



T.C.
KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI



**POMZA ESASLI HAFİF HARMAN TUĞLA ÜRETİMİNDE
PİRİNÇ KABUĞU KÜLÜ VE CEVİZ KABUĞU
KULLANIMININ ETKİSİ**

ERDAL AKTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRŞEHİR

2026



T.C.
KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI



**POMZA ESASLI HAFİF HARMAN TUĞLA ÜRETİMİNDE
PİRİNÇ KABUĞU KÜLÜ VE CEVİZ KABUĞU
KULLANIMININ ETKİSİ**

ERDAL AKTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Doç. Dr. Hakan ÇAĞLAR

KIRŞEHİR

2026

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

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

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

02/03/2026

Erdal AKTAŞ

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa No

İÇİNDEKİLER DİZİNİ	I
TEŞEKKÜR	III
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
TABLolar DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	VIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Önemi ve Kapsamı	4
1.2. Pirinç, Pirinç Kabuğu ve Pirinç Kabuğu Külü.....	5
1.3. Ceviz ve Ceviz Kabuğu	17
1.4. Pomza	23
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	31
2.1. Tuğla Üretiminde Pirinç Kabuğu Külü Kullanımı ile İlgili Çalışmalar	31
2.2. Tuğla Üretiminde Ceviz Kabuğu Kullanımı ile İlgili Çalışmalar.....	42
3. MATERYAL VE METOT	45
3.1. Materyal.....	45
3.1.1. Pirinç kabuğu külü	45
3.1.2. Ceviz kabuğu	46
3.1.3. Kayseri pomzası	47
3.1.4. Killi toprak	48
3.1.5. Karışım suyu.....	49
3.2. Metot	49
3.2.1. Tuğla numunelerinin üretimi.....	49
3.2.2. Numunelere uygulanan deneyler	51
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	59
4.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık	59
4.2. Su Emme (Ağırlıkça)	60
4.3. Porozite.....	61
4.4. Donma Çözülmenin Basınç Dayanımına Etkisi	62
4.5. Isı İletim Katsayısı Tayini	64
4.6. Basınç Dayanımı	65

4.7. Eğilmede Çekme Dayanımı.....	66
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	89

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. Hakan ÇAĞLAR'a büyük bir içtenlikle teşekkür ederim. Tezimin her aşamasında sorularıyla, tezin şekillenmesinde ve nihai hale gelmesinde katkıları olan değerli jüri üyelerim Doç. Dr. Esin İLHAN ve Dr. Öğr. Üyesi Selim CEMALGİL'e teşekkürlerimi içtenlikle sunarım.

Tezimi, ailem başta olmak üzere sevgili eşim Gülizar AKTAŞ'a ithaf ederim.

Mart, 2026

Erdal AKTAŞ

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

POMZA ESASLI HAFİF HARMAN TUĞLA ÜRETİMİNDE PİRİNÇ KABUĞU KÜLÜ VE CEVİZ KABUĞU KULLANIMININ ETKİSİ

Erdal AKTAŞ

KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Doç. Dr. Hakan ÇAĞLAR
Yıl: 2026 Sayfa: 89
Jüri: Doç. Dr. Hakan ÇAĞLAR
Doç. Dr. Esin İLHAN
Dr. Öğr. Üyesi Selim CEMALGİL

Endüstrinin gelişmesinden sonra gerek endüstriyel gerekse tarımsal atıklar çözülmesi gerekern bir problem haline gelmiştir. Atık bertarafı konusunda çok sayıda yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerden biri atıkların sektörlerde katkı maddesi olarak dâhil edilmesidir. Geniş bir yelpazeye sahip inşaat sektörü atıkların bertarafı için uygulanabilir bir çözüm olmuştur.

Bu çalışmada, inşaat sektörünün vazgeçilmez yapı malzemelerinin olan tuğlanın özelliklerinin iyileştirilmesi üzerinde durulmuştur. Çalışmada, birim hacim ağırlığı düşük ısı yalıtım özelliği iyileştirilmiş hafif harman tuğla üretimi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, ana malzeme olarak pomza (%75) ve kil (%5), ikame malzemesi olarak pirinç kabuğu külü: ceviz kabuğu (%0:20, %4:16, %8:12, %12:8, %16:4, %20:) oranlarda kullanılarak hafif tuğla üretimi yapılmıştır. Üretilen tuğlalara, kuru birim hacim ağırlık, porozite, su emme (ağırlıkça), donma çözülmenin basınç dayanımına etkisi, ısı iletim katsayısı tayini, basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda, birim hacim ağırlığı düşük, ısı yalıtım özelliğine sahip tuğla üretilmiştir. Katkılı numunelerin basınç dayanımlarında azalma meydana gelse de inşaat sektöründe rahatlıkla kullanılabilecek dayanıma sahip tuğlalar üretilmiştir. Pirinç kabuğu külü ve ceviz kabuğu gibi organik atıkların tuğla sektöründe belirli oranlarda kullanılması ile tuğla özelliklerinin iyileştirilebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Hafif harman tuğla, Pomza, Pirinç Kabuğu külü, Ceviz kabuğu

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

THE EFFECT OF USING RICE HULL ASH AND WALNUT SHELLS IN THE PRODUCTION OF PUMICE-BASED LIGHTWEIGHT BLENDED BRICKS

Erdal AKTAŞ

KIRŞEHİR AHİ EVRAN UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hakan ÇAĞLAR
Year: 2026, Pages: 89
Juries: Assoc. Prof. Dr. Hakan ÇAĞLAR
Assoc. Prof. Dr. Esin İLHAN
Asst. Prof. Dr. Selim CEMALGİL

After the development of industry, both industrial and agricultural wastes have become problems that need to be addressed. There are numerous methods for waste disposal. One of these methods is the incorporation of wastes as additives in various sectors. The construction sector, with its wide scope, has become a feasible solution for waste management.

In this study, the improvement of the properties of brick, which is one of the indispensable building materials of the construction industry, was investigated. The aim was to produce lightweight fired bricks with low unit weight and improved thermal insulation properties. For this purpose, lightweight bricks were produced using pumice (75%) and clay (5%) as the main materials, and rice husk ash and walnut shell as replacement materials at the following ratios (0:20, 4:16, 8:12, 12:8, 16:4, and 20:0). The produced bricks were tested for dry unit weight, porosity, water absorption (by weight), the effect of freeze-thaw cycles on compressive strength, thermal conductivity, compressive strength, and flexural tensile strength. As a result of the study, bricks with low unit weight and improved thermal insulation properties were successfully produced. Although a decrease in compressive strength was observed in the additive-containing samples, the produced bricks still exhibited sufficient strength for use in the construction sector. It was concluded that the properties of bricks can be improved by using organic wastes such as rice husk ash and walnut shell at certain proportions in the brick industry.

Key Words: Lightweight blended bricks, Pumice, Rice husk ash, Walnut shells

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa No
Tablo 1.1. 2014-23 yıllarında pirinç üreten ülkeler ve yıllık üretim miktarları (ton).....	9
Tablo 1.2. Pirinç üretim verileri (Bin ton).....	10
Tablo 1.3. Pirinç ithalat verileri (Bin ton).....	10
Tablo 1.4. Pirinç ihracat verileri (Bin ton).....	10
Tablo 1.5. Türkiye’de illere göre çeltik üretimi (ton)	13
Tablo 1.6. 2022/2023 sezonu ceviz ithalat ve ihracat miktarı	20
Tablo 1.7. Pomzanın kimyasal içeriği.....	25
Tablo 1.8. Ülkemizde pomza rezerv yeri ve miktarı (ton)	27
Tablo 3.1. Pirinç kabuğu külünün fiziksel ve kimyasal özellikleri	45
Tablo 3.2. Ceviz kabuğunun teknik özellikleri.....	46
Tablo 3.3. Kayseri pomzasının teknik özellikleri	47
Tablo 3.4. Killi toprağın kimyasal içeriği.....	48
Tablo 3.5. Üretim reçetesi.....	50
Tablo 4.1. Donma çözülme öncesi ve sonrası basınç dayanımı değerleri	63

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Pirinç yetiştirme ortamları.....	7
Şekil 1.2.	Pirincin yetiştirme aşamaları.....	8
Şekil 1.3.	Dünya çeltik ekim alanı ve ülkelerin payları.....	9
Şekil 1.4.	2023 yılında en fazla pirinç üreten ilk 10 il ve üretim yüzdeleri.....	11
Şekil 1.5.	Pirinç bitkisinin kısımları.....	14
Şekil 1.6.	Pirinç kabuğu külü.....	15
Şekil 1.7.	Ceviz meyvesi yan ürünleri.....	17
Şekil 1.8.	Ceviz alanları bakımından önemli ülkeler.....	19
Şekil 1.9	Ceviz üretiminde önemli ülkeler.....	20
Şekil 1.10.	Türkiye’de ceviz üretimi yapan illerin haritası.....	21
Şekil 1.11.	Pomza.....	23
Şekil 1.12.	Pomzanın oluşumu.....	24
Şekil 1.13.	Pomza ile inşa edilmiş eski yapılar.....	25
Şekil 1.14.	Pomza rezervi bulunan ülkeleri gösteren harita.....	26
Şekil 1.15.	Perlit ve Pomza yatakları haritası.....	27
Şekil 1.16.	Pomza dağılım oranları.....	28
Şekil 3.1.	Pirinç kabuğu külü.....	46
Şekil 3.2.	a; Ceviz kabuğu, b; öğütülmüş ceviz kabuğu.....	47
Şekil 3.3.	Kayseri pomzası.....	48
Şekil 3.4.	Killi toprak.....	49
Şekil 3.5.	Üretilen numuneler.....	51
Şekil 3.6.	Numunelerin en, boy ve yükseklik ölçümleri.....	52
Şekil 3.7.	Donma çözülme test cihazı.....	55
Şekil 3.8.	Heat Flow Meter cihazı.....	56
Şekil 4.1.	Numunelerin kuru birim hacim ağırlık grafiği.....	60
Şekil 4.2.	Numunelerin su emme (ağırlıkça) grafiği.....	61
Şekil 4.3.	Numunelerin porozite grafiği.....	62
Şekil 4.4.	Numunelerin donma çözülmenin basınç dayanımına etkisi grafiği.....	64
Şekil 4.5.	Numunelerin ısı iletim katsayısı grafiği.....	65
Şekil 4.6.	Numunelerin basınç dayanımı grafiği.....	66
Şekil 4.7.	Numunelerin eğilmede çekme dayanımı grafiği.....	67

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
<i>R</i>	: Eğilmede çekme dayanımı
<i>Q</i>	: Isı akışı
<i>CO₂</i>	: Karbondioksit
<i>kg</i>	: Kilogram
<i>P_{max}</i>	: Maksimum yük
<i>MPa</i>	: MegaPaskal
<i>M</i>	: Molar
<i>NaOH</i>	: Sodyum hidroksit
<i>W/mK</i>	: Watt/mK

Kısaltmalar	Açıklama
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AB	: Avrupa Birliği
GS	: Cam Çamuru
FAO	: Gıda ve Tarım Örgütü
FAOSTAT	: Gıda ve Tarım Örgütü Kurumsal İstatistik Veritabanı
DWS	: İçme Suyu Arıtma Çamuru
WA	: Odun Külü
RHA	: Pirinç Kabuğu Külü
PAUM	: Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi
PC	: Portland Çimento
SKM	: Sert Kabuklu Meyveler
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
ASTM	: Uluslararası Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu

1. GİRİŞ

Kil mineralleri; doğal olarak bol bulunmaları, yüksek reaktiviteleri ve düşük maliyetleri gibi çekici özellikleri nedeniyle son yıllarda önemli ölçüde ilgi görmüştür (Bergaya ve Lagaly, 2013). Kil minerallerinin çok yönlülüğü ve önemi; çevre bilimlerinde, endüstriyel ve jeolojik alanlarda geniş uygulama alanlarına sahip olmaları ve hatta yaşamın kökenine ilişkin süreçlerde rol oynamaları ile ortaya konmaktadır (Schoonheydt, 2016). Tüm bu kullanım alanları arasında, kil minerallerinin pişmiş tuğla üretiminde kullanımı en yaygın olanıdır ve insanlık tarihi boyunca kil minerali rezervlerinin büyük bir kısmı bu amaçla tüketilmiştir. Dünya genelinde yıllık 1500 milyar adet tuğla üretimi için 3,13 milyar metreküp kil toprağı tüketilmektedir ve tuğla üretimi özellikle gelişmekte olan ülkelerde artmaya devam etmektedir (Mohajerani ve ark., 2019).

Toprak içerisinde bulunan kil mineralleri, istenen özelliklere sahip ürünler için plastiklik, gözeneklilik ve yeterli dayanım sağladıkları için tuğlalar açısından kritik bileşen olmuştur (Wang ve ark., 2023). İlk olarak samanla karıştırılmış basit çamurun güneşte kurutulmasıyla düşük dayanım ve dayanıklılığa sahip kerpiç tuğlalar üretilmiş, zamanla bu yöntem gelişerek fırınlarda seri üretimi yapılan pişmiş kil tuğlaya dönüşmüştür (Rıza ve ark., 2010).

Tuğla, binaların yapımında kullanılan başlıca malzemelerden biri olmuştur (Koroneos ve ark., 2007). Geniş yapı malzemeleri ailesine ait olan tuğla, esas olarak binaların dış ve iç duvarlarının yapımında kullanılmaktadır. Tuğla üretim endüstrisi büyük miktarda kaynak girdisi gerektirmekte ve çeşitli olumsuz çevresel etkilere yol açmaktadır (Oka ve ark., 1993; Buchanan ve Honey, 1994; Koomey ve ark., 1998).

Öte yandan, inşaat sektörünün hızlı büyümesi; ısı ve ses yalıtımı gibi özel özelliklere sahip, çevre dostu ve verimli yapı malzemelerine olan talebi artırmıştır. İnşaatla yaygın olarak kullanılan malzemelerden biri, üretim kolaylığı, düşük maliyet ve mekanik dayanım gibi avantajları nedeniyle tuğladır. Ancak geleneksel tuğlaların özellikle birim hacim ağırlığı ve ısı ve ses yalıtım kapasitesi açısından bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Bu nedenle, özellikle yoğun, soğuk/sıcak ve gürültülü kentsel alanların ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla ses sönümlenme ve ısı yalıtım özelliğine sahip hafif

tuğlaların geliştirilmesi güncel ve önemli bir konu hâline gelmiştir (Setyawan ve Mulyadi, 2018).

Nitekim, üretilen tuğlaların metreküp başına ağırlığını azaltabilecek karışım malzemeleri eklenerek hafif tuğla üretimi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Simanjuntak, 2011; Afidah ve ark., 2020; Masthura ve ark., 2021; Nugroho ve Susilowati, 2023). Hafif tuğlalar, belirli katkı malzemelerinin eklenmesiyle geleneksel tuğlalardan mühendislik ürünü olarak geliştirilen ve normal tuğlalara göre daha düşük kütleyle sahip olan yapı malzemeleridir. Hafif tuğla üretiminde düşük özgül ağırlığa sahip malzemeler kullanılmaktadır; bunlardan biri de pomza malzemesidir (Annisa, 2022).

Pomza, gözenekli ve veziküler (boşluklu) bir volkanik malzemedir. Lavın katılaşması sırasında küçük hava kabarcıklarının hapsolmesiyle oluşmaktadır. Genellikle granül formda bulunur ve süngerimsi hücreli yapısı, birbirinden ayrı ve homojen olarak dağılmış makro ve mikro boyutlu gözenekler içermektedir (Green ve ark., 2011).

Pomza %60–75 oranında silis içermekte, beyaz, gri, altın sarısı, kahverengi veya siyah renkte olabilmektedir. Orta sertlik değeri 5.5–6 Mohs olup çelik aletlerle kolayca kesilebilmektedir. Yığın (hacimsel) yoğunluğu 300–1000 kg/m³ arasında, özgül ağırlığı 0.82–2.85 aralığında, ısı iletkenliği 0.08–0.20 W/mK arasında ve su emme oranı yaklaşık %30–70 civarındadır (Rashad ve ark., 2021; Sari ve Pasamehmetoglu, 2005).

Pomza agregası asidik veya bazik özellikte olabilmektedir. Düşük yoğunluğu ve yeterli dayanımı, yüksek su emme kapasitesi, ısı ve ses yalıtım özellikleri sayesinde pomza; inşaat sektöründe, bahçecilikte, ayrıca aşındırıcı, filtre malzemesi, fonksiyonel dolgu ve emici malzeme olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır (Sariisik ve Sariisik, 2012; Akpınar ve Kocyigit, 2016).

Son yıllarda maliyetleri düşürmek, tarım arazilerini ve çevreyi korumak amacıyla killi malzemelerin bir kısmı katı atıklarla ikame edilmiştir (Sun ve ark., 2021). Atıkların kullanımı, ürün çeşitliliğine katkı sağlayabilmekte, nihai maliyetleri düşürebilmekte ve çeşitli sanayi sektörleri için alternatif hammaddeler sunabilmektedir (Menezes ve ark., 2005).

Sanayiler tarafından üretilen atıkların alternatif hammadde olarak geri dönüştürülmesi yeni bir uygulama değildir ve birçok ülkede başarıyla gerçekleştirilmektedir (Menezes ve ark., 2005). Doğal kaynakların tükenmesi, yenilenemeyen kaynakların korunması, toplum sağlığı ve güvenliğinin iyileştirilmesi,

çevresel konulara duyulan hassasiyet ve atık bertaraf maliyetlerinin azaltılması bu ülkeleri motive eden başlıca nedenlerdir (Abi, 2014).

Tuğla malzemesinin iyileştirilmesi için çeşitli atıklar kullanılmaktadır. Tarımsal atıklardan üretilen yapı malzemeleri, düşük maliyetleri ve çevre üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle popüler hale gelmektedir (Nakkeeran ve ark., 2024). Bu atıklardan biri de pirinç kabuklarının yüksek ateşte yakılmasıyla elde edilen pirinç kabuğu külüdür.

Pirinç kabuğu külü selüloz, silika, lignin, nem ve diğer bileşenlerden oluşmaktadır (Singh, 2018). Yüksek silika konsantrasyonu (yaklaşık %20) nedeniyle pirinç kabuğu külü, tuğlalarda kil yerine tercih edilmektedir (Andreola ve ark., 2018). Pirinç kabuğu külünün yüksek silika içeriği, onu önceki araştırmalarda kullanılan diğer atık malzemelerden ayırmaktadır (Eliche-Quesada ve ark., 2017). Tuğla yapımında daha ucuz bir malzeme (pirinç kabuğu külü) kullanılması, tuğla üretim maliyetini düşmektedir (Ketov ve ark., 2021). Tuğlalarda kil yerine pirinç kabuğu külünün kullanılması, kurutma kaynaklı doğrusal büzülme en aza indirme teknik avantajına sahiptir (Andreola ve ark., 2018).

Önemli tarımsal atıklardan biri ceviz kabuğudur. Neredeyse tüm ceviz işleme işletmeleri, kabuğun satışı ve bertarafı konusunda zorluk yaşamaktadır (Cao ve ark., 2014). Ceviz kabukları, bozunmalarının çok uzun sürmesi nedeniyle çevre için bir sorun oluşturmaktadır. Bertaraf edilmesi ise ekonomik bir yük doğurabilmektedir. Öte yandan, kabukların yakılması büyük miktarda karbondioksit üretmekte, bu da küresel ısınma sorunlarını daha da kötüleştiren, bilinen bir kirleticidir (Dovi ve ark., 2021).

Ayrıca ceviz kabuğu; çevre dostu, insanlar ve hayvanlar için güvenli, yeterli dayanım seviyesine sahip, çürümeyen ve zamanla özelliklerini büyük ölçüde kaybetmeyen bir üründür (Ling ve ark., 1998). Diğer tarımsal yan ürünlerle karşılaştırıldığında, ceviz kabuğu üstün teknik özelliklere sahiptir. Yüksek lignin içeriği sayesinde saman, kabuk ve talaş gibi malzemelere kıyasla çok daha yüksek dayanım ve çürüme direnci göstermektedir (Beskopylny ve ark., 2023). Buna karşılık ceviz kabuğu, bambu, ahşap ve pirinç kabuğundan farklı olarak daha kolay kırılabilir ve farklı tane boyutlarına sahiptir. Bu özellikleri sayesinde beton gibi bazı yapı malzemelerine daha kolay dâhil edilebilmektedir. Ayrıca, ceviz kabuğu gözenekli bir malzeme olduğundan, bazı yapı malzemelerine eklenmesi rastgele gözeneklilik olarak bilinen bir olguya ve açık gözenek sayısında artışa neden olabilir; bu durum malzemenin su emme kapasitesini ve

ısı iletkenlik katsayısını artıracaktır (Yingliang ve ark., 2016). Yukarıda belirtilen hususlar doğrultusunda, ceviz kabukları özellikle ısı ve ses yalıtımı amaçlı çevre dostu yapı malzemeleri üretmeye çalışan akademisyenler için son zamanlarda dikkate değer bir malzeme olarak öne çıkmaktadır.

1.1. Tezin Amacı, Önemi ve Kapsamı

Tuğla, inşaat sektöründe yoğun bir şekilde kullanılan bir yapı malzemesidir. Teknolojik gelişmeler ve değişen ihtiyaçlar doğrultusunda tuğla malzemesinde bazı iyileştirmeler yapılmaktadır. Bunların biri de tuğlanın birim hacim ağırlığının düşürülmesidir. Bu bağlamda düşük birim hacim ağırlığı için gözenekli malzemeler kullanılarak hafif tuğla üretimi yapılmaya başlanmıştır.

Tez çalışmasında hafif tuğla üretimi için ana malzeme olan kil yerine %75 oranında pomza kullanılmıştır. Çalışmada, inşaat sektöründe yeni gözdesi olan hafif harman tuğla özelliklerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda pomza kullanılarak üretilen hafif harman tuğla içerisine tarımsal atık olan pirinç kabuğu külü ve ceviz kabuğu farklı oranlarda ikame edilmiştir. Birim hacim ağırlığı düşük, ısı yalıtım özelliği iyileştirilmiş hafif harman tuğla üretimi amaçlanmıştır.

Tez çalışması kapsamında üretilen hafif harman tuğlaların önemi aşağıda sıralanmıştır.

Azaltılmış Yapısal Ağırlık ve Malzeme Tasarrufu; Hafif tuğlalar, geleneksel kil veya yoğun beton tuğlalara kıyasla yapı üzerindeki sabit yükü (ölü yükü) önemli ölçüde azaltmıştır. Pomzanın çok hafif ve gözenekli bir volkanik kaya olması ve pirinç kabuğu külünün de karışıma katıldığında toplam yoğunluğu düşürmektedir. Daha düşük ölü yük, daha az taşıyıcı sistem ve donatı ihtiyacı anlamına gelmektedir. Bu da hem inşaat maliyetlerini hem de gömülü enerjiyi azaltmaktadır.

Geliştirilmiş Isı ve Ses Yalıtımı; Pomzanın yüksek gözenekliliği ve pirinç kabuğu külünün kazandırdığı mikro gözenekli yapı, malzemenin ısı iletkenliğini düşürmektedir. Bu durum, bu tuğlalarla yapılan duvarların ısı ve ses yalıtım performansını artırmaktadır. Ceviz kabuğu gibi organik atıkların kullanımı da iç boşluk oranını artırarak yalıtım performansını olumlu yönde etkilemektedir.

Sürdürülebilirlik ve Atıkların Değerlendirilmesi; Pirinç kabuğu külü, pirinç işleme sürecinin bir yan ürünüdür ve çoğu zaman atık olarak değerlendirilmektedir. Amorf silika bakımından zengin olan pirinç kabuğu külü, çimentolu sistemlerde puzolanik katkı olarak reaksiyona girmekte ve belirli mekanik ve dayanıklılık özelliklerini iyileştirirken atığın depolama alanlarına gitmesini önlemektedir. Pirinç kabuğu külü ve ceviz kabuğu gibi tarımsal atıkların kullanımı, doğal agrega kullanımını azaltmakta ve çevresel ayak izini düşürerek döngüsel ekonomi yaklaşımını desteklemektedir. Ceviz kabuğunun doğal agreganın kısmi ikamesi olarak kullanılması, mineral kaynak tüketimini azaltmakta ve beton/tuğla yoğunluğunu düşürmektedir.

Çevresel ve Ekonomik Etkiler; Hafif ve atık içeren tuğlaların üretimi, geleneksel kil tuğlalara göre genellikle daha düşük karbon salımı ve daha az hammadde kullanımı gerektirmektedir. Pirinç kabuğu ve ceviz kabuğu gibi tarımsal atıklar düşük maliyetli veya atık niteliğinde malzemelerdir. Yapı malzemelerinde kullanımları hem maliyeti düşürmekte hem de çevresel sorunları azaltmaktadır. Doğal kaynak tüketiminin azaltılması, atıkların geri kazanılması ve enerji verimli yapı üretimi gibi alanlarda olumlu katkı sağlamaktadır.

Tez çalışmasında, kullanılan killi toprak Kırıkkale ili merkez ilçesi sınırları içerisinde, ana malzeme olarak kullanılan pomza, kayseri il sınırları içerisinde çıkarılan ve EKOPONS firmasından temin edilmiştir. İkame malzemesi olarak kullanılan pirinç kabuğu külü Edirne/İpsala'da faaliyet gösteren SİLO GIDA firmasından alınmıştır. Kullanılan bir diğer ikame malzemesi olan ceviz kabuğu, Kırşehir/Kaman bölgesinde yetiştirilen cevizlerden hasat sonrası oluşan kabuklarıdır. Tüm bunlar göz önüne alındığında, tez çalışmasının kapsamı Kırıkkale ili Merkez ilçesi killi toprağı, Kayseri ilinden çıkarılan pomza, Edirne/İpsala bölgesinde yetiştirilen pirinç kabuklarının külü ve Kaman bölgesinde yetiştirilen cevizlerin kabukları olarak sınırlandırılmıştır.

1.2. Pirinç, Pirinç Kabuğu ve Pirinç Kabuğu Külü

Pirinç (*Oryza sativa L.*), en eski kültüre alınmış bitkilerden biri olup Poaceae familyasına aittir. Gelişmekte olan ülkelerde pirinç, temel bir gıda maddesi olup kırsal nüfusun ve ulusal gıda güvenliğinin bel kemiğini oluşturmaktadır (Cendrowski, 2013). Dünya nüfusunun %50'sinden fazlasını besleyen bitkilerden biridir. Pirinç, %5–10 oranında protein içerdiği için amino asitler bakımından zengindir. Bu amino asitler

beslenme açısından hayati öneme sahiptir. İnsanların besin ve enerji gereksinimlerinin büyük bir kısmını karşıladığı için temel gıda kaynaklarından biridir (Postallı, 2025). Ayrıca, FAOSTAT (2020) verilerine göre, şeker kamışı ve mısırdan sonra dünya genelinde üretimi en yüksek üçüncü tarımsal emtiadır. Pirinç, insan beslenmesi ve kalori alımı açısından önemli bir gıda ürünü olup, dünya genelinde insanlar tarafından tüketilen kalorilerin beşte birinden fazlasını sağlamaktadır (Smith, 1998).

Pirinç, tek yıllık otsu bir bitkidir ve yarı sulamalı alanlarda yetişir. Yetiştirme dönemi boyunca en az 1000–1200 mm yağışa ihtiyaç duyduğundan, bu miktar yağışla sağlanamadığı durumlarda su ihtiyacını karşılamak için teknik sulama yöntemleri kullanılmaktadır (Taşlıgil ve Şahin, 2011).

Yarı sucul bir temel ürün olan pirinç; yüksek arazilerdeki aerobik topraklar, alçak alanlardaki anaerobik ve su altında kalan topraklar ile sel baskınına yatkın bölgelerdeki derin şekilde suya batmış topraklar dâhil olmak üzere çok çeşitli yetiştirme koşullarına uyum sağlayabilmektedir (Miro ve Ismail, 2013). Anaerobik pirinç yetiştirme sistemi, diğer bir adıyla su altında yetiştirilen (flooded) pirinç sistemi, çeltik tarlalarının yetiştirme dönemi boyunca suyla kaplı tutulduğu ve çeltik çeşitlerinin oksijensiz koşullarda yetiştirildiği geleneksel bir pirinç üretim yöntemidir (Iqbal ve ark., 2020). Şekil 1.1’de pirinç yetiştirme ortamları verilmiştir.

Aerobik pirinç üretim sisteminde ise özel olarak geliştirilmiş pirinç çeşitleri, iyi drene edilmiş, çamurlaştırılmamış ve doymun olmayan topraklarda yetiştirilmektedir. Bu nedenle pirinç yetiştirme dönemi boyunca toprak oksijenli, yani aerobik koşullardadır (Iqbal ve ark., 2020). Pirinç bitkisi, çamurlaştırılmamış ve su altında olmayan tarla koşullarında, kuru ya da suya batırılmış tohum kullanılarak doğrudan ekim yöntemiyle yetiştirilmektedir. Aerobik pirinç üretim sistemi, iş gücü ve su kullanımını azaltmada en etkili yöntemlerden biridir. Aerobik pirinç, su altında yetiştirilen alçak alan pirincine kıyasla %30–50 oranında daha az su kullanmaktadır (Jana, 2018). Mısır, buğday veya sorgum gibi diğer ürünlere benzer şekilde aerobik pirinç, kuru topraklarda yetiştirilmekte ve gerektiğinde kapsamlı tarımsal uygulamalar ile yüzey sulaması sağlanmaktadır (Bouman ve ark., 2005).

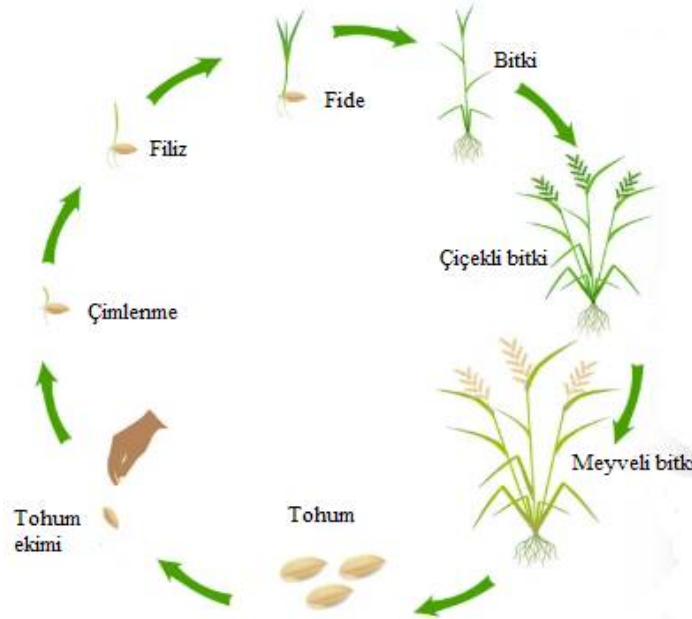


Şekil 1.1. Pirinç yetiştirme ortamları (Web ileti 1)

Pirinç çeltik, kök, sap, çiçek ve tane kısımlarından oluşmaktadır. Pirinç bitkisinin gelişimi üç aşamaya ayrılabilir:

- ✓ Vejetatif dönem, çimlenme anından salkım (panikula) oluşumunun başlamasına kadar olan süreci kapsar.
- ✓ Generatif (üreme) dönem, salkım oluşumunun başlamasından salkımın gelişimine kadar olan dönemi içerir.
- ✓ Çiçeklenme zamanından meyvelerin tam olgunluğa ulaşmasına kadar geçen gelişme dönemi (IRRI, 2020).

Pirincin büyüme aşamaları Şekil 1.2'de gösterilmiştir. Şekle göre pirinç, tohum ekimi, çimlenme, filizlenme, fide, bitki, çiçekli bitki, meyveli bitki ve tohum aşamalarından geçerek yetişmektedir.

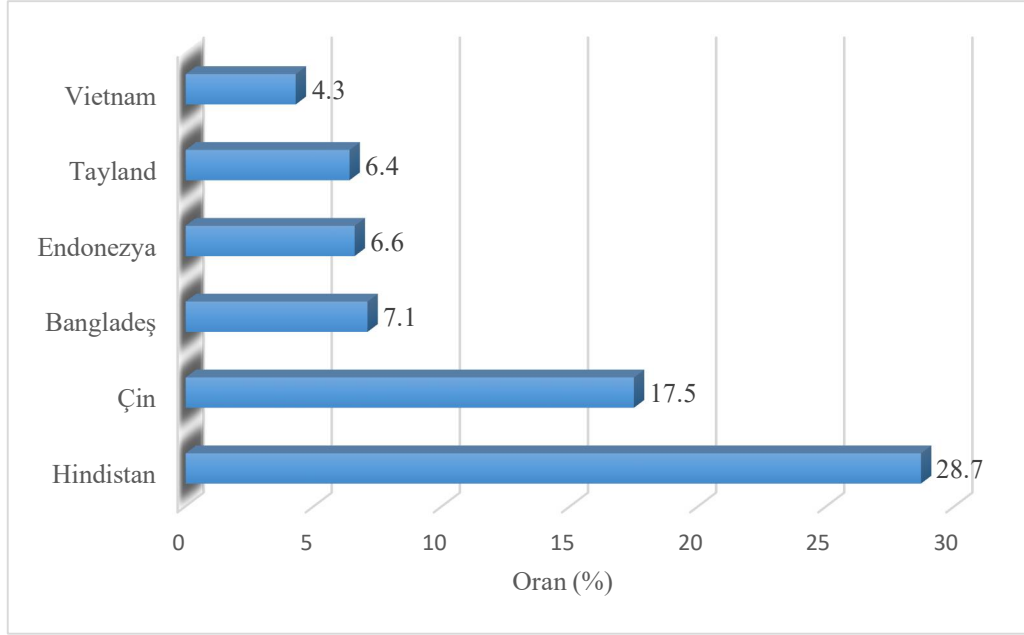


Şekil 1.2. Pirincin yetiştirme aşamaları (Web iletisi 2)

Dünya Bankası+FAO tarafından yapılan bir çalışma, gelişmekte olan ülkelerde üretilen pirincin ortalama olarak her yıl %8 ila %26'sının hasat sonrası sorunlar ve yetersiz altyapı nedeniyle kaybedildiğini ortaya koymaktadır. Bazı kaynaklar ise hasat sonrası kayıpların %40'ı aştığını iddia etmektedir (World Bank, 2011). Bu kayıplar yalnızca küresel gıda güvenliğini azaltmakla kalmamakta, aynı zamanda çalışmaya göre gelişmekte olan ülkelerdeki çiftçiler, önlenemez hasat sonrası tarımsal kayıplar, yetersiz ulaşım, uygun depolama olanaklarının ve perakende sistemlerinin eksikliği nedeniyle yaklaşık 89 milyar ABD doları gelir kaybına uğramaktadır. Basavaraja ve ark.. (2007), bu hasat sonrası tahıl kayıplarının; üretim için ayrılan hasat alanlarının daha etkin planlanması, altyapının ve perakende ağının iyileştirilmesi yoluyla ortadan kaldırılabilmesi halinde, her yıl bir ülkeyi beslemeye yetecek miktarda gıdanın kurtarılabilceğini öne sürmektedir.

Dünya genelinde üretilen pirincin büyük bir kısmı tropikal ve subtropikal iklim kuşaklarında yetiştirilmektedir. Dünyada en fazla pirinç üreten ülkeler Asya ülkeleridir (Shirley, 2024).

2023-2024 sezonunda dünyada çeltik ekili alanların gösterildiği grafik Şekil 1.3'de verilmiştir. Grafiğe göre, dünyada çeltik ekim oranı en yüksek olan ülke Hindistan'dır. İkinci sırada Çin yer alırken Çin'i Endonezya ve Tayland takip etmektedir. Grafikte yer alan 6 ülke toplam çeltik ekim alanlarının %70,6'ını oluşturmaktadır (Arslan, 2024).



Şekil 1.3. Dünya çeltik ekim alanı ve ülkelerin payları (%)

2023 yılında, çeltik üretiminde 144,6 milyon ton ile Çin ilk sırada yer almakta, onu 137,8 milyon ton ile Hindistan ve ardından Bangladeş takip etmektedir. Dünyada en fazla pirinç ihraç eden ülke ise 16 milyon ton ile Hindistan'dır. En fazla pirinç üreten ülkelerin 10 yıllık üretim miktarları Tablo 1.1'de verilmiştir (Arslan, 2024).

Tablo 1.1. 2014-23 yıllarında pirinç üreten ülkeler ve yıllık üretim miktarları (ton)

Ülkeler	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Çin	146.7	148.5	147.8	148.9	148.5	146.7	148.3	149.0	145.9	144.6
Hindistan	105.5	104.4	109.7	112.8	116.5	118.9	124.4	129.5	135.8	137.8
Bangladeş	34.5	34.5	34.6	32.6	34.9	35.9	34.6	35.9	36.4	37.0
Endonezya	35.6	36.2	36.9	37.0	34.2	34.7	34.5	34.4	33.9	33.0
Vietnam	28.2	15.8	27.7	27.7	27.7	27.1	27.4	26.7	27.1	26.3

Tablo 1.2'de son 5 yıl içerisinde üretilen pirinç miktarı ton cinsinden verilmiştir. 2023/24 yıllarında verilen tahmini, 2024/25 yılları arasında verilen değerler ise öngörüdür. Tabloya göre, Çin tüm yıllarda en yüksek üretim miktarına sahip ülkedir.

Çin'i Hindistan ve Bangladeş takip etmektedir. Dünya pirinç üretiminin 2023/24 döneminde 520,874 milyon tona ulaşacağı tahmin edilmektedir.

Tablo 1.2. Pirinç üretim verileri (Bin ton)

Ülkeler	2021/22	2022/23	2023/24*(Tahmin)	2024/25**(Öngörü)
Çin	148.990	145.946	144.620	146.000
Hindistan	129.471	135.755	137.000	138.000
Bangladeş	35.850	36.350	37.000	38.000
Endonezya	34.400	33.900	33.020	34.000
Vietnam	26.670	26.940	27.000	27.000
Diğer	138.439	136.939	142.234	145.173
Dünya	513.820	515.830	520.874	528.173

Tablo 1.3'de pirinç ithalat verileri sunulmuştur. İthalat verilerine göre tüm yıllarda Filipinler ilk sırada yer almaktadır. 2024/25 yılı öngörülerine göre, 2.95 milyon ton ile Vietnam ikinci sırada yer almaktadır. Vietnam'ı 2.2 milyon ton ile AB takip etmektedir. Dünya genelinde, 50.817 bin ton pirinç ithalatı yapılmaktadır.

Tablo 1.3. Pirinç ithalat verileri (Bin ton)

Ülkeler	2021/22	2022/23	2023/24*(Tahmin)	2024/25**(Öngörü)
Vietnam	2.350	2.750	2.750	2.950
Filipinler	3.600	3.750	4.800	4.700
ABD	2.404	2.308	2.100	2.200
Nijerya	2.450	2.275	1.800	2.000
Irak	1.754	2.194	2.100	1.900
Diğer	42.571	43.286	38.293	37.067
Dünya	55.129	56.563	51.843	50.817

Tablo 1.4'de pirinç ihracat verileri sunulmuştur. Tüm yıllar göz önüne alındığında en yüksek ithalat miktarı Hindistan'a aittir.

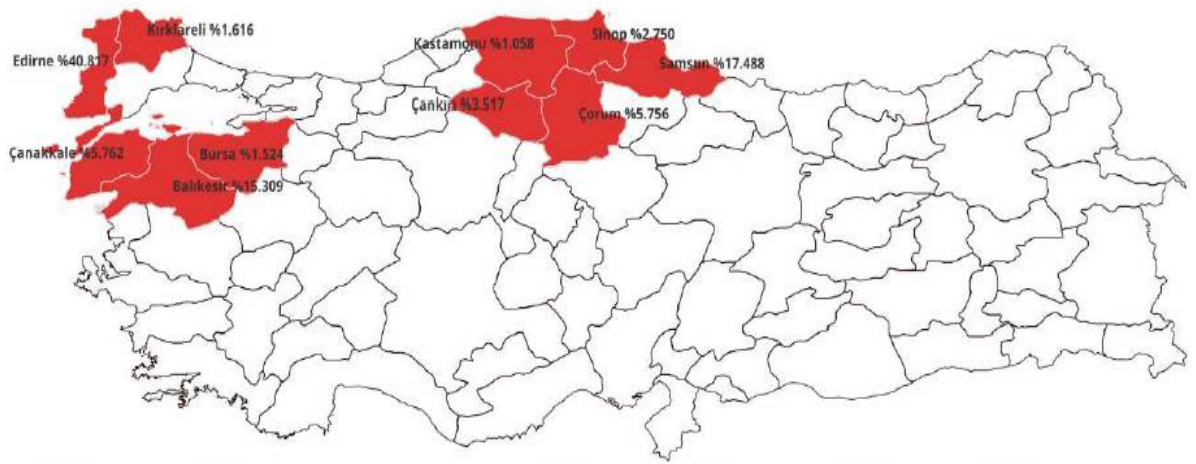
Tablo 1.4. Pirinç ihracat verileri (Bin ton)

Ülkeler	2021/22	2022/23	2023/24*(Tahmin)	2024/25**(Öngörü)
Hindistan	22.025	20.245	16.000	18.000
Tayland	7.682	8.736	8.500	7.500
Vietnam	7.054	8.225	8.300	7.500
Pakistan	4.839	3.757	6.400	5.900
ABD	2.651	2.053	3.048	3.207
Diğer	13.317	11.621	12.146	12.469
Dünya	57.568	54.637	54.394	54.576

Dünya çapında pirinç üretimi yapan ülkeler Şekil 1.4’de sunulmuştur. Dünya pirinç ticaretinde başlıca aktörler, gelişmekte olan ülkelerdir; ihracatın %83’ünü ve ithalatın %85’ini bu ülkeler gerçekleştirmektedir. Pirinç ithal eden çok sayıda ülke bulunmasına karşın, pirinç ihraç eden ülkelerin sayısı sınırlıdır ve sadece beş ülkeden oluşmaktadır. Başlıca ithalatçı ülkeler arasında genellikle Nijerya, Endonezya, Bangladeş, Suudi Arabistan, İran, Irak, Malezya, Filipinler, Brezilya ile bazı Afrika ve Basra Körfezi ülkeleri yer almaktadır.

Diğer Batı Afrika ülkelerinde olduğu gibi Nijerya da yerli üretimi aktif biçimde teşvik etmektedir. Ancak çok yüksek ithalat vergileri (%110), Nijerya sınırlarının komşu ülkelerden yapılan kaçakçılığa açık hale gelmesine neden olmaktadır. Parboiled (ön haşlanmış) pirinç Nijerya’da özellikle popülerdir. Çin ve Hindistan dünyanın en büyük iki pirinç üreticisi olmalarına rağmen, her iki ülke de üretilen pirincin büyük çoğunluğunu yurt içinde tüketmekte, bu da uluslararası ticarete konu olan miktarın sınırlı kalmasına yol açmaktadır.

Türkiye, 2023 yılında dünya çeltik üretiminde 43. sırada yer almaktadır. En yüksek üretim %65,0286 oranı ile Marmara Bölgesi’nde gerçekleştirilmiştir. Türkiye’de 2023 yılında 28 ilde çeltik tarımı yapılmıştır. 2023 yılında en fazla çeltik üretimi yapılan iller Edirne, Samsun, Balıkesir, Çanakkale, Çorum ve Çankırı’dır (Tahıllar Ve Diğer Bitkisel Ürünler Raporu, 2024).



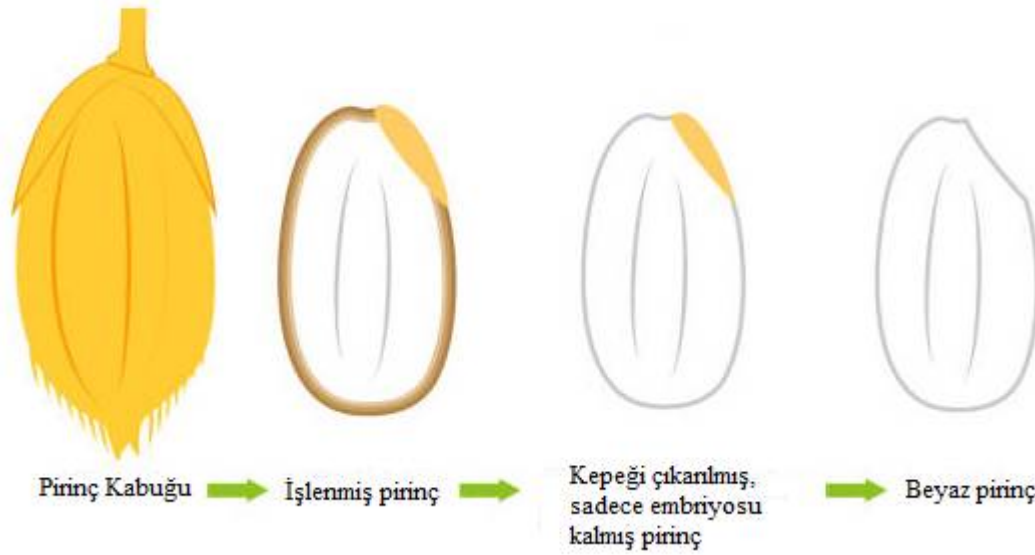
Şekil 1.4. 2023 yılında en fazla pirinç üreten ilk 10 il ve üretim yüzdeleri

Tablo 1.5’de Türkiye’de 2014-2023 yılları arasında eltik etimi yapan iller ve üretim miktarları verilmiştir. Tabloya göre en yüksek eltik üretim miktarı Edirne’de yapılırken en az üretim ise Adıyaman’da yapılmaktadır. Adıyaman’da sadece 2016 yılın eltik etimi yapılmış, sonraki yıllarda ise herhangi bir üretim yapılmamıştır. Iğdır ve Siirt sadece 2 yıl eltik etimi yapmıştır.

İller	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Edirne	331.423	386.907	375.850	398.534	410.681	431.658	396.993	411.525	382.189	367.352
Samsun	114.698	122.600	128.715	133.038	133.221	137.069	159.147	153.120	142.480	157.392
Balıkesir	122.276	113.994	113.121	113.829	114.939	118.620	121.935	137.187	133.136	137.778
Çanakkale	53.284	91.880	87.115	67.357	63.049	93.020	93.933	98.124	97.034	51.861
Çorum	58.659	52.298	52.321	57.076	60.354	57.904	59.493	58.579	56.243	51.802
Çankırı	16.961	15.103	17.387	15.580	15.575	17.482	20.912	21.747	27.372	31.653
Sinop	33.834	30.048	33.459	33.217	32.172	32.943	33.677	27.918	23.388	24.752
Kırklareli	19.713	24.110	22.981	18.405	20.894	17.745	13.906	17.207	14.601	14.547
Bursa	19.618	18.507	20.604	20.212	19.607	18.137	18.015	19.709	16.808	13.719
Kastamonu	5.951	5.975	6.227	6.521	7.377	7.207	8.316	8.129	8.645	9.525
Mersin	----	6.854	7.679	8.308	9.847	8.847	8.814	9.436	7.215	8.388
Tekirdağ	27.744	26.723	31.997	7.329	29.151	38.444	20.778	16.070	19.002	8.101
Diyarbakır	10.548	8.514	6.487	6.427	7.421	7.015	7.187	4.228	4.138	7.197
Kırıkkale	6.828	5.256	5.065	3.567	4.816	3.368	4.464	3.738	4.501	4.120
İstanbul	2.481	2.321	2.309	2.410	2.333	2.372	2.229	2.158	2.601	2.663
Şanlıurfa	----	2.736	2.511	2.300	2.252	1.735	1.471	2.177	1.928	1.761
Düzce	1.590	1.801	1.699	1.646	1.407	1.503	920	1.100	1.390	1.565
Tokat	732	734	794	679	658	802	1.022	1.452	1.550	1.556
Amasya	1.321	1.310	1.305	1.081	1.047	1.041	1.880	1.809	1.619	1.264
Ankara	960	1.019	1.107	961	1.691	1.684	1.770	2.003	2.012	1.024
Karabük	352	362	402	331	367	390	381	392	425	458
Mardin	----	----	844	844	875	702	799	784	214	424
Hatay	----	----	----	----	----	----	533	751	814	399
Kahramanmaraş	39	36	11	12	11	12	23	89	333	333
Hakkâri	604	565	484	146	98	87	75	96	141	148
Siirt	----	----	----	----	----	----	----	----	83	85
Bolu	49	53	37	36	78	83	74	151	91	76
Artvin	----	----	----	----	----	----	69	68	47	57
Adıyaman	----	4	----	----	----	----	----	----	----	----
Bingöl	203	170	158	63	79	130	28	----	----	----
İğdir	----	----	----	----	----	----	1.156	253	----	----
Osmaniye	132	124	171	91	----	----	----	----	----	----
Toplam	830.000	920.000	920.000	900.000	940.000	1.000.000	980.000	1.000.000	950.000	900.000

Tablo 1.5. Türkiye’de illere göre çeltik üretimi (ton) (Pirinç Durum Tahmin Raporu, 2024)

Pirinç bitkisi hasat edildiğinde, çeltik ya da kavuzlu pirinç olarak bilinen taneler elde edilir. Çeltik tanesi, genellikle pirinç kabuğu veya pirinç kavuzu olarak adlandırılan, bağlayıcı olmayan sert bir dış tabakadan oluşur. Pirinç kabuğu ayrıldığında geriye kalan tane, esmer pirinç (kahverengi pirinç) olarak adlandırılır; bu tane, pirinç kepeği olarak bilinen kahverengimsi bir orta tabaka ve merkezde yer alan pirinç tanesinden oluşur. Pirinç ve pirinç kepeği, öğütme (milling) işlemi ile daha da ayrılabilir (Buggenhout ve ark., 2011; Cheong ve Xu, 2019; Zhuang ve ark., 2019). Şekil 1.5, pirinç bitkisinin farklı kısımlarını göstermektedir.



Şekil 1.5. Pirinç bitkisinin kısımları (Web ilet, 3)

Pirinç kabuğu, ağırlıkça çeltiğin %20–25'ini oluşturmaktadır (Behroozmand ve ark., 2015; Kordi ve ark., 2024). 2023 yılında dünya genelindeki toplam pirinç üretimi 500 milyon tonu aşmıştır (FAO, 2023). Bu durum, uygun şekilde değerlendirilmediği takdirde çevre üzerinde ciddi etkilere yol açabilecek 100 milyon tondan fazla pirinç kabuğu yan ürününün ortaya çıkması anlamına gelmektedir. Az gelişmiş bölgelerde pirinç kabuğu çoğunlukla nehir ve tarım arazilerine atılarak bertaraf edilmektedir. Atık pirinç kabuğunun birikmesi, toprak ve su kalitesi açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Düşük besin değeri ve hayvanlar tarafından sindiriminin zor olması, hayvan yemi olarak kullanılmasını ve doğada kontrolsüz şekilde parçalanmasını engellemektedir (Fernandes, 2016; Jonathan ve ark., 2020). Pirinç kabuğu esas olarak

selüloz ve ligninden oluşmakta olup, geri kalan kısmı organik maddeler ve mineral külden meydana gelmektedir (Zou ve Yang, 2019). Pirinç kabuğu, yaklaşık ağırlığının %80'ini kaybettiği piroliz işlemine tabi tutulduğunda, ortaya çıkan ürün Şekil 1.6'da gösterildiği üzere pirinç kabuğu külü olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 1.6. Pirinç kabuğu külü (Web ileti 4)

Pirinç kabuğu külü, genellikle %90'ın üzerinde olan çok yüksek bir silika içeriğine sahiptir. Geri kalan kısmı ise artık karbon yapısı ve iz miktarda alkali elementlerden oluşmaktadır (Zou ve Yang, 2019; Shukla ve ark., 2022). Pirinç kabuğu külü; yüksek özgül yüzey alanına sahip, düşük yığın yoğunluklu, oldukça gözenekli ve rijit yapıya sahip bir malzemedir (Fernandes ve ark., 2016). Bu özellikler, pirinç kabuğu külünü birçok endüstride geniş bir kullanım alanına sahip, oldukça talep gören bir malzeme hâline getirmektedir. Pirinç kabuğu ve külünün uygun şekilde değerlendirilmesi dünya genelinde kapsamlı biçimde araştırılmıştır. Pirinç kabuğu ve külünün bazı umut verici kullanım alanları; endüstriyel yakıt (Quispe ve ark., 2017), seramikler için silika kaynağı (Hossain ve ark., 2018), zeolitler (Prasetyoko ve ark., 2006; Wang ve ark., 2020; Flores ve ark., 2021), cam ürünleri (Ruengsri ve ark., 2015) ve beton dolgu malzemesi olarak kullanımını içermekle birlikte bunlarla sınırlı değildir (Farooque ve ark., 2009; Liv d., 2021).

Pirinç kabuğu külü (RHA), pirinç kabuğunun yakılmasıyla elde edilen silika bakımından zengin bir yan üründür. İnce parçacıkları ve yüksek amorf silika içeriği nedeniyle birçok değerli kullanım alanına sahiptir. Pirinç kabuğu külünün kullanım alanları aşağıda sıralanmıştır.

❖ İnşaat ve Yapı Malzemeleri

- Betonda çimentonun kısmi ikamesi olarak,
- Basınç dayanımını ve dayanıklılığı artırmak için,
- Hidratasyon ısısını düşürmek için,
- Tuğla, blok ve karo yapımında ikame malzemesi olarak,
- Kimyasal saldırılara karşı direnci artırmak için kullanılır.

❖ Endüstriyel Kullanımlar

- Yüksek saflıkta silika kaynağı olarak,
- Kauçuk, lastik ve plastik endüstrilerinde,
- Boya, kaplama ve yapıştırıcılarda dolgu maddesi olarak
- Seramik ve cam üretiminde kullanılmaktadır.

❖ Çevresel Uygulamalar

- Atık su arıtımı – ağır metalleri adsorbe etmede,
- Hava ve su filtrasyonunda,
- Aktif karbon üretiminde,
- Pirinç fabrikalarından kaynaklanan çevresel atıkları azaltmada kullanılır.

❖ Tarım

- Toprak yapısını iyileştirmede,
- Bitkilere silikon sağlamakta (bitki direncini artırır),
- Kompostlamada kullanılmaktadır.

❖ Enerji ve Yalıtım

- Termal yalıtım malzemesi olarak,
- Refrakter malzemelerde kullanılmakta,
- Enerji verimli inşaata yardımcı olmaktadır

❖ Diğer Kullanım Alanları

- Sürdürülebilir yapılarda puzolanik malzeme olarak,
- Polimerlerde düşük maliyetli dolgu maddesi olarak,
- Nano-silika üretiminde kullanılmaktadır (Web ileti 5Hu ve ark., 2020; Okoro ve ark., 2022; Valenzuela ve ark., 2025; Oli ve Sharma, 2026).

1.3. Ceviz ve Ceviz Kabuğu

Ceviz (*Juglans regia L.*), Juglandaceae familyası ve *Juglans* cinsi içerisinde yer alan, ılıman bölgelerin en kaliteli sert kabuklu meyvelerinden biridir (Çakır ve Karagöz, 2021). Ceviz, içerdiği ve besin değeri insan sağlığı açısından olumlu etkilerinden dolayı önemli bir meyve türüdür (Oğuz ve ark., 2016).

Ceviz ağacı, ortalama 25-30 metre yüksekliğe ulaşabilir ve yaklaşık 50-75 yıl ömürlüdür (Çakır ve Karagöz, 2021; Juglans, 2022). Ceviz ağacı (Şekil 1.7), yaprak dökken, geniş yapraklı bir ağaçtır ve gelişimini tamamladığında ortalama 400 m²'lik bir alanı kaplayabilmektedir. Kök sistemi kazık kök (ana kök) şeklinde olup, toprak içerisinde 3–5 m derinliğe kadar ulaşabilmektedir. Bu kök sistemi sayesinde kuraklık, sıcaklık ve soğuk gibi çevresel koşullara karşı dayanıklıdır (Temeltürk, 2024).



Şekil 1.7. Ceviz meyvesi yan ürünleri (Alizada, 2020)

Ceviz ağaçları hızlı gelişmekte ve buldukları ortama bağlı olarak 25–40 m boya kadar ulaşabilmektedir. Yaprakları geniş, elips biçiminde ve kenarları düzgündür. Yaprak damarları belirgin olup, uçları sivridir ve yaprak uzunluğu 6–12 cm arasında değişmektedir. Cevizin tomurcukları, sürgün uçlarında ve yaprak koltuklarında bulunur ve koyu kahverengi renktedir. Bu tomurcuklardan daha büyük olanı gelişerek odunsu bir dal oluşturur (Budak, 2010).

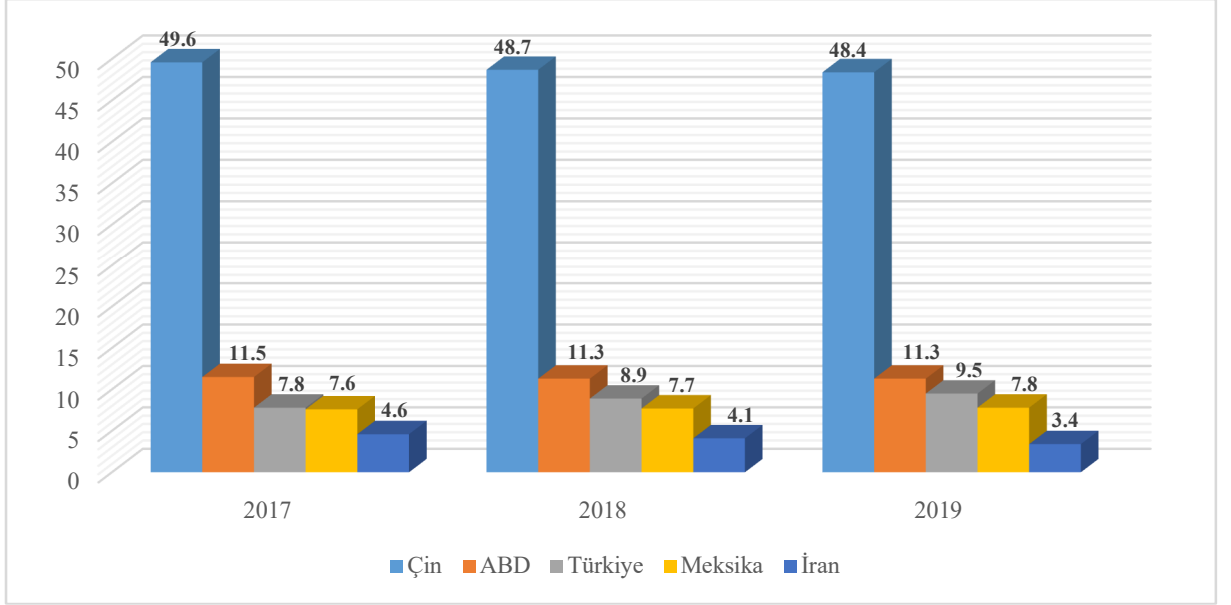
Ceviz meyvesi oluştuktan sonra hasat dönemi, olgunlaşma zamanına bağı olarak Eylül ile Ekim ayları arasında gerçekleşir. Aynı zamanda ceviz meyveleri, dış kabuklarından ayrılmaya başladıkları dönemde hasat edilir. Bu özellik, ceviz hasat zamanı açısından önemlidir.

Araştırmalara göre Anadolu'da yaşayan insanlar cevizi 3000 yıldır bilmektedir ve aşılı çoğaltma gibi yöntemlerle anaç bitkilerden ceviz yetiştirmişlerdir (Bayazıt ve ark., 2016).

Ceviz, dünya genelinde oldukça geniş bir doğal yayılış alanına sahiptir. Tarih boyunca gerçekleşen göçler ve ticaret kervanları sayesinde insanlar aracılığıyla hemen hemen her bölgeye doğal olarak yayılmıştır (Temeltürk, 2024). Orta Asya'nın dağlık bölgelerine özgü bir bitki olarak bilinen cevizin doğal yayılış alanı güneydoğu Avrupa'dan güneybatı Çin'e kadar uzanmaktadır. Dünya üzerinde yetiştirilen en eski sert kabuklu meyvelerden biridir (Özcan, 2009).

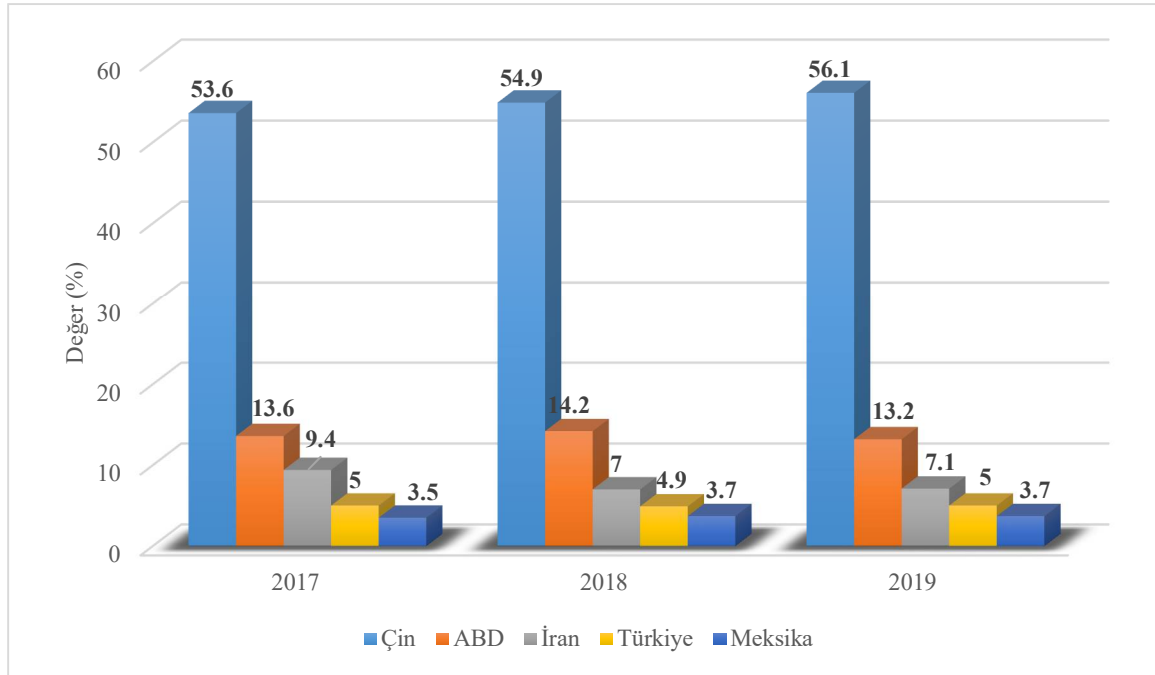
İnsan sağlığı açısından ceviz, içerdiği mineraller, antioksidanlar ve vitaminler sayesinde oldukça önemli bir besin kaynağıdır. Özellikle beyin ve kalp sağlığı için faydalıdır. Ceviz, kalp ve beyin sağlığını artırmak için, çocukluk döneminden itibaren günlük 20–30 gram tüketilmelidir. Araştırmacılara göre her gün ceviz tüketmek; kalp hastalıkları, beyin hastalıkları, kanser türleri, tip 2 diyabet ve diğer sağlık sorunlarına karşı vücudu korumaktadır. Yüksek miktarda balık ve semizotu gibi omega-3 içermesi nedeniyle doğal bir antioksidan kaynağı olan ceviz, bağışıklık sistemini güçlendirmektedir. Öte yandan ceviz meyvesi şekil olarak beyne benzemektedir. Araştırmacılar, cevizlerin beyne benzerliğinden dolayı ceviz tüketen kişilerin Alzheimer gibi beyin hastalıklarına karşı daha dirençli olduğunu öne sürmektedir (Şen and Karadeniz, 2015).

Gıda ve Tarım Örgütü 2019 yılı verileri baz alındığında, ceviz, sert kabuklu meyveler arasında dünya genelinde ekim alanı bakımından %9,3 oranıyla ilk üç de bulunmaktadır. Dünya genelindeki ceviz üretim alanları %48,4 oranında Çin, %11,3 oranında ABD ve %9,5 oranında Türkiye sınırları içerisinde yer almaktadır. Şekil 1.8'de ceviz alanlarına göre önemli ülkeler yer almaktadır.



Şekil 1.8. Ceviz alanları bakımından önemli ülkeler (%)

Ceviz üretim oranlarına bakıldığında, %25,8 ile 1. sırada bulunmaktadır. Ceviz üretimi, 2019'da 2018'e göre ortalama %3,5 oranında artmış ve yaklaşık 4.500.000 ton olmuştur. Şekil 1.9'da ceviz üretimi yapan önemli ülkeler sunulmuştur. En yüksek ceviz üretim oranına sahip ülke Çin'dir. Çin'i, ABD, Türkiye, Meksika ve İran takip etmektedir. Bu ülkeler, dünyada üretilen ceviz miktarının yaklaşık %78'ine sahiptir (Kadakoğlu ve ark., 2022).



Şekil 1.9. Ceviz üretiminde önemli ülkeler (%)

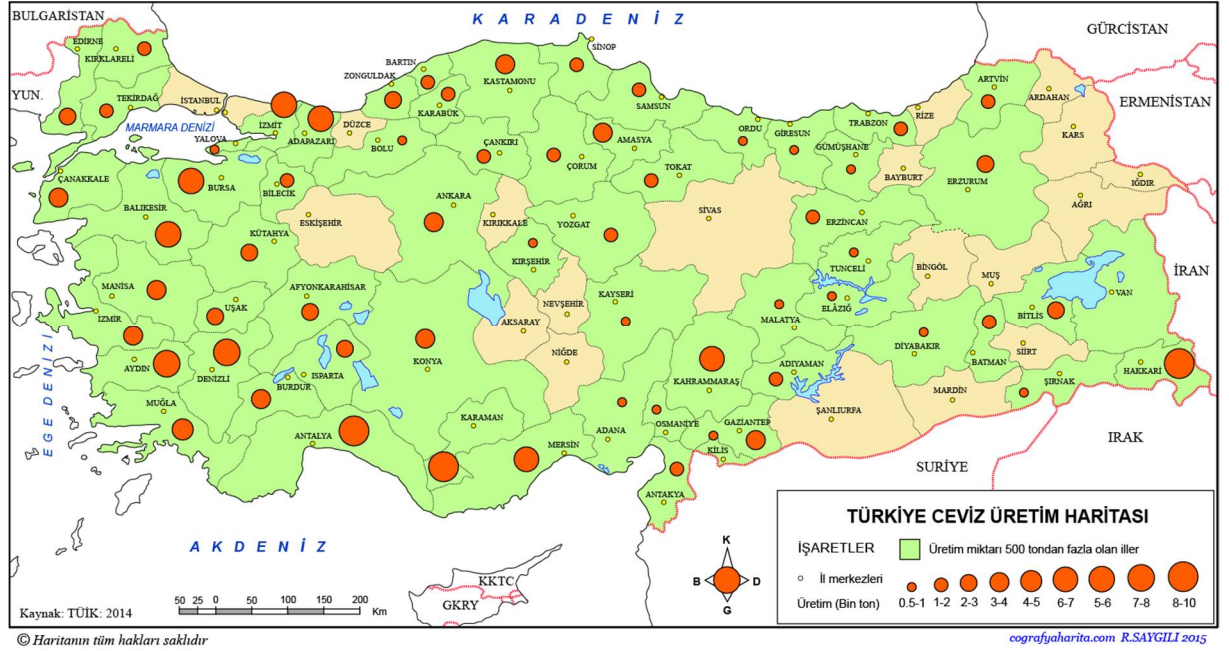
Ceviz üretiminde 1. Sırada yer alan Çin, 2019 yılında ceviz üretimi %5,7 oranında artırarak 2.500.000 tona çıkarmıştır. Bu miktar 2019 yılında dünya çapında üretilen ceviz miktarının %56,1’ie denk gelmektedir. Çin’i 592.000 ton ile ABD takip etmektedir. Ülkemiz, %5,0 oranıyla dünyada en çok ceviz üreten 4. ülke olmuştur.

Ülkemiz 2022/2023 sezonunda 42.000 ton ceviz ihracatı yapmıştır. Bu ihracatın %3’ü AB ülkelerine gerçekleştirilmiştir. Bu dönemde yapılan ceviz ithalatı ise 120.000 tondur. Bu ithalatın %1’i AB ülkelerine aittir. Tablo 1.6’da ülkemizin 2022/2023 sezonunda yapmış olduğu ithalat ve ihracat miktarı verilmiştir.

Tablo 1.6. 2022/2023 sezonu ceviz ithalat ve ihracat miktarı (SKM Raporu, 2024)

Piyasa Yılı	İthalat	İthalat -AB	İhracat	İhracat-AB
2022/23	120.379	754	41.591	1.103
2021/22	92.526	47	34.889	4.322
2020/21	100.095	148	33.747	1.492
2019/20	90.525	408	8.180	857
2018/19	103.345	1.202	30.330	1.350
2017/18	77.382	213	7.185	1.667
2016/17	66.008	1.493	8.167	544
2015/16	63.800	5.173	7.917	60
2014/15	34.285	4.084	8.407	274
2013/14	30.479	2.906	14.171	424

Şekil 1.10'da Türkiye ceviz üretim haritası verilmiştir. Türkiye'de önemli ceviz üreticisi iller arasında ilk sırada Kahramanmaraş bulunmaktadır. Bu ilimizi Antalya, Denizli, Bursa ve Çorum illeri takip etmektedir (Güvenç ve Kazankaya, 2019).



Şekil 1.10. Türkiye'de ceviz üretimi yapan illerin haritası (Web ileti 6)

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 2021 yılında Türkiye'de 325.000 ton ceviz üretilmiştir. 2022 yılı için tahmini üretim 335.000 ton, 2023 yılı için ise 360.000 ton olarak öngörülmüştür (TÜİK, 2023).

2023 yılında ülkemizde ceviz üretiminde önde gelen iller Kahramanmaraş, Bursa ve Bilecik'tir. 2023 yılı itibarıyla Türkiye'de ceviz üretiminde ilk sıralarda yer alan iller sırasıyla Kahramanmaraş (18.330 ton), Bursa (18.018 ton), Bilecik (17.800 ton), Denizli (15.083 ton), İzmir (15.043 ton), Mersin (14.785 ton), Çanakkale (14.711 ton), Balıkesir (14.332 ton) ve Tokat (12.266 ton) olarak belirtilmiştir (TÜİK, 2023).

TÜİK 2017 yılına ait verilerine göre, ülkemizde 260.000 ton ceviz üretimi yapılmıştır. Bu ceviz üretimi yaklaşık 135.000 ton atık ceviz kabuğu anlamına gelmektedir (Sönmez ve ark., 2018).

Ceviz kabukları yapı itibarıyla iki kısımdan meydana gelmektedir. Dışta sert odunsu yapıda bir kabuk ve içte ise bariyer özelliği gören bir zardan meydana gelmektedir. Ceviz kabukları neme ve suya duyarlıdır. Mohs sertlik skalasına göre sertlik değeri 2,5-3,5 arasında değişmekte ve kabukları iğne ve çakı ile çizilenler sınıfına

girmektedir. Ceviz kabuklarının odunsu yapısını oluşturan ve kabuklara dayanım sağlayan lignin kimyasal bileşimde %50,3 oranında bulunmaktadır. Selüloz %23,9 oranıyla ligninden sonra yapıda bulunan en çok ikinci malzeme grubunu oluşturmaktadır. Bunun yanında yapıda selüloz ve lignine ek olarak %22,4 oranında hemiselüloz ve %3,4 oranında ise diğer bileşenler bulunmaktadır. (Adıbelli, 2022).

Her yıl çıkan binlerce ton ceviz kabuğu yakacak olarak tüketilmektedir. Ceviz kabukları ekonomik bir değere sahip olmamaktadır. Ceviz kabuğunun selülozik esaslı olması, göreceli olarak sert bir yapıda olması ve ülkemizde bol miktarda bulunması nedeniyle, termoset ve termoplastik matrisli polimer kompozitlerde dolgu maddesi olarak kullanılabilir. Düşük çevresel etki, geri dönüştürülebilir olması ve proses kolaylığı gibi nedenlerle kompozit malzeme üretiminde kullanılmaktadır (Adıbelli ve ark., 2022).

Ahşaba kıyasla daha düşük miktarlarda higroskopik bileşen ve ceviz kabuklarında daha fazla miktarda hidrofobik bileşen olması nedeniyle, ceviz kabuğu dolgu içeren polimer bazlı kompozit malzemeler, döşeme veya çit gibi yüksek çevresel direnç gerektiren dış mekan ürünlerinde önemli ticari faydalara sahiptir (Jahanban-Esfahlan ve ark., 2019).

Ceviz kabuğu türevi yan ürünlerin olası kullanımları arasında, ağır metaller, tehlikeli bileşikler ve sentetik endüstriyel renkler gibi tehlikeli maddeleri ortadan kaldırmak için tamamen doğal ancak güçlü adsorbanlar bulunmaktadır (Fordos ve ark., 2023).

Polimer kompozitlerin hazırlanmasında ceviz kabuğunun dolgu maddesi olarak kullanılması, son zamanlarda açıklanan olası kullanımlardan biridir. Ceviz kabuğu liflerinin kimyasal bileşimi kül (%3,4), lignin (%50,3), hemiselüloz (%22,4) ve selüloz (%23,9) içerir. Ahşaba kıyasla daha düşük miktarlarda higroskopik bileşen ve ceviz kabuklarında daha fazla miktarda hidrofobik bileşen olması nedeniyle, ceviz kabuğu dolgu içeren polimer bazlı kompozit malzemeler, döşeme veya çit gibi yüksek çevresel direnç gerektiren dış mekan ürünlerinde önemli ticari faydalara sahiptir (Jahanban-Esfahlan ve ark., 2019).

Ayrıca ceviz, tatlılarda, dondurmalarda, pizzada, salatalarda, yoğurtta, kumaş boyalarında ve kınada kullanılmaktadır.

1.4. Pomza

Pomza, birbirine bağılı olmayan boşlukları olan, süngerimsi silikat bazlı, sertlik değeri yaklaşık 6 Mohs olan ve camsı bir doku gösteren volkanik bir maddedir (Madencilik İhtisas Komisyonu, 2000; Turfah, 2021).

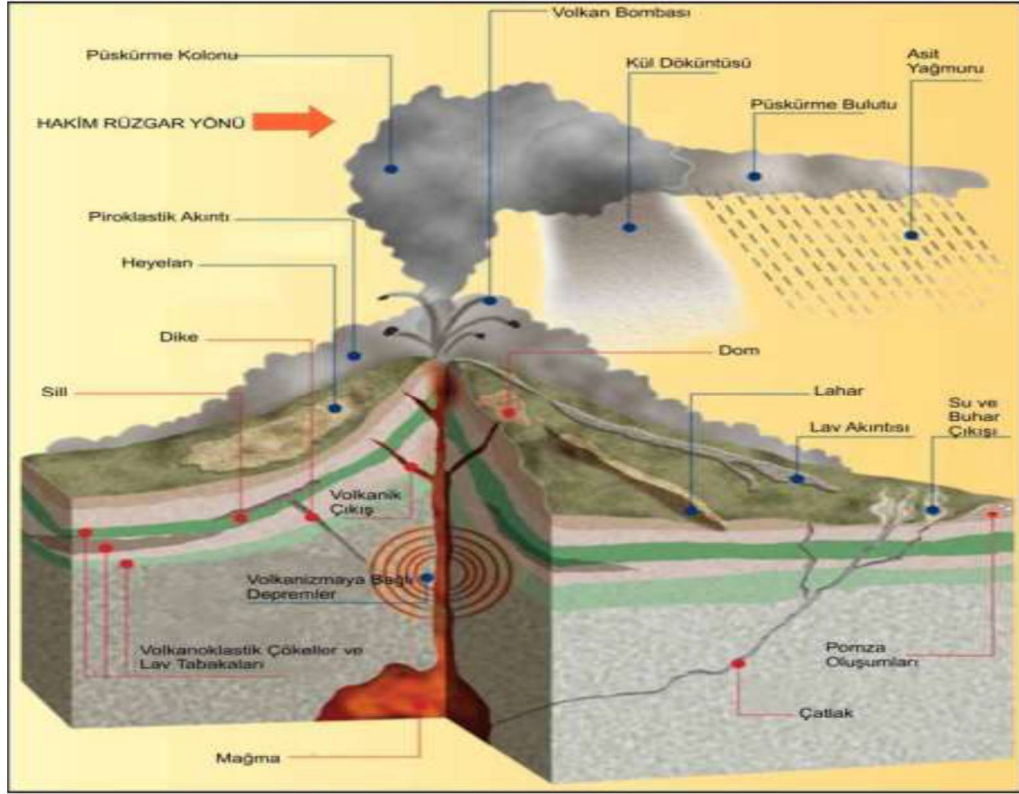
Pomza, patlayıcı volkanizmanın bir ürünü olup, yüksek oranda gözenekli silisli ila mafik cam köpüğünden oluşmaktadır. Pomzanın çoğu $<1,0 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğa sahip olduğundan suya doyana kadar su üzerinde yüzebilmektedir (Manville ve ark., 1998).

Pomza, İtalyancada pomza, Almancada bimsslein, Türkçede pomza olarak isimlendirilmiştir. Literatürde pomza taşı ayrıca pomisit olarak da bilinir. Piroklastik tipte doğal bir puzolandır. Malzeme, çakıl veya daha büyük tanecik boyutlarında ise pomza, kumlu veya daha küçük tanecik boyutlarında ise pomisit olarak adlandırılır (Gündüz, 1998). Pomza taşının tipik bir görünümü Şekil 1.11'de gösterilmiştir.



Şekil 1.11. Pomza (Web iletı 7)

Volkan içerisinde bulunan basıncın yükselmesi sonucu meydana gelen patlamada, magmada bulunan ergimiş gazlar ve asit içerikli maddeler volkan bacasından püskürmektedir (Şekil 1.12). Püskürme anında meydana gelen ani genleşmeler uçucu yapıdaki bileşenleri malzeme bünyesinden uzaklaştırmaktadır. Bu durum kalan malzemede gözenekli yapı oluşturmaktadır. Bu malzeme pomza olarak tanımlanmaktadır (PAUM, 2015).



Şekil 1.12. Pomzanın oluşumu (PAUM, 2015)

Pomza, hafifliği, gözenekli yapısı, yüksek yalıtım kapasitesi ve yüksek puzolanik aktivitesi ile eski bir yapı malzemesidir. Antik Roma ve Yunan dönemlerinde yaygın olarak kullanılan pomzadan yapılan yapılar hala varlığını sürdürmektedir. Şekil 1.13’de eski dönemlere ait pomza ile inşa edilmiş Pantheon, Colosseum, Pompei ve Herculaneum yapıları verilmiştir.



Pantheon

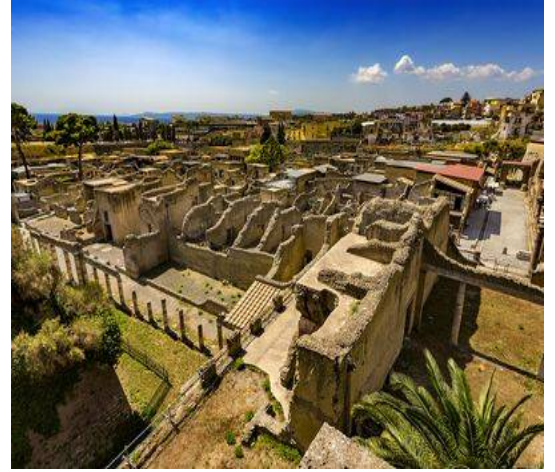


Colosseum

Şekil 1.13. Pomza ile inşa edilmiş eski yapılar



Pompei



Herculaneum

Şekil 1.13. Pomza ile inşa edilmiş eski yapılar

Pomza taşı olduğu magmanın türüne göre sınıflandırılmaktadır. Volkan patlaması sırasında asidik magmanın yeryüzüne ulaştığında, hava ile ani teması sonucunda asidik pomza, bazik magmanın yeryüzüne ulaştığında, hava ile ani teması sonucunda da bazik pomza oluşmaktadır. Asidik magma yoğunluk bakımından bazik magmaya kıyasla daha az olduğu için asidik pomzanın yoğunluğu ($0,35-1 \text{ g/cm}^3$) bazik pomzadan ($1-2 \text{ g/cm}^3$) daha küçüktür. Fiziksel özelliklerine bakıldığında, asidik pomza gri ve tonları, beyaz renge sahipken, bazik pomzanın siyah ya da kahverengi tonlarında olduğu görülmektedir. Asidik pomzanın Si içeriğinin bazik pomzadan daha yüksek olması açık renkte olmasının nedeni olarak görülmektedir (Davraz, 2001). Tablo 1.7’de asidik ve bazik pomzanın kimyasal içeriği sunulmuştur.

Tablo 1.7. Pomzanın kimyasal içeriği (DPT, 2011)

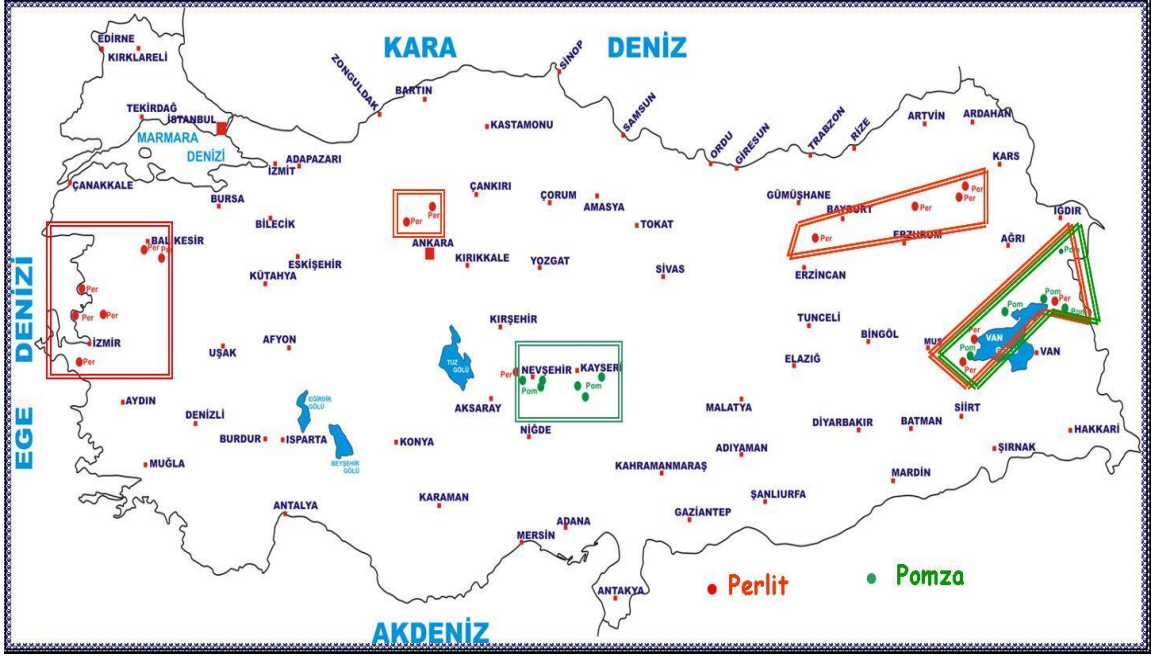
Kimyasal Bileşen (%)	Asidik Pomza	Bazik Pomza
SiO ₂	60-75	45
Al ₂ O ₃	13-17	21
Fe ₂ O ₃	1-3	7
CaO	1-2	11
MgO	0,6	7
Na ₂ O+K ₂ O	7-8	8
TiO ₂	Eser miktarda	Eser miktarda
SO ₃	Eser miktarda	Eser miktarda
Kızdırma Kaybı	3	1

Dünyada varlığı resmileşen 18.000.000.000 ton pomza rezervi bulunmaktadır. Şekil 1.14'de de görüldüğü gibi, pomza yataklarının en yoğun olduğu ülkeler ABD, Türkiye ve İtalya'dır. Pomza üretimi bakımından değerlendirildiğinde ise Türkiye ve İtalya ilk sıralarda yer almaktadır. Bu üç ülke dışında Yunanistan, Almanya, İran, Meksika, Suriye, Fransa, Şili, İzlanda ve Suudi Arabistan takip etmektedir. Bu ülkelere son zamanlarda Çin, Endonezya, Yeni Zelanda ve Kanada da eklenmiştir (Bims Sanayiciler Derneği, 2006; Crangle, 2013).



Şekil 1.14. Pomza rezervi bulunan ülkeleri gösteren harita (Ahiler Kalkınma Ajansı)

Ülkemizde yaklaşık 3.000.000.000 ton pomza rezervi bulunmaktadır. Bu rezerv dünya pomza rezervlerinin %20'sine tekamül etmektedir (Varol, 2024). Şekil 1.15'de Türkiye'de bulunan perlit ve pomza rezervlerinin haritası verilmiştir. Haritada Yeşil renk ile işaretlenen bölgeler pomza rezervlerinin yoğun olduğu yatakları göstermektedir.



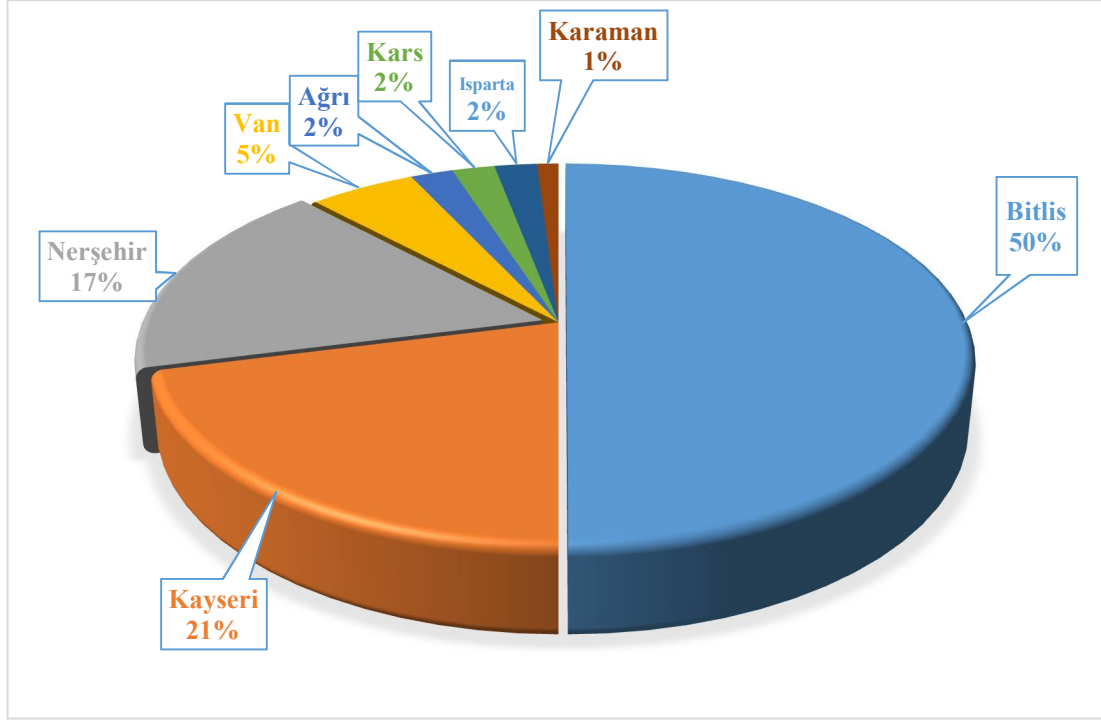
Şekil 1.15. Perlit ve pyatakları haritası

Tablo 1.8’de Türkiye’de pomza rezerv miktarları verilmiştir. Tabloya göre, Türkiye’de bulunan rezervlerin 1.310.000.000 tonu Tatvan-Ahlat (Bitlis) bölgesinde, yaklaşık 500.000.000 ton da Ürgüp-Avanos(Nevşehir) bölgesinde bulunmaktadır (Erkoyun, 2005). Kayseri, Van ve Ağrı illerinde de önemli miktarlarda pomza rezervi bulunmaktadır.

Tablo 1.8. Ülkemizde pomza rezerv yeri ve miktarı (Ton) (Varol, 2024)

Rezerv Yeri	Miktar
Bitlis-Tatvan	1.100.000.000
Bitlis-Ahlat	210.000.000
Nevşehir-Avanos-Ürgüp	400.412.834
Kayseri-Talas-Tomarza	525.000.000
Kayseri-Gömeç	13.250.000
Derinkuyu	48.660.500
Van-Erciş-Kocapınar	154.625.000
Van-Mollakasım	5.950.000
Ağrı-Patnos	27.812.000
Ağrı-Doğubeyazıt	26.875.000
Kars-Iğdır-Kavaktepe	40.156.250
Kars-Digor	11.718.750
Kars-Sarıkamış	1.875.000
Ankara-Güdül-Tekköy	8.070.000
Isparta-Gölcük	30.983.250

Toplam rezervin il bazında dağılım grafiği Şekil 1.16'da verilmiştir. Grafiğe göre en yüksek oran %50 ile Bitlis ve çevresine aittir. Bitlis'i %21 ile Kayseri ve %17 ile Nevşehir takip etmektedir. En düşük oran ise %1 ile Karaman ve çevresine aittir.



Şekil 1.16. Pomza dağıllım oranları

Pomza gerek dünyada gerekse ülkemizde birçok alanda kullanılmaktadır. AŞağıda pomzanın inşaat, tekstil, tarım, ve kimya sektörlerinde kullanımı verilmiştir.

✚ İnşaat Sektöründe Kullanım

- ✓ Hafif beton üretiminde agrega olarak
- ✓ Hafif tuğla retimi
- ✓ Hafif yapı bileşenleri
- ✓ Prefabrik yapı ve bileşenleri
- ✓ çatı kaplama işlemleri
- ✓ Hafif sıva ve harç üretimi
- ✓ çatı kaplama malzemesi retimi
- ✓ Dekoratif kaplama malzemesi retimi
- ✓ Yol zeminlerinde dolgu malzemesi olarak (Dündar, 2016)

✚ Tekstil Sektöründe Kullanım

- ✓ Tekstil ürünlerinin renklerinin ağartılmasında
- ✓ Sert tekstil ürünlerinin yumuşatılmasında

✚ Tarım Sektöründe Kullanım

- ✓ Toprak neminin dengelenmesinde
- ✓ Kök gelişimine uygun olmayan toprakların ıslah edilmesinde
- ✓ Topraksız tarım uygulamalarında (Sezgin ve ark., 2005).

✚ Kimya Sektöründe Kullanım

- ✓ Tarım ilacı üretiminde
- ✓ Kibrit sektöründe taşıyıcı
- ✓ Gübrelerin topaklaşmasını önlemede
- ✓ Diş macunu üretiminde
- ✓ Temizlik ürünlerinin üretiminde
- ✓ Bazı özel boyaların üretiminde (Yazıcıoğlu ve ark., 2003).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, pirinç kabuğu külü ve ceviz kabuklarının tuğla üretiminde kullanımı üzerine yapılan 2020 yılı sonrası akademik çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiş, özeti başlıklar halinde sunulmuştur.

2.1. Tuğla Üretiminde Pirinç Kabuğu Külü Kullanımı ile İlgili Çalışmalar

Rashid ve Mawra (2026), yapmış olduğu çalışmada, pirinç kabuğu küllü tuğlalarının avantajlarını ve gelecekteki kullanım zorluklarını özetlemektedir. Çalışma sonucunda, pirinç kabuğu külü (RHA), yüksek reaktif silika içeriği sayesinde yapı malzemelerinde kullanılmaya uygundur ve geopolimerleşme yoluyla mekanik ve fiziksel özellikleri iyileştirmektedir. RHA ile üretilen sürdürülebilir tuğlalar, yüzey aşınması ve asit etkilerine karşı dirençli olup ticari kullanıma uygundur. Ancak donma-çözülme sırasında dayanım kaybı önemli bir sorun olmaktadır. Düşük ısı iletkenliği sayesinde enerji verimli bina kabukları oluşturmaktadır.

Phonphuak, ve ark. (2026) yapmış oldukları bu çalışma, geleneksel kil tuğla üretiminde doğal kaynak tüketimi ve sera gazı emisyonlarını azaltmak amacıyla atık cam ve tarımsal yan ürünlerin kullanımını incelemektedir. Atık cam, yüksek silika içeriği ve ergime özellikleri sayesinde pişirme sırasında enerji tüketimini düşürürken; şeker kamışı posası külü, pirinç kabuğu külü, hindistancevizi kabuğu tozu ve talaş gibi tarımsal atıklar gözeneklilik oluşturarak tuğlaların hafifliğini ve ısı yalıtımını artırmaktadır. Deneysel çalışmalar, %30'a kadar atık katkısının mekanik, termal ve çevresel performansı koruyabildiğini veya iyileştirebildiğini göstermektedir. Ayrıca atık ilavesinin mikro yapısal ve mineralojik etkileri, malzeme değişkenliği ve üretim koşulları ile ilgili zorluklar tartışılmaktadır. Bu yaklaşım, döngüsel ekonomi ilkeleri ile uyumlu olup tuğla üretiminin çevresel etkilerini azaltmayı hedeflemektedir.

Booth ve ark. (2025) yapmış olduğu bu çalışma, pirinç kabuğu külünün (RHA) seramik tuğla üretiminde sürdürülebilir bir katkı maddesi olarak kullanımını incelemiştir. Arjantin'in Chaco bölgesinden elde edilen RHA'nın DTA/TG ve XRD analizleri, RHA içeriği arttıkça amorf fazın azaldığını ve başlıca kuvars ve albittan oluşan kristalin fazların arttığını göstermiştir. RHA ilavesi poroziteyi %25'ten %40'a çıkarırken, teorik yoğunluk sabit kalmıştır. Mekanik testler, elastik modülün (5% RHA için 72,76 GPa, 15% RHA için 71,74 GPa) ve kırılma modülünün (5% RHA için 8,5 MPa, 30% RHA için 5 MPa) azaldığını göstermiştir. Elastik modülü tahmin eden modeller arasında DEM modeli en

doğru sonuçları vererek %1,43'lük göreceli hata ile öne çıkmıştır. Porozite ile mekanik özellikler arasındaki ilişkiyi incelemek için çeşitli teorik modeller kullanılmış ve DEM modeli özellikle elastik modül ve kırılma modülünü açıklamada etkili bulunmuştur. Mekanik özelliklerdeki düşüşe rağmen, %15'e kadar RHA içeren tuğlalar yapısal olmayan uygulamalarda kullanılabilir ve tarımsal atığı değerli bir yapı malzemesine dönüştürerek döngüsel ekonomi yaklaşımı sunmaktadır.

Banaba ve ark. (2025) yapmış oldukları bu deneysel çalışma, pirinç kabuğu ilavesinin kilden üretilen bio-temelli tuğlaların mekanik, higrotermal ve akustik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Silisli ve kalkerli iki farklı toprak türü %1, %2 ve %3 pirinç kabuğu ile karıştırılarak tuğlalar üretilmiştir. Pirinç kabuğunun etkisi, toprakların mineralojik ve granulometrik özelliklerine bağlı olarak değişmiştir. En belirgin iyileşmeler higrotermal performansta görülmüş; %3 kabuk ilavesiyle kalkerli toprakta ısı iletkenliği %35, silisli toprakta %20 azalarak izolasyon kapasitesi artmıştır. Özgül ısı kapasitesi ve nem dengeleme kapasitesi de artmıştır. Mekanik olarak, silisli toprakta %1 kabuk ile basınç dayanımı hafifçe artarken, kalkerli toprakta %3 kabuk ile sınırlı bir iyileşme görülmüştür. Akustik performans tüm örneklerde düşük kalmış, makro porozitenin sınırlılığı nedeniyle kazanç minimal olmuştur. Bulgular, toprak bileşiminin pirinç kabuğu dozajını optimize etmede kritik olduğunu ve özellikle termal olarak zorlu ortamlarda pirinç kabuğu katkılı harman tuğlaların potansiyelini göstermektedir.

Cansee ve ark. (2025), yaptıkları bu çalışma, geleneksel tuğla fırınlarında enerji verimliliğini artırmak için pirinç kabuğu külü (RHA) ve odun külü (WA) kullanımını araştırmıştır. Tarımsal ve biyokütle yakma süreçlerinin yan ürünü olan bu malzemeler düşük maliyetli, yüksek gözeneklilik ve düşük ısıl iletkenlik özellikleri ile fırın duvarı izolasyonu için uygundur. Ölçeklenmiş açık üstlü aşığı akışlı fırınlarda yapılan deneyler, farklı duvar kalınlıkları ve sıkıştırma seviyelerindeki ısıl performansı değerlendirmiştir. Sonuçlar, özellikle 15 cm gevşek dolgu WA'nın en düşük ısı kaybı (23,24 MJ) ve en yüksek termal verim (54,42 %) sağladığını, kontrole kıyasla %15,09 iyileşme gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu yöntem ayrıca tuğla başına enerji maliyetini 0,00487'den 0,00414 USD'ye düşürerek yıllık 588 USD yakıt tasarrufu ve yaklaşık 1,5 yıllık geri ödeme süresi sağlamaktadır. RHA ve WA kullanımı, atık azaltımı, doğal izolasyon malzemelerine bağımlılığın düşürülmesi ve CO₂ emisyonlarının yılda yaklaşık 750 kg azaltılması gibi çevresel faydalar da sunmaktadır. Bulgular, küçük ölçekli ve bölgesel

fınlarda uygulanabilir, ekonomik ve çevresel açıdan sürdürülebilir bir izolasyon stratejisi olduğunu göstermektedir.

Singh ve ark. (2025) yapmış oldukları bu çalışmada, doğal kil kaynaklarının tükenmesine bağlı çevresel sorunlara çözüm olarak, tarımsal atık olan pirinç samanı külünün kil esaslı tuğlalarda kullanımı deneysel olarak incelenmiştir. Kil içeriği ağırlıkça %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında kül ile ikame edilerek üretilen tuğlaların fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özellikleri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, %2 ve %4 kül ilavesinin basınç dayanımını sırasıyla %22,25 ve %43,82 oranında düşürmesine rağmen, tuğlaların IS 3495 ve IS 1077:1992 standartlarına göre birinci ve ikinci sınıf tuğla gerekliliklerini sağladığını göstermiştir. SEM ve XRD analizleriyle desteklenen mikroyapı incelemeleri, elde edilen bulguları doğrulamış ve bu tuğlaların yapı uygulamalarında kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Kerber ve ark. (2025), yapmış oldukları çalışmada, çelik külçe dökümünde kullanılmak üzere preslenmiş pirinç kabuğu külü (RHA) esaslı altlıkların, alev püskürtme yöntemiyle uygulanan kimyasal olarak inert seramik bir bariyerle kaplanmasına dayalı yenilikçi bir malzeme konsepti sunulmuştur. RHA altlık üzerine alev püskürtme alümina kaplama uygulanmış ve RHA'nın kristobalit faz dönüşümünden kaynaklanan doğrusal olmayan ısıl genişmesini dengelemek amacıyla Al_2O_3-C ara tabakası geliştirilmiştir. Bu ara tabaka, ısıl genişleme uyumsuzluğunu başarıyla tolere ederek kaplama çatlaklarını önlemiştir. Geliştirilen koşucu tuğla prototipleri, 1600 °C'de çelik ergiyiği ile gerçekleştirilen döküm deneylerinde yapısal bütünlüğünü korumuş, sızıntı veya kaplama ayrılması gözlenmemiştir. Ayrıca, metalik olmayan inklüzyon analizleri, referans ateş kil esaslı malzemelerle karşılaştırıldığında olumsuz bir etki olmadığını göstermiştir.

Royani ve ark. (2025), yapmış oldukları çalışmada, düşük yoğunluklu yeni bir malzeme olarak pirinç kabuğu külü atığı ve alümina macunu kullanılarak üretilen hafif beton tuğla kompozitlerinin performansı değerlendirilmiştir. İnce kumun ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranlarında pirinç kabuğu külü ile ikame edildiği dört karışım ile kül içermeyen bir referans karışım hazırlanmıştır. Tüm karışımlara, köpürtücü ajan olarak toplam malzeme ağırlığının %5'i oranında alümina macunu eklenmiştir. Üretilen hafif beton tuğlaların yoğunlukları 500 kg/m^3 'ün altında, ısı iletkenlikleri ise $0,094 \text{ W/mK}$ olarak belirlenmiştir. En yüksek basınç dayanımı $3,35 \text{ MPa}$ değeri ile %5 pirinç kabuğu külü içeren numunede elde edilmiştir. Numunelerde boyutsal açıdan anlamlı bir şekil

değişimi gözlenmemiş ve tüm karışımların su emme oranları %25'in altında kalmıştır. Sonuç olarak, pirinç kabuğu külü atığının hafif beton tuğlalarda ince agrega olarak kullanımı, çevresel açıdan sürdürülebilir ve uygulanabilir bir geri dönüşüm yöntemi olarak değerlendirilmiştir.

Oli ve ark. (2025) yapmış oldukları çalışmada, pirinç kabuğu külünün (PKK) tuğla üretiminde kil yerine kısmi ve sürdürülebilir bir ikame malzemesi olarak kullanımı araştırılmış; sanayi kaynaklı atık yönetimi sorunlarına çözüm sunulması ve döngüsel ekonomi yaklaşımının desteklenmesi amaçlanmıştır. Ağırlıkça %0, %5, %7, %9, %11, %13 ve %15 PKK içeren yedi farklı tuğla karışımı üretilmiş ve basınç dayanımı, su emme, büzülme ve çiçeklenme deneyleri ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar, %5 PKK içeren tuğlaların 4,82 MPa basınç dayanımı ile geleneksel kil tuğlalara kıyasla yalnızca %5,3'lük bir dayanım kaybı gösterdiğini ve NBC 109–1994 standartlarını sağladığını ortaya koymuştur. PKK oranının artmasıyla su emme oranı %22,81'den %38,65'e yükselmiş, bu durum geçirgen altyapı uygulamaları için potansiyel oluşturmuştur. Maksimum PKK içeriğinde büzülmenin %51,3 oranında azalması, külün plastik olmayan yapısı sayesinde boyutsal kararlılığın önemli ölçüde arttığını göstermiştir. Çalışma kapsamında, PKK katkılı tuğlalar performanslarına göre %0–5 taşıyıcı, %5–7 taşıyıcı olmayan bölme ve %9–15 geçirgen kaplama ile ısı yalıtım uygulamaları olmak üzere üç kullanım sınıfında değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, PKK kullanımının tarımsal atıkları katma değerli yapı malzemelerine dönüştüren, çevresel etkileri azaltan ve yapı malzemeleri sektöründe döngüsel ekonomiyi destekleyen teknik olarak uygulanabilir bir yaklaşım olduğunu ortaya koymaktadır.

Abbass ve Akhai (2025) yapmış oldukları çalışmada, sürdürülebilir yapı malzemeleri geliştirmek amacıyla pirinç kabuğu külü (RH) ve şeker kamışı posası külü (SB) gibi endüstriyel tarım atıkları kullanılarak geopolymer tuğlalar üretilmiştir. RH'nin düşük alümina içeriği, SB ile ikame edilerek Si/Al dengesi sağlanmıştır. Numuneler farklı NaOH molaritelerinde hazırlanmış ve 7, 28 ve 90 gün kürlenmiştir. En yüksek basınç dayanımı 16 M NaOH konsantrasyonunda elde edilmiştir. Si/Al oranı 2:1 olan numuneler, 90 gün sonunda 1:1 ve 3:1 oranlarına kıyasla daha yüksek basınç dayanımı göstermiştir. Üretilen geopolymer tuğlalar ASTM C62 ve ilgili Mısır standartlarını karşılamaktadır. Bulgular, tarımsal atıkların çimento kullanımını azaltan, çevre dostu ve sürdürülebilir yapı malzemeleri için önemli bir alternatif olduğunu ortaya koymaktadır.

Mustapha ve ark. (2025) yapmış oldukları çalışma, bağlayıcı olarak çimento ve pirinç kabuğu külü (RHA), lif donatısı olarak ise pirinç kabuğu (RH) kullanılan pişirilmemiş kil tuğlaların üretimini incelemektedir. Çevre dostu yapı malzemelerine olan ihtiyaç, çimento üretiminin küresel CO₂ emisyonlarının %7–8’ini oluşturması ve pişmiş kil tuğlaların yüksek enerji gereksinimi nedeniyle sürdürülebilir olmaması nedeniyle giderek artmaktadır. Çalışmada RHA ve çimento oranı sabit (%10 hacim) tutulurken, RH lif içeriği %0–25 hacim aralığında değiştirilmiştir. Numuneler toplam 28 gün süreyle kurutma ve kür işlemine tabi tutulmuştur. Mekanik deneyler, %5 RH lif içeriğinde en iyi performansın elde edildiğini ve 7 MPa basınç dayanımı, 2,1 MPa eğilme dayanımı ve 2,15 MPa \sqrt{m} kırılma tokluğu sağlandığını göstermiştir. Daha yüksek lif oranlarında mekanik özelliklerde düşüş gözlenmiştir. Sonuç olarak, RH lif takviyeli pişirilmemiş kil tuğlaların hafif, dayanıklı ve çevresel açıdan sürdürülebilir yapı malzemeleri için uygun olduğu belirlenmiştir.

Nagaraji ve ark. (2024) yapmış oldukları çalışma, pirinç kabuğu külü (PKK) kullanılarak üretilen sürdürülebilir jeopolimer tuğlaların, geleneksel pişmiş kil tuğlalara çevre dostu bir alternatif olup olmadığını incelemektedir. Tarımsal bir atık olan PKK’nın alüminosilikat kaynağı olarak değerlendirilmesiyle, düşük enerji tüketimine ve daha az karbon salımına sahip jeopolimer tuğlalar üretilmiştir. Çalışmada, bu tuğlaların basınç dayanımı, su emme kapasitesi ve dayanıklılık özellikleri analiz edilerek standart pişmiş kil tuğlalarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, PKK esaslı jeopolimer tuğlaların yeterli mekanik performans sergilediğini ve üretim sürecinde fırınlama gerektirmemesi sayesinde çevresel etkileri önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Bu bağlamda, PKK kullanımı hem atık yönetimi hem de sürdürülebilir yapı malzemeleri geliştirilmesi açısından umut verici bir çözüm sunmaktadır.

Franpati ve ark. (2024) yapmış oldukları çalışmada, tarımsal bir atık olan pirinç kabuğu külü (PKK) kullanılarak pişirme işlemi gerektirmeyen pres tuğlalar üretmek ve bu tuğlaların çevresel etkilerini azaltma potansiyelini araştırmayı amaçlamışlardır. Çalışmada, Deli Serdang Bölgesi’ndeki 15 alt bölgeden temin edilen pişmiş tuğlalar ile PKK katkılı ve katkısız pişirilmemiş tuğlalar karşılaştırmalı olarak fiziksel ve mekanik özellikler açısından incelenmiştir. Sonuçlar, her iki tuğla türünün de su emme ve tuz içeriği bakımından SNI 15-2094-2000 standardını sağladığını göstermektedir. Boyutsal uygunluk açısından pişirilmemiş tuğlaların tamamı standardı karşılarken, pişmiş

tuğlalarda bu oran daha düşük bulunmuştur. Basınç dayanımı testlerinde ise pişirilmemiş tuğlalar standardı sağlarken, pişmiş tuğlalar ile pirinç kabuğu külü ilaveli pişirilmemiş tuğlaların dayanım değerlerinin standart sınırların altında kaldığı tespit edilmiştir. Bulgular, çevresel açıdan avantajlı olan pişirilmemiş tuğlaların, uygun dayanım sağlandığı durumlarda sürdürülebilir bir yapı malzemesi alternatifi sunabileceğini ortaya koymaktadır.

Pandey ve ark. (2024) yaptıkları çalışmada, Kömür madeni örtü tabakası atığı (MW), kırmızı çamur (RM) ve pirinç kabuğunun (RH) birlikte kullanımıyla IS:2042 standardına uygun yalıtım tuğlalarının üretilebilirliği araştırılmıştır. MW ve RH tane boyutu, MW:RM oranı, sinterleme sıcaklığı ve RH miktarının tuğlaların fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Sinterleme sırasında oluşan albit, demir silikat, piropo ve yerinde oluşan mullit fazları, alkali ve ağır metallerin yapıda tutulmasını sağlayarak düşük pH ve iletkenlik değerleriyle çevresel güvenliği doğrulamıştır. Üretilen tuğlalar %16,4–57,2 gözeneklilik, 6,51–34,2 MPa basınç dayanımı ve 0,37–0,67 W/mK ısı iletkenlik değerleri göstermiştir. Sonuçlar, MW'nin ana hammadde, RM'nin katkı ve RH'nin yalıtım performansını artırıcı bileşen olarak başarıyla kullanılabilceğini ve yaklaşımın sürdürülebilir, döngüsel atık yönetimine katkı sunduğunu ortaya koymaktadır.

Kalpana ve ark. (2024) yapmış oldukları çalışmada, şeker kamışı posası külü, pirinç kabuğu külü, plastik atık tozu ve belediye atık su çamurunun tuğla üretiminde kil yerine kullanım potansiyeli deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel sonuçları, plastik atık tozu içeren şeker kamışı posası külü tuğlalarının, geleneksel tuğlalara kıyasla daha yüksek basınç dayanımı ve daha düşük su emme değerleri sergilediğini göstermiştir. Söz konusu tuğlaların ortalama basınç dayanımı 9,03–9,81 N/mm² olup, Hindistan standartlarında öngörülen yapı tuğlası gerekliliklerini karşılamaktadır. Su emme oranlarının %20'nin altında olması, bu tuğlaların hem taşıyıcı hem de taşıyıcı olmayan yapılarda birinci ve ikinci sınıf tuğla olarak kullanılabilceğini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, bu yaklaşım atıkların yapı malzemesi olarak değerlendirilmesini teşvik ederek sürdürülebilir ve çevreci bir inşaat pratiğine katkı sağlamaktadır.

Onyenokporo ve ark. (2024), çalışmada tropikal iklimlerde pirinç kabuğu külü (RHA) içeren yığma duvar bloklarının bina enerji performansına etkisini, geleneksel yığma bloklarla karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Deneysel çalışmalar ve bina enerji simülasyonları birlikte kullanılmış; %5, %10 ve %15 RHA katkılı üç farklı blok türü

değerlendirilmiştir. Sonuçlar, özellikle %15 RHA içeren blokların dış duvarlardan kaynaklanan güneş ısı kazançlarını önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Bu azalma, tek katlı ve dubleks binalarda soğutma yükleri ile karbon emisyonlarında kayda değer düşüşler sağlamıştır. Çalışma, atık malzeme kullanımının bina enerji verimliliğini artırma ve döngüsel ekonomiyi destekleme potansiyelini ortaya koymaktadır.

Bose ve Ghosh (2024) yaptıkları bu çalışmada, atık bir malzeme olan pirinç kabuğu ham formda kullanılarak, uçucu kül ve çimento ile karıştırılmış hafif tuğlalar üretmişlerdir. Farklı oranlarda pirinç kabuğu, çimento ve uçucu kül içeren numunelerin basınç dayanımı, gözeneklilik ve diğer mekanik özellikleri deneysel olarak incelemişlerdir. Elde edilen veriler, farklı karışım oranları için basınç dayanımını öngörebilen bir model ile değerlendirmişlerdir. Pirinç kabuğu oranı arttıkça tuğla ağırlığının azaldığı ve %12 kabuk içeriğinde standart uçucu kül tuğlalarına kıyasla ağırlığın %45'e kadar düştüğü görmüşlerdir; buna karşın gözeneklilik arttığını tespit etmişlerdir. Pirinç kabuğu katkılı tuğlaların maliyetinin, standart uçucu kül ve pişmiş kil tuğlalardan daha düşük olduğunu tahmin etmişlerdir. Yüksek gözeneklilik ve silis bakımından zengin yapı, ısı iletkenliğini azaltarak bu tuğlaları özellikle yüksek katlı ve yeşil binalar için uygun hale getirmekte olduğunu ve süreçte yakma işlemi bulunmadığından, düşük karbon ayak izine sahip olduğunu vurgulamışlardır.

Onyenokporo ve ark. (2023) yaptıkları bu çalışma, tropikal iklimlerde bina kabuğunun enerji verimliliğini artırmak amacıyla, pirinç kabuğu külü (RHA) katkılı çimento esaslı yığma blokların ısı performansını incelemiştir. Deneysel çalışmada, Portland çimentosunun ağırlıkça %5, %10 ve %15'i RHA ile ikame edilmiş ve numunelerin ısı iletkenliği ile ısı geçirgenlik katsayıları (U-değeri), BS EN ISO 8990 ve 9869 standartlarına uygun olarak ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar, tüm RHA katkılı numunelerde U-değeri ve ısı iletkenliğinde %17'ye varan azalma olduğunu göstermiştir. En düşük U-değeri, kontrol numunesine kıyasla 3,04 W/m²K ile %15 RHA içeren bloklarda elde edilmiştir. Bulgular, RHA katkılı yığma blokların tropikal ülkelerde dış duvar uygulamalarında bina enerji tüketimini ve CO₂ emisyonlarını azaltma, aynı zamanda iç mekân ısı konforunu iyileştirme potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Panennungi ve ark. (2023) yaptıkları bu çalışmada, Endonezya'da yaygın olarak ortaya çıkan pirinç kabuğu külünün (RHA) tuğla üretiminde katkı malzemesi olarak

kullanımının, basınç dayanımı ve su emme özelliklerine etkisi incelenmiştir. Tuğlalar, %0–%15 aralığında farklı RHA oranlarıyla üretilmiş ve sonuçlar Endonezya Standardı SNI 15-2094-2000'e göre değerlendirilmiştir. Bulgular, RHA ilavesinin basınç dayanımını düşürdüğünü, buna karşılık su emme oranını önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. RHA katkılı tuğlalar basınç dayanımı açısından standardı karşılamazken, %5 ve %10 RHA içeren numuneler su emme kriterleri bakımından standartlara uygun bulunmuştur.

Dinesh ve ark. (2023) yaptıkları bu çalışmada, tarımsal bir atık olan pirinç kabuğu külünün (RHA) tuğla üretiminde hammaddeye alternatif olarak kullanımının tuğla kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. %0–%20 aralığında ve %5 artışlarla RHA içeren tuğlalar üretilmiş, farklı sürelerde fırınlanarak basınç dayanımı ve su emme özellikleri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, RHA oranının artmasıyla basınç dayanımının azaldığını ve su emme oranının genel olarak arttığını göstermiştir. En yüksek basınç dayanımı 5% RHA içeren tuğlalarda elde edilirken, su emme oranında da aynı oranda iyileşme gözlenmiştir. Bulgular, RHA katkılı tuğlaların çevresel etkileri azaltma ve sürdürülebilir yapı malzemeleri geliştirme açısından potansiyel sunduğunu ortaya koymaktadır.

Rahman ve ark. (2023) yaptıkları bu çalışmada, içme suyu arıtma çamurundan (DWS) üretilen tuğlalarda pişirme sıcaklığı ve pirinç kabuğu külü (RHA) içeriğinin mekanik özellikler üzerindeki etkisi incelenmiştir. %100 DWS (DWS100) ve %80 DWS–%20 RHA (DWS80) içeren iki farklı tuğla türü üretilmiş; numuneler 300 °C ve 700 °C'de üç saat süreyle pişirilmiş, pişirilmemiş örnekler referans olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, artan pişirme sıcaklığıyla birlikte tuğlaların hacim değişimi, yoğunluk ve su emme davranışlarının önemli ölçüde değiştiğini göstermiştir. RHA katkılı tuğlaların yoğunluğu daha düşük bulunurken, su emme oranı yüksek sıcaklıklarda beklenenin aksine artmamıştır. Basınç dayanımı sıcaklık artışıyla yükselmiş, ancak RHA ilavesinin dayanımı genel olarak düşürdüğü belirlenmiştir. Bulgular, pişirme sıcaklığının tuğla performansında belirleyici bir parametre olduğunu ve RHA'nın özellikler üzerinde hem olumlu hem de sınırlayıcı etkiler oluşturduğunu ortaya koymaktadır.

Ani ve Nahid (2023) yaptığı bu çalışmada, Sylhet Kil Tuğlalarına pirinç kabuğu külü (RHA) ilavesinin etkisi incelenmiş ve tuğla üretiminde ideal RHA oranı belirlenmeye çalışılmıştır. Tuğlalar, kilin %5–20'si RHA ile ikame edilerek üretilmiş ve su emme, basınç dayanımı, çekme, yoğunluk ve ısı özellikler ölçülmüştür. Sonuçlar, su

emme oranının RHA arttıkça yükseldiğini, en düşük su emmesinin %17,8 ile %5 RHA tuğlada, en yüksek su emmesinin %21,33 ile %20 RHA tuğlada olduğunu göstermiştir. En yüksek basınç dayanımı 5% RHA tuğlada 8,401 N/mm², en yüksek yoğunluk 1676,4 kg/m³ ve en yüksek ısı iletkenliği 0,584 W/m·K olarak bulunmuştur. Çekmede ise tüm RHA tuğlalarında önemli bir değişim gözlenmemiştir (%14,28). Bulgular, kil ile karıştırıldığında %5 RHA'nın optimal oran olduğunu ve tuğlaların birinci, ikinci ve üçüncü sınıf kullanımında güvenle uygulanabileceğini göstermektedir.

Setiawan ve ark. (2023) yaptıkları çalışmada, mekanik dayanımı artırılmış yüksek kaliteli kırmızı tuğlalar üretmek amacıyla pirinç kabuğu külü (RHA) katkısı incelenmiştir. Tuğlalar, Endonezya Sanayi Standardı SII-002-78 M-6'ya uygun olarak %5, %10, %15 ve %20 RHA ile üretilmiş ve basınç dayanımı ölçülmüştür. Ortalama basınç dayanımı değerleri sırasıyla 13,68; 11,87; 11,08 ve 6,36 kg/cm² olarak bulunmuştur. Sonuçlar, düşük RHA oranlarının tuğlaların dayanıklılığını koruduğunu, ancak yüksek RHA oranlarında kil ve kül arasındaki bağ zayıflıkları nedeniyle çatlama ve kırılmalar meydana geldiğini göstermiştir. En iyi mekanik performans %5 RHA içeren tuğlada elde edilmiştir.

Fernando ve ark. (2022a) yaptıkları çalışmada, atık malzemelerden üretilen alkali aktive edilmiş tuğlalar, Portland çimentosu (PC) tuğlalarının yerine alternatif olarak incelenmiştir. %20 pirinç kabuğu külü (20RHA) ve uçucu kül karışımli tuğlaların mekanik ve dayanıklılık özellikleri değerlendirilmiş, 100% PC tuğlalarla karşılaştırılmıştır. 20RHA tuğlalar, 28 günde yaklaşık 17 MPa basınç dayanımı göstermiş ve yüksek çekme dayanımı sergilemiştir; bu, bağlayıcı ve agrega arayüzündeki güçlü bağlanmaya bağlanmıştır. Mikro yapısal incelemede, 20RHA tuğlalar arayüz geçiş bölgesinde (ITZ) daha güçlü bağ göstermiş, kırılma eğilimi agrega üzerinden gerçekleşmiştir. 20RHA tuğlalar, düşük kapiler emilim ve yüksek gözeneklilik nedeniyle ilk su emme oranı açısından PC tuğlalardan daha iyi performans göstermiştir. Ancak, yüksek Na₂O/Al₂O₃ oranı ve sodyum iyonlarının çözünürlüğü nedeniyle nemli ortamda efloresans oluşumuna daha duyarlıdır.

Fernando ve ark. (2022b) yaptıkları çalışmada, düşük kalsiyumlu uçucu kül ve %20 pirinç kabuğu külü (20RHA) kullanılarak üretilen alkali aktive tuğlaların çevresel ve ekonomik yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) yapılmış ve Portland çimento (PC) tuğlalarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, 20RHA tuğlaların elektrik üretimi nedeniyle biraz

daha yüksek çevresel etki (5,40 kg CO₂ eq/m²) gösterdiğini ortaya koymuştur; toplam etkinin %62–90'ı sodyum silikat ve sodyum hidroksit üretiminden kaynaklanmaktadır. Yenilenebilir enerji payı artırıldığında, 20RHA tuğlalar için yaklaşık %30 çevresel etki azalışı gözlenmiş, PC tuğlalarda ise çoğu kategoride %20'den az azalma sağlanmıştır. Atık uçucu kül ve RHA kullanımı ile yapılan fayda analizinde, insan toksisitesi açısından 20RHA tuğlalar PC tuğlalara kıyasla önemli çevresel kazançlar (1,77 kg 1,4-DBC eq/m²) sağlamıştır.

Candra ve ark. (2022) yaptıkları bu çalışmada, Endonezya'da yaygın olarak kullanılan kırmızı tuğlaların mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla ana malzemeye uçucu kül ve pirinç kabuğu külü (RHA) eklenmiştir. Deneysel çalışmada, kil ağırlığının %4, %8 ve %12'si oranında uçucu kül ve RHA katkısı yapılmıştır. Sonuçlar, %12 uçucu kül katkılı tuğlalarda en yüksek basınç dayanımı (75,07 Kgf/cm²) elde edildiğini ve bu karışımın geleneksel kırmızı tuğlaların kalitesini artırdığını göstermiştir.

Ige ve Danso (2022) yaptıkları çalışmada, uygun maliyetli yapı malzemeleri geliştirmek amacıyla pirinç kabuğu atığı ve kireç ile stabilize edilmiş toprak tuğlaların özellikleri incelenmiştir. 140×100×100 mm³ boyutlarında tuğlalar, %0,25–1 pirinç kabuğu atığı ve %10 kireç ile üretilmiş ve mekanik, su emme ve erozyon dayanımı testleri yapılmıştır. Sonuçlar, %0,75 pirinç kabuğu katkısında basınç ve çekme dayanımlarında sırasıyla %62 ve %95 artış göstermiş, su emme katsayısı %13–60 iyileşmiştir. Kireç katkılı tuğlalar erozyona karşı performansı artırmıştır. Ayrıca, tuğla üretim maliyeti, kumlu beton tuğlalara göre yaklaşık %71 daha düşük bulunmuştur. Çalışma, pirinç kabuğu atığının yapı malzemelerinde etkin kullanımını, maliyetlerin düşürülmesini ve konut açığının azaltılmasını desteklemektedir.

Ketoy ve ark. (2022), bu çalışmada, pirinç kabuğu külünden elde edilen köpüklü silikatların, hafif gözenekli tuğla üretiminde dolgu malzemesi olarak kullanımı araştırılmıştır. Köpüklü silikatların seramik matrisi içinde birleşmesiyle, düşük yoğunluklu ancak mekanik dayanımı yüksek hücresel seramikler elde edilmiştir. Hafif tuğlalar iyi ısı yalıtım özellikleri göstermektedir. Pirinç kabuğu külünün değerlendirilmesi çevre dostu ve dayanıklı yapı malzemesi üretimi sağlamaktadır.

Munir ve ark. (2021) yaptıkları bu çalışmada, cam çamuru (GS), mermer çamuru (MS) ve pirinç kabuğu (RH) kullanılarak tuğla örneklerinin fiziksel, mekanik, dayanıklılık ve termal özellikleri incelenmiştir. Atık malzeme ilavesi, tuğlaların büzülme,

birim alan ağırlığı ve ısı iletkenliğini azaltmıştır. Tüm örnekler %10'un altında efloresans göstermiş ve 50 donma-çözülme döngüsünden sonra çatlama gözlenmemiştir. GS ilaveli tuğlalar ASTM C67 standardına uygun olarak donma-çözülme direncine sahiptir. Tüm tuğlalar minimum basınç dayanımı ve kırılma modülü gereksinimlerini karşılayarak orta derecede iklim koşullarında kullanılabilir. Ayrıca, sızma toksisitesi EPA sınırlarının çok altındadır. SEM görüntüleri, porozite ve su emme sonuçlarını desteklemektedir. Çalışma, bu atık kombinasyonlarının çevre dostu tuğla üretimi ve arazi doldurma azaltımı için uygun olduğunu göstermektedir.

Bebhe ve Baton (2021) çalışmada, Timor Adası'nda yaygın olan beyaz toprağın tuğla üretiminde, pirinç kabuğu külü ve hindistancevizi lifi ilavesinin basınç dayanımına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Sonuçlar, 1:1 hindistancevizi lifi-çimento oranının 147 kg/cm², 1,5:1 pirinç kabuğu külü-çimento oranının ise 114,3 kg/cm² basınç dayanımı sağladığını göstermiştir. Bu değerler, önceki çalışmalarda elde edilen 51,9 kg/cm²'den oldukça yüksektir ve SNI 03-0349-1989 standardına göre birinci kalite tuğlalar için yeterli basınç dayanımı sağlamaktadır.

Hwang ve Huynh (2021), bu çalışmada, F sınıfı uçucu kül (FA) ve pirinç kabuğu külü (RHA) karışımı bağlayıcı ile üretilen çevre dostu tuğlaların mühendislik performansı ve mikro yapısı incelenmiştir. Öğütülmemiş pirinç kabuğu külü (URHA) %0-40 oranında ince agrega yerine kullanılmıştır. 35 MPa basınçla preslenerek üretilen tuğlalar, 35°C ve %50 bağıl nemde kürlenmiş, basınç dayanımı, su emme ve yoğunluk testleri gerçekleştirilmiştir. SEM, XRD ve FTIR analizleri mikro yapı ve faz bileşimini ortaya koymuştur. Sonuçlar, tuğlaların Vietnam standartlarına uygun olduğunu göstermiştir; FA ve RHA, jeopolimer teknolojisi ile çevre dostu tuğla üretimi için uygun malzemelerdir.

Damanhuri ve ark. (2020), bu çalışmada, kilin kısmi yerine pirinç kabuğu külü (RHA) kullanılarak tuğla üretimi araştırılmıştır. Farklı RHA oranları (%0, 5, 10, 15, 20) ile üretilen örneklerin su emme ve basınç dayanımı test edilmiştir. Sonuçlar, %10 RHA ilavesinin en uygun özellikleri sağladığını; 6,80 MPa basınç dayanımı ve %16,30 su emme değerleri ile tuğlaların su emme sınırını aşmadığını göstermiştir. Daha yüksek RHA oranları, su emmesini artırmış ve basınç dayanımını düşürmüştür. RHA, kille kısmi değişim için uygun bir malzeme olarak değerlendirilmiştir.

Zahan ve ark. (2020), bu çalışmada, pirinç kabuğu külü (RHA) kullanılarak düşük maliyetli ve yeterli dayanımlı hafif blok agregalar üretilmiştir. Altı farklı RHA örneği

XRD ve SEM ile karakterize edilmiş, en yüksek incelik 2720 cm²/gm olarak belirlenmiştir. Kil, silty clay olarak tanımlanmış ve 28 MPa bağıl basınç dayanımı ölçülmüştür. Bloklar farklı RHA oranlarıyla (%0–40) üretilmiş, 120°C’de kurutulup 1200°C’de pişirilmiştir. Testler, 40% RHA içeren blokların maksimum kırılma dayanımı (60 MPa), minimum su emme ve pişme büzülmesi sağladığını göstermiştir. Sonuç olarak, RHA, kilin hacim ve ağırlığını %40’a kadar azaltmak için uygun bir malzeme olarak değerlendirilebilir.

Shanmukh ve Saikumar (2020), bu çalışmada, kil tuğlaların çevresel etkilerini azaltmak amacıyla %50’den fazla pirinç kabuğu külü (RHA) içeren tuğla-bloklar üretilmiştir. Karışımların mühendislik özellikleri (basınç dayanımı, su emme, boyut ve şekil) incelenmiştir. Sonuçlar, RHA ile kısmen değiştirilen tuğlaların basınç dayanımının ana yapı tuğlalarına göre düşük, su emme değerlerinin ise yüksek olduğunu göstermiştir. 50:20:30 (RHA: M-kum: Çimento) oranındaki tuğlalar, IS koduna göre Class C olarak sınıflandırılmış ve önemsiz yapı işlerinde kullanılabilir. UPV testleri, blokların yüksek gözenekliliğe sahip olduğunu ortaya koymuştur (dalga hızı ~1 km/s).

Dany ve ark. (2020) bu çalışmada, pirinç kabuğu külünün (RHA) hava kurutmalı toprak tuğlaların basınç dayanımı, yoğunluk ve büzülme özelliklerine etkisi incelenmiştir. Farklı kil oranlarına (%60,6 ve %41) sahip iki toprak, %0–14 aralığında RHA ilavesiyle tuğla üretiminde kullanılmıştır. Sonuçlar, RHA ilavesinin basınç dayanımını artırdığını ve büzülme azalttığını göstermiştir. En uygun RHA oranı, yüksek kil içerikli topraklar için %8, düşük kil içerikli topraklar için ise %4 olarak belirlenmiştir. En yüksek dayanım, yüksek kil içeren toprak tuğlalarda elde edilmiştir; ancak bu tuğlalar daha yüksek büzülme eğilimi göstermiştir.

2.2. Tuğla Üretiminde Ceviz Kabuğu Kullanımı ile İlgili Çalışmalar

Barnabas ve ark. (2023), makalelerinde, ceviz kabuğunun çeşitli pişirme sıcaklıklarında pişmiş kilde katkı maddesi olarak kullanımını incelemişlerdir. Toz haline getirilmiş ceviz kabuğunu, kilin ağırlığına göre %0-10 oranında kile eklemişlerdir. Numuneleri 950 °C ve 1100 °C sıcaklıklarda pişirmişlerdir. Numuneleri mekanik özellikler ve dayanıklılık açısından incelemişlerdir. Araştırmanın sonucunda, mekanik ve dökme yoğunluğun azaldığını, su emiliminin ve özgül ısı kapasitesinin arttığını gözlemlemişlerdir. Ceviz içeriği arttıkça doğrusal büzülme ve ısı iletkenliğinin azaldığını

tespit etmişlerdir. 1100 °C'de gözlemlenen doğrusal büzülme ve ısı iletkenlik değerlerinin 950 °C'dekinden daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Tuğlaların tuz kristallenmesine karşı direncinin, pişirme sıcaklığıyla arttığını tespit etmişlerdir. %10 ağırlık oranına sahip numuneler hariç, tüm numunelerin duvarcılık için çeşitli standart gerekliliklerini karşıladığını tespit etmişlerdir.

Jannat ve ark. (2022), çalışmalarında, yumurta kabuğu ve ceviz kabuğunu pişirilmemiş kil bloklarının üretiminde kullanmışlardır. İlk olarak, yumurta kabuğu (%10-50) ve ceviz kabuğunu (%5-20) ayrı ayrı, daha sonra ise karışım halinde (%5 ceviz, %10-30 yumurta kabuğu) kullanılarak üç seri örnek üretmişlerdir. Ardından pişirilmemiş kil blokların fiziksel ve mekanik özelliklerini değerlendirmişlerdir. Çalışmada, yoğunluk, kılcal su emme, doğrusal büzülme, eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak;

- Malzemeler ayrı ayrı kullanıldığında yumurta kabuğunun kontrol örneğine göre dayanımı artırdığını,
- Ceviz kabuğunun dayanımı düşürdüğünü,
- İki malzemenin karıştırıcıda birleştirilmesi örneklerin dayanımını daha da azalttığını,
- Atık malzemelerin eklenmesi numunelerin yoğunluğunu, kılcal su emme katsayısını ve doğrusal büzülmesini azalttığını,
- Yumurta kabuğunun yanmamış kil blok üretimi için büyük bir potansiyele sahip olduğunu,
- Ceviz kabuğunun entegrasyonu daha fazla araştırma gerektirdiğini bildirmişlerdir.

Charai ve ark. (2022), yapmış oldukları çalışmada, yeni bir biyokompozitin (kil-ceviz kabuğu) termal performansını incelemişlerdir. Öncelikle, toprak üzerinde jeoteknik analiz yapmışlardır. Ceviz kabuğunun pişirilmemiş kil tuğlalar üzerindeki termal etkisini değerlendirmek için farklı ağırlık yüzdelerinde (%0, %10 ve %20) ceviz kabuğu ikame etmişlerdir. Daha sonra, üretilen biyokompozitlerin termofiziksel özelliklerini sadece kilin özellikleri ile karşılaştırmışlardır. Termal iletim özelliklerini, sıcak disk yöntemi kullanarak ölçmüşlerdir. İki tip duvarın (beton blok duvar ve kil tuğla duvar - ağırlıkça %20 ceviz kabuğu) dinamik termal davranışı üzerine karşılaştırmışlardır. Termal analiz, ceviz kabuğunun pişmemiş tuğlaların ısı yalıtımını iyileştirirken yoğunluğunu azalttığını

göstermiştir. %20 ağırlık oranında ceviz kabuğu ilavesi, kilin termal iletkenliğini %45,22 oranında azaltarak termal direnci artırmıştır. Sayısal bulgular, geliştirilen kompozitlerin kullanımının konut binalarının enerji performansını artırdığını ve ısıtma ve soğutma ihtiyaçları için sırasıyla %10,8 - %7,94 oranında enerji tasarrufu sağladığını ortaya koymuştur.

Miron ve ark. (2017), yapmış oldukları çalışmada, iki deney serisinde sıkıştırılmış toprak bloklar geliştirmek amacıyla farklı oranlarda (%5–20) ceviz kabuğu kullanmışlardır. Çalışma sonucunda; bir seride, ceviz kabuğu ilavesiyle dayanımda azalma eğilimi gözlemlendiği, bu azalmanın çimento ile stabilize edilmiş numunelerde %94'e, kireç ve alçı ile stabilize edilmiş numunelerde ise %65'e kadar ulaştığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, kontrol numunesinin su emme değerini %30 olduğunu, bu değer in standart gereklilikten (%21) %9 daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Çimento ile stabilize edilmiş numunelerde, %5 ceviz kabuğu içeren numunelerin %23,8 su emme değeri gösterdiği, bu değer in standart sınırın yalnızca %4 üzerinde olduğunu bildirmişlerdir. Bu serideki diğer oranlardaki (%10, %15 ve %20) numuneler, sudan çıkarıldıktan sonra şekil değiştirdiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, %20 ve %10 oranında ceviz kabuğu içeren kireç ve alçı ile stabilize edilmiş numunelerin, sırasıyla %18,55 ve %19,39 daha düşük su emme değerleri elde etmişlerdir.

Sindhueve ark. (2025), yapmış oldukları çalışma, kil-ceviz kabuğu biyo-kompozitinin termal performansını incelemektedir. Nador (Doğu Fas) toprağı üzerinde jeoteknik analiz yapılmış ve %0, %10 ve %20 ağırlık oranlarında ceviz kabuğu eklenmiştir. Hot disk yöntemiyle termal iletkenlik ölçümleri yapılmış ve kompozitlerin termofiziksel özellikleri saf kil ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, %20 ceviz kabuğu eklemenin ısı iletkenliği %45,22 azaltarak ısı yalıtımını artırdığını ve yoğunluğu düşürdüğünü göstermiştir. Sayısal analizler, geliştirilen kompozitlerin konutlarda ısıtma ve soğutma enerji tüketimini sırasıyla %10,8 ve %7,94 oranında azaltabileceğini ortaya koymuş ve ceviz kabuğunu yeni bir inşaat agregası olarak önermektedir.

3. MATERYAL VE METOT

Tezin bu bölümünde çalışma kapsamında kullanılan materyaller ve çalışmanın metodu başlıklar halinde verilmiştir. Materyal bölümünde hafif harman tuğla üretiminde kullanılan pirinç kabuğu külü, ceviz kabuğu, kayseri pomzası, killi toprak ve karışım suyunun özellikleri verilmiştir. Metot kısmında ise hafif tuğla numunelerinin üretimi ve üretilen numunelere uygulanan deneylerden bahsedilmiştir.

3.1. Materyal

3.1.1. Pirinç kabuğu külü

Tez çalışması kapsamında ikame malzemesi olarak kullanılan pirinç kabuğu külü, Edirne ili İpsala ilçesinde faaliyet gösteren SİLO GIDA firmasından temin edilmiştir. Kullanılan pirinç kabuğu külünün özellikleri Tablo 3.1’de, görüntüsü Şekil 3.1’de verilmiştir. Tablo’da SiO₂ oranı oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Pirinç kabuğunun kimyasal içeriğinde, Al₂O₃, Fe₂O₃, SO₃ ve K₂O bileşiklerinin de yer aldığı görülmektedir.

Tablo 3.1. Pirinç kabuğu külünün fiziksel ve kimyasal özellikleri

Fiziksel Özellik	
Renk	Gri
Yoğunluk	0,36
Özgül Ağırlık	2.19
Özgül Yüzey (cm ² /g)	14924
Kimyasal Özellik	
SiO ₂	94.07
Al ₂ O ₃	1.45
Fe ₂ O ₃	1.27
MgO	0.32
SO ₃	0.14
Na ₂ O	0.23
CaO	0.57
K ₂ O	0,79
Kızdırma Kaybı	1.16



Şekil 3.1. Pirinç kabuğu külü

3.1.2. Ceviz kabuğu

Tez çalışmasında kullanılan ceviz kabukları Kırşehir ili Kaman ilçesinde yetişen ceviz kabuklarıdır. Hasat sonrası alınan ceviz kabuklarının özellikleri Tablo 3.2’de görüntüsü Şekil 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Ceviz kabuğunun teknik özellikleri

Fiziksel Özellikler	
Renk	Açık kahverengi (öğütüldükçe koyu kahverengiye dönüşür)
Yapısı	Sert ve lifli
Dökme yoğunluğu (kg/m ³)	620
Gerçek yoğunluğu (g/cm ³)	1,34
Sertlik (Mohs)	3,3
Isı iletim katsayısı (W/mK)	0,23
Tutuşma sıcaklığı (°C)	250
pH	5,5
Kimyasal Analiz	
C (%)	49
O (%)	43
H (%)	4
N (%)	0,4
S (%)	0,07



a



b

Şekil 3.2. a; Ceviz kabuğu, b; öğütülmüş ceviz kabuğu

3.1.3. Kayseri pomzası

Çalışmada kullanılacak olan Kayseri pomzası EKOPONS KAYSERİ POMZASI firmasından temin edilmiştir. Pomzaya ait teknik özellikleri Tablo 3.3’de görüntüsü Şekil 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3. Kayseri pomzasının teknik özellikleri

Fiziksel Özellikler	
Gevşek yığın yoğunluğu (Nemli) (kg/m ³)	500-650
Gevşek yığın yoğunluğu (Kuru) (kg/m ³)	300-400
Özgül Kütle (g/cm ³)	2,06
Su emme oranı (%)	48
Gözeneklilik (%)	75
Renk	Açık gri
Sertlik (Mohs)	5-5,5
pH	6
Ergime noktası (°C)	1.205
Yapısal bozulma (°C)	820
Özgül ısı kapasitesi (kcal/kg- °C)	0,243
Ses geçiş katsayısı	0,22
Ses yutuculuk (dB)	40-55
Büzülme katsayısı (mm/m)	0,04
Donma dayanımı (%)	1,75
Kapilarite (m/h)	25-28
Kimyasal Özellik	
SiO ₂ (%)	67,5
Al ₂ O ₃ (%)	14,82
K ₂ O (%)	2,75
Fe ₂ O ₃ (%)	3,01
MgO (%)	0,90
TiO ₂ (%)	0,28
SO ₃ (%)	----
Na ₂ O (%)	4,05
CaO (%)	2,92
Kızdırma Kaybı (%)	3,77



Şekil 3.3. Kayseri pomzası

3.1.4. Killi toprak

Tezde referans ve katkılı hafif harman tuğla üretiminde ana madde olarak kullanılan killi toprak Kırıkkale ili Merkez ilçesi sınırları içerisinde temin edilmiştir. Kullanılan killi toprağın kimyasal içeriği Tablo 3.4’de, görüntüsü Şekil 3.4’de verilmiştir. Tabloya bakıldığında;

Tablo 3.4. Killi toprağın kimyasal içeriği

Element	Ağırlık (%)
Si	40.20
O	20,35
Ca	14.86
Al	9.53
Fe	5.78
Mg	1.32
K	1,92
Diğer	6.18



Şekil 3.4. Killi toprak

3.1.5. Karışım suyu

Tez çalışması kapsamında tuğla üretiminde önemli malzemelerden biri de karışım suyudur. Numunelerin kalitesini etkileyen karışım suyunun temiz, içilebilir durumda olmasına dikkat edilmiştir. Bu yüzden karışım suyu olarak Kırıkkale ili Merkez ilçesi şehir içme suyu kullanılmıştır.

3.2. Metot

3.2.1. Tuğla numunelerinin üretimi

Referans ve katkı tuğla numunelerinin üretilmesinde TS EN 771-1 A1, (2005) standardı baz alınarak üretilmiştir. Numunelerin üretimi ve deneyler Kırıkkale Karayolları 44. Şube Şefliği Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

Çalışmada kullanılacak olan kayseri pomzası EKOPONS KAYSERİ POMZASI firmasından temin edilmiştir. Pirinç kabuğu külü Edirne ili İpsala ilçesinde faaliyet gösteren SİLO GIDA A.Ş'den alınmıştır. Kullanılan ceviz kabukları ise Kırşehir ili Kaman ilçesinde yetiştirilen cevizlerin kabuklarıdır. Killi toprak, Kırıkkale ili Merkez ilçe sınırları içerisinde temin edilmiş ve killi toprak yığını içerisinde Çeyrekleme yöntemi kullanılarak alınmıştır. Kullanılan karışım suyu Kırıkkale ili Merkez ilçesi şehir şebeke suyudur.

Deneye başlamadan önce deneyde kullanılacak olan malzemeler temin edilerek laboratuvara getirilmiştir. Kayseri pomzası laboratuvarında bulunan merdaneli ezici yardımıyla öğütülüp ince malzeme elde edilmiştir. Aynı işlem ceviz kabukları içinde yapılmıştır. Daha sonra öğütülen pomza 105 °C sıcaklığa sahip etüv fırınında sabit

ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutma işleminin ardından oda sıcaklığına gelinceye kadar soğuması için beklenmiştir. Kurutma işlemi killi toprak numunesi içinde yapılmıştır. Kurutma ve öğütme işlemleri tamamlandıktan sonra kayseri pomzası, killi toprak ve ceviz kabukları 1 mm'lik elekten ayrı ayrı elenmiş ve elek altı malzemeler deneyde kullanılmak üzere alınmıştır. Ön deneyleri tamamlanan numuneler Tablo 3.5'de verilen üretim reçetesine göre üretim hazır hale getirilmiştir.

Üretim reçetesinde pomza %75 oranında killi toprağın ise %5 oranında kullanılacağı görülmektedir. Katkılı numunelerde pirinç kabuğu külü:ceviz kabuğu oranı 0:20, 4:16, 8:12, 12:8, 16:4 ve 20:0 olarak belirlenmiştir. Karışım suyu üretime %20 oranında ilave edilecektir.

Reçetede yer alan REF referans numuneyi, HT1; %0 pirinç kabuğu külü, %20 ceviz kabuğu katkıli hafif tuğla numunesini, HT2; %4 pirinç kabuğu külü, %16 ceviz kabuğu katkıli hafif tuğla numunesini, HT3; %8 pirinç kabuğu külü, %12 ceviz kabuğu katkıli hafif tuğla numunesini, HT4; %12 pirinç kabuğu külü, %8 ceviz kabuğu katkıli hafif tuğla numunesini, HT5; %16 pirinç kabuğu külü, %4 ceviz kabuğu katkıli hafif tuğla numunesini, HT6; %20 pirinç kabuğu külü, %0 ceviz kabuğu katkıli hafif tuğla numunesini ifade etmektedir.

Tablo 3.5. Üretim reçetesi

	Pomza (%)	Killi Toprak (%)	Pirinç Kabuğu Külü (%)	Ceviz Kabuğu (%)	Karışım Suyu (%)
REF	0	100	0	0	20
HT1	75	5	0	20	20
HT2	75	5	4	16	20
HT3	75	5	8	12	20
HT4	75	5	12	8	20
HT5	75	5	16	4	20
HT6	75	5	20	0	20

Numune üretimine hazır hale gelen malzemeler hassas terazide tartılarak belirlenen oranlarda alınmıştır. İlk olarak homojen bir karışım elde etmek için kuru malzemeler mikser içerisine alınarak 3 dakika boyunca karıştırılmıştır. Kuru karışım hazırlandıktan sonra karışım suyu ilave edilmiş ve mikser yardımıyla hızı kademeli bir şekilde artırılarak 5 dakika boyunca karıştırılmıştır. Süre sonunda elde edilen çamur nemini kaybetmemesi için üzeri örtülerek 24 saat dinlenmeye bırakılmıştır. Dinlenen

çamur plastik kıvamına ulaşıncaya ve içinde hava kabarcığı kalmayıncaya kadar (5 dakika) mikser ile tekrar karıştırılmıştır.

Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra elde edilen karışım düz ve yatay bir yüzeye konulan ve 4x4x16 cm boyutlarındaki yağlanmış çelik kalıplara dökülmüştür. Kalıplar normal hava şartlarında 24 saat bekletilmiş, ardından kalıplardan çıkarılmıştır. Çıkarılan numunelerin üstü kapalı, yarı açık bir alanda 1 hafta boyunca kurumasa sağlanmıştır.

Belirlenen süre sonunda numuneler, 900 °C ve 1000 °C’de, zaman ayarlı elektrikli bir fırında sıcaklığı kademeli bir şekilde arttırılarak 8 saat boyunca pişirilmiştir. Süre sonunda numunelerin oda sıcaklığına (+21 °C) gelmesi için fırın içerisinde soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan numuneler fırından çıkarılmıştır (Şekil 3.5). Üretilen REF ve katkılı hafif harman tuğlalara kuru birim hacim ağırlık, su emme (ağırlıkça), porozite, donma çözülmenin basınç dayanımına etkisi, ısı iletim katsayısı tayini, basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı testleri uygulanmıştır.



Şekil 3.5. Üretilen numuneler

3.2.2. Numunelere uygulanan deneyler

❖ Kuru birim hacim ağırlık

Tez çalışması kapsamında üretilen numunelerin kuru birim hacim ağırlık değerlerinin belirlenmesinde ASTM C67 – Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile / Tuğla ve Yapısal Kil Karo Numune Alma ve Test Etme için Standart Test Yöntemleri” standardı kullanılmıştır. Standarda göre kuru birim hacim ağırlık deneyi, kuru kütlenin numunenin brüt hacmine bölünmesi esasına dayanmaktadır.

İlk etapta ASTM C67 standardının 4. Maddesi gereğince deneye tabi tutulacak numuneler rastgele seçilmiştir. Seçilen 5 adet numunenin çatlak, kırık, tozlu ve yüzeyinde gevşek parça veya kir bulunmamasına dikkat edilmiştir. Deneye tabi tutulacak tüm numuneler 110 ± 5 °C sıcaklıktaki etüvde sabit ağırlığa (ardışık iki tartım arasındaki fark %0,2'den küçükse sabit ağırlık kabul edilmektedir) gelinceye kadar kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan numuneler oda sıcaklığına gelinceye kadar desikatörde soğutulmuştur. Oda sıcaklığına gelen numuneler tartılarak kuru ağırlık (W_d) belirlenmiştir.

ASTM C67'ye göre brüt hacim, numunenin dış geometrik ölçülerinden hesaplanmaktadır. Numunelerin en (B), boy (L) ve yükseklikleri (H) bir metre yardımıyla ölçülmüştür (Şekil 3.6). Ölçüm işlemleri tamamlandıktan sonra Formül 1 kullanılarak numunelerin brüt hacimleri hesaplanmıştır.

$$V = L \times B \times L$$

Formül 1



En (B)

Boy (L)

Yükseklik (H)

Şekil 3.6. Numunelerin en, boy ve yükseklik ölçümleri

Numunelerin brüt hacmi belirlendikten sonra Formül 2 kullanılarak kuru birim hacim ağırlık değerleri hesaplanmıştır.

$$\text{Kuru Birim Hacim Ağırlık (g/cm}^3\text{)} = \frac{W_d}{V}$$

Formül 2

❖ Su emme (Ağırlıkça)

Tuğla numunelerinin su emme (ağırlıkça) deniyi ASTM C67 – Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile / Tuğla ve Yapısal Kil Karo Numune Alma ve Test Etme için Standart Test Yöntemleri” standardına göre

yapılmıştır. Standartta belirtildiği üzere üretilen numunelerden rastgele adet numune seçilmiştir. Numunelerin yüzeyinde toz veya gevşek parça bulunmamasına ve temiz olmasına özen gösterilmiştir.

Numuneler 110 ± 5 °C sıcaklıktaki etüvde sabit sıcaklığa (ardışık iki tartım arasındaki fark %0,2'den küçükse sabit ağırlık kabul edilmektedir) gelinceye kadar kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan numuneler oda sıcaklığına gelinceye kadar deksikatörde bekletilmiştir. Soğuyan numuneler tartılarak kuru ağırlık (W_d) belirlenmiştir. Daha sonra numuneler 20 ± 2 °C sıcaklıktaki temiz suya tamamen su içerisinde kalacak şekilde kap içerisine yerleştirilmiş ve 24 saat bu şekilde bekletilmiştir. Süresi tamamlanan numuneleri yüzeyleri kuru bir bezle silinmiş ve serbest yüzey suyundan arındırılmıştır. Hassas teraziyle numune ölçülmüş ve ıslak ağırlığı (W_s) belirlenmiştir. Son olarak aşağıda verilen Formül 3 kullanılarak su emme (ağırlıkça) değeri hesaplanmıştır.

$$\text{Su emme (ağırlıkça) (\%)} = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100 \quad \text{Formül 3}$$

❖ Porozite

ASTM C67 – Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile / Tuğla ve Yapısal Kil Karo Numune Alma ve Test Etme için Standart Test Yöntemleri” ne göre porozite (görünür porozite), tuğla ve kil esaslı yapı elemanlarının su emme davranışı üzerinden, kütle ölçümlerine dayalı olarak belirlenmektedir. Standartta göre deneye temelde kuru-doygun-suda askıda ağırlıklar kullanılarak yapılmaktadır.

İlk olarak standard baz alınarak üretilen numuneler içerisinden rastgele 5 adet numune seçilmiştir. Numunelerin çatlak ya da kırık olmamasına özen gösterilmiştir. Seçilen numuneler sabit kütleyle ulaşınca dek (ardışık iki tartım arasındaki fark %0,2'den küçükse sabit ağırlık kabul edilmektedir) 110 ± 5 °C'deki etüv fırınında kurutulmuştur. Etüv fırınından çıkarılan numuneler desikatörde soğutulmuştur. Ardından her bir numunenin kuru ağırlığı (D) ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Daha sonra kurutulmuş numuneler tamamen su içinde kalacak şekilde kap içerisine yerleştirilmiş ve kaynama noktasına kadar ısıtılmıştır. Numuneler 5 saat boyunca kaynamaya bırakılmıştır. Süre sonunda ısıtma durdurulmuş ve numuneler 24 saat boyunca su içerisinde soğumaya bırakılmıştır. Numuneler sudan çıkarılmadan hassas terazi yardımıyla suda askıdaki

ağırlıkları (W) ölçülmüştür. Numuneler sudan çıkarıldıktan sonra yüzeylerindeki serbest su nemli bir bez ile alınmıştır. Ardından doymuş yüzey kuru ağırlıkları (S) ölçülmüştür. Porozite değeri Formül 4 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Porozite (\%)} = \frac{S-D}{S-W} \times 100 \quad \text{Formül 4}$$

❖ Donma çözülmenin basınç dayanımına etkisi

Donma çözülmenin basınç dayanımına etkisi deneyi ASTM C67 – Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile / Tuğla ve Yapısal Kil Karo Numune Alma ve Test Etme için Standart Test Yöntemleri” standardı baz alınarak yapılmıştır.

ASTM C67 standardına göre rastgele 5 adet numune seçilmiştir. Numunelerin çatlak, kırık veya parçalı olmamasına dikkat edilmiştir. Donma çözülme etkisinin doğru olabilmesi için numuneler suya doymuş hale getirilmiştir. Numunelerin suya doymuş hale gelmesi için, numuneler oda sıcaklığında su dolu bir kap içerisinde 48 saat boyunca bekletilmiştir. Süre sonunda sudan çıkarılmış ve yüzeylerindeki serbest su silinmiştir. Hazırlanan numuneler -20 °C olan dondurucuda 16 saat dondurulmaya bırakılmıştır. Süre sonunda numuneler dondurucudan çıkarılmış ve oda sıcaklığındaki su içerisinde 8 saat çözölmeye bırakılmıştır. ASTM C67 standardına göre bu çevri 50 kez tekrarlanmıştır. Donma çözölmeye çevrimi tamamlanan numuneler ASTM C67 standardına göre basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Donma çözölmeye çevriminde Şekil 3.7’de verilen MATEŞ marka donma çözölmeye test cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.7. Donma çözülme test cihazı

❖ Isı iletim katsayısı tayini

Deney, ASTM C67 – Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile / Tuğla ve Yapısal Kil Karo Numune Alma ve Test Etme için Standart Test Yöntemleri” standardına göre ısı iletim katsayısı tayini, kararlı hâl ısı iletimi esasına dayanan bir plaka tipi düzenek ile yapılmıştır.

Numuneler ASTM C67’ye uygun bir şekilde rastgele ve 5 adet seçilmiştir. Numune yüzeylerinin düz temiz ve paralel olmasına dikkat edilmiştir. Kuru yüzey haline getirilen numunelerin numune kalınlığı (d) ve yüzey alanı (A) hassas bir şekilde ölçülmüştür. Deney tek boyutlu ısı akışı esasına dayanmaktadır. Numune bir taraf sıcak plaka ve diğer taraf soğuk plaka olmak üzere iki plaka arasına yerleştirilmiştir. Plakalar arasında sabit sıcaklık farkı (ΔT) oluşturulmuştur. Sistem kararlı hale gelene kadar beklenmiştir. Kararlı hale geldiğinde, numuneden geçen ısı akışı (Q), sıcak ve soğuk yüzey sıcaklıkları ölçülmüştür. Numunelerin ısı iletim katsayısı aşağıda verilen Formül 3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\lambda \text{ (W/mK)} = \frac{Q \cdot d}{A \cdot \Delta T} \quad \text{Formül 5}$$

Tuğla numunelerinin ısı iletim katsayısı tayini deneyi için Heat Flow Meter cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Heat Flow Meter cihazı

❖ Basınç dayanımı

Tez çalışması kapsamında yapılan tüm numuneleri basınç dayanım değerleri ASTM C67 “Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile/ Tuğla ve Yapısal Kil Karo Numune Alma ve Test Etme için Standart Test Yöntemleri” standardına göre yapılmıştır.

İlk olarak numuneler ASTM C67 Madde 4’e göre rastgele, 5 adet seçilmiştir. Seçim yapılırken numunelerin hasarsız ve tam boy olmalarına dikkat edilmiştir. Basınç yüzeylerinin düz ve paralel olması ve yükün tuğlaya uniform dağılması için 3-6 mm kalınlığında kükürt harcı ile kaplanmıştır. Tuğla, yatay konumda basınç presine yerleştirilir. Ani kırılmayı önlemek ve gerçek dayanımı ölçmek için yük numune yüzeyine sürekli ve darbesiz olarak yüklenir. Bu yük yaklaşık 0,5-1,0 MPa/s’dir. Numune kırıldığı anda maksimum yük (Pmax) kaydedilmiştir. Basınç dayanım değeri aşağıdaki Formül 5 kullanılarak hesaplanır.

$$f_c = \frac{P_{max}}{A}$$

Formül 6

❖ Eğilmede çekme dayanımı

Tüm numunelere uygulanan eğilme de çekme dayanımı değerleri ASTM C67 “Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile / Tuğla ve Yapısal Kil Karo Numune Alma ve Test Etme için Standart Test Yöntemleri” standardına göre yapılmıştır.

Deney numuneleri ASTM C67'ye uygun şekilde rastgele 5 adet tuğla seçilmiştir. Seçilen tuğlalar herhangi bir kesme işlemi yapılmadan tam boyutuyla teste tabi tutulmuştur. Numune yüzeylerinin kuru ve temiz olmasına dikkat edilmiştir. Deney üç nokta eğilme düzeninde yapılmıştır. İki mesnet altta, tek yük noktası üstte ve ordada olacak şekilde ayarlanmıştır. Mesnet açıklığı tuğla boyunun %85'i (13,6 cm) kadar olacak şekilde ayarlanmıştır. Yük sürekli ve düzgün bir hızla tuğla numunesi kırılana kadar devam etmiştir. Kırılma anındaki maksimum yük kaydedilmiştir. Eğilmede çekme dayanımı aşağıda verilen Formül 6 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$R = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Formül 7

Burada;

R: Eğilmede çekme dayanımı (MPa)

P: Kırılma yükü (N)

L: Mesnetler arası açıklık (mm)

b: Numune genişliği (mm)

d: Numune yüksekliği (mm)

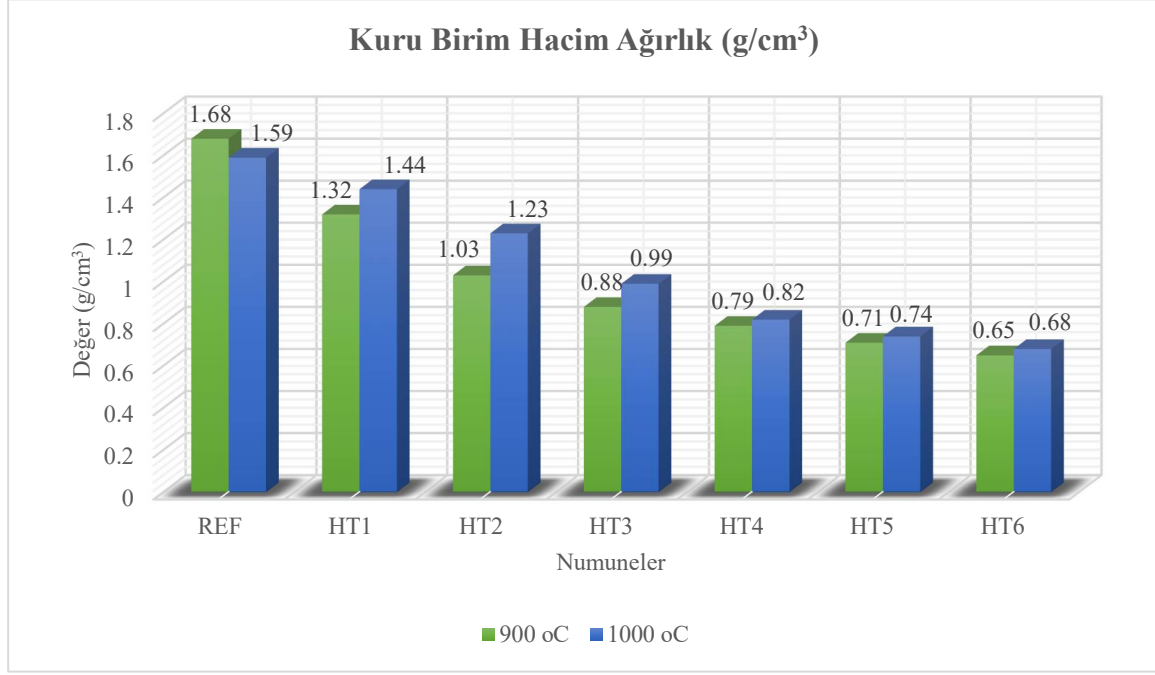
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu kısımda tez çalışması kapsamında üretilen hafif tuğla numunelerine uygulanan deneyler sonucu elde edilen bulgular ve literatürde yer alan diğer çalışmalarla karşılaştırılması ele alınmıştır.

4.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık

Tez çalışması kapsamında üretilen referans ve hafif tuğla numunelerine uygulanan kuru birim hacim ağırlık deneyi sonucunda elde edilen değerler Şekil 4.1’de verilen grafikte sunulmuştur. Grafığe göre; en yüksek kuru birim hacim ağırlık değeri 900 °C’de pişirilen REF numunesinden, en düşük kuru birim hacim ağırlık değeri ise yine 900 °C’de pişirilen HT6 numunesinden elde edilmiştir. 900 °C’de pişirilerek üretilen katkılı hafif tuğla numunelerden en düşük kuru birim hacim ağırlık değeri 0,65 g/cm³ ile HT6 numunesinden elde edilirken, en yüksek değer 1,32 g/cm³ ile HT1 numunesinden elde edilmiştir. 1000 °C’de pişirilen numunelerden en düşük değer 0,68 g/cm³ ile HT1 numunesinden elde edilirken en yüksek değer 1,44 g/cm³ ile HT6 numunesinden elde edilmiştir. Her iki pişirme sıcaklığında da hem pirinç kabuğu külü hem de ceviz kabuğu ikamesi ile birim hacim ağırlık değerinde azalma meydana gelmiştir. Pirinç kabuğu külü organik atık olması nedeniyle pişirme sırasında yanmakta ve tuğla bünyesinde gözenek oluşturmaktadır. Ceviz kabuğu da organik bir atık olması nedeniyle pişirme sırasında yanarak veya karbonatlaşarak hacim kaybına neden olmaktadır. Bu durumun kuru birim hacim ağırlık değerlerinin azalmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde pirinç kabuğu külü ikamesinin tuğlanın birim hacim ağırlık değerini düşürdüğü görülmektedir (Gencel, 2015; Janbuala ve Wasanapiarnpong, 2015; Fernando ve ark., 2022; Mahdi ve ark., 2022; Nagaraju ve ark., 2024;). Aynı şekilde ceviz kabuğu ikamesinde birim hacim ağırlık değerlerini düşürdüğü görülmüştür (Charai ve ark., 2022; Barnabas ve ark., 2023; Fordos ve ark., 2023; Abdulwahid ve ark., 2024;). Yapılan bu çalışmalardan elde edilen bulgular tez çalışmasını destekler niteliktedir.



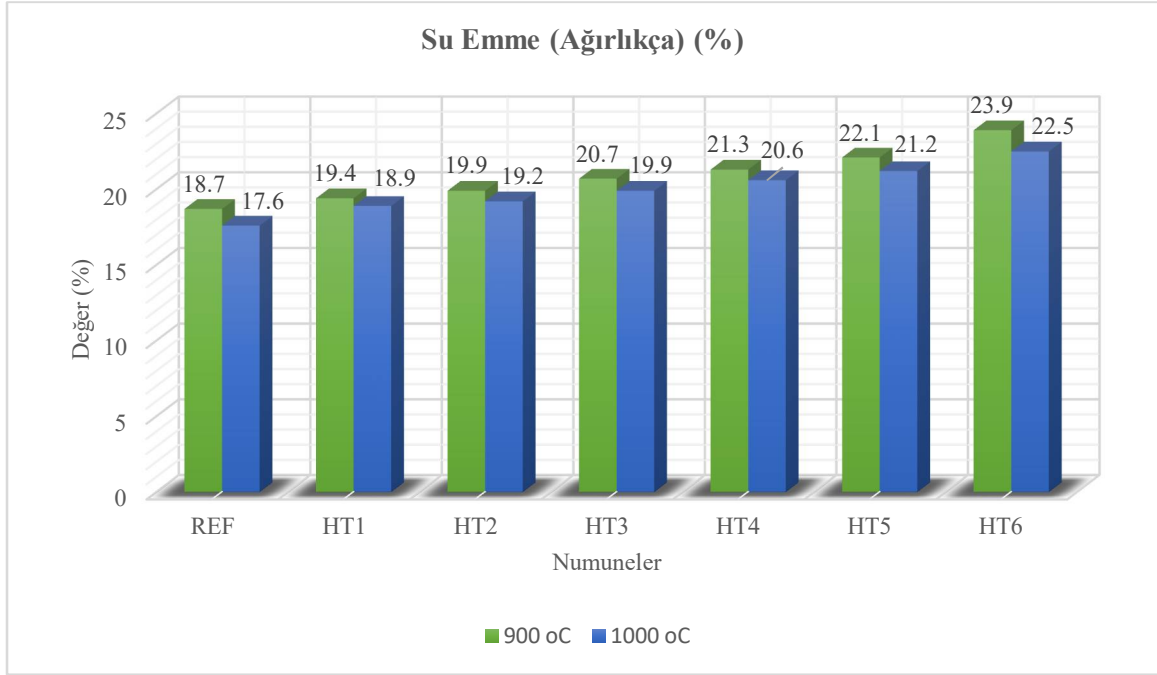
Şekil 4.1. Numunelerin kuru birim hacim ağırlık grafiği

4.2. Su Emme (Ağırlıkça)

Tuğla numunelerinin su emme (ağırlıkça) değerleri Şekil 4.2’de verilen grafikte sunulmuştur. Grafiğe göre; hem 900 °C’de hem de 1000 °C’de en düşük su emme değeri REF numunesinden elde edilmiştir. 900 °C’de pişirilen ikameli tuğla numunelerinin su emme (ağırlıkça) değerlerinin %19,4 ila %23,9 arasında değiştiği görülmüştür. Hem pirinç kabuğu külü ikamesinin hem de ceviz kabuğu ikamesinin tuğlanın su emme oranını arttırdığı tespit edilmiştir. 1000 °C’de pişirilen ikameli tuğlaların su emme (ağırlıkça) değerlerinin %18,9 ila %22,5 arasında değiştiği görülmüştür. Her iki sıcaklıkta da pirinç kabuğu külü ve ceviz kabuğu miktarının artmasıyla su emme (ağırlıkça) oranında artış gözlenmiştir. Pirinç kabuğu külünün pişirme sırasında yanmasının ardından tuğlanın mikro yapısında daha fazla gözenek oluşturmuş ve bu gözeneklerin toplamının arttığı anlaşılmıştır. Bu artan gözenek hacmi, tuğlanın suyu daha fazla çekmesine yol açmıştır. Ceviz kabuğu ikamesi daha geniş ve bağlantılı gözenek ağları oluşturmakta ve bu durum suyun daha kolay nüfuz etmesine olanak sağlamaktadır. Tüm bunlar su emme (ağırlıkça) oranındaki artışın nedeni olarak düşünülmektedir.

Literatürle kıyaslandığında; Oli ve Sharma (2026), Fordos ve ark. (2023), Sutas ve ark. (2012) yapmış oldukları çalışmalarda tuğla bünyesine pirinç kabuğu külü ikamesi ile elde ettikleri değerler ve Barnabas ve ark. (2023), Abdulwahid ve ark. (2024) ve

Beskopylny ve ark. (2023) yaptıkları çalışmalarda ceviz kabuğu ikamesi ile elde ettiği değerler tez çalışmasında elde edilen değerlerle örtüşmektedir.



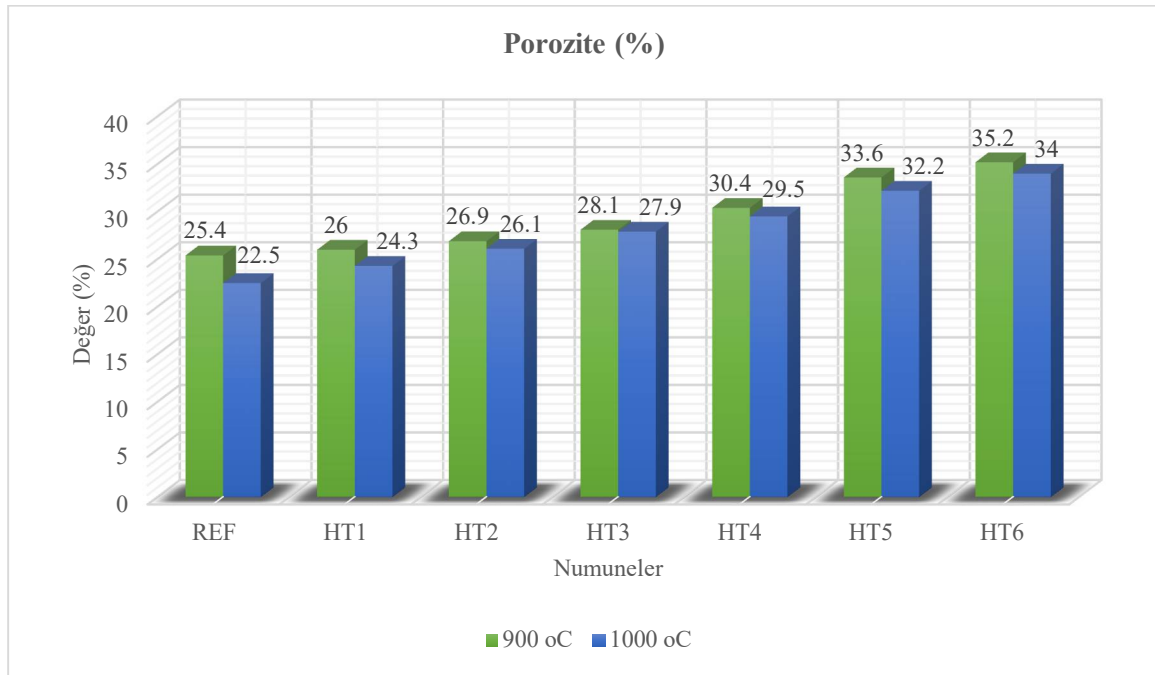
Şekil 4.2. Numunelerin su emme (ağırlıkça) grafiği

4.3. Porozite

Referens ve ikameli hafif tuğla numunelerinin porozite değerleri Şekil 4.3’de verilmiştir. Şekilde yer alan grafik analiz edildiğinde; her iki sıcaklıkta da en düşük değer REF numunelerinden elde edildiği görülmüştür. 900 °C’de pişirilen numunelerin porozite değerlerinde, hem pirinç kabuğu külü hem de ceviz kabuğu miktarının artmasıyla porozite değerlerinde artış meydana gelmiştir. İkameli hafif tuğla numunelerinde en yüksek porozite değeri %35,2 ile HT6 numunesinden, en düşük porozite değeri ise %26 ile HT1 numunesinden elde edilmiştir. 1000 °C’de pişirilen numunelerin porozite değerlerinde de, hem pirinç kabuğu külü hem de ceviz kabuğu miktarının artmasıyla porozite değerlerinde artış meydana gelmiştir. İkameli hafif tuğla numunelerinde en yüksek porozite değeri %34 ile HT6 numunesinden, en düşük porozite değeri ise %24,3 ile HT1 numunesinden elde edilmiştir. Genel olarak bakıldığında, 1000 °C’de pişirilen numunelerin porozite değerlerinin 900 °C’de pişirilen numunelerin porozite değerlerinden daha düşük olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca her iki sıcaklıkta da pirinç kabuğu külü ve ceviz kabuğu külü ikamesinin artmasıyla porozite değerlerinde artış meydana

geldiği görülmüştür. Pirinç kabuğu külü ve ceviz kabuğu organik bileşenler içermesinden dolayı pişirme sırasında bu organik maddeler yanar veya ayrışır ve yerini hava boşluklarına bırakır. Ayrıca hem pirinç kabuğu külü hem de ceviz kabuğu, gözenekleri daha da çoğaltarak malzemenin mikroyapısında boşluk hacmini artırmaktadır. Bu nedenlerden dolayı pirinç kabuğu külü ikamesinin toplam poroziteyi arttırdığı düşünülmektedir. Bunun yanı sıra, hafif harman tuğla üretiminde ana malzeme olarak kullanılan pomzanın da yüksek gözenek yapısına sahip olması pirinç kabuğu külü ve ceviz kabuklarının yeni gözenekler oluşturması toplam poroziteyi önemli ölçüde arttırmaktadır.

Janbuala ve Wasanapiarnpong (2015), Barnabas ve ark. (2023), Abdulwahid ve ark. (2024), Fordos ve ark. (2023) ve Sutas ve ark. (2022) yapmış oldukları çalışmalardan elde ettikleri değerler tez çalışmasından elde edilen değerlerle örtüşmektedir.



Şekil 4.3. Numunelerin porozite grafiği

4.4. Donma Çözülmenin Basınç Dayanımına Etkisi

Üretilen referan ve ikameli hafif harman tuğla numunelerinin donma çözülme döngüsünden önceki basınç dayanımı değerleri ile donma çözülme döngüsünden sonraki basınç dayanımı değerleri Tablo 4.1’de karşılaştırılmıştır. Tabloya göre donma çözülme döngüsünden sonra basınç dayanımında önemli düşüşler olduğu görülmüştür. 900 °C’de

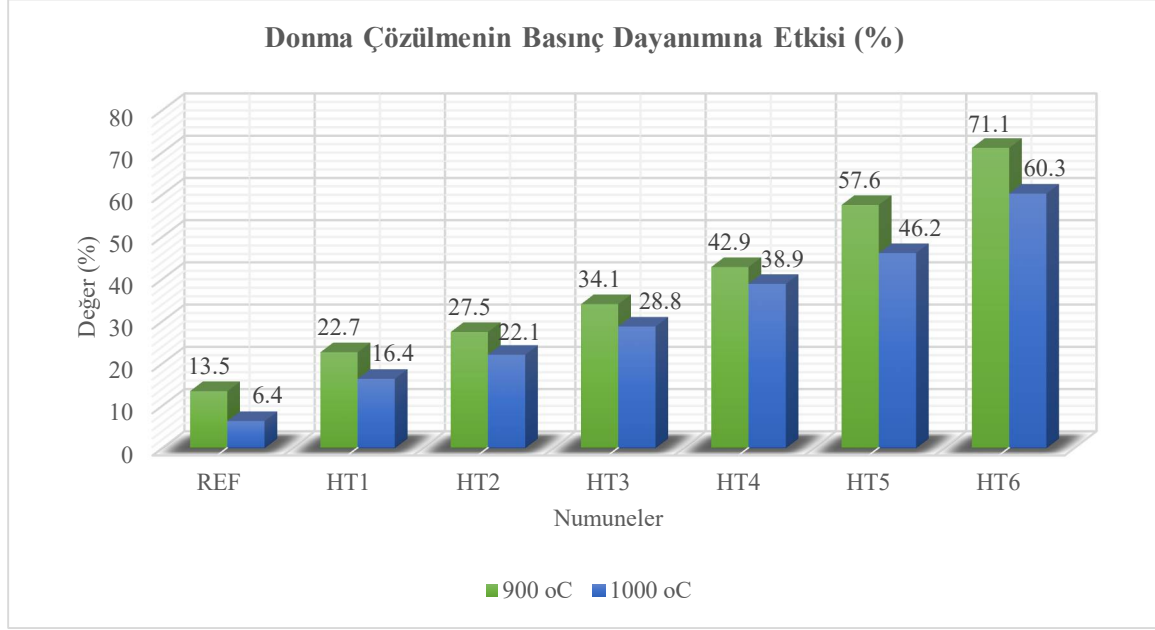
pişirilen hafif harman tuğla numunelerinin donma çözülme döngüsü sonundaki basınç dayanım değerlerine bakıldığında en yüksek dayanım kaybı HT6 numunesinde en düşük dayanım kaybı ise HT1 numunesinde görülmüştür. 1000 °C’de pişirilen hafif harman tuğla numunelerinin donma çözülme döngüsü sonundaki basınç dayanım değerleri değerlendirildiğinde ise en yüksek dayanım kaybı HT6 numunesinden en düşük dayanım kaybı ise HT1 numunesinden elde edilmiştir. Her iki sıcaklıkta da en düşük dayanım kaybı REF numunelerinden elde edilmiştir.

Tablo 4.1. Donma çözülme öncesi ve sonrası basınç dayanımı değerleri

	Donma Çözülme Öncesi Basınç Dayanımı (MPa)		Donma Çözülme Öncesi Basınç Dayanımı (MPa)	
	900 °C	1000 °C	900 °C	1000 °C
REF	15,5	17,3	13,4	16,2
HT1	9,7	5,8	7,5	2,3
HT2	9,1	6,5	6,6	3,5
HT3	8,2	7,2	5,4	4,4
HT4	7,0	8,3	4,0	5,9
HT5	5,9	9,5	2,5	7,4
HT6	5,2	10,4	1,5	8,7

Şekil 4.4’de donma çözülmenin basınç dayanımına etkisinin yer aldığı grafik sunulmuştur. Grafiğe göre; her iki sıcaklıkta da donma çözülme döngüsünden en az etkilenen numuneler REF numuneleridir. Her iki sıcaklıkta da ikameli hafif harman tuğla numunelerinin donma çözülmenin basınç dayanımına etkisine bakıldığında, en yüksek değerler %71,1 ile 900 °C’de pişirilen HT6 numunesinden elde edildiği görülmüştür. En düşük basınç dayanım kaybı ise 1000 °C’de pişirilen HT1 numunesinden elde edildiği anlaşılmaktadır. Her iki sıcaklıkta da pişirilen REF numunelerinde mikroçatlak oluşumunun sınırlı, dayanımın önemli bir kısmı korunduğu ve dış duvar/dış kabuk uygulamaları için daha güvenli olduğu görülmüştür.

Yu ve ark. (2025), Netinger Grubeša ve ark. (2020) ve Li ve ark. (2024) yapmış oldukları çalışmada pomza, pirinç kabuğu külü ve ceviz kabuğu ile üretilmiş yüksek porozite oranına sahip tuğlaların donma çözülme sonrasında basınç dayanımında azalma meydana geldiğini bildirmişlerdir. Çalışmalarında, tez çalışmasında elde edilen değerlerle paralel sonuçlara ulaşılmıştır.

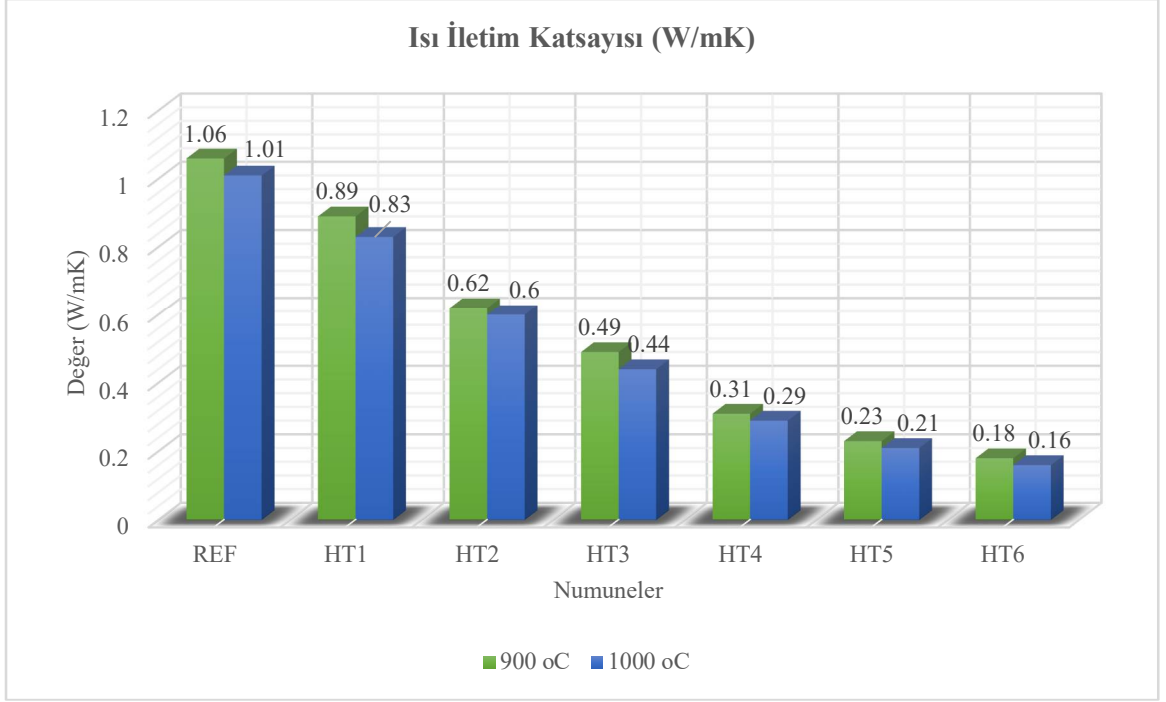


Şekil 4.4. Numunelerin donma çözülmenin basınç dayanımına etkisi grafiği

4.5. Isı İletim Katsayısı Tayini

Şekil 4.5’de referans ve ikameli hafif harman tuğla numunelerinin ısı iletim katsayısı tayini deney sonuçları verilmiştir. Şekle göre; her iki sıcaklıkta da en yüksek ısı iletim katsayısı REF numunelerinden elde edilmiştir. 900 °C’de pişirilen ikameli numunelere bakıldığında; en yüksek ısı iletim katsayısı 0,89 W/mK ile pirinç kabuğunun kullanılmadığı HT1 numunesinden, en düşük ısı iletim katsayısı ise 0,18 W/mK ile HT6 numunesinden elde edilmiştir. 1000 °C’de pişirilen ikameli numunelerde, en yüksek ısı iletim katsayısı 0,83 W/mK ile yine pirinç kabuğu külünün kullanılmadığı HT1 numunesinden, en düşük ısı iletim katsayısı ise 0,16 W/mK ile HT6 numunesinde elde edilmiştir. Pirinç kabuğu miktarının artmasıyla ısı iletim katsayısında azalma meydana geldiği görülmüştür. Pirinç kabuğu külü ve ceviz kabuğu tuğlanın pişirilmesi sırasında sırasında uçucu organik bileşikler buharlaşır ve gözenekler oluşur. Bu gözenekler çok düşük ısı iletkenliğine sahip hava ile dolarak ısı akışını sınırlamaktadır. Bu nedenle ısı iletim katsayısı düşmektedir. Isı yalıtım katsayısının düşmesi ısı yalıtım özelliğini arttırmaktadır.

Milak ve ark. (2017), El Hamri ve ark. (2025), Barnabas ve ark. (2023) ve Onyenokporo ve ark. (2023) yapmış oldukları çalışmada pirinç kabuğu külü ve ceviz kabuğu ikamesinin tuğlanın ısı iletim katsayısını düşürdüğünü ifade etmiş ve tez de bulunan değerlere paralel sonuçlar elde etmişlerdir.



Şekil 4.5. Numunelerin ısı iletim katsayısı grafiği

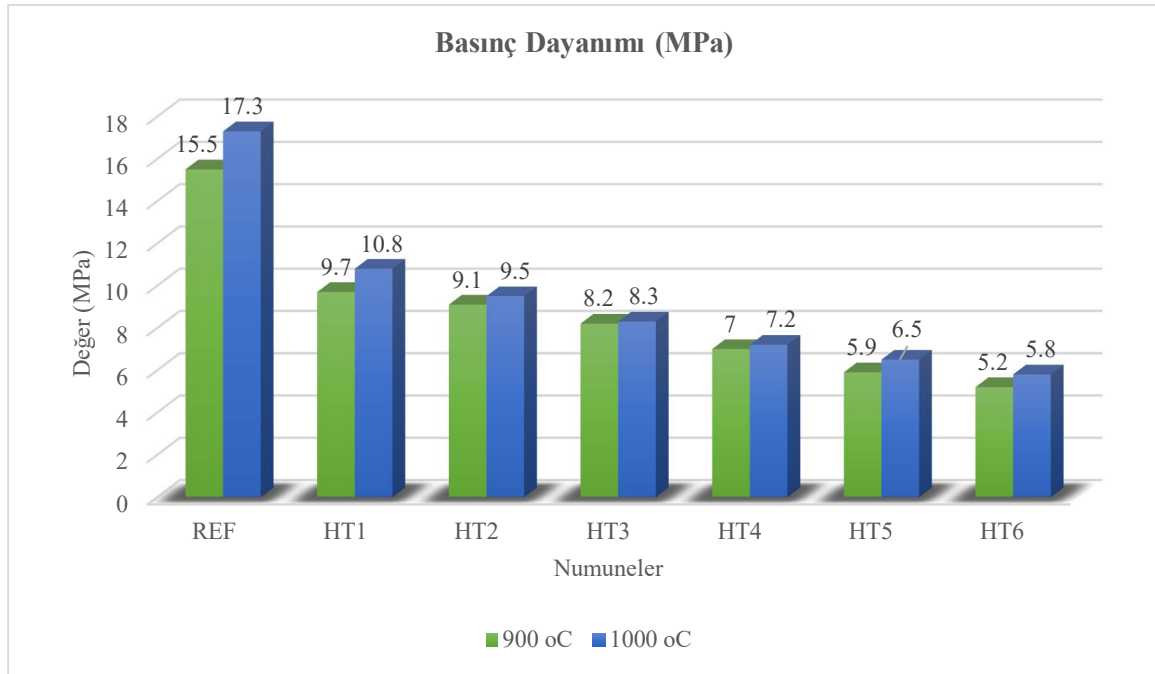
4.6. Basınç Dayanımı

Tez çalışması kapsamında üretilen hafif tuğla numunelerinin basınç dayanımı değerleri Şekil 4.6'da verilen grafikte sunulmuştur. Grafiğe göre en yüksek basınç dayanımı 17,3 MPa ile 1000 °C'de pişirilen REF numunesinden elde edilmiştir. En düşük basınç dayanımı ise 5,2 MPa ile 900 °C'de pişirilen hafif tuğla numunelerinden elde edilmiştir. 900 °C'de pişirilen numunelerin basınç dayanım değerleri 15,5 MPa ile 5,2 MPa arasında değiştiği görülmüştür. 1000 °C'de pişirilen numunelerin basınç dayanımının ise 17,3 MPa ile 5,8 MPa arasında değiştiği görülmüştür. Her iki sıcaklıkta da katkı miktarının artması ile basınç dayanımında azalma meydana geldiği görülmüştür. Pirinç kabuğu külü ve ceviz kabuğu miktarının artması, mikroyapıda daha fazla gözenek oluşumuna ve toplam yoğunluğun azalmasına, bunun sonucunda da basınç dayanımının düşmesine neden olduğu düşünülmektedir. Bu durum gözenek hacmi arttıkça, malzeme içindeki hava boşlukları yük taşıyan bağları zayıflatmakta ve uygulanan yük altında erken kırılma eğilimini artırarak basınç dayanımını düşürmekte şeklinde de açıklanabilmektedir.

Üretilen tuğlalar TS EN 771-1+A1 harman tuğlası standardına göre değerlendirildiğinde, her iki sıcaklıkta da HT4, HT5 ve HT6 numuneleri taşıyıcı olmayan tuğla ($5\text{MPa} < \text{Dayanım} < 7.5\text{ MPa}$) sınıfındadır. 900 °C'de pişirilen HT1, HT2 ve HT3

numuneleri, 1000 °C’de pişirilen HT2 ve HT3 numuneleri hafif yüklü duvar inşasında kullanılabilecek tuğlalar (7.5 MPa<Dayanım<10 MPa) sınıfındadır. 1000 °C’de pişirilen HT1 orta dayanımlı (10 MPa<dayanım<15 MPa), her iki sıcaklıkta da pişirilen REF numuneleri taşıyıcı duvarlar inşasında kullanılabilecek tuğla (15 MPa<Dayanım<20 MPa) sınıfına girmektedir.

Janbuala ve Wasanapiarnpong (2015), Peng ve ark. (2024), Nikmah ve ark. (2025), Barnabas ve ark. (2023) ve Singh ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada pirinç kabuğu külü ve ceviz kabuklarının basınç dayanımı üzerinde olumsuz etkileri olduğunu bildirmişlerdir. Tez çalışmasından elde edilen basınç dayanım değerlerinin yapılan çalışmalarla örtüştüğü ve elde edilen sonuçları desteklediği görülmüştür.



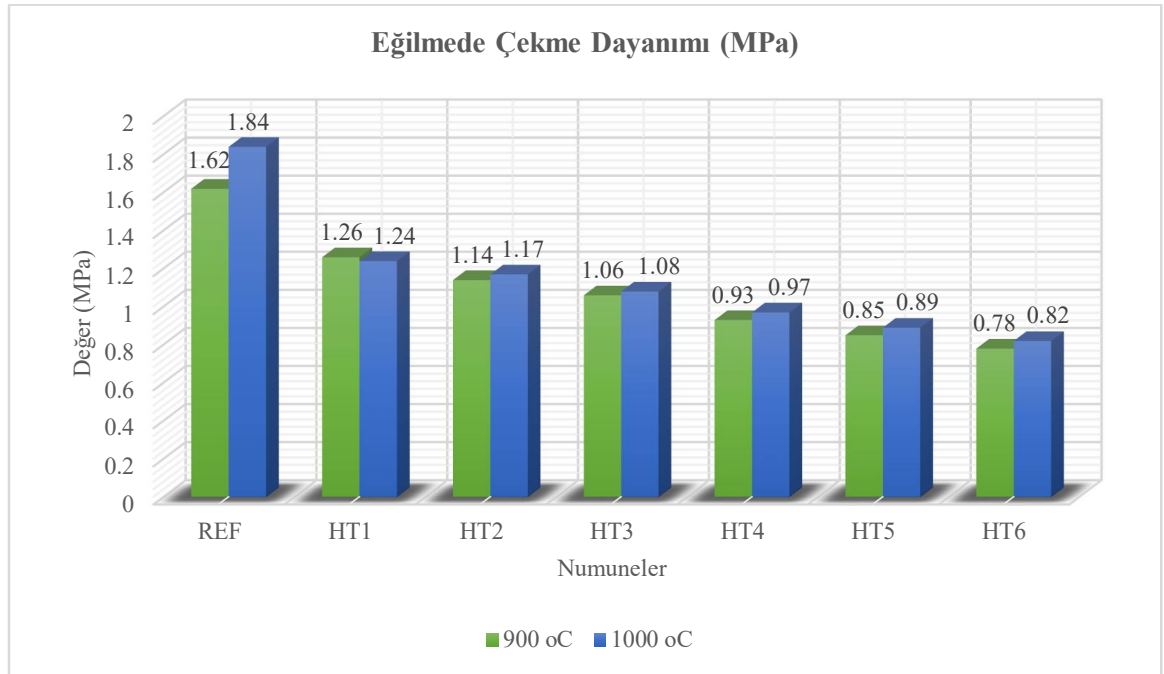
Şekil 4.6. Numunelerin basınç dayanımı grafiği

4.7. Eğilmede Çekme Dayanımı

Şekil 4.7’de tez çalışması kapsamında üretilen numunelerin eğilme de çekme dayanım değerlerini gösteren grafik verilmiştir. Grafiğe göre; en yüksek eğilmede çekme dayanımı 1000 °C’de pişirilen REF numunesinden, en düşük değer ise 900 °C’de pişirilen HT6 numunesinden elde edilmiştir. 900 °C’de pişirilen hafif harman tuğla numunelerinin eğilmede çekme dayanım değerler sırasıyla, 1,26 MPa, 1,14 MPa, 1,06 MPa, 0,3 MPa, 0,85 MPa ve 0,78 MPa’dır. 1000 °C’de pişirilen numunelerin ise eğilme de çekme

dayanım değerleri sırasıyla 1,24 MPa, 1,17 MPa, 1,08 MPa, 0,97 MPa, 0,89 MPa ve 0,82 MPa'dır. Her iki sıcaklıktada ikame miktarı arttıkça eğilmede çekme dayanımında azalma meydana geldiği görölmüştür. Porozitenin artmasıyla numunelerin iç kısmında oluşan boşluk yapısı fazlalaşmakta, bu boşluklar eğilme yüküne karşı çatlak oluşumunu kolaylaştırmakta ve direnci azaltmaktadır. Bu durumun eğilmede çekme dayanım değerinin düşmesine neden olduğu düşünölmektedir.

Literatürde yer alan çalışmalarda pirinç kabuğu külü ve ceviz kabuklarının tuğla bünyesine ikame edilmesiyle eğilmede çekme dayanımında azalma meydana geldiği, elde ettikleri verilerin tez çalışması sonucu elde edilen verilerle örtüştüğü görölmüştür (Barnabas ve ark. 2023; Beskopylny ve ark. 2023; Singh ve ark. 2019).



Şekil 4.7. Numunelerin eğilmede çekme dayanımı grafiği

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında ana madde olarak pomza ve killi toprak, ikame malzemesi olarak pirinç kabuğu külü ve ceviz kabuğu kullanılarak hafif tuğla üretimi yapılmıştır. Üretilen hafif tuğla numunelerine fiziksel ve mekanik deneyler yapılmış, sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmiştir.

1. Tez çalışması kapsamında üretilen tüm numuneler arasında en düşük kuru birim hacim ağırlık değeri 1000 °C’de pişirilen HT6 numunesinden elde edilmiştir.
2. Pirinç kabuğu külü ve ceviz kabuklarının hafif harman tuğla numunelerinin kuru birim hacim ağırlığını düşürdüğü görülmüştür.
3. Kuru birim hacim ağırlığının azalması duvar yükünü azaltmakta böylece toplam bina yükünü hafifletmektedir.
4. Tüm numuneler arasında en düşük su emme (ağırlıkça) oranı REF numunesinden, en yüksek su emme (ağırlıkça) oranı ise 1000 °C’de pişirilen HT1 numunesinden elde edilmiştir.
5. Pirinç kabuğu külü ve ceviz kabuklarının hafif harman tuğla numunelerinin su emme (ağırlıkça) oranını artırdığı anlaşılmıştır.
6. Porozite deneyi sonucunda en yüksek porozite oranı 900 °C’de pişirilen HT6 numunesinden elde edilmiştir.
7. İkame malzemelerinin hafif harman tuğla bünyesinde gözenek oluşturduğu bu durumun porozite değerlerinde artışa neden olduğu görülmüştür.
8. Porozite değerinin düşmesi su emme (ağırlıkça) ve düşük basınç dayanımı gibi istenmeyen özelliklerin oluşmasına neden olmuştur.
9. Donma çözülme deneyi sonucunda basınç dayanımı kaybının en yüksek olduğu numunenin HT6 numunesi olduğu tespit edilmiştir.
10. Her iki sıcaklıkta da en az dayanım kaybı REF numunelerinde en fazla dayanım kaybı ise HT6 numunelerinde yaşandığı görülmüştür.
11. Donma çözülmenin basınç dayanımı üzerindeki etkisine bakıldığında en büyük etkinin %71,1 ile 900 °C’de pişirilen HT6 numunesinde yaşandığı anlaşılmıştır.
12. Pirinç kabuğu külü ve ceviz kabuklarının donma çözülme sonrası basınç dayanımı üzerinde olumsuz etkileri olduğu görülmüştür.

13. Isı iletim katsayısı tayini deneyi sonucunda en yüksek ısı iletim katsayısının 900 °C’de pişirilen REF numunesinden, en düşük ısı iletim katsayısının ise 900 °C’de pişirilen HT6 numunesinden elde edildiği anlaşılmıştır.
14. Pirinç kabuğu külü ve ceviz kabuğu ikamesi ile ısı iletim katsayısı düşük harman tuğla üretilmiştir.
15. Her iki sıcaklıkta da pişirilen tüm numuneler arasında en yüksek basın dayanımı 1000 °C’de pişirilen REF numunesinden, en düşük basınç dayanımı 900 °C’de pişirilen HT6 numunesinden elde edilmiştir.
16. Pirinç kabuğu külü ve ceviz kabuğu ikamesi hafif harman tuğlanın basınç dayanımını olumsuz yönde etkilemiştir.
17. Üretilen tüm numuneler basınç dayanımlarına göre sınıflandırıldığında, her iki sıcaklıkta da HT4, HT5 ve HT6 numuneleri taşıyıcı olmayan tuğla sınıfındadır.
18. Düşük basınç dayanımına sahip HT4, HT5 ve HT6 numuneleri restorasyon veya dekorasyon işlemlerinde rahatlıkla kullanılabilir.
19. 900 °C’de pişirilen HT1, HT2 ve HT3 numuneleri, 1000 °C’de pişirilen HT2 ve HT3 numuneleri hafif yüklü duvar inşasında kullanılacak tuğla sınıfındadır.
20. 1000 °C’de pişirilen HT1 orta dayanımlı tuğla, her iki sıcaklıkta da pişirilen REF numuneleri taşıyıcı duvarlar inşasında kullanılacak tuğla sınıfındadır.
21. Eğilmede çekme dayanımı en yüksek numune REF numunesi iken en düşük eğilme de çekme dayanım değerleri HT6 numunelerinin olduğu tespit edilmiştir.
22. Pirinç kabuğu külü ve ceviz kabukları hafif harman tuğlanın eğilmede çekme dayanımını düşürdüğü görülmüştür.
23. Çalışma sonucunda birim hacim ağırlığı düşük, ısı yalıtım özellikli hafif harman tuğla üretilmiştir.
24. Sürdürülebilir ve geri dönüşüm özellikli tuğla üretimi yapılmıştır. Bu durum üretilen tuğlalarla inşa edilmiş yapıların gelecek nesillere rahatlıkla aktarılmasını sağlamıştır.
25. Organik atıklardan hafif harman tuğla üretimi ile çevre kirliliğinin önlenmesine katkıda bulunulmuştur.
26. Tuğla ana maddesi olan kil yerine pomza kullanımı ile killi toprak kaybının korunması sağlanmıştır.

27. Pomzanın tuğla endüstrisinde kullanılması ile doğal kaynaklarımız endüstriye kazandırılmış, dolaylı olarak ülke ekonomisine katkıda bulunulmuştur.
28. Çalışmada basınç dayanımının düştüğü, su emme oranının arttığı görülmüştür. Bundan sonraki çalışmalarda mekanik özelliklerin ve su emme oranının iyileştirilmesi üzerine çalışmalar yapılabilir.
29. Atık kullanımı konusunda gerek endüstriyel gerekse akademik çalışmaların sayısı artırılabilir.
30. Organik atık kullanımının inşaat sektöründe sınırlı kalmayıp, tüm sektörlerde kullanılması teşvik edilmelidir.
31. Atık kullanımına yönelik çalışmalar gerek kamu kurum ve kuruluşları gerekse üniversiteler tarafından desteklenmelidir.
32. Elde edilen veriler laboratuvar ölçeğinde kalmayıp, sektörel bazda değerlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

- Abbass, M. & Akhai, S. (2025). Eco-friendly geopolymer bricks synthesized from alkali-activated sugarcane bagasse ash and rice husk ash. *Industrial Crops and Products*, 233, 121410.
- Abdulwahid, M. Y., Akinwande, A. A., Kamarou, M., Romanovski, V. & Al-Qasem, I. A. (2024). The production of environmentally friendly building materials out of recycling walnut shell waste: A brief review. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(20), 24963-24972.
- Abi, C.E. (2014). Effect of borogypsum on brick properties. *Construction and Building Materials*, 59, 195-203.
- Adibelli, Ü., Mutlu, D., Çakir Yiğit, N. & Karagöz, İ. (2022). Preparation and characterization of walnut shell-filled epoxy hybrid composite materials. *10th International Fiber and Polymer Research Symposium*, 13-14.
- Af'idah, N. (2020). *Biokomposit dari Limbah Organik*. Jombang: LPPM Unhasy Tebuireng Jombang.
- Ahiler Kalkınma Ajansı (2015). POMZA Araştırma ve Uygulama Merkezi Fizibilite Raporu.
- Akpınar, E. K. & Koçyigit, F. (2016). Thermal and mechanical properties of lightweight concretes produced with pumice and tragacanth. *Journal of adhesion science and Technology*, 30(5), 534-553.
- Alizada, A. (2020). *The use of modified walnut shell waste with alkalis and various acids as a filler in phenolic epoxy resin*, Master's Thesis, Selçuk University Institute of Science, Konya.
- Andreola, F., Lancellotti, I. & Manfredini, T. (2018). Rice husk ash (RHA) recycling in brick manufacture: effects on physical and microstructural properties. *Waste Biomass Valorization*, 9, 2529–2539.
- 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.
- Annisa, N. (2022). *Inovasi material komposit sebagai peredam*. Master's Thesis. Hasanuddin University.
- Arslan, S. (2024). Çeltik Tarım Ürünleri Piyasaları Raporu, 2024.

- ASTM C67 (2023). Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile, American Society for Testing and Materials International, ABD
- Banaba, G., Murer, S., Rouse, C., Beaumont, F., Bliard, C., Chatelet, É., & Polidori, G. (2025). Effect of Rice Husk Addition on the Hygrothermal, Mechanical, and Acoustic Properties of Lightened Adobe Bricks. *Materials*, 18(14), 3364.
- Barnabas, A. A., Balogun, O. A., Akinwande, A. A., Ogbodo, J. F., Ademati, A. O., Dongo, E. I., & Romanovski, V. (2023). Reuse of walnut shell waste in the development of fired ceramic bricks. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(5), 11823-11837.
- Basavaraja, H., Mahajanashetti, S. B. & Udagatti, N. C. (2007). Economic analysis of post-harvest losses in food grains in India: a case study of Karnataka (PDF). *Agricultural Economics Research Review*, 20 (1), 1-15.
- Bayazit, S., Tefek, H., & Çalışkan, O. (2016). Türkiye’de ceviz (*Juglans regia* L.) araştırmaları, *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(1), 169-179.
- Bebhe, K., & Daton, R. (2021). The effect of adding rice husk ash and coconut fiber on the compressive strength of white bricks. *ARTEKS: Jurnal Teknik Arsitektur*, 6(1), 119-128.
- Behroozmand, A. A., Keating, K., & Auken, E. (2015). A review of the principles and applications of the NMR technique for near-surface characterization. *Surveys in Geophysics*, 36(1), 27-85.
- Bergaya, F., & Lagaly, G. (2013). Handbook of clay science (Vol. 5). Newnes.
- Beskopylny, A. N., Stel’makh, S. A., Shcherban’, E. M., Mailyan, L. R., Meskhi, B., Shilov, A. A., & El’shaeva, D. (2023). Effect of walnut-shell additive on the structure and characteristics of concrete. *Materials*, 16(4), 1752.
- Bims Sanayiciler Derneği, Eylül 2006, Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği Türkiye Toprak Sanayi Meclisi Pomza Alt Sektör Raporu, Sayfa: 3
- Booth, F., Carranza, M. B., Novak, G., Okulik, N., Mocciaro, A., & Rendtorff, N. (2025). Influence of Rice Husk Ash on Crystalline Phases and Mechanical Characteristics of Sustainable Bricks. *Cerâmica*, 71, eKVMQ4623.

- Bose, B. P., & Ghosh, D. (2024). Development of Light Weight Bricks for Energy Efficient Buildings Using Rice Husk. *International Journal of Earth Sciences Knowledge and Applications*, 6(1), 12-20.
- Bouman, B. A. M., Peng, S., Castaneda, A. R., & Visperas, R. M. (2005). Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems. *Agricultural Water Management*, 74(2), 87-105.
- Buchanan, A. H., & Honey, B. G. (1994). Energy and carbon dioxide implications of building construction. *Energy and Buildings*, 20(3), 205-217.
- Budak, Y., (2010). Ceviz Yetiştiriciliği, Samsun Valiliği İl Tarım Müdürlüğü, 2-, 2010.
- Buggenhout, J., Brijs, K., Celus, I., & Delcour, J. A. (2013). The breakage susceptibility of raw and parboiled rice: A review. *Journal of Food Engineering*, 117(3), 304-315.
- Candra, A. I., Romadhon, F., Azhari, F. M., & Hidiyati, E. F. (2022). Increasing compressive strength of the red brick with fly ash and rice husk ash. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 24(2), 107-117.
- Cansee, S., Butwong, N., Saenkham, S., Kanasri, T., Hu, S., & Promtown, W. (2025). Enhancing the energy efficiency of traditional brick kilns through sustainable insulation with rice husk ash and wood ash. *Engineering and Applied Science Research*, 52(6), 648-658.
- Cao, J. S., Lin, J. X., Fang, F., Zhang, M. T., & Hu, Z. R. (2014). A new absorbent by modifying walnut shell for the removal of anionic dye: kinetic and thermodynamic studies. *Bioresource Technology*, 163, 199-205.
- Cendrowski, S. (2013). The Rice Rush. *Forbes* (paper): 9-10.
- Charai, M., Horma, O., Mezrhab, A., & Karkri, M. (2022). Thermal insulation of mud bricks made with walnut shells: Characterization and simulation study. *Materials Today: Proceedings*, 62, 4545-4550.
- Cheong, L. Z., & Xu, X. (Eds.). (2019). *Rice bran and rice bran oil: Chemistry, processing and utilization*. Elsevier.
- Crangle, R. D. (2013) Pumice and Pumicite, 2012 Minerals Yearbook, U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey.

- Çakır NY, Karagöz İ (2021). Preparation and characterization of walnut shell-based polylactic acid (PLA) composite filaments. *9th International Fiber and Polymer Research Symposium*, Uşak, Türkiye, November 19-20.
- Çirkin, İ. (2023). *The Effect Of Pumice, Perlite And Fiber Glass Additives On The Thermal Conductivity, Compressibility And Shear Strength Behavior Of Zeolite-Bentonite And Sand-Kaolin Mixtures Under High Temperatures*, Yüksek Lisans Tezi, Natural and Applied Sciences of Dokuz Eylül University, İzmir.
- Damanhuri, A. A. M., Lubis, A. M. H. S., Hariri, A., Herawan, S. G., Roslan, M. H. I., & Hussin, M. S. F. (2020). Mechanical properties of rice husk ash (RHA) brick as partial replacement of clay. *In Journal of Physics: Conference Series* 1529(4), 042034. IOP Publishing.
- Dany, AYM., Abalo, P., Irina, P. & Koffi-Sa, B. (2020). Influence of Rice Husks Ashes on Air-Dried Earth Bricks Characteristics, *Research Journal of Recent Sciences*, 9(3), 6-11.
- Davraz, M., (2001). *POMZANIN ENDÜSTRİYEL KULLANIM ALANLARI* Doktora semineri. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Dinesh, A., Rubina, I., Varsha, N. A., Dhevharshini, M., & Ramesh, C. (2023). Evaluation of the readiness of clay bricks with partially replaced rice husk ash. *Materials Today: Proceedings*, 94, 431-436
- Dovi, E., Aryee, A. A., Kani, A. N., Mpatani, F. M., Li, J., Li, Z., Novi, Qu, L. & Han, R. (2021). Functionalization of walnut shell by grafting amine groups to enhance the adsorption of Congo red from water in batch and fixed-bed column modes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), 106301.
- Dünder, B. (2026). *The Effect Of Nanosilica On The Properties Of Pumice Incorporated Blended Cements*, Master's Thesis, The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University, Ankara.
- El Hamri, A., Mouhib, Y., Chkala, H., Oulhakem, O., Chigr, M., & El Mansouri, N. E. (2025). Investigating the Potential of Using Walnut Shell Particles for Manufacturing Cement-Bonded Particle Boards, *Journal of Composites Science*, 9(4), 183.

- Eliche-Quesada, D., Felipe-Sesé, M. A., López-Pérez, J. A., & Infantes-Molina, A. (2017). Characterization and evaluation of rice husk ash and wood ash in sustainable clay matrix bricks. *Ceramics International*, 43(1), 463-475.
- Erkoyun, H., 2005, Pomzanın Türkiye'deki Yeri ve Önemi, Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi Bildirimler Kitabı, 1-7.
- FAO publications catalogue 2023, FAO Publications Catalogue 2023 (2023). <https://doi.org/10.4060/CC7285EN>.
- FAOSTAT (2020). Crops/Regions/World list/Production Quantity (pick lists), Rice (paddy). UN Food and Agriculture Organization, Corporate Statistical Database (FAOSTAT).
- Farooque, K. N., Zaman, M., Halim, E., Islam, S., Hossain, M., Mollah, Y. A., & Mahmood, A. J. (2009). Characterization and utilization of rice husk ash (RHA) from rice mill of Bangladesh. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 44(2), 157-162.
- Fernandes, I. J., Calheiro, D., Kieling, A. G., Moraes, C. A., Rocha, T. L., Brehm, F. A., & Modolo, R. C. (2016). Characterization of rice husk ash produced using different biomass combustion techniques for energy, *Fuel*, 165, 351-359.
- Fernando, S., Gunasekara, C., Law, D. W., Nasvi, M. C. M., Setunge, S., & Dissanayake, R. (2022a). Engineering properties of waste-based alkali activated concrete brick containing low calcium fly ash and rice husk ash: A comparison with traditional Portland cement concrete brick, *Journal of Building Engineering*, 46, 103810.
- Fernando, S., Gunasekara, C., Law, D. W., Nasvi, M. C. M., Setunge, S., Dissanayake, R., & Robert, D. (2022). Environmental evaluation and economic analysis of fly ash-rice husk ash blended alkali-activated bricks. *Environmental Impact Assessment Review*, 95, 106784.
- Flores, C. G., Schneider, H., Dornelles, J. S., Gomes, L. B., Marcilio, N. R., & Melo, P. J. (2021). Synthesis of potassium zeolite from rice husk ash as a silicon source. *Cleaner Engineering and Technology*, 4, 100201.
- Fordos, S., Abid, N., Gulzar, M., Pasha, I., Oz, F., Shahid, A., Al-Hussien, S.A. & Aadil, R. M. (2023). Recent development in the application of walnut processing by-products (walnut shell and walnut husk), *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(16), 14389-14411.

- Frapanti, S., Tanjung, L. E., Riza, F. V., Nasution, A. R., & Zulkarnain, F. (2024). Comparison of physical and mechanical properties of traditional bricks in Deli Serdang with no-burn bricks using rice husk ash, *Journal of Engineering and Applied Science*, 71(1), 143.
- Gencil, O. (2015). Characteristics of fired clay bricks with pumice additive. *Energy and Buildings*, 102, 217-224.
- Green, S. M., Brooke, N. J., McSaveney, L. G., & Ingham, J. M. (2011). Mixture design development and performance verification of structural lightweight pumice aggregate concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23(8), 1211-1219.
- Gündüz, L. (Ed.) (1998). Pomza Teknolojisi. Cilt I, Isparta, 1998, pp. 288.
- Gündüz L., Şapçı N. & Davraz M. (2005). Pomza Madenciliği, Endüstrisi ve Türkiye Açısından Önemi (Gelişen Yeni Bir Sektör). Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, IMCET2005, İzmir, 2005, pp. 397-407.
- Hossain, S. S., Mathur, L., & Roy, P. K. (2018). Rice husk/rice husk ash as an alternative source of silica in ceramics: A review, *Journal of Asian Ceramic Societies*, 6(4), 299-313.
- Hu, L., He, Z., & Zhang, S. (2020). Sustainable use of rice husk ash in cement-based materials: Environmental evaluation and performance improvement, *Journal of Cleaner Production*, 264, 121744.
- Hwang, C. L., & Huynh, T. P. (2015). Evaluation of the performance and microstructure of ecofriendly construction bricks made with fly ash and residual rice husk ash. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2015(1), 891412.
- Ige, O., & Danso, H. (2022). Experimental characterization of adobe bricks stabilized with rice husk and lime for sustainable construction. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 34(2), 04021420.
- Iqbal, M. T., Ahmed, I. A., Isik, M., Sultana, F., & Ortaş, I. (2021). Role of mycorrhizae inoculations on nutrient uptake in rice grown under aerobic and anaerobic water management. *Journal of Plant Nutrition*, 44(4), 550-568.
- IRRI (International Rice Research Institute), Rice facts and figures, Los Baños, Philippines, 2020.
- Jahanban-Esfahlan, A., Ostadrahimi, A., Tabibiazar, M. & Amarowicz, R., (2019). A comprehensive review on the chemical constituents and functional uses of walnut

- (*Juglans* spp.) husk, *International Journal of Molecular Science*, 20(16), 3920, 1-37.
- Jana, K., Karmakar, R., Banerjee, S., Sana, M., Goswami, S., & Puste, A. M. (2018). Aerobic rice cultivation system: Eco-friendly and water saving technology under changed climate, *Journal of Agriculture Research and Technology*, 13, 40-44.
- 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., Latif Al-Mufti, R., & Hussien, A. (2022). Eggshell and Walnut Shell in Unburnt Clay Blocks, *Civil Engineering 2022*, 3, 263–276.
- Jonathan, K. M., Kuria, K. P., Mwangi, G. J., & Gichuki, N. F. (2020). Characterization of rice husk ash prepared by open air burning and furnace calcination, *Journal of Chemical Engineering and Materials Science*, 11(2), 24-30.
- Kalpana, M., Venkatesan, G., & Padma, S. (2024). Analysing the Effectiveness of Municipal Wastewater Sludge, Bagasse Ash, Rice Husk Ash and Plastic Waste Powder for Manufacturing Bricks, *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 21(1), 71-79.
- Kadakoğlu, B., Bayav, A., & Karlı, B. (2022). Türkiye’de ceviz üretim projeksiyonu ve rekabet gücü analizi, *Meyve Bilimi*, 9(1), 8-15.
- Kerber, F., Dudczig, S., Malczyk, P., Schemmel, T., Jansen, H., & Aneziris, C. G. (2025). Flame-sprayed rice husk ash-based runner-brick refractories tested in steel casting experiments, *Journal of the European Ceramic Society*, 118064.
- Ketov, A., Rudakova, L., Vaisman, I., Ketov, I., Haritonovs, V., & Sahmenko, G. (2021). Recycling of rice husks ash for the preparation of resistant, lightweight and environment-friendly fired bricks, *Construction and Building Materials*, 302, 124385.
- Koomey, J. G., Martin, N. C., Brown, M., Price, L. K., & Levine, M. D. (1998). Costs of reducing carbon emissions: US building sector scenarios, *Energy Policy*, 26(5), 433-440.
- Kordi, M., Farrokhi, N., Pech-Canul, M. I., & Ahmadikhah, A. (2024). Rice husk at a glance: from agro-industrial to modern applications, *Rice Science*, 31(1), 14-32.
- Koroneos, C., & Dompros, A. (2007). Environmental assessment of brick production in Greece, *Building and environment*, 42(5), 2114-2123.

- Li, B., Luo, F., Li, X., & Liu, J. (2024). Mechanical properties evolution of clays treated with rice husk ash subjected to freezing-thawing cycles, *Case Studies in Construction Materials*, 20, e02712.
- Li, J., Chen, P., Cai, H., Xu, Y., & Li, C. (2021). Preliminary study on the utilization of rha as a performance enhancer for rubber mortar, *Materials*, 14(12), 3216.
- Ling, X., Yaoping, X., Xiangui, Z. H. A. O., & Jihua, L. (1998). The developmental anatomy on the pericarp of *Juglans regia*, *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 18(4), 577-580.
- Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, (2001). Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri Iıı (Pomza-Perlit-Vermikülit-Flogopit-Genleşen Killer) Çalışma Grubu Raporu.
- Mahdi, S. N., Hossiney, N., & Abdullah, M. M. A. B. (2022). Strength and durability properties of geopolymer paver blocks made with fly ash and brick kiln rice husk ash, *Case Studies in Construction Materials*, 16, e00800.
- Manville, V., White, J., Houghton, B. & Wilson, C., 1998. The saturation behaviour of pumice and some sedimentological implications, *Sedimentary Geology*, 119(1-2), 5-16.
- Masthura, Daulay, A.H., & Lubis, D.F., (2021). Uji Mekanik Batako dengan Penambahan Serbuk Gergaji kayu Jati (*Tectona Grandist*), *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, 17(2), 153-158.
- Menezes, R. R., Ferreira, H. S., Neves, G. A., Lira, H. D. L., & Ferreira, H. C. (2005). Use of granite sawing wastes in the production of ceramic bricks and tiles, *Journal of the European Ceramic Society*, 25(7), 1149-1158.
- Milak, P., Souza, M. T., Bom, C. P., Mantas, P., Raupp-Pereira, F., & Oliveira, A.N.D. (2017). Valorization of rice husk ash in ceramic bricks, *Cerâmica*, 63(368), 490-493.
- Miro, B., & Ismail, A. M. (2013). Tolerance of anaerobic conditions caused by flooding during germination and early growth in rice (*Oryza sativa* L.), *Frontiers in Plant Science*, 4, 269.
- Mirón, S., Wendonly, B., & Roux Gutiérrez, R. S. (2017). 56. Chapter Alternative material for load-bearing wall with addition of walnut shell. Waste Reduction.

- Mohajerani, A., Ukwatta, A., Jeffrey-Bailey, A., Swaney, T., Ahmed, M., Rodwell, G. & Setunge, S. (2019). A proposal for recycling the world's unused stockpiles of treated wastewater sludge (biosolids) in fired-clay bricks, *Buildings*, 9(1), 14.
- Munir, M. J., Kazmi, S. M. S., Gencel, O., Ahmad, M. R., & Chen, B. (2021). Synergistic effect of rice husk, glass and marble sludges on the engineering characteristics of eco-friendly bricks, *Journal of Building Engineering*, 42, 102484.
- Mustapha, K., Egbanubi, O. E., Abdulraman, S. O., & Adepoju, S. A. (2025). Enhancement of Mechanical Properties of Unfired Clay Bricks Using Rice Husk Ash and Fibre Reinforcement, *Journal of Materials and Engineering Structures*, 12(3), 397-408.
- 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.
- Nakkeeran, G., Krishnaraj, L., Shakor, P., Alaneme, G. U., & Otu, O. N. (2024). Mechanical properties optimization and cost analysis of agricultural waste as an alternative in brick production. *Scientific Reports*, 14(1), 24075.
- Netinger Grubeša, I., Vračević, M., Ducman, V., Marković, B., Szenti, I., & Kukovec, Á. (2020). Influence of the size and type of pores on brick resistance to freeze-thaw cycles, *Materials*, 13(17), 3717.
- Nikmah, N. W., Abdullah, M., Khan, S., Mohamed, M. A., & Al-Fakih, A. (2025). A comprehensive review of the physico-mechanical properties of masonry units incorporating municipal solid waste, *Frontiers in Built Environment*, 11, 1621305.
- Nugroho, M.W. & Susilowati. (2023). Pengujian Statistik Kualitas Batako Bersubsidi Bonggol Jagung, *Buletin Profesi Insinyur*, 6(1), 44-49.
- Oğuz, H. İ., Gökdoğan, O., & Baran, M. F. (2016). İç Anadolu Bölgesinin Bazı İllerinde Ceviz Yetiştiriciliğinin Sorunları ve Çözüm Yolları, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 3(2), 105-113.
- Oka, T., Suzuki, M., & Konnya, T. (1993). The estimation of energy consumption and amount of pollutants due to the construction of buildings.
- Okoro, H. K., Alao, S. M., Pandey, S., Jimoh, I., Basheeru, K. A., Caliphs, Z., & Ngila, J. C. (2022). Recent potential application of rice husk as an eco-friendly adsorbent for removal of heavy metals, *Applied Water Science*, 12(12), 259.

- Oli, A., Ghorsai, S., Rai, A., Mahara, S., Sharma, S., & Neupane, D. (2025). Performance Evaluation and Application Framework for Sustainable Brick Manufacturing Using Rice Husk Ash, *Discover Civil Engineering*, 25, 1-16.
- Oli, A., & Sharma, S. (2026). A Comprehensive Review on Production, Properties and Sustainable Applications of Rice Husk Ash. *Reportage*, 1(1), 41-61
- Onyenokporo, N. C., Taki, A., Montalvo, L. Z., & Oyinlola, M. A. (2024). Exploring the impact of rice husk ash masonry blocks on building energy performance, *Buildings*, 14(5), 1290.
- Onyenokporo, N. C., Taki, A., Montalvo, L. Z., & Oyinlola, M. (2023). Thermal performance characterization of cement-based masonry blocks incorporating rice husk ash, *Construction and Building Materials*, 398, 132481.
- Ozcan, M. M. (2009). Some nutritional characteristics of fruit and oil of walnut (*Juglans regia* L.) growing in Turkey, *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 28(1), 57-58.
- Pandey, V., Panda, S. K., & Singh, V. K. (2024). Preparation and characterization of high-strength insulating porous bricks by reusing coal mine overburden waste, red mud and rice husk, *Journal of Cleaner Production*, 469, 143134.
- Panennungi, T., Rauf, B. A., Adam, A., Ahmad, I. A., & Sampebua, O. (2023, July). *Mechanical Properties of Brick Using Rice Husk Ash*. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1209, No. 1, p. 012005). IOP Publishing.
- Peng, S., Qiu, K., Yang, B., Ai, J., & Zhou, A. (2024). Experimental study on the durability performance of sustainable mortar with partial replacement of natural aggregates by fiber-reinforced agricultural waste walnut shells, *Sustainability*, 16(2), 824.
- Phonphuak, N., Lawanwadeekul, S., & Chindaprasirt, P. (2026). *Fired clay brick containing waste glass and agricultural waste*. In *Advances in Sustainable Masonry Bricks and Blocks* (pp. 263-284). Woodhead Publishing.
- Pirinç Durum Tahmin Raporu, (2024). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tarım Reformu Genel Müdürlüğü Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü, TEPGE Yayın No: 406.
- Prasetyoko, D., Ramli, Z., Endud, S., Hamdan, H., & Sulikowski, B. (2006). Conversion of rice husk ash to zeolite beta, *Waste Management*, 26(10), 1173-1179.

- Pode, R. (2016). Potential applications of rice husk ash waste from rice husk biomass power plant, *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 53, 1468-1485.
- Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi (PAUM), 2015. Fizibilite Raporu. Nevşehir: Ahiler Kalkınma Ajansı. (Web sayfası: <https://ahika.gov.tr/assets/ilgili-dosyalar/Pomza-Arastirma-ve-Uygulama-Merkezi-Fizibilite-Raporu.pdf>) (Erişim tarihi: 23.11.2025)
- Postallı, G. (2025). *Sentetik açıklıklı radar ve optik veriler kullanılarak makine öğrenmesi modelleriyle çeltik bitkisi yaprak alan indeksi (YAI) tahmini*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Yüksekokulu, Ankara.
- Quispe, I., Navia, R., & Kahhat, R. (2017). Energy potential from rice husk through direct combustion and fast pyrolysis: a review, *Waste Management*, 59, 200-210.
- Rahman, Z., Nazarah, H., Idris, W., & 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.
- Rashad, A. M. (2021). An overview of pumice stone as a cementitious material—the best manual for civil engineer, *Silicon*, 13(2), 551-572.
- Rashid, K., & Mawra, K. (2026). Ash to brick: rice husk ash in sustainable masonry. In *Advances in Sustainable Masonry Bricks and Blocks* (pp. 285-305). Woodhead Publishing.
- Riza, F. V., Rahman, I. A., & Zaidi, A. M. A. (2010, December). *A brief review of compressed stabilized earth brick (CSEB)*. In 2010 International Conference on Science and Social Research (CSSR 2010) (pp. 999-1004). IEEE.
- Royani, A., Roberto, R., Utama, D. P., Triwardono, J., & Nikitasari, A. (2025). The Performances of Rice Husk Ash and Alumina Paste in The Development of Lightweight Composite Bricks, *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 1-15.
- Ruengsri, S., Insiripong, S., Sangwanate, N., & Kaewkhao, J. (2015). Development of barium borosilicate glasses for radiation shielding materials using rice husk ash as a silica source, *Progress in Nuclear Energy*, 83, 99-104.
- Saltan, M., Kavlak, Y., & Ertem, F. S. (2011). Utilization of pumice waste for clayey subgrade of pavements, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23(12), 1616-1623.

- Sari, D., & Pasamehmetoglu, A. G. (2005). The effects of gradation and admixture on the pumice lightweight aggregate concrete, *Cement And Concrete Research*, 35(5), 936-942.
- Sariisik, A., & Sariisik, G. (2012). New production process for insulation blocks composed of EPS and lightweight concrete containing pumice aggregate, *Materials And Structures*, 45(9), 1345-1357.
- Schoonheydt, R. A. (2016). Reflections on the material science of clay minerals, *Applied Clay Science*, 131, 107-112.
- Sert Kabuklu Meyveler Ürün Raporu, (2024). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tarım Reformu Genel Müdürlüğü Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü.
- Setiawan, D. G. E., Manoppo, S. M., Mursalin, & Nuayi, A. W. (2023, June). The effect of rice husk ash as a mixed material on the quality of red bricks. In The 8th International Conference On Mathematics, Science And Education 2614(1), p. 050014). AIP Publishing LLC.
- Setyawan, T., & Mulyadi, H. (2018). Inovasi Material Konstruksi Berkelanjutan di Era Modern, *Jurnal Teknologi Bangunan*, 12(1), 25-30.
- Sezgin, M., Davraz, M., Gündüz, L., (2005). *Pomza Endüstrisine Sektörel Bir Bakış, Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi Bildirimler Kitabı*, 9-22.
- Shanmukh, B. S. S., & Saikumar, B. (2020). A study on the efficacy of RHA as a full replacement for clay in brick-blocks, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 7(3), 4927-4933.
- Shirley M. (2024). Food Outlook – Biannual report on global food markets, FAO, 2024.
- Simanjuntak, V.H., (2011). *Pembuatan dan karakterisasi batako ringan dengan memanfaatkan sabut kelapa sebagai agregat untuk bahan kedap suara*. Master's Thesis. Sumatera Utara University.
- Sindhu, O., Divyashri, G., Murthy, T. P., & Chandraprabha, M. N. (2025). Valorising walnut shells for sustainable circular economy applications. Discover Food.
- Singh, B. (2018). Rice husk ash, Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102156-9.00013-4>.
- Singh, R., & Patel, M. (2025). Mechanical, durability, and microstructural characteristics of rice-straw-ash-based clay bricks: a sustainable approach to utilize biomass-based

- power plant waste, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 27(1), 170-192.
- Singh, T., Gangil, B., Patnaik, A., Biswas, D., & Fekete, G. (2019). Agriculture waste reinforced corn starch-based biocomposites: Effect of rice husk/walnut shell on physicochemical, biodegradable and thermal properties, *Materials Research Express*, 6(4), 045702.
- Smith, B. D. (1998). *The Emergence of Agriculture*. Scientific American Library, New York.
- Sun, J., Zhou, H., Jiang, H., Zhang, W., & Mao, L. (2021). Recycling municipal solid waste incineration fly ash in fired bricks: An evaluation of physical-mechanical and environmental properties, *Construction and Building Materials*, 294, 123476.
- 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.
- Şen, S. M., and Karadeniz, T., (2015). The nutritional value of walnut, *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 11(18), 68-71.
- Tahıllar Ve Diğler Bitkisel Ürünler Raporu, <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/> (Erişim Tarihi: 5.12.2025).
- Tarım Ürünleri Piyasaları (2021). Ceviz. Strateji geliştirme başkanlığı TEPGE.
- Taşlıgil, N., & Şahin, G. (2011). Türkiye’de çeltik (*Oryza sativa* L.) yetiştiriciliği ve coğrafi dağılımı, *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (6), 182-203.
- Temeltürk, B.M. (2024). *Investigation Of Viral Agents In Walnut (Juglans spp.) Trees By High Throughput Sequencing* Master’s Thesis, Niğde Omer Halisdemir University Graduate School Of Natural And Applied Sciences Department Of Plant Production And Technologies. Niğde.
- TUİK, “Türkiye İstatistik Kurumu”, <https://www.tuik.gov.tr/>, 2023.
- Turfah, O.M: (2021). *Determination Of The Physical Properties Of Lightweight Concretes Produced Using Pumice After Treatment With Alkaline And Acidic Solutions*. Master’s Thesis, Van Yuzuncu Yıl University Institute Of Natural And Applied Sciences, Van.

- Valenzuela, M., Tuninetti, V., Ciudad, G., Miranda, A., & Oñate, A. (2025). Designing sustainable cement free compositions with rice husk ash to improve mechanical performance in next generation ecoblocks, *Scientific Reports*, 15(1), 14920.
- Varol, B. (2024). Pomza Sektor Raporu. Sayfa 6-11.
- Wang, S., Gainey, L., Mackinnon, I. D., Allen, C., Gu, Y., & Xi, Y. (2023). Thermal behaviors of clay minerals as key components and additives for fired brick properties: A review, *Journal of Building Engineering*, 66, 105802.
- Wang, Y., Jia, H., Chen, P., Fang, X., & Du, T. (2020). Synthesis of La and Ce modified X zeolite from rice husk ash for carbon dioxide capture, *Journal of Materials Research and Technology*, 9(3), 4368-4378.
- Webileti1. https://www.google.com/search?q=Anaerobik+pirin%C3%A7+yeti%C5%9Ftirme+sistemi&sca_esv. Erişim Tarihi: 20.12.2025.
- Web ilet i 2, <https://depositphotos.com/tr/vector/life-cycle-rice-plant-white-background-222425954.html>. Erişim Tarihi: 21.7.2025.
- Web ilet i 3, <https://www.istockphoto.com/tr/vekt%C3%B6r/pirin%C3%A7-yap%C4%B1s%C4%B1-diyagram-chaff-kahverengi-pirin%C3%A7-mikrop-pirin%C3%A7-beyaz-pirin%C3%A7-kepek-gm1322259253-408273171>. Erişim Tarihi: 02.10.2025.
- Web ilet i 4, <https://charcoalmachines.com/tr/rice-hull-charcoal-production/>. Erişim Tarihi: 20.10.2025.
- Web ilet i 5, https://www.ricehuskash.com/applications/?utm_source=chatgpt.com. Erişim Tarihi: 20.10.2025.
- Web ilet i 6. <https://www.milliyet.com.tr/egitim/haritalar/turkiye-ceviz-uretim-haritasi-ceviz-nerelerde-yetisir-il-il-en-cok-ceviz-yetistirilen-bolgeler-6307450>. Erişim Tarihi: 10.12.2025.
- Web ilet i 7. <https://www.islamveihsan.com/pomza-nedir-ne-ise-yarar.html>. Erişim Tarihi: 15.11.2025.
- World Bank (2011). Missing food: the Case of Postharvest Grain Losses in Sub-Saharan Africa (PDF). The World Bank. <http://www.data.worldbank.org> (Erişim Tarihi: 25-10-2025).

- Yazıcıoğlu S., Arıcı E., Gönen T., (2003). Pomza Taşının Kullanım Alanları ve Ekonomiye Etkisi, *Fırat Üniversitesi, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi*, 1, 118-123.
- Yingliang, T. I. A. N., Chang-Wei, X. U., Jin-Wei, L. I., Shi-Bing, S. U. N., Hong, Q. I., Cun-Xi, M. A., & Ming-Pu, C. A. O. (2016, December). *Process and properties study of porous thermal insulation building materials based on walnut shell*. In 3rd International Conference on Material Engineering and Application (ICMEA 2016) (pp. 262-268). Atlantis Press.
- Yue, T., Zhang, X., Yue, J., Yuan, J., & Yue, J. (2025). Study on the improvement of freeze resistance of historical architectural bricks by organo silicon waterproofing agent, *Scientific Reports*, 15(1), 21154.
- Zahan, S., Akter, S., & Ahsan, R. (2020, February). *Effects of rice husk in clay blocks*. In International Conference on Civil Engineering for Sustainable Development (ICCESD 2020), 7~ 9 February 2020, KUET, Khulna, Bangladesh (ISBN-978–984–34–8764–3) (Vol. 10).
- Zhuang, X., Yin, T., Han, W., & Zhang, X. (2019). *Nutritional ingredients and active compositions of defatted rice bran*. In Rice bran and rice bran oil (pp. 247-270). AOCS Press.
- Zou, Y., & Yang, T. (2019). *Rice husk, rice husk ash and their applications*. In Rice bran and rice bran oil (pp. 207-246). AOCS Press.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER	
Adı Soyadı:	Erdal AKTAŞ
Uyruğu:	T.C.
Orcid Numarası:	0009-0006-8324-583X

EĞİTİM BİLGİLERİ	
Lisans	
Üniversite:	Kırıkkale Üniversitesi
Fakülte:	Mühendislik Fakültesi
Bölümü:	İnşaat Mühendisliği
Mezuniyet Yılı:	2022
Yüksek Lisans	
Üniversite:	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Enstitü:	Fen Bilimler Enstitüsü
Anabilim Dalı:	İnşaat Mühendisliği
Mezuniyet Yılı:	2026
Doktora	
Üniversite:	
Enstitü:	
Anabilim Dalı:	
Mezuniyet Yılı:	

Tezden Üretilen Makaleler ve Bildiriler
Aktaş, E., Çağlar, H., Çağlar, A (2026). The Use of Walnut Shells in The Production of Building Materials: A Brief Reviews, 6th International Topkapı Congress on Current Developments in Scientific Research, İstanbul.