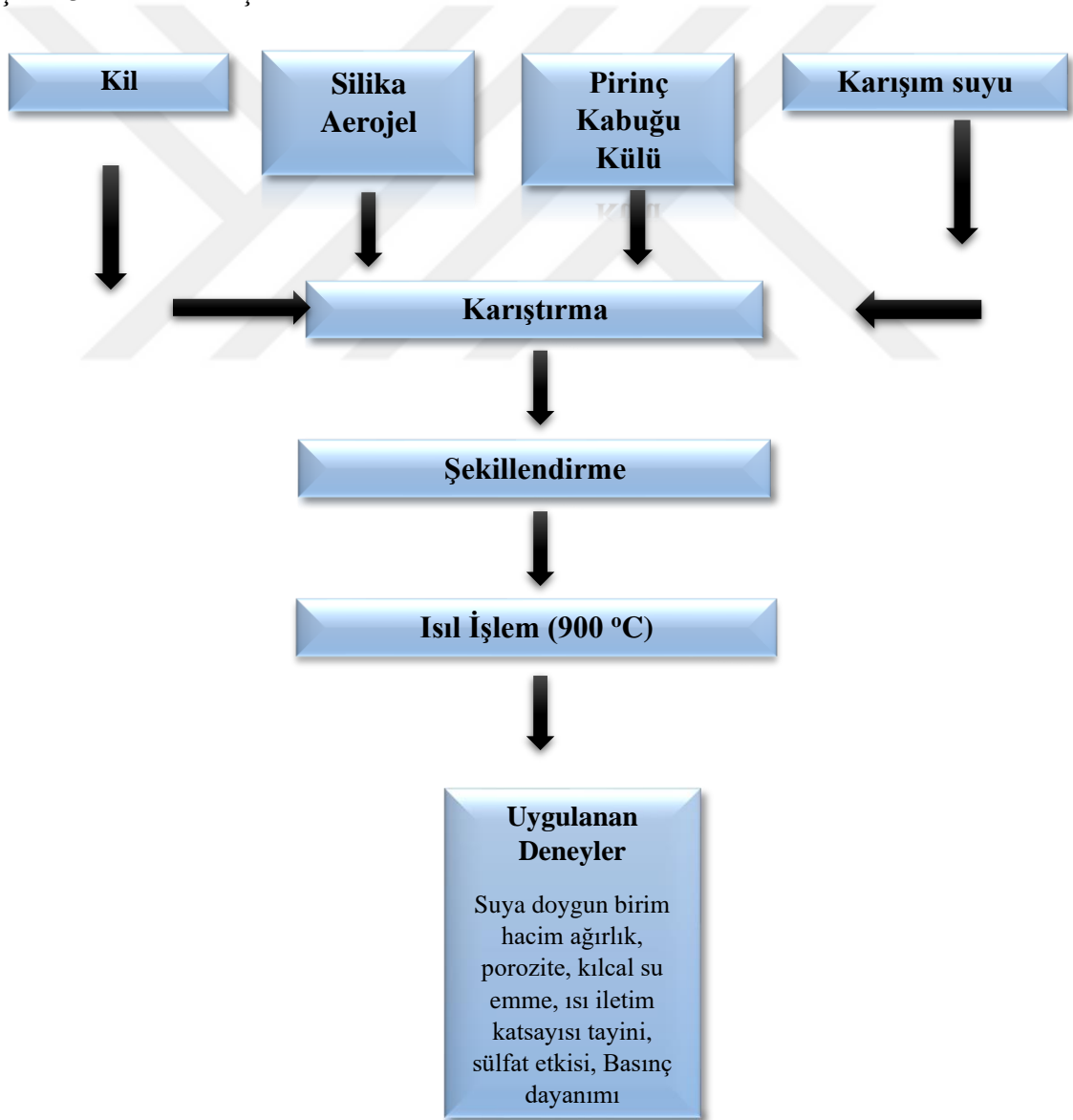
3.2.1. Silika aerojel ve pirinç kabuğu külü katkılı numunelerin üretilmesi

Tez çalışması kapsamında üretilen numuneler TS 704 standardı baz alınarak üretilmiştir. İlk olarak katkılı tuğla üretimi için kullanılacak olan silika aerojel, pirinç kabuğu külü, killi toprak ve karışım suyu ilgili yerlerden alınarak deney yapılacak ortama getirilmiştir. Silika aerojel istenilen incelikte olduğu için ekstra bir işlem yapılmamıştır. Killi toprak, homojen bir dağılımın olması için yığın içerisinde çeyrekleme metodu ile alınmış ve elek yardımıyla istenilen boyutlara getirilmiştir. Tuğla üretiminde kullanılacak ikame malzemeleri ve oranları aşağıdaki Tablo 3.5'de sunulmuştur. Çalışmada silika aerojel %0.5, %1.0, %15 olmak üzere üç farklı oranda kullanılmıştır. Pirinç kabuğu külü ise her bir silika aerojel oranı için %10, %20 ve %30 oranında kullanılmıştır. Toplam karışımın %20 si oranında karışım suyu ilave edilmiştir. Tabloda yer alan REF; referans numune, B1; %10 oranında pirinç kabuğu külü ve %0.5 oranında silika aerojel katkılı numune, B2; %20 oranında pirinç kabuğu külü ve %0.5 oranında silika aerojel katkılı numune, B3; %30 oranında pirinç kabuğu külü ve %0.5 oranında silika aerojel katkılı numune, B4; %10 oranında pirinç kabuğu külü ve %1.0 oranında silika aerojel katkılı numune, B5; %20 oranında pirinç kabuğu külü ve %1.0 oranında silika aerojel katkılı numune, B6; %30 oranında pirinç kabuğu külü ve %1.0 oranında silika aerojel katkılı numune, B7; %10 oranında pirinç kabuğu külü ve %1.5 oranında silika aerojel katkılı numune, B8; %20 oranında pirinç kabuğu külü ve %1.5 oranında silika aerojel katkılı numune, B9; %30 oranında pirinç kabuğu külü ve %1.5 oranında silika aerojel katkılı numune anlamına gelmektedir.

Tablo 3.5. Karışım reçetesi

Özellik	Pirinç Kabuğu Külü (%)	Silika Aerojel (%)	Killi Toprak (%)
REF	---	---	100
B1	10		89.5
B2	20	0.5	79.5
B3	30		69.5
B4	10		89
B5	20	1.0	79
B6	30		69
B7	10		88.5
B8	20	1.5	78.5
B9	30		68.5

Pirinç kabuğu külü ve silika aerojel katkılu tuğla numunelerinin üretim şeması Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.4. Numunelerin üretim şeması

Çalışmaya katkılı numunelerin karşılaştırılması amacıyla imal edilen referans numunelerinin üretimi ile başlanmıştır. Daha sonra tarımsal atık olan pirinç kabuğu külü ve silika aerojel ikameli tuğla numunelerin üretimi yapılmıştır.

İlk olarak, kuru malzeme olan silika aerojel, pirinç kabuğu külü ve killi toprak homojen bir karışım elde etmek amacıyla kuru bir şekilde mikser içerisinde altmış saniye boyunca orta hızda karıştırılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Numune hazırlanmasında kullanılan mikser

Altmış saniye sonunda mikser içerisine karışım suyu ilave edilmiştir. Mikser ilk olarak, doksan saniye düşük hızda, doksan saniye de yüksek hızda çalıştırılmış ve homojen bir tuğla hamuru elde edilmiştir. Hamur Şekil 3.6'da verilen yağlanmış çelik kalıplara dökülmüş ve sıkıştırmak için altmış vuruş yapılmıştır. Sıkıştırılan tuğla hamuru bir gün boyunca kalıplarda bekletilmiştir. Gün sonunda kalıplardan çıkarılan yarı mamül tuğla numuneleri yarı açık alanda yedi gün boyunca kurumaya bırakılmıştır.



Şekil 3.6. Çelik kalıp

Kuruma süresi tamamlandıktan sonra, yarı mamül numuneler yüksek sıcaklıklara erişebilen elektrikli tünel fırında kademeli bir şekilde 900 °C’de pişirilmeye bırakılmıştır. Kuruma işlemi sırasında bünyesindeki suyu kaybeden tuğla numuneleri pişirme sırasında elastik özelliklerini kaybederek sert ve yüksek mukavemetli bir malzemeye dönüşmektedir. Fırın sıcaklığı 300 °C’ye geldiğinde tuğla içerisinde bulunan organik maddeler yanar ve grimsi olan tuğla rengini kırmızıya dönüştürmüştür.

Pişirme işlemi tamamlandıktan sonra, katkılı tuğla numunelerinde kırılma, çatlama ya da pullanma görülmemesi için fırın içerisinde kendiliğinden soğumaya bırakılır. Bu soğuma yaklaşık 24 saat sürmektedir. Süre sonunda numuneler fırından alınarak oda sıcaklığında bekletilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Üretilen katkılı tuğla numuneleri

Üretilen tuğla numunelerine suya doymun birim hacim ağırlık, kılcal su emme, porozite, ısı iletim katsayısı tayini, sülfat etkisi ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır.

3.2.2. Numunelere uygulanan deneyler

Tez çalışması kapsamında üretilen silika aerojel ve pirinç kabuğu külü katkılı tuğla numunelerine suya doymun birim hacim ağırlık, porozite, kılcal su emme, ısı iletim katsayısı tayini, sülfat etkisi, basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Deneyler aşağıda ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

❖ Suya Doymun Birim Hacim Ağırlık

Katkılı numunelerin suya doymun birim hacim ağırlıklarının tespiti dört aşamada gerçekleşmiştir. İlk aşamada silika aerojel ve pirinç kabuğu külü ikameli tuğla numunelerinin suya doymun hale getirilmesi amacıyla su dolu kap içinde yüz seksen dakika kaynatma işlemi yapılmıştır. İkinci aşamada kap içerisinden çıkarılmış ve su içerisinde asılı ağırlıkları tespit edilmiştir. İşlemin tamamlanmasının ardından üçüncü aşamada, numunelerin yüzeyinde bulunan su bir bez yardımıyla silinerek suya doymun yüzey kuru ağırlıkları tespit edilmiştir. Dördüncü ve son aşamada katkılı tuğla numuneleri etüv fırınında bir gün boyunca sabit ağırlığa erişinceye kadar kurutulmuş ve tartım işlemi yapılmıştır (Erdoğan, 2010, Sürül, 2015; Çağlar, 2018). Elde edilen değerler aşağıda sunulan formül kullanılarak suya doymun birim hacim ağırlıkları tespit edilmiştir. Formülde yer alan P_1 , kuru ağırlık, P_2 , suya doymun havadaki ağırlık, P_3 , suya doymun sudaki ağırlık anlamına gelmektedir. Suya doymun birim hacim ağırlık değerinin hesaplanmasında 78 adet numune kullanılmıştır.

$$Suya\ Doymun\ Birim\ Hacim\ Ağırlık\ (g/cm^3) = P1 / (P2-P3)$$

❖ Porozite

Malzeme yapısının gözenek oranı anlamına gelen porozite değerinin hesaplanması amacıyla TS EN 772-4 (2000) standardı kullanılmıştır. Porozite değerinin hesaplanmasında 78 adet numune kullanılmıştır.

Standarta göre, katkılı tuğla numuneleri bir kapta yüzseksen 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

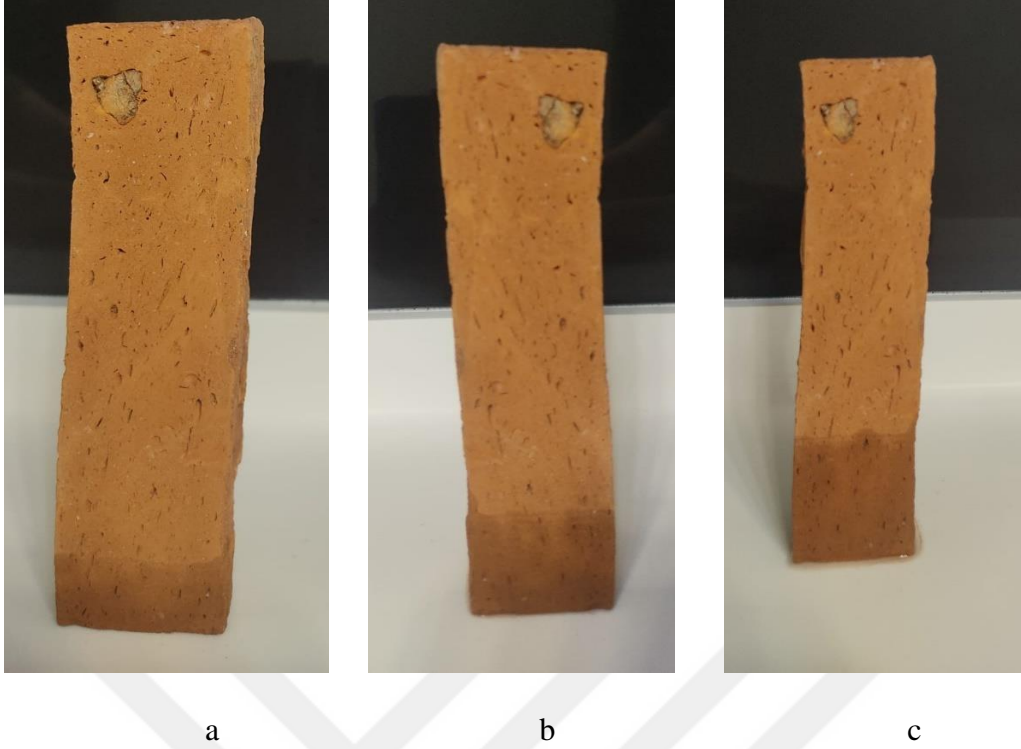
yerine yazılarak hesaplama yapılmıştır. Formülde yer alan K1, kuru ağırlık, K2, suya doymun havadaki ağırlık, K3, suya doymun sudaki ağırlık anlamına gelmektedir.

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

❖ Kılcal Su Emme

Numunelere uygulanan kılcal su emme deneyi için TS EN 772-11 “Kâgir Birimler- Deney Yöntemleri- Bölüm 11: Betondan, Gazbetondan, Yapay ve Doğal Taştan Yapılmış Kâgir Birimlerde Kapiler Su Emme ve Kil Kâgir Birimlerde İlk Su Emme Hızının Tayini” standardından yararlanılmıştır. Deneye geçmeden önce numunelere bir gün boyunca etüv fırınında ± 105 °C’de kurutma işlemi yapılmıştır. Günün sonunda fırından alınan numuneler 60 dakika laboratuvarda bekletilerek soğutulmuştur. Bir saatin sonunda numuneler tartılmış ve kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Ardından 4x4 cm taban ebatlarında olan numuneler, tabanları suyla temas edecek şekilde, içerisinde 10 mm yüksekliğinde su bulunan ızgaralı kaba bırakılmıştır. Numunelerin sadece taban yüzeylerinin suyla temasını sağlamak amacıyla numuneler 10 mm genişliğinde parafin ile sarılmıştır. Daha sonra katkılı numuneler 1, 2 ve 3. saatlerde su içerisinde alınarak ağırlıkları ölçülmüştür. 3 saatin sonunda (Şekil 3.8) numuneler tekrar tartılmış ve elde edilen değerler aşağıdaki formülde yerine yazılarak kılcal su emme değeri tespit edilmiştir. Formülde verilen m_{son} , son ağırlık, m_{ilk} ; ilk ağırlık anlamına gelmektedir. Kılcal su emme değerinin hesaplanmasında 78 adet numune kullanılmıştır.

$$\text{Kılcal Su Emme (Kapilarite) (g)} = m_{son} - m_{ilk}$$



Şekil 3.8. a; 60 dakika sonunda, b; 120 dakika sonunda, c; 180 dakika sonunda kılcal su emme görüntüsü

❖ Isı İletim Katsayısı Tayini

Katkılı numunelerin ısıl 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 ısıl 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 ve ark., 2013). Isı iletim katsayısı tayini değerinin hesaplanmasında 78 adet numune kullanılmıştır.

❖ Sülfat Etkisi

Silika aerojel ve pirinç kabuğu ikameli tuğla numunelerinin sülfat etkisi deneyi için ASTM C1012 “Sülfat Çözeltisine Maruz Kalan Hidrolik-Çimento Harçlarının Uzunluk Değişimi İçin Standart Test Yöntemi” standardından yararlanılmıştır. Standartta yer alan deneyin uygulanışında ilk olarak katkılı tuğla numuneleri bir ay süresince %5 oranında sülfat çözeltisi bulunan su dolu bir kaba yerleştirilmiştir. Sürenin tamamlanmasının ardından numunelere basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır. Isı iletim katsayısı tayini değerinin hesaplanmasında 78 adet numune kullanılmıştır.

❖ Basınç Dayanımı

Tez çalışması kapsamında üretilen silika aerojel ve pirinç kabuğu külü katkılı numunelerin basınç dayanımı değerini belirlemek için TS EN 772-1, (2012) “Kâgir birimler - Deney yöntemleri - Bölüm 1: Basınç dayanımının tayini” standardından yararlanılmıştır. Silika aerojel ve pirinç kabuğu külü ikameli tuğla numuneleri bilgisayar destekli basınç presine düz ve sabit bir şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 3.9). Ardından numune yüzeyine belirli bir yük uygulanmış ve numunenin kırılma anında deney sona erdirilmiştir. Basınç dayanımı değeri, kırılma anındaki yükün numunenin yüzey alanına bölünmesi sonucu elde edilmiştir. Porozite değerinin hesaplanmasında 78 adet numune kullanılmıştır.



Şekil 3.9. Basınç dayanımı



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez çalışması kapsamında silika arojel ve pirinç kabuğu külü ikameli tuğla numuneleri üretilmiştir. Üretilen numunelere suya doymun birim hacim ağırlık, porozite, kılcal su emme, ısı iletim katsayısı tayini, sülfat etkisi ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Elde edilen veriler tablo ve grafiklerle başlıklar halinde yorumlanmıştır. Tablo 4.1’de deneylerden elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Tabloya göre; en yüksek suya doymun birim hacim ağırlık değerinin 0.5 silika arojel ve %30 pirinç kabuğu külü katkılı numunelerden, en yüksek porozite oranının referans numuneden, en yüksek kılcal su emme oranının referans numunesinden elde edildiği görülmüştür. Bunun yanı sıra, en yüksek sülfat etkisi referans numuneden elde edilirken en yüksek basınç dayanımının 1.5 silika arojel ve %30 oranında pirinç kabuğu külü ikamesinden elde edildiği tespit edilmiştir.

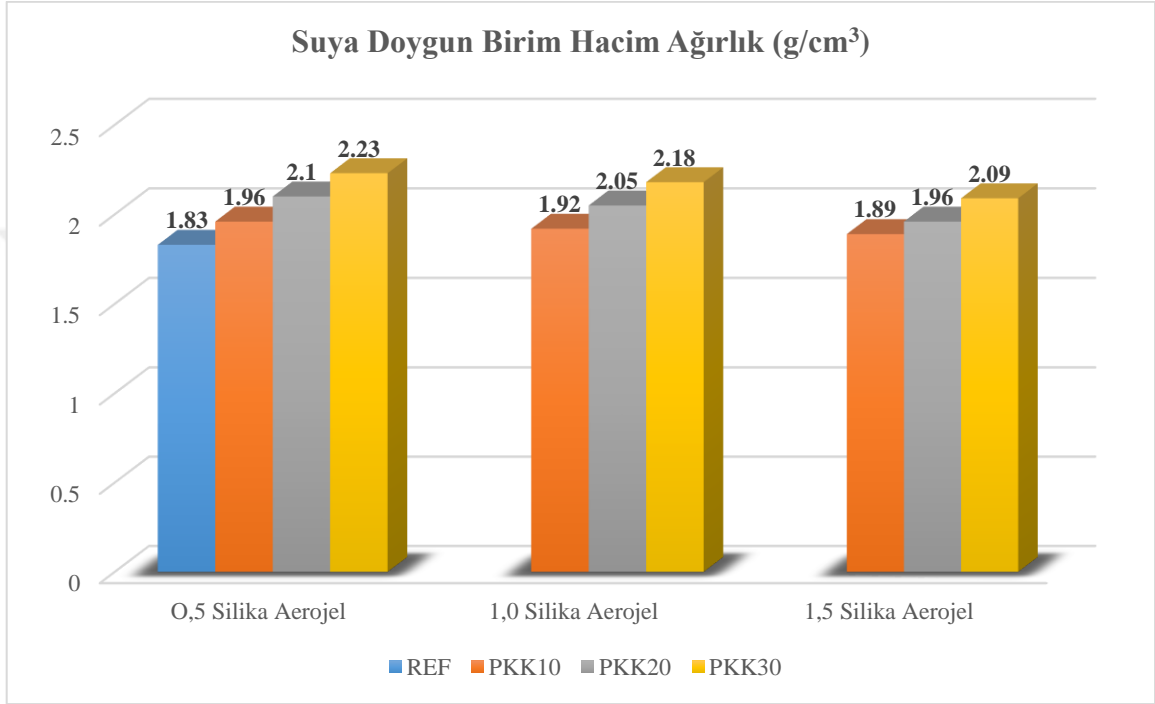
Tablo 4.1. Tuğla numunelerinin deney sonuçları

		Suya Doymun Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)	Porozite (%)	Kılcal Su Emme (g)	Isı İletim Katsayısı Tayini (W/mK)	Sülfat Etkisi (%)		Basınç Dayanımı (MPa)
						Basınç Dayanımı	Kütle Kazancı	
	REF	1.83	22.8	150.8	1.03	13.2	12.0	4,7
0.5 Silika Aerojel	PKK10	1.96	22.1	150.0	1.01	12.8	11.6	4,5
	PKK20	2.1	21.7	148.7	0.98	12.1	11.0	4,3
	PKK30	2.23	21.2	147.8	0.94	11.7	10.4	4,1
1.0 Silika Aerojel	PKK10	1.92	21.9	148.3	0.99	11.0	9.9	4
	PKK20	2.05	20.5	146.5	0.87	10.3	9.4	3,7
	PKK30	2.18	19.3	144.9	0.81	9.8	9.0	3,5
1.5 Silika Aerojel	PKK10	1.89	20.3	145.2	0.89	9.2	8.7	3,1
	PKK20	1.96	19.1	143.9	0.75	8.8	8.1	2,4
	PKK30	2.09	18.4	141.3	0.69	8.1	7.6	2

4.1. Suya Doymun Birim Hacim Ağırlık

Silika arojel ve pirinç kabuğu katkılı tuğla numunelerinin birim hacim ağırlık değerleri Şekil 4.1 de verilmiştir. En yüksek suya doymun birim hacim ağırlık değeri 0.5 silika arojel katkılı PKK30 numunesinden elde edilirken, en düşük suya doymun birim hacim ağırlık değeri referans numuneden elde edilmiştir. Deney sonuçlarına göre, katkılı numunelerden en yüksek suya doymun birim hacim ağırlığın 0.5 silika arojel katkılı numunelerden elde edilmiştir. Silika arojel miktarının artmasıyla suya doymun birim hacim ağırlık değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Her ne kadar azalma meydana gelse de, elde edilen değerler referans numunesine göre yüksektir. Bunun yanı sıra pirinç kabuğu külü ilavesinin artmasıyla suya doymun birim hacim ağırlık değerlerinde artış

meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu artış sırasıyla, 0.5 silika aerojel katkıli numunelerde; %7.1, %14.7, %21.9 oranında, 1.0 silika aerojel katkıli numunelerde; %4.9, %12.0, %19.1 oranında, 1.5 silika aerojel katkıli numunelerde; %3.3, %7.0, %14.2 oranındadır. Bu artışın nedeninin pirinç kabuğu külünün özgül ağırlığının (1.97 g/cm^3), kilin özgül ağırlığından (1.0 g/cm^3) daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



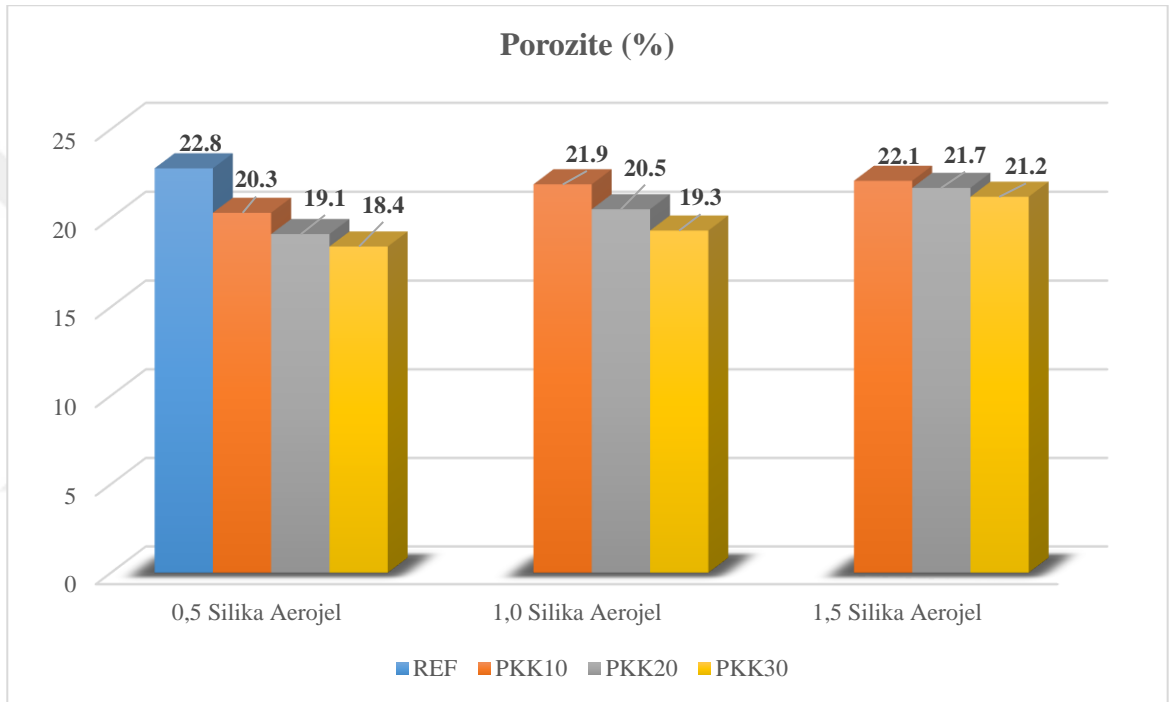
Şekil 4.1. Suya doymun birim hacim ağırlık grafiği

Literatürde yer alan diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında, pirinç kabuğu miktarının artmasıyla suya doymun birim hacim ağırlığıda da artış meydana geldiği ve bu durumun tez çalışmasıyla paralel sonuçlar doğurduğu görülmüştür (Janbuala ve Wasanapiarnpong, 2015; Riaz ve ark., 2019; Riaz ve ark., 2020).

4.2. Porozite

Tez çalışması kapsamında üretilen numunelerin porozite deney sonuçları Şekil 4.2'deki grafikte verilmiştir. Grafikte, porozite oranlarının %22.8 ila %18.4 arasında değiştiği görülmektedir. En yüksek porozite değeri REF numunesinden en düşük porozite değeri ise %0.5 Silika aerojel ve %30 oranında pirinç kabuğu külü katkıli tuğla numunelerinden elde edildiği görülmüştür. %0.5 silika aerojel katkıli tuğla numunelerinin porozite değerlerinin %1 ve %1.5 silika aerojel katkıli tuğlalara göre daha düşük olduğu

görülmektedir. Bu düşüşün nedeninin silika aerojelin tuğla bünyesinde gözenek oluşturmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca pirinç kabuğu külünün yoğunluğunun kilin yoğunluğundan daha fazla olması porozite değerinde azalmaya neden olmuştur. Çünkü yoğunluğun fazla olması sıkı bir yapıda olduğunu ifade etmektedir. Kısacası, %0.5 silika aerojel katkılı tuğla numunelerde porozite değeri azalmış, aeojel miktarı arttıkça porozite değeri de artmıştır. Bu artışa rağmen, katkılı tuğla numunelerinin porozite değeri referans numunesine oranla daha düşük olduğu tespit edilmiştir.



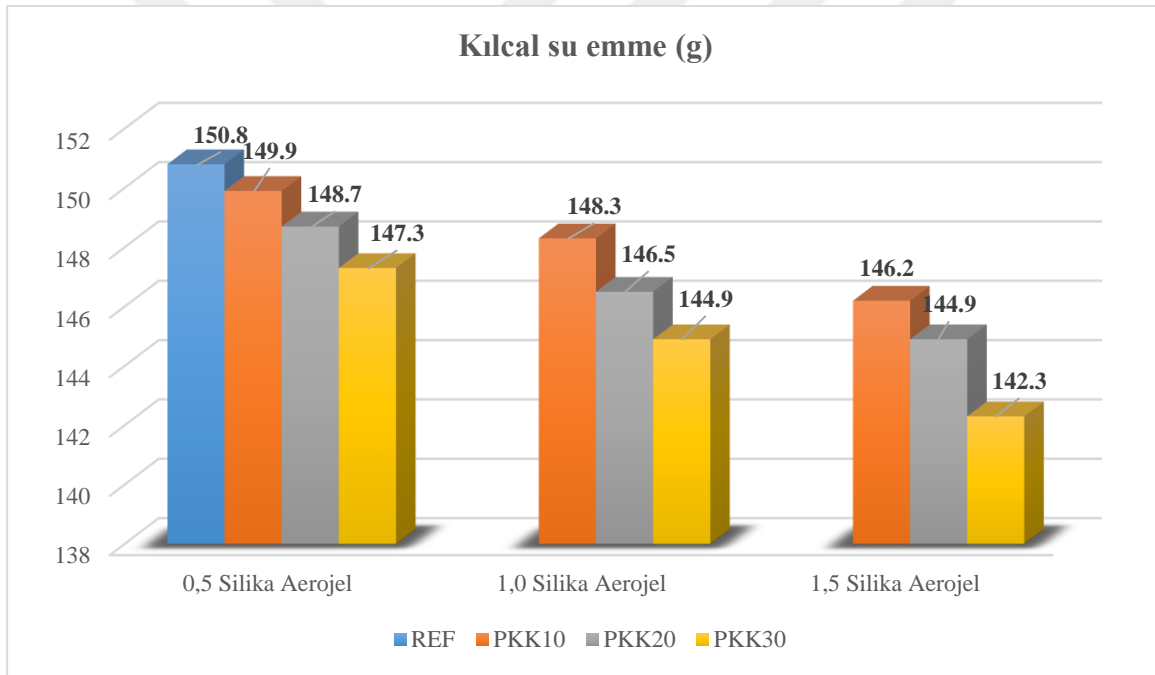
Şekil 4.2. Porozite grafiği

Tuğla imalatında ikame malzemesi seçiminde kil yoğunluğundan daha az yoğunluğa sahip malzeme seçimi referans numunesine oranla daha yüksek porozite değeriyle sonuçlanmaktadır. Fakat bazı çalışmalarda bunun aksinin de yaşandığı görülmüştür (Kazmi ve ark., 2016; Riaz ve ark., 2020; Çağlar, 2023).

4.3. Kılcal Su Emme

Şekil 4.3’de üretilen tuğla numunelerine uygulanan kılcal su emme deney sonuçlarını gösteren grafik verilmiştir. Grafığe göre, en düşük kılcal su emme değeri 0.5 silika aerojel katkılı numunelerden elde edilmiştir. Aerojel miktarı arttıkça kılcal su emme değerinde de artış meydana gelmiştir. Her ne kadar artış meydana gelse de bu artış mikarı

referans numunesinden daha azdır. Tüm numuneler arasında en yüksek kılcal su emme değerini PKK10 numuneleri vermiştir. Katkılı numuneler arasında en yüksek kılcal su emme değeri %1.5 oranında silika arojel numunelerinden elde edilmiştir. Bunun nedeninin silika arojelin tuğla yapısında gözenek oluşturması ve oluşan gözeneklerin pirinç kabuğu külü ile dolması olduğu düşünülmektedir. Bu bağlamda, %1.5 oranında silika arojel katkıli numune gurubunda en yüksek kılcal su emme değerinin PKK10 numunesinden, en düşük kılcal su emme değerinin ise PKK30 numunesinden elde edilmiştir. Kılcal su emme değeri numunelerin porozite değerleri ile ilişkilidir. Yani porozite değeri arttıkça kılcal su emme değeri de artmaktadır. Kılcal su emme miktarının artması tuğla bünyesindeki boşlukların su ile dolmasından kaynaklanmaktadır.



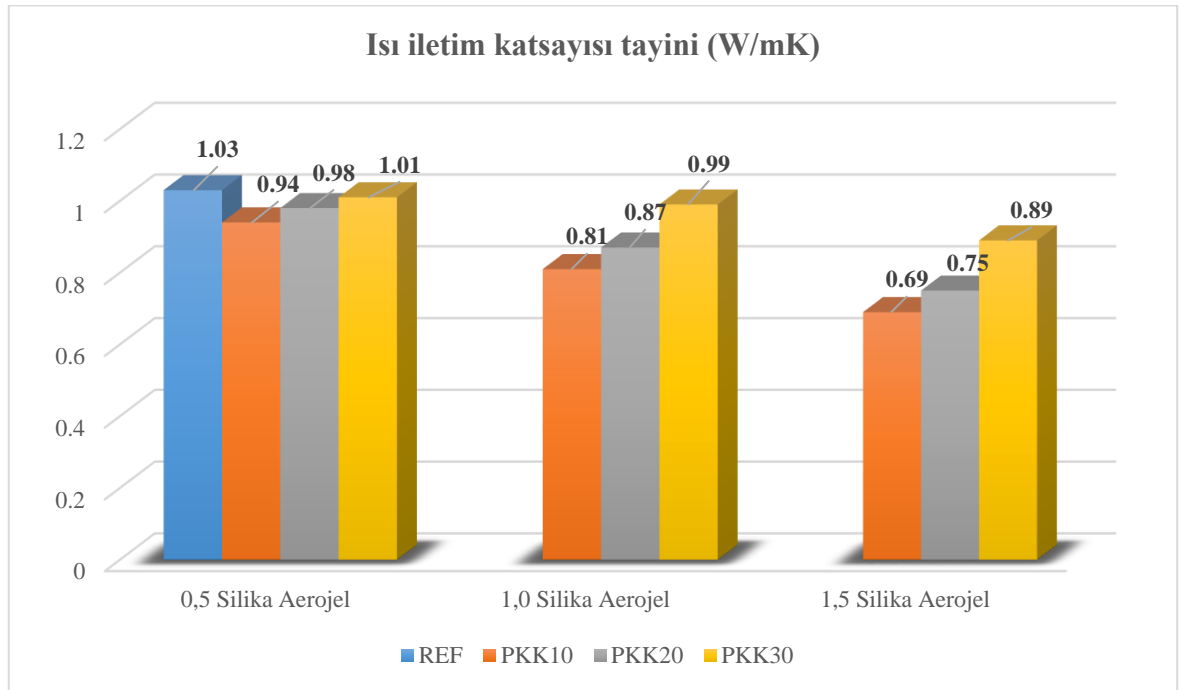
Şekil 4.3. Kılcal su emme grafiği

4.4. Isı İletim Katsayısı Tayini

Malzemelerin termal performansının en belirgin göstergesi ısı iletim katsayısıdır. Isı iletim katsayısının düşük olması malzemenin termal performansının iyi olduğu anlamına gelmektedir. Çalışma kapsamında yapılan ısı iletim katsayısı tayini deney sonuçları Şekil 4.4’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde; ısı iletim katsayısını 1.03 W/mK ile 0.69 W/mK arasında değiştiği görülmüştür. En yüksek ısı iletim katsayısı REF numunesinden elde edilirken, en düşük ısı iletim katsayısı %1.5 oranında silika arojel

katkılı PKK10 numunesinden elde edilmiştir. Tüm katkılı numunelerin ısı iletim katsayısının referans numunesinden daha düşük olduğu görülmüştür. Tüm silika arojel katkılı numunelerde PKK30 numunelerinin en yüksek ısı iletim katsayısına sahip olduğu tespit edilmiştir. Kısacası silika arojel oranının artmasıyla ısı iletim katsayısı azalırken, pirinç kabuğu külü ikamesinin artmasıyla ısı iletim katsayısında artış meydana geldiği söylenebilmektedir. Bunun nedeni, silika arojelin tuğla yapısında gözenek oluştururken pirinç kabuğu külünün bu gözenekleri doldurmasıdır.

Başka bir deyişle, arojel gözeneklerindeki önemli miktarda hava deliği ısıyı izole etmekte ve numunelerde daha düşük ısı iletkenliğine neden olmaktadır. Literatürdeki diğer çalışmalar da çalışmamız sırasında elde ettiğimiz verileri desteklemektedir. Silika arojel ilavesinin tuğlanın yanı sıra beton, çimento, kaplama vb. yapısal malzemelerin ısı iletkenlik özelliğini iyileştirdiği görülmüştür (Buratti ve ark., 2014; Gao ve ark., 2014; Westgate ve ark., 2018; Rostami ve ark., 2021; Fantucci ve ark., 2019; Ng ve ark., 2015; Wang ve ark., 2018; Li ve ark., 2019; Zhang ve ark., 2020; Kim ve ark., 2013; Shafi ve ark., 2019; Julio ve ark., 2016). Çağlar (2023), yapmış olduğu çalışmada silika arojelin tuğla numunelerinin ısı iletim katsayısını düşürdüğünü tespit etmiştir. Elde ettiği sonuç tez çalışmasında elde edilen sonuçla örtüşmektedir.



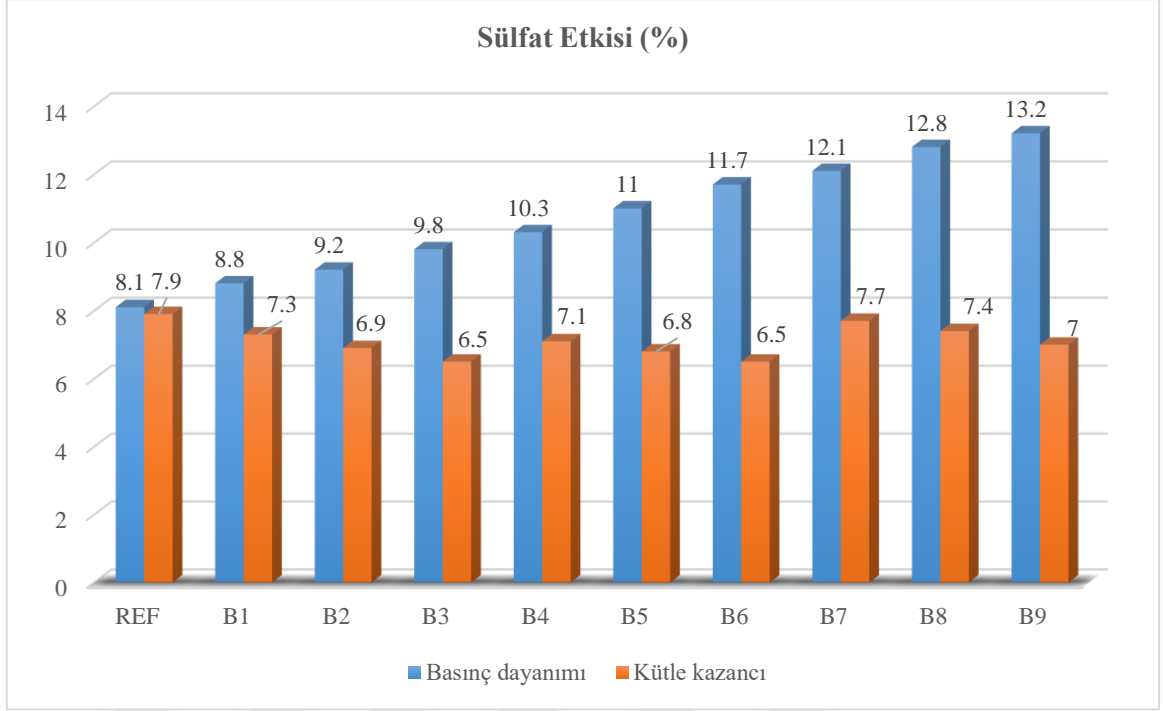
Şekil 4.4. Isı iletim katsayısı tayini grafiği

4.5. Sülfat Etkisi

Şekil 4.5’de pirinç kabuğu külü ve aerojel katkılı ve katkısız referans numunelerine sülfat etkisi deney yapılmış, kütle kazancı ve basınç dayanımındaki değişimler sunulmuştur.

Şekilde yer alan basınç dayanımı grafiği incelendiğinde, basınç dayanımı değerlerinin %13.2 ile %8.1 arasında değiştiği görülmektedir. En yüksek değer referans numunesinde görülürken, en düşük değerin B9 (%1.5 oranında aerojel+PKK30) numunesinden elde edildiği görülmüştür. Aerojel ve pirinç kabuğu miktarı arttıkça sülfat etkisi sonrası basınç dayanımında azalma meydana geldiği görülmüştür. Basınç dayanımındaki azalmanın, tuğla bünyesinde bulunan boşlukların içerisine yerleşen tuz kristallerinin basınç oluşturarak, iç mikro çatlaklara yol açmasının neden olduğu düşünülmektedir. REF numunesi diğer numunelere oranla porozite değerinin düşük olmasından dolayı en düşük basınç dayanım kaybına sahiptir.

Sülfat etkisi deneyi sonrasında, tuğla numuneleri bünyesinde bulunan gözeneklerin tuz kristalleri ile dolması sonucu kütle kazancı meydana gelmiştir. Tuğla numunelerinin porozite değerlerine bakıldığında kütle kazancı grafiğiyle paralel sonuçlar verdiği görülmüştür. En yüksek porozite değerine sahip olan %1.5 aerojel+PKK10 (B7) numunesinin aynı zamanda en yüksek kütle kazancına sahip olduğu görülmüştür. Naik ve ark., (2014) ve Sangetha (2016) yapmış oldukları çalışma ez çalışmasıyla paralel sonuçlar doğurmuştur.



Şekil 4.5. Sülfat etkisi grafiği

4.6. Basınç Dayanımı

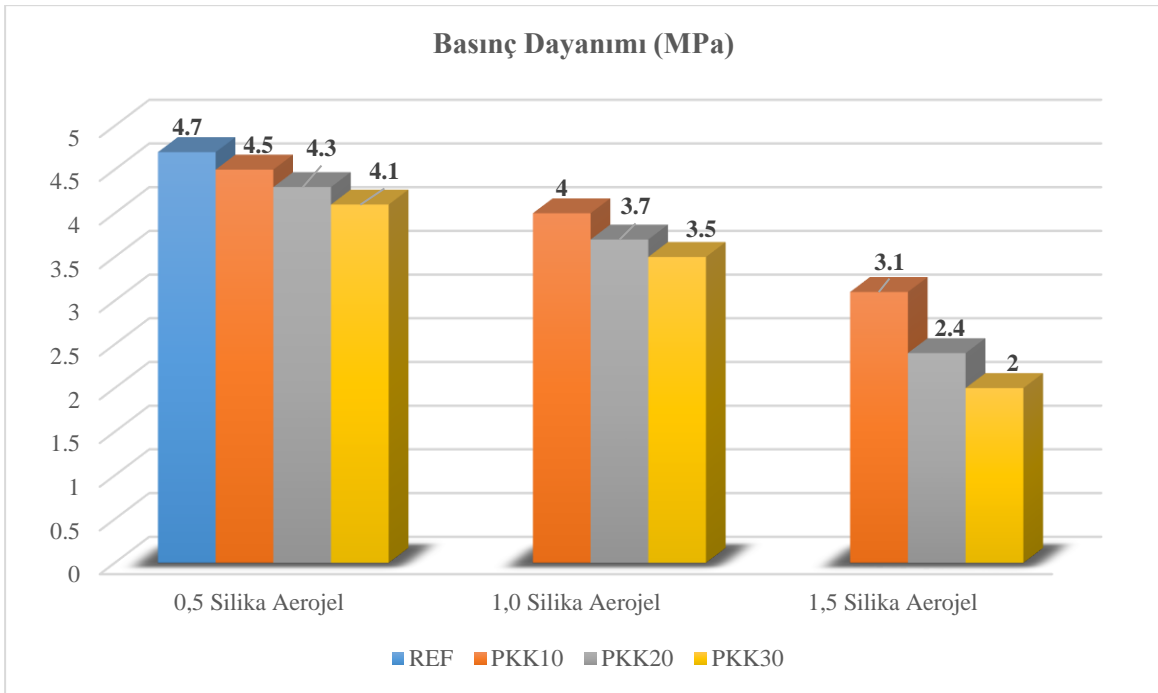
Referans numunesi, aerojel ve pirinç kabuğu külü katkılı tuğla numunelerinin basınç dayanımı değerlerinin verildiği grafik Şekil 4.6’da verilmiştir. Grafiğe göre; basınç dayanım değerleri 4.7 MPa ile 2.0 MPa arasında değişmektedir. En yüksek basınç dayanımı değeri ref numunesinden elde edilirken, en düşük basınç dayanımı değeri %1.5 silika aerojel ve %30 oranında pirinç kabuğu külü katkılı tuğla numunelerinden elde edilmiştir. Hem aerojel miktarı hem de pirinç kabuğu külü miktarı arttıkça basınç dayanımında azalma meydana geldiği görülmüştür.

Tuğla yapı malzemesinin basınç dayanımını, numunenin yoğunluğu, gözenek durumu ve boyutu önemli derecede etkilemektedir (Aouba ve ark., 2016). Bu nedenle tuğlanın porozite değeri ve basınç dayanımı değeri arasında ters orantı bulunmaktadır. Yapılan çalışmada bu orantı açık bir şekilde görülmektedir. Ayrıca aerojelin tuğla bünyesinde gözenek oranını artırması sıkı olan yapıyı daha kırılğan bir hale getirmiş, bu nedenle basınç dayanımında azalma meydana gelmiştir (Kazmi ve ark., 2016-a; Kazmi ve ark., 2016).

%0.5 oranında aerojel ve pirinç kabuğu külü ikameli tüm tuğla numuneleri ve %1.0 oranında aerojel ve PKK10 ikameli tuğla numuneleri belirli sınırı karşılayan basınç

dayanımına sahiptirler. Bu durum, bu tuğla numunelerinin sürdürülebilir, uygun maliyetli duvar yapımında aktif bir şekilde kullanılabilceğini göstermektedir.

Çağlar (2023) yapmış olduğu çalışmada arojel katkısının basınç dayanımını olumsuz yönde etkilediğini bildirmiştir. Literatürde yer alan birçok çalışma pirinç kabuğu külü ikamesinin tuğlanın basınç dayanımını düşürdüğünü bildirmiştir. Bu durum tez çalışmasını destekler niteliktedir (Mohan ve ark., 2012; Sutas ve ark., 2012; Hwang ve ark., 2015; Wang ve ark., 2018; Welsch ve ark., 2018; Buratti ve ark., 2014; Gao ve ark., 2014).



Şekil 4.6. Basınç dayanımı grafiği

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölümde tez çalışması kapsamında üretilen aerojel ve pirinç kabuğu külü katkılı tuğla numunelerine çeşitli deneyler uygulanmış ve bu deneyler sonunda elde edilen sonuçlar ve bundan sonrası için bulunulan öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- ❖ Suya doymun birim hacim ağırlık deneyi sonucunda, silika aerojel ve pirinç kabuğu külü miktarı arttıkça suya doymun birim hacim ağırlık değerlerinin de arttığı görülmüştür.
- ❖ Porozite deneyi sonucunda, pirinç kabuğu külü miktarının artmasıyla porozite değerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. En yüksek porozite değeri %1.5 oranda silika aerojel kullanılan seride gerçekleştiği görülmüştür.
- ❖ Kılcal su emme değerlerinde ise hem silika aerojel hem de pirinç kabuğu külü miktarının artmasıyla kılcal su emme değerinde azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda porozite değeri ve kılcal su emme miktarı arasında ters doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür.
- ❖ Malzemenin termal özelliğini belirlemeden en önemli parametre olan ısı iletim katsayısını belirleme deneyine göre, silika aerojel miktarının artmasıyla ısı iletim katsayısında azalma meydana gelmiştir. Fakat pirinç kabuğu külü ikamesi ısı iletim katsayısını arttırmaktadır. Üretilen serilerde en düşük ısı iletim katsayısı PKK10 numunelerinde tespit edilmiştir. En iyi sonucun ise 0.69 MPa ile %1.5 oranında silika aerojel ve %30 oranında pirinç kabuğu külü ikameli numuneden elde edildiği görülmüştür.
- ❖ Sülfat etkisi deney sonuçlarına göre, aerojel ve pirinç kabuğu miktarı arttıkça sülfat etkisi sonrası basınç dayanımında azalma meydana geldiği görülmüştür. Kütle kazancına bakıldığında ise tuğla numuneleri bünyesinde bulunan gözeneklerin tuz kristalleri ile dolması sonucu kütle kazancı meydana geldiği görülmüştür.
- ❖ Katkılı tuğla numunelerinin mekanik özelliklerinden olan basınç dayanımı deney sonucuna göre, silika aerojel miktarının artmasıyla malzeme porozite değerinin arttığı bu durumun basınç dayanımı değerini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Gerek silika aerojel miktarının artması gerekse pirinç kabuğu külü miktarının artması katkılı numunelerin basınç dayanımını azalttığı tespit edilmiştir.

- ❖ %0.5 oranında silika aerojel katkılı PKK10, PKK20 ve PKK30 (B1, B2 ve B3) numuneleri ve %1.0 oranında aerojel katkılı PKK10 tuğla numuneleri orta dayanımlı tuğla sınıfına girdiği görülmüştür.
- ❖ %1.0 oranında silika aerojel katkılı PKK20, PKK30 (B4 ve B5) ve %1.5 oranında silika aerojel katkılı PKK10 (B6) numunesinin ise az dayanımlı tuğla sınıfına girdiği anlaşılmıştır.
- ❖ %1.5 oranında silika aerojel katkılı PKK20 ve PKK30 numunelerinin dekoratif amaçlı kullanıma uygun olduğu düşünülmektedir.
- ❖ %0.5 oranında silika aerojel katkılı PKK10, PKK20 ve PKK30 (B1, B2 ve B3) numuneleri ve %1.0 oranında aerojel katkılı PKK10 tuğla numuneleri ekonomik açıdan uygun duvar inşasında rahatlıkla kullanılabilirliği görülmüştür.
- ❖ Pirinç kabuğu atıkların yakılarak tuğla üretiminde kullanılmasıyla doğaya bırakılan bu atıkların ortadan kaldırılmasına katkıda bulunduğu tespit edilmiştir.
- ❖ Pirinç kabuğu gibi tarımsal atıkların tuğla gibi yapı malzemelerinin üretiminde kullanılması atıkların imhası için oldukça etkili bir yol olduğu düşünülmektedir.
- ❖ Silika aerojel ve pirinç kabuğu külü ikamesinin sürdürülebilir tuğla üretimi için uygun olduğu görülmüştür.
- ❖ Pirinç kabuğu gibi tarımsal atıkların tuğla gibi yapı malzemelerinde üretime dahil edilmesi, verimli toprakların kullanımının azalmasına katkı sağladığı anlaşılmıştır.
- ❖ Deneysel sonuçlarına göre tuğla üretiminde pirinç kabuğu külü ve silika aerojel kullanımının iyi bir alternatif olduğu anlaşılmıştır.
- ❖ Atıklardan silika aerojel üretilerek yapı malzemesi imalatında kullanılabilirliğinin araştırılması önerilmektedir.
- ❖ Silika aerojel miktarı artırılarak tuğla bünyesinde meydana gelebilecek değişimlerin irdelenmelidir.
- ❖ Silika aerojel ve pirinç kabuğu külü sadece tuğlada değil, beton ve beton çeşitleri gibi sıklıkla kullanılan yapı malzemeleri imalatında da kullanılmalıdır.
- ❖ Atıkların yapı malzemesi üretiminde kullanılması başta hükümet olmak üzere tüm kuruluşlar tarafından desteklenmelidir.

- ❖ Karayolları, devlet su işleri gibi kamu kurumlarının Ar-Ge laboratuvarları bu tarz çalışmalara açılmalı ve gerek ekipman gerekse iş gücü bağlamında desteklenmelidir.
- ❖ Üniversiteler bazında yapılan BAP projelerinin parasal limitleri artırılmalı ve bilim insanları bu konuda teşvik edilmelidir.
- ❖ Atıkların yapı malzemesi üretiminde kullanılması üzerine yapacakları çalışmalar hükümet tarafından hibe ve desteklerle teşvik edilmelidir.
- ❖ Tüm laboratuvar bulgularının uygun teknolojilerle ticari üretime dönüştürülmesine imkan sağlanmalıdır.





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.
- Aksoğan, O., Binici, H., & Ortlek, E. (2016). Durability of concrete made by partial replacement of fine aggregate by colemanite and barite and cement by ashes of corn stalk, wheat straw and sunflower stalk ashes. *Construction and Building Materials*, 106, 253-263.
- Alam, M. J., Biswas, M., Mia, M. B., Alam, S., & Hossain, M. M. (2024). The influence of rice husk ash on mechanical properties of the mortar and concrete: A Critical Review. *Open Journal of Civil Engineering*, 14(1), 65-81.
- Alyami, M., Khan, M., Hammad, A. W., Alabduljabbar, H., Nawaz, R., Fawad, M., & Gamil, Y. (2024). Estimating compressive strength of concrete containing rice husk ash using interpretable machine learning-based models. *Case Studies in Construction Materials*, 20, e02901.
- Ani, F. M., & Nahid, A. M. (2023). Development of brick by utilizing rice husk ash as the partial replacement for clay. *Multidisciplinary Science Journal*, 5(1), 2023004-2023004.
- Anonim,(2024).<https://edergi.tubitak.gov.tr/edergi/yazi.pdf?dergiKodu=4&cilt=41&sayi=618&sayfa=60&yaziid=26385>.
- 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 C1012, (2003). Standard test method for length change of hydraulic cement mortars exposed to a sulfate solution, ASTM C1012, West Conshohocken, PA
- Bheekhun, N., Talib, A., Rahim, A., & Hassan, M. R. (2013). Aerogels in aerospace: an overview. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2013.

- Binici, H., & Ortleke, E. (2015). Engineering properties of concrete made with cholemanite, barite, corn stalk, wheat straw and sunflower stalk ash. *European Journal of Engineering and Technology*, 3(4).
- Buratti, C., Moretti, E., Belloni, E., & Agosti, F. (2014). Development of innovative aerogel based plasters: preliminary thermal and acoustic performance evaluation. *Sustainability*, 6(9), 5839-5852.
- Buratti, C., Merli, F., Belloni, E., & Spaccini, F. (2022). Thermal and acoustic performance of additive aerogel-clay bricks. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2385, No. 1, p. 012016). IOP Publishing.
- Candan, S. (2023). *Improvement of soils using lime and rice husk ash*, Master's Thesis, Ege University Institute of Science and Technology, Izmir.
- 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.
- Cintura, E., Faria, P., Molari, L., Barbaresi, L., D'Orazio, D., & Nunes, L. (2024). A feasible re-use of an agro-industrial by-product: Hazelnut shells as high-mass bio-aggregate in boards for indoor applications. *Journal of Cleaner Production*, 434, 140297.
- 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.
- Çağlar, A. (2023). Effects of silica airgel produced from boron waste on compressive strength and thermal performance of environmentally friendly bricks. *Turkish Journal of Nature and Science*, 12(3), 24-32.
- 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.
- Dalkilic, N., & Nabikoglu, A. (2017). Traditional manufacturing of clay brick used in historical buildings of Diyarbakir (Turkey). *Frontiers of Architectural Research*, 6, 346–359.

- Datta, M., Gupta, A., Dwivedi, A., & Kosta, A. (2019). Experimental study of cement replacement with tea waste and fly ash. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 6(6), 63-68.
- Demir, I. (2009). Reuse of waste glass in building brick production. *Waste Management Research*, 27, 572–577.
- De Silva, G. S., & Perera, B. V. A. (2018). Effect of waste rice husk ash (RHA) on structural, thermal and acoustic properties of fired clay bricks. *Journal Of Building Engineering*, 18, 252-259.
- Djafri, G., Bouzeroura, M., Meziani, M., & Chelouah, N. (2023). Using mordenite-rich tuff as a natural clay replacement in fired clay brick production. *Cerâmica*, 69, 141-146.
- Díaz, A. G., Bueno, S., Villarejo, L. P., & Eliche-Quesada, D. (2024). Improved strength of alkali activated materials based on construction and demolition waste with addition of rice husk ash. *Construction and Building Materials*, 413, 134823.
- Doğdu, M. (2022). *Development of lightweight ceramic sanitary ware with silica airgel addition*, Master's Thesis, Yıldız Technical University, Institute of Science and Technology, Istanbul.
- Elhusna, E., Abdullah, A., Saleh, S., Hasan, M., Astriani, N., & Prakoso, B. (2024). Fly ash and rice husk ash utilization to enlarge clay brick dimension. In *Proceeding of the International Conference on Multidisciplinary Research for Sustainable Innovation*, 1(1), 449-456.
- Erdoğan, T. Y., 2007. Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., 757, Ankara.
- Erdoğan, T., 2010, Beton, *ODTÜ Yayıncılık*, Ankara.
- Fantucci, S., Fenoglio, E., Grosso, G., Serra, V., Perino, M., Marino, V., & Dutto, M. (2019). Development of an aerogel-based thermal coating for the energy retrofit and the prevention of condensation risk in existing buildings. *Science and Technology for the Built Environment*, 25(9), 1178-1186.

- Gao, T., Jelle, B. P., Gustavsen, A., & Jacobsen, S. (2014). Aerogel-incorporated concrete: An experimental study. *Construction and Building Materials*, 52, 130-136.
- Ganobjak, M., Malfait, W. J., Just, J., Käppeli, M., Mancebo, F., Brunner, S., & Wernery, J. (2023, November). Development and evaluation of highly thermally insulating aerogel glass bricks. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2600, No. 11, p. 112015). IOP Publishing.
- 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.
- Gorai, S. (2018). Utilization of Fly ash for sustainable environment management, *Journal of Materials and Environmental Science*, 9, 385–393.
- Göl, F., Kacar, E., Saritas, Z.G., Cibuk, S., Ture, C., Arslan, M., & Sen, F. (2023). The use of boron based materials on efficiency of environmentally friendly porous ceramics, *Environmental Research*, 216(2023), 114454.
- Grădinaru, C. M., Şerbănoiu, A. A., & Şerbănoiu, B. V. (2021). Sunflower stalks versus corn cobs as raw materials for sustainable concrete. *Materials*, 14(17), 5078.
- Hu, L., He, Z. and Zhang, S. (2020) Sustainable use of rice husk ash in cement-based materials: environmental evaluation and performance improvement. *Journal of Cleaner Production*, 264, Article 121744.
- Huang, L., Ehsan, S., & Haghighi, B. (2012). *Feasibility study of using silica aerogel as insulation for buildings*. Master of Science thesis, KTH School of Industrial Engineering and Management, Stockholm, Sweden.
- Hwang, C. L., & Huynh, T. P. (2015). Investigation into the use of unground rice husk ash to produce eco-friendly construction bricks. *Construction and Building Materials*, 93, 335-341.
- Hwang, C.L., Chandra, S., (2016), The use of Rice Husk Ash in Concrete, <https://3c11105uvd.files.wordpress.com/2013/06/book-bysatish->. Erişim Tarihi: 27.03.2024).

- Jamellodin, Z., Hamidah, M.S., Adnan, S.H., Mohammad, N.S. and Yusof, W.Y.W. (2015) Strength development of fine grained mortar containing fly ash and rice husk ash. *Applied Mechanics and Materials*, (752-753), 182-188
- Janbuala, S., & Wasanapiarnpong, T. (2015). Effect of rice husk and rice husk ash on properties of lightweight clay bricks. *Key Engineering Materials*, 659, 74-79.
- Jannat, N., Al-Mufti, R. L., Hussien, A., Abdullah, B., & Cotgrave, A. (2021). Utilisation of nut shell wastes in brick, mortar and concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 293, 123546.
- Júlio, M.F, Soares, A., Ilharco, L. M., Flores-Colen, I., & de Brito, J. (2016). Aerogel-based renders with lightweight aggregates: Correlation between molecular/pore structure and performance. *Construction and Building Materials*, 124, 485-495.
- Kafalı, M.A., (2005). Sectoral research ceramic sanitary ware. Ankara: Turkish Development Bank A.Ş.
- Khalil, M. J., Aslam, M., & Ahmad, S. (2021). Utilization of sugarcane bagasse ash as cement replacement for the production of sustainable concrete—A review. *Construction and Building Materials*, 270, 121371.
- Khan, M. S., Ali, F., & Zaib, M. A. (2019). A study of properties of wheat straw ash as a partial cement replacement in the production of green concrete. *University of Wah Journal of Science and Technology (UWJST)*, 3, 61-68.
- Kazmi, S.M.S., Abbas, S., Saleem, M.A., Munir, M.J., Khitab, A., (2016-a). Manufacturing of sustainable clay bricks: Utilization of waste sugarcane bagasse and rice husk ashes. *Construction and Building Materials*, 120, 29–41.
- Keçeci, B. (2022). *Polyurethane-silica aerogel composite material production*, Master's Thesis, Yıldız Technical University, Institute of Science and Technology, Istanbul.
- Khan, J., Shahab, M. (2022). Investigation of physical and rheological properties of bitumen modified with bagasse ash, ICCRDM-2022. - Peshawar UET Peshawar 2022.ISBN 969-23645-1-5, n.d.

- Khitab, A., & Anwar, W. (2016). Classical Building Materials, *Advanced Research on Nanotechnology for Civil Engineering Applications*, 1-20.
- Kim, S., Seo, J., Cha, J., & Kim, S. (2013). Chemical retreating for gel-typed aerogel and insulation performance of cement containing aerogel. *Construction and Building Materials*, 40, 501-505.
- Kumar, K. S., Kumar, M., Ramya, D., Sivaiah, D., Ramu, K., Vishnu, K. S., & Reddy, S. V. (2023). Comparative study of the strength properties of the concrete with partial replacement of the coarse aggregate with pumice and over burnt bricks. *International Journal of Innovative Research in Engineering & Management*, 10(1), 142-146.
- 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.
- Li, P., Wu, H., Liu, Y., Yang, J., Fang, Z., & Lin, B. (2019). Preparation and optimization of ultra-light and thermal insulative aerogel foam concrete. *Construction and Building Materials*, 205, 529-542.
- Li, Z., Wang, G., Deng, X., Liu, Q., Shulga, Y. M., Chen, Z., & Wu, X. (2024). Preparation and characterization of silica aerogel foam concrete: Effects of particle size and content. *Journal of Building Engineering*, 82, 108243.
- 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.
- Mehta, P.K. (1994) "Rice Husk Ash-A Unique Supplementary Cementing Material". CANMET, Ottawa, Canada, MSL Report 94-1 (R), 419-444.
- Mohan, N. V., Satyanarayana, P. V. V., & Rao, K. S. (2012). Performance of rice husk ash bricks. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2(5), 1906-1910.
- Nagaraju, T. V., & Bahrami, A. (2024). Sustainable Geopolymer Bricks Manufacturing Using Rice Husk Ash: An Alternative to Fired Clay Bricks. *Sustainable Structures and Buildings*, 65.

- Naik, N., Bahadure, B., & Jejurkar, C. (2014). Strength and durability of fly ash, cement and gypsum bricks. *International Journal of Computer Engineering Research*, 4(5), 1–4.
- Ng, S., Jelle, B. P., Sandberg, L. I. C., Gao, T., & Wallevik, Ó. H. (2015). Experimental investigations of aerogel-incorporated ultra-high performance concrete. *Construction and Building Materials*, 77, 307-316.
- Okunade, E.A. The effect of wood ash and sawdust admixtures on the engineering properties of a burnt laterite-clay brick. *Research Journal of Applied Sciences*, 2008, 8, 1042–1048.
- Ozocak, M., & Sisman, C. B. (2024). Development of a new insulation material from hazelnut shells (hazelnut shell insulation board-HSIB). *Journal of Elementology*, 29(1).
- 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.
- Özdemir, C. (2021). *Kırşehir yöresi atık mermer tozu katkılı kendiliğinden yerleşen hafif betonların mühendislik özelliklerinin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.
- Paul, S., Das, P., Kashem, A., & Islam, N. (2024). Sustainable of rice husk ash concrete compressive strength prediction utilizing artificial intelligence techniques. *Asian Journal of Civil Engineering*, 25(2), 1349-1364.
- Parkash, R., Kumar, A., & Chauhan, R. P. (2023). Assessment of natural radionuclides content and radon exhalation of clay pulverized fly ash bricks. *Indian Journal of Pure & Applied Physics (IJPAP)*, 61(6), 416-422.
- Pawar, A.S. & Garud, D.B. (2014). Engineering properties of clay bricks with use of fly ash. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2014, 3, 75–80.
- 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.
- Ramakrishnan, K., Chellappa, V., & Chandrasekarabharathi, S. (2023). Manufacturing of low-cost bricks using waste materials, *Material Proceeding*, 13(25), 1-8.
- Reddy, D.V., Marcelina, B.S., (2006). Marine durability characteristics of rice husk ash modified 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.
- Riffat, S. B., & Qiu, G. (2013). A review of state-of-the-art aerogel applications in buildings. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 8(1), 1-6.
- Rostami, J., Khandel, O., Sedighardekani, R., Sahneh, A. R., & Ghahari, S. (2021). Enhanced workability, durability, and thermal properties of cement-based composites with aerogel and paraffin coated recycled aggregates. *Journal of Cleaner Production*, 297, 126518.
- Safiuddin, M. (2008). *Development of self-consolidating high performance concrete incorporating rice husk ash*. Thesis (Ph.D), University of Waterloo, Ontario, Canada.
- 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.
- Shafi, S., Tian, J., Navik, R., Gai, Y., Ding, X., & Zhao, Y. (2019). Fume silica improves the insulating and mechanical performance of silica aerogel/glass fiber composite. *The Journal of Supercritical Fluids*, 148, 9-15.

- Salem, A. A.A., Benchouk, A., & Belayachi, N. (2023). Influence of silica fume on the mechanical, thermal and water absorption behavior of compressed earth bricks. *MRS Advances*, 8(17), 976-981.
- Sangeetha, S. P., 2016. Rice husk ash sandcrete block as low cost building material. *International Journal of Engineering Research and Application*, 6, 46-49.
- Senthilkumar, V., Suren, R., & Premraj, C. I. (2023, June). Manufacturing of fly ash bricks using waste sugarcane bagasse and rice husk ash. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2782, No. 1). AIP Publishing.
- Singh, R., & Patel, M. (2023). Experimental and machine learning approaches to investigate the application of sugarcane bagasse ash as a partial replacement of fine aggregate for concrete production. *Journal of Building Engineering*, 76, 107168.
- Sobuz, M. H. R., Datta, S. D., Jabin, J. A., Aditto, F. S., Hasan, N. M. S., Hasan, M., & Zaman, A. A. U. (2024). Assessing the influence of sugarcane bagasse ash for the production of eco-friendly concrete: Experimental and machine learning approaches. *Case Studies in Construction Materials*, 20, e02839.
- Sutas, J., Mana, A., & Pitak, L. J. P. E. (2012). Effect of rice husk and rice husk ash to properties of bricks. *Procedia Engineering*, 32, 1061-1067.
- Sutcu, M., Ozturk, S., & Gencel, O. (2023). Synergic effect of recycled paper sludge and expanded perlite on the engineering properties of porous clay bricks: A new mathematical modelling approach. *Construction and Building Materials*, 370, 130450.
- Sürül, O., 2015, *Yüksek fırın cürufu ve uçucu külün tuğla üretiminde katkı olarak kullanılmasının araştırılması*, Yüksek Lisans, Bülent Ecevit, Zonguldak.
- 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.

- TS EN 1008, (2003), Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 704, 1979, Harman Tuğlası (Duvarlar İçin), Ankara.
- TS EN 772-1, 2012, Kâgir birimler - deney yöntemleri - Bölüm 1: Basınç dayanımının tayini, 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. Ankara.
- TS EN 772-11, 2012, Kâgir birimler- deney yöntemleri- Bölüm 11: Betondan, gazbetondan, yapay ve doğal taştan yapılmış kâgir birimlerde kapiler su emme ve kil kâgir birimlerde ilk su emme hızının tayini. Ankara.
- Wang, C. T., Wu, C. L., Chen, I. C., & Huang, Y. H. (2005). Humidity sensors based on silica nanoparticle aerogel thin films. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 107(1), 402-410.
- Wang, L., Liu, P., Jing, Q., Liu, Y., Wang, W., Zhang, Y., & Li, Z. (2018). Strength properties and thermal conductivity of concrete with the addition of expanded perlite filled with aerogel. *Construction and Building Materials*, 188, 747-757.
- 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 İleti 1. <https://metaldunyasi.com.tr/tr/guncel/69/dunyanin-en-hafif-kati-malzemesi-aerogeller.html>. Erişim Tarihi: 20.12.2023
- Web iletı 2, <https://www.tarimorman.gov.tr/Haber/5440/Turkiyede-Celtik-Uretimi-1-Milyon-Tona-Cikti>. Erişim Tarihi: 19.03.2024.
- Web iletı 3, <https://www.akyelkayisi.com/urun-detaylari-product-details/celtik-kavuzu-pirinc-kabugu-rice-hull-husk>. Erişim Tarihi: 22.02.2024
- Web iletı 4, <https://celtikkulu.com/> Erişim Tarihi: 22.02.2024

- Welsch, T., & Schnellenbach-Held, M. (2018). High performance aerogel concrete. In *High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet: Proceedings of the 2017 fib Symposium, held in Maastricht, The Netherlands, June 12-14, 2017* (pp. 117-124). Springer International Publishing.
- Wernery, J., Ben-Ishai, A., Binder, B., & Brunner, S. (2017). Aerobrick—An aerogel-filled insulating brick. *Energy Procedia*, 134, 490-498.
- Westgate, P., Paine, K., & Ball, R. J. (2018). Physical and mechanical properties of plasters incorporating aerogel granules and polypropylene monofilament fibres. *Construction and Building Materials*, 158, 472-480.
- Vanathi, V., Nagarajan, V., & Jagadesh, P. (2023). Influence of sugarcane bagasse ash on mechanical properties of geopolymer concrete. *Journal of building engineering*, 79, 107836.
- 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.
- 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.
- Yazıcı, E. (2020). Durum ve tahmin pirinç. Tarımsal Ekonomi Ve Politika Geliştirme Enstitüsü, TEPGE YAYIN NO: 322, E-ISBN: 978-605-7599-49-0, 1-44.
- Yeşiloğlu, A. (2023). *Performance properties of sustainable geopolymer concrete produced with rice husk ash and forest industry waste ash*, Master's Thesis, Kastamonu University Institute of Science and Technology, Kastamonu.
- Yıldız, S., Balaydı, İ., Ulucan, Z. Ç. (2007). Effect of rice husk ash on concrete strength, *Firat University Journal of Science and Engineering Sciences*, 19(1), 85-91.
- Yılmaz, Y. (2013). *Synthesis and characterization of monolithic silica aerogel and silica aerogel by sol-gel method using different starting materials*, Master's Thesis, Gazi University Institute of Science and Technology, Ankara.

- Yu, L., Zhang, Y., Liu, H., Shen, X., & Yang, J. (2024). Comprehensive utilization of blast furnace slag, municipal sludge and kaolin clay in building brick manufacture: crystalline transformation, morphology observation and property assessment. *Cement and Concrete Composites*, 145, 105337.
- Zakı, A. (2021). *Durabilite ortamlarında kürlenlen pirinç kabuğu külü katkılı harçların termal ve porozite özelliklerinin araştırılması*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Zakı, A., & Sola, Ö. (2020). Investigation of strength and durability properties of mortars with rice husk ash additive, *ALKU Journal of Science*, 2(2): 54-61.
- Zhang, H., Yang, J., Wu, H., Fu, P., Liu, Y., & Yang, W. (2020). Dynamic thermal performance of ultra-light and thermal-insulative aerogel foamed concrete for building energy efficiency. *Solar Energy*, 204, 569-576.
- Zhang, Y., Wu, L., Deng, X., Deng, Y., Wu, X., Shi, L., Li, M., Liu, Q., Cheng, X., Li, Z. (2021). Improving the flame retardance of hydrophobic silica aerogels through a facile post-doping of magnesium hydroxide, *Advanced Powder Technology*, 32(2021) 1891–1901.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER	
Adı Soyadı:	Anas Khalid Mukhtar MAZIN
Uyruğu:	Libya
Orcid Numarası:	0009-0008-7939-2452

EĞİTİM BİLGİLERİ	
Lisans	
Üniversite:	Fen ve Teknik Yüksek Enstitüsü – Al Jufra
Fakülte:	Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi
Bölümü:	İnşaat ve Mimari Teknikler 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
Uluslararası Konferans ve Sempozyumlarda Sunulan Bildiriler
Mazin, A. K. M., Çağlar, A., & Çağlar, H. (2024). An academic view of bricks substituted with silica aerogel and rice husk ash. <i>16th International Istanbul Scientific Research Congress On Life, Engineering, Architecture, And Mathematical Sciences</i> , İstanbul, 371-383.