



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



**KIRŞEHİR YÖRESİ ATIK MERMER  
TOZUNUN ÇEVRE DOSTU TUĞLA  
ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ**

**TAMARAH ZAİD KAMİL AL-SHAMMARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KIRŞEHİR**

**2023**



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



**KIRŞEHİR YÖRESİ ATIK MERMER  
TOZUNUN ÇEVRE DOSTU TUĞLA  
ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ**

**TAMARAH ZAİD KAMİL AL-SHAMMARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN**

**PROF. DR. MEHMET MUSTAFA ÖNAL**

**KIRŞEHİR**

**2023**

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

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

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

bildirir, aksi bir durumda bu konuda hakkımda yapılacak tüm yasal işlemleri ve aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim. ....../...../20...

Tamarah Zaid Kamil AL-SHAMMARI

# 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
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	5
2.1. Mermer ve Mermer Tozu .....	5
2.1.1. Mermerin tanımı.....	5
2.1.2. Mermerlerin sınıflandırılması .....	6
2.1.2.1. Mineral bileşim ve oranına göre mermerler .....	6
2.1.2.2. Mineral tane boyutlarına göre mermerler.....	6
2.1.2.3. Yapı ve dokularına göre mermerler .....	6
2.1.2.4. Mineralojik oluşuma göre mermerler.....	6
2.1.2.5. Ekonomik şartlara göre mermerler.....	7
2.1.2.6. Ticari pazara ve renge göre mermerler .....	7
2.1.3. Mermerin kullanım alanları.....	7
2.1.4. Atık mermer tozu .....	7
2.1.4.1. Atık mermer tozunun kullanım alanları .....	8
2.1.4.2. Atık mermer tozlarının çevresel etkileri.....	10
2.2. Tuğla.....	10
2.2.1. Tuğlanın tarihçesi.....	12
2.2.2. Tuğlanın üretim süreçleri .....	13
2.2.2.1. Hammaddenin elde edilmesi .....	14
2.2.2.2. Tuğla hamurunun hazırlanması .....	15
2.2.2.3. Tuğlanın şekillendirilmesi.....	15
2.2.2.4. Tuğlanın kurutulması .....	16
2.2.2.5. Tuğlanın pişirilmesi ve soğutulması .....	18
2.2.2.6. Paketleme ve nakliye.....	20
2.2.3. Tuğlanın sınıflandırılması ve çeşitleri.....	21

2.3. Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar .....	25
<b>3. MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>33</b>
3.1. Materyal .....	33
3.1.1. Atık mermer tozu .....	33
3.1.2. Killi toprak .....	33
3.1.3. Karışım suyu .....	34
3.2. Yöntem .....	34
3.2.1. Numunelerin üretimi .....	34
3.2.2. Numunelere uygulanan fiziksel deneyler .....	36
3.2.2.1. Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık .....	36
3.2.2.2. Su emme (ağırlıkça) .....	36
3.2.2.3. Porozite.....	37
3.2.2.4. Donma-çözülme etkisi.....	37
3.2.2.5. Sülfat etkisi.....	38
3.2.3. Numunelere uygulanan mekanik deneyler .....	38
3.2.3.1. Basınç dayanımı .....	38
3.2.3.2. Eğilmede çekme dayanımı .....	39
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>41</b>
4.1. Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık .....	41
4.2. Porozite.....	42
4.3. Su Emme (Ağırlıkça) .....	43
4.4. Donma-Çözülme Etkisi .....	44
4.5. Sülfat Etkisi .....	45
4.6. Basınç Dayanımı .....	46
4.7. Eğilmede Çekme Dayanımı .....	47
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>49</b>
5.1. Sonuçlar.....	49
5.2. Öneriler.....	50
<b>6. KAYNAKLAR.....</b>	<b>51</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>61</b>

## 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 Prof. Dr. M. Mustafa ÖNAL'a büyük bir içtenlikle teşekkür ederim.

Tezimi, anne ve babam başta olmak üzere özellikle eşime ve çocuklarıma ithaf ederim.

Kasım, 2023

Tamarah Zaid Kamil AL-SHAMMARI



## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## KIRŞEHİR YÖRESİ ATIK MERMER TOZUNUN ÇEVRE DOSTU TUĞLA ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ

**Tamarah Zaid Kamil AL-SHAMMARI**

**KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI**

**Danışman:** Prof. Dr. Mehmet Mustafa ÖNAL  
Yıl: 2023 Sayfa: 61  
**Jüri:** Prof. Dr. Mehmet Mustafa ÖNAL  
Prof. Dr. İlhami DEMİR  
Dr. Öğretim Üyesi Hakan ÇAĞLAR

Geçmişten günümüze kadar mevcudiyetini devam ettiren ve teknolojik gelişmelerle sürekli kendini revize eden tuğla, inşaat sektörünün başında gelen yapı malzemelerinden biridir. Bu çalışmada, Kırşehir ili Kaman bölgesi atık mermer tozunun çevre dostu tuğla üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması hedeflenmiştir. Çalışma sonunda fiziksel ve mekanik açıdan normal tuğlaya göre daha üstün özelliklere sahip çevre dostu tuğla üretimi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, tuğla ana malzemesi olan ve Kayseri il merkezinden alınan killi toprak içerisine, Kırşehir ili Kaman bölgesinden çıkarılan atık mermer tozu %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında ikame edilerek katkılı tuğla numuneleri üretilmiştir. Üretilen numunelerin fiziksel özelliklerinin tespiti için, suya doygun birim hacim ağırlık, porozite, su emme (ağırlıkça), donma çözülme etkisi ve sülfat etkisi deneyleri yapılmıştır. Mekanik özelliklerin tespiti için ise basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Çalışmada sonuç olarak, atık mermer tozu miktarının artmasıyla, suya doygun birim hacim ağırlığında azalma görülürken, porozite, su emme (ağırlıkça), donma çözülme etkisi, sülfat etkisi değerlerinde artış meydana gelmiştir. Mekanik deneylerde ise basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanım değerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca uygun miktarlarda (%10) atık mermer tozu ikamesinin tuğla özelliklerini iyileştirebileceği sonucuna varılmıştır. Atık mermer tozunun tuğla sektöründe kullanımının atık sorununun çözümünde etkili bir yol olduğu düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Atık mermer tozu, tuğla, Kırşehir, fiziksel özellik, mekanik özellik

## **ABSTRACT**

### **MASTER'S THESIS**

#### **USABILITY OF KIRŞEHİR REGION WASTE MARBLE POWDER IN ENVIRONMENTALLY FRIENDLY BRICK PRODUCTION**

**Tamarah Zaid Kamil AL-SHAMMARI**

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

**Supervisor: Prof. Dr. Mehmet Mustafa ÖNAL  
Year: 2023 Pages: 61  
Juries: Prof. Dr. Mehmet Mustafa ÖNAL  
Prof. Dr. İlhami DEMİR  
Assist. Prof. Dr. Hakan ÇAĞLAR**

Brick, which has continued its existence from the past to the present and constantly revising itself with technological developments, is one of the building materials at the forefront of the construction sector. In this study, it was aimed to investigate the usability of waste marble dust from Kırşehir province Kaman region in the production of environmentally friendly bricks. Within the scope of the study, mixed brick samples were produced by substituting 10%, 20%, 30%, 40% and 50% of waste marble dust extracted from the Kaman region of Kırşehir province into clayey soil taken from Kayseri city center, which is the main material of brick. In order to determine the physical properties of the produced samples, water-saturated unit weight, porosity, water absorption (by weight), freeze-thaw effect and sulfate effect tests were carried out. In order to determine the mechanical properties, compressive strength and bending tensile strength tests were carried out. As a result of the study, with the increase in the amount of waste marble dust, a decrease was observed in the water saturated unit volume weight, while the values of porosity, water absorption (by weight), freeze-thaw effect and sulfate effect increased. In mechanical tests, it was determined that there was a decrease in compressive strength and flexural strength. In addition, it was concluded that appropriate amounts (10%) of waste marble dust substitute can improve brick properties. It is thought that the use of waste marble dust in the brick industry is an effective way to solve the waste problem.

**Keywords:** Waste marble dust, brick, Kırşehir, physical properties, mechanical properties



## TABLolar DİZİNİ

	Sayfa No
<b>Tablo 2.1.</b> Türkiye’de tuğla üretimi yapan tesis sayıları .....	10
<b>Tablo 2.2.</b> Tuğla ihracatı.....	11
<b>Tablo 2.3.</b> Tuğla ihracatı yapılan ülkeler.....	11
<b>Tablo 2.4.</b> Tuğla ihracatının dünya ihracatı içindeki payı.....	12
<b>Tablo 2.5.</b> Tuğla çeşitleri ve standartları (Işık, 2010) .....	21
<b>Tablo 3.1.</b> Atık mermer tozunun kimyasal özellikleri.....	33
<b>Tablo 3.2.</b> Killi toprağın mineralojik değerleri.....	33
<b>Tablo 3.3.</b> Karışım reçetesi.....	34



## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 2.1. Atık mermer tozunun kullanım alanları.....	9
Şekil 2.2. Tuğla üretim aşamaları .....	14
Şekil 2.3. Killi toprak .....	14
Şekil 2.4. Tuğla kalıp çıkışı .....	16
Şekil 2.5. Doğal kurutma .....	17
Şekil 2.6. Suni kurutma.....	18
Şekil 2.7. Periyodik fırın.....	19
Şekil 2.8. Tünel Fırın .....	19
Şekil 2.9. Tuğla numunelerinin paketlenmesi.....	20
Şekil 2.10. Yatay delikli tuğla.....	22
Şekil 2.11. Düşey delikli tuğla .....	22
Şekil 2.12. Asmolen tuğla .....	23
Şekil 2.13. İzo tuğla .....	23
Şekil 2.14. Baca tuğlası.....	24
Şekil 2.15. Cam tuğlası .....	24
Şekil 2.16. Dekoratif tuğla .....	25
Şekil 2.17. Harman tuğla.....	25
Şekil 3.1. Atık mermer tozu .....	33
Şekil 3.2. Çelik kalıplar.....	35
Şekil 3.3. Atık mermer tozu katkılı tuğla numunesi .....	35
Şekil 3.4. Numunelerin etüvde kurutulması.....	36
Şekil 3.5. Donma çözülme test kabini.....	37
Şekil 3.6. Basınç dayanımı.....	38
Şekil 3.7. Eğilme de çekme dayanımı .....	39
Şekil 4.1. Numunelerin suya doygun birim hacim ağırlık değerleri .....	42
Şekil 4.2. Numunelerin porozite değerleri .....	43
Şekil 4.3. Numunelerin su emme (ağırlıkça) değerleri .....	44
Şekil 4.4. Numunelerin donma çözülme dayanım değerleri .....	45
Şekil 4.5. Numunelerin sülfat etkisi değerleri.....	46
Şekil 4.6. Numunelerin basınç dayanım değerleri .....	47
Şekil 4.7. Numunelerin eğilmede çekme dayanım değerleri .....	48

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$Al_2O_3$	: Alüminyum oksit
$CaO$	: Kalsiyum oksit
$cm$	: Santimetre
$CO_2$	: Karbon dioksit
$Fe_2O_3$	: Demir oksit
$H_2SO_4$	: Sülfürik asit
$MgO$	: Magnezyum oksit
$MgSO_4$	: Magnezyum sülfat
$m^3$	: Metre küp
$\mu$	: Mikron
$mm$	: Milimetre
$mmHg$	: Milimetre civa
$MPa$	: Mega paskal
$^{\circ}C$	: Santigrad derece
$SiO_2$	: Silisyum oksit
<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>A.Ş</b>	: Anonim şirketi
<b>AMT</b>	: Atık mermer tozu
<b>DPT</b>	: Devlet Planlama Teşkilatı
<b>KKTC</b>	: Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti
<b>Max</b>	: Maksimum
<b>MÖ</b>	: Milattan Önce
<b>MT</b>	: Mermer tozu
<b>MTA</b>	: Maden Tetkik Arama
<b>MTP</b>	: Mermer Tozu Parçacığı
<b>PK</b>	: Pirinç Kabuğu
<b>RHA</b>	: Rice Husk Ash (Pirinç Kabuğu Külü)
<b>SF</b>	: Silica Fume (Silis Dumanı)
<b>TS</b>	: Türk Standartları

## 1. GİRİŞ

Günümüzde küresel alanda hızla artan hammadde tüketimi, birçok sektörde hammadde krizine ve yüksek enerji tüketimine yol açmıştır (Göl vd., 2023). Bu sektörlerden biri de tuğla sektörüdür. Tuğlalar, düşük maliyet, yüksek dayanıklılık ve kullanım kolaylığı gibi faydalı özelliklere sahip oldukları için inşaat projelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Khitab ve Anwar, 2016).

Tuğlaların üretiminde, en eski inşaat malzemelerinden biri olan, değerli mahsullerin yetiştirilmesi için önemli olan faydalı killi toprak kullanılmaktadır (Demir, 2009; Okunade, 2008; Gorai, 2018). Kerpiç ev yapımında kil tuğla kullanımını MÖ 8000 yıllarına kadar dayanmaktadır (Bui vd., 2009; Calatan vd., 2020).

Kil, tuğla üretiminde kullanılan birincil hammaddedir (Dalkılıç ve Nabikoğlu, 2017). Tuğla üretimi için yıllık yaklaşık 340 milyar ton kil kullanılmaktadır (Pawar ve Garud, 2014a). Ayrıca tuğla üretiminde kil kullanmak erozyona neden olmakta, su tablasını düşürmekte ve çevreye zarar vermektedir (Ramakrishnan vd., 2023).

Üretimde hammadde olarak kullanılan kilin, kullanımının artması, bu doğal malzemede endişe verici derecede yüksek bir varyansa neden olmuştur (Zhan, 2014, Pawar ve Garud, 2014b). Bu nedenle, birçok araştırmacının çeşitli endüstriyel süreçler tarafından üretilen atıkları geri dönüştürmek için alternatif kaynaklar veya yollar bulmasına yol açmıştır (Ramakrishnan vd., 2023; Göl vd., 2022).

Bina ve inşaat teknolojilerinin birçok doğal kaynağa ihtiyaç duyması nedeniyle, bu kaynakları korumak için endüstriyel atıkların ve yan ürünlerin yeniden değerlendirilmesine odaklanan sürdürülebilir inşaat geliştirilmiştir (Tahwia vd., 2021; Abdellatief vd., 2023).

Sonuç olarak, tuğla üretiminde mermer tozu (Ricardo vd., 2015), su arıtma tesislerinden çamur (Haniegall vd., 2020), uçucu kül (Murugesan vd., 2017), şeker kamışı küspesi (James ve Pandian, 2017), pirinç kabuğu külü (RHA) (Sutas, 2012; Manni vd., 2019; Andreola vd., 2021), atık cam tozu (Peng vd., 2023; Zhang vd., 2023), talaş (Olaiya vd., 2023), taş ocağı tozu (Padmalason vd., 2023; Nisa ve Singh, 2023) ve yumurta kabuğu tozu (Ngayakamo vd., 2020) tuğla üretiminde kullanılan bazı atık malzemelerdir.

Tez çalışması kapsamında endüstriyel atıklardan olan atık mermer tozu kullanılmıştır. Atık mermer tozu, mermerin kesilmesi ve öğütülmesiyle üretilmektedir. Ocak ince tozlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak, bir dolgu maddesi, kil yerine bir renklendirici, bir eritici madde olarak tuğla üretmek için kullanılabilir.

(Katz ve Baum, 2006). Kolayca erişilebilir ve ucuz olan doğal olarak oluşan atıkların potansiyel kullanımı, kaliteden ödün vermeden yapı malzemesi maliyetlerini azaltmada giderek daha önemli hale gelmektedir (Kumar ve Hudson, 1992).

Mermer, hemen her yerde kullanım alanı bulan ve dünyada oldukça fazla miktarda bulunan madenlerden biridir. Dünyadaki kaliteli ve en zengin mermer yataklarının büyük bölümünün Akdeniz ülkelerinde yer aldığı bilinmektedir. Türkiye, dünyada mermer üretiminde ve ihracatında ilk sıralarda yer alan ülkeler arasındadır. (Öztürk, 2018; Filiz vd., 2010).

Doğada işlenmemiş bir şekilde elde edilen mermer, fabrikalarda kesilerek işlenmekte ve kesim sonrası atık olarak ortaya mermer tozu çıkmaktadır. Kesim esnasında makinenin soğutulması ve toz yayılımını önlemek amacıyla su kullanılmakta olup, bu su mermer tozu ile birleşerek çamurlaşmaktadır (Bilensoy, 2010). Mermer tozu atıkları çamur halinde doğada depolanmakta ve bu da çevre kirliliğine yol açmakta ve yakın çevresindeki bitki örtüsüne de ciddi zararlar vermektedir (Öztürk, 2018; Filiz vd., 2010).

Günümüzde mermere olan talebin artması mermer fabrikalarının da artmasına sebep olmuştur. Bu nedenle mermer fabrikalarının ağırlıklı bulunduğu bölgelerde mermer atıklarının fazlalığı doğayı tahrip etmekte ve bu da ciddi tepkilere yol açmaktadır (Bilensoy, 2010).

Mermer toz atıklarının geri dönüşümü veya yeniden kullanılabilmesiyle ilgili geliştirilecek yöntemlerle, sadece tuğla değil, beton, çimento vb. yapı malzemelerinin girdi maliyetleri azalacak olup, ekonomik olarak işletmecilerin ve ülkenin kazancı artacaktır. Ayrıca atıkların değerlendirilmesiyle birlikte doğa tahribatı en aza indirilmiş olacaktır (Kara, 2013).

Atıkların katkı maddesi olarak kullanılması ve bunlardan yeni ürünler üretmek amacıyla atık malzemelerin geri dönüştürülmeleri konusunda birçok araştırma yapılmaktadır. Atık malzemelerin kullanımı veya geri dönüştürülmesiyle; doğal kaynakların hızla tüketilmesinin ve atıkların doğaya verdiği hasarın önüne geçilmesi planlanmaktadır. Bu şekilde ekonomik canlılık sağlanarak, verimlilik artırılmaktadır (Şahin ve Tanyıldızı, 2011).

Kırşehir ilinde, Fakılı, Karıncalı, Çayağzı, Kaman, Ömerhacılı, Özbağ-Çuğun, Mucur, Kırkpınar, Yağmurlu-Demirli, Haciselimli, Seyrek-Göllü, Pekmezci ve Kekilliali olmak üzere 13 farklı bölgede mermer yatağı bulunmaktadır. Bu bölgelerin toplam mermer yatağı alanı 37268 hektardır (Kırşehir Doğal Taş Sektör Analizi Ve Yatırım İmkânları Raporu, 2014). Bu bölgelerde çok sayıda mermer ocağı bulunmaktadır. Bunun

yanı sıra yirminin üzerinde küçük fabrikalarda mermer işleme yapılmaktadır. Mermer ocaktan çıkarıldıktan sonra küçük fabrikalara bloklar halinde getirilip istenilen boyutlarda kesilip işlenmektedir. Bu işleme sırasında mermerin yaklaşık %30'u atık olarak ayrılmaktadır. Bu atıkların bir kısmı çöp olarak nitelendirilip doğada bırakılmaktadır. Bir kısmı ise "mermerit" yapımı için kullanılmaktadır

Çalışmada kullanılan atık mermer tozu, Kaman bölgesinden çıkarılan mermerlerden elde edilmiştir. Kaman bölgesinde 100 000 000 m<sup>3</sup> mermer rezervi bulunmaktadır (MTA, 2023).

Ayrıca, Kırşehir ilinde ciddi derecede mermer atığı ve atık mermer tozu bulunmaktadır. Ayrıca yapılan literatür araştırmasında, Kırşehir yöresi atık mermer tozunun inşaat sektöründe kullanımı ile ilgili yok denecek kadar az çalışmaya rastlanmıştır.

Tüm bunlar göz önüne alındığında tez çalışmasında, Kırşehir yöresi mermer tozunun çevre dostu tuğla üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda Kırşehir yöresi atık mermer tozunun tuğla üzerindeki etkisinin araştırılması, bu derece büyük atıkların tuğla üretiminde kullanılabilirliğinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu tez çalışması literatüre kazandırıldığında;

- Mermer atığı katkılı tuğlalar piyasada bulunan tuğlalara kıyasla daha dayanımlı olacağı için yeni inşa edilecek konutların daha uzun ömürlü olmasını sağlayacaktır.
- Üretilen tuğlalar iyileştirildiği için binaya yapılacak olan bakım ve onarım süresi kısa ve masrafları daha az olacaktır. Bu durum aile bütçesine katkı sağlayacaktır.
- Endüstriyel atık olan mermer atığı tuğla sektöründe değerlendirildiğinde sadece çevre kirliliği azalmayacak aynı zamanda atık bertarafı için yapılacak olan giderlerin azalmasına yardımcı olacaktır.
- Atıkların tuğla üretimine katılmasıyla hem geri dönüşüm sağlanmış hem de daha kaliteli bir ürün elde edilmiş olacaktır.
- Mermer atıklarının tuğla sektöründe kullanılması ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır.
- Tez çalışması kapsamında üretilen tuğlaların üretim reçetesi kullanılarak seri üretime geçirilmesi teknolojiye, deneyler sonucu elde edilen bilgiler de literatüre katılarak bilime katkı sağlayacaktır. Bu durum tezin önem derecesini göstermektedir.

Tez çalışmasında kullanılan materyallerden olan kil Kayseri il merkezinden, atık mermer tozu Kırşehir/Kaman bölgesinden temin edilerek konu sınırlandırılarak kapsamı belirlenmiştir.

Tez çalışması 6 bölümden meydana gelmektedir. Birinci bölüm “GİRİŞ” bölümüdür. Bu bölümde tez hakkında kısaca bilgi verilmiş, tez çalışmasının amacı, önemi ve kapsamından bahsedilmiştir.

Tezde ikinci bölüm “KURAMSAL ÇERÇEVE” olarak adlandırılmıştır. Bu bölümde mermerler, mermer atıkları, atık mermer tozları hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Bu bilgilerin hepsi başlıklar halinde, fotoğraflar ve tablolarla sunulmuştur.

Tezin üçüncü bölümünde “LİTERATÜR ARAŞTIRMASI” yapılmıştır. Bu bölümde, tez çalışması ile ilgili daha önce yapılmış olan çalışmalar irdelenmiştir. Yapılan çalışmaların özetinin sunulduğu bu bölümde yirmiden fazla çalışmaya yer verilmiştir.

Tezin dördüncü bölümü “MATERYAL VE YÖNTEM” olarak adlandırılmıştır. Materyal kısmında tezde kullanılan materyallerin özelliklerinden bahsedilmiştir. Malzeme özellikleri tablolar yardımıyla açıklanmıştır. Yöntem kısmında ise, atık mermer tozu katkılı tuğla numunelerinin üretimi anlatılmıştır. Bunun yanı sıra, üretilen numunelere yapılan fiziksel ve mekanik deneylerden ve nasıl uygulanacağından bahsedilmiştir.

Tezin beşinci bölümü “ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME” başlığından oluşmuştur. Bu bölümde, numunelere uygulanan deneyler sonucunda elde edilen veriler grafikler yardımıyla açıklanmıştır. Ayrıca tez çalışması sonucu elde edilen veriler, literatürde yer alan diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Tezde son bölüm “SONUÇ VE ÖNERİLER” bölümüdür. Bu bölümde tez sonucunda elde edilen sonuçlar ve yapılabilecek öneriler yer almaktadır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

### 2.1. Mermer ve Mermer Tozu

#### 2.1.1. Mermerin tanımı

Doğal taşlar; doğadan çıkarılmasının ardından çeşitli işlemlere tabi tutularak yapı işlerinde kullanıma hazır hale getirilen malzemelere denilmektedir. Bu taşlar; tortul, başkalaşmış ve püskürük taşlar olmak üzere üçe ayrılır. Dayanımı ve estetik özelliği bakımından yapı sektöründe aktif bir şekilde kullanılan mermer, doğal taşlar sınıfının başkalaşmış taşlar gurubuna girmektedir (Ertaş vd., 2011)

Mermerler kimyasal olarak incelendiğinde; en yüksek oranın kalsiyum karbonat olduğu görülmektedir. Ayrıca mermer bünyesinde magnezyum karbonat ve silisyum dioksittir. Saf mermerler yarı saydam ve beyaz renkte bulunmaktadır. Madensel oksitler saf olan mermer malzemesinin rengini sarı, kırmızı, pembe, mavimsi ve siyaha dönüştürmektedir. Saf mermerler, genellikle Alp Kuşağı, Anadolu Yarımadası, Ege Adaları, İran, Hindistan ve Pakistan bölgelerinde bulunmaktadır (Koçyiğit, 2016).

Mermerler bilimsel, jeolojik, ticari ve petrografik olmak üzere 4 farklı şekilde tanımlanabilmektedir.

**Bilimsel tanım:** Metamorfizma ile başkalaşan doğada bulunan maden türüdür. İçeriğinde yüksek oranda kalsiyum karbonat, düşük oranda magnezyum karbonat ve çeşitli metal oksitler bulunmaktadır. (Gedik, 2019; Kışman ve Kan, 2011; Mawlawizada, 2020)

**Jeolojik tanım:** Mermer, “kalsiyum karbonat ve dolomitik kireçtaşının basınç ve ısı etkisiyle metamorfizma olayı neticesinde meydana gelen kayaç türüdür” şeklinde tanımlanmaktadır (Kuşçu vd., 2001). Mermerler yeryüzünde farklı türlerde kayaçlar şeklinde bulunmaktadır. Bu kayaçlar metamorfik kökenli granit, bazalt, şist, magmatik kökenli granit, konglomera, kayrak taşı vb. şeklinde adlandırılmaktadır (Mawlawizada, 2020).

**Ticari tanım:** 3213 sayılı Maden Kanunu mermeri ticari olarak, bulunduğu yerden çeşitli yöntemlerle ve ebatlarda çıkarılan blok şeklinde bulunan soğuma derzi ve kullanımına göre kesilen doğal kayaçlara şeklinde tanımlamaktadır (DPT, 2001; Elabade, 2021) Ayrıca çeşitli boyutlarda blok formunda kesilebilen, yüzey dokusu işlenebilme özelliğine sahip, parlatma işlemi uygulanabilen metamorfik, tortul ya da magmatik bütün doğal taşlar mermer olarak tanımlanmaktadır (Okubay, 2016)



**Petrografik Tanım:** Mermer petnografik olarak; bünyesinde kalker ve dolomitik kalker bulunduran, basınç ve ısının etkisiyle kristalleşerek farklı bir yapıya dönüşen ve bünyesinde boşluk bulundurmeyen kayalar şeklinde tanımlanmaktadır (Mawlawizada, 2020; Okubay, 2016).

### 2.1.2. Mermerlerin sınıflandırılması

Mermerler, mineral bileşim ve oranına, mineral tane boyutlarına, yapı ve dokularına, mineralojik oluşumuna, ekonomik şartlara, ticari pazara ve renge göre olmak üzere 6 guruba ayrılmaktadır.

#### 2.1.2.1. Mineral bileşim ve oranına göre mermerler

**Mermer:** Masif yapıda ve taneli dokuya sahip mermerler, % 95 oranında Kalsit içermektedir.

**Kalkşist:** Şisti yapıya ve yönlü doku özelliğine sahip kalkşistler % 60-70 oranında Kalsit içermektedir. Ayrıca bünyelerinde klorit, lepidolit, mika gibi minereller bulunmaktadır.

**Mermer-Skarn:** Masif yapıya ve taneli dokuya sahip mermer-skarn % 80-90 oranında Kalsit içermektedir.

**Spolen:** Şisti yapıya ve yönlü doku özelliğine sahip spolen % 80 oranında Kalsit içermektedir (Elabade, 2021).

#### 2.1.2.2. Mineral tane boyutlarına göre mermerler

**İnce taneli mermerler:** Tane boyutu < 1 mm olan mermerlerdir.

**Orta taneli mermerler:** 1<Tane boyutu<5 mm arasında değişen mermerlerdir.

**İri taneli mermerler:** Tane boyutu >5 mm olan mermerlerdir.

#### 2.1.2.3. Yapı ve dokularına göre mermerler

**Masif mermer:** Kompakt görünümüne sahip, ince ve iri taneli mermerlerdir.

**Laminal mermer:** Renkli şerit görünümüne sahip, ince taneli mermerlerdir. Katmer ve tabaka şeklinde bulunmaktadırlar.

**Şisti mermer:** Yapraklı yapıya sahip, büyük oranda mika içeren mermerlerdir.

**Breşik mermer:** Fay şeklinde tali minerallerle dolgulanmış mermerlerdir (Tosun ve Tatar, 2007; Mawlawizada, 2020).

#### 2.1.2.4. Mineralojik oluşuma göre mermerler

**Sedimanter (tortul) mermerler:** Farklı kayaların rüzgâr, yağmur gibi etkenlerce parçalanarak sürüklenmesi ile bir yerde toplanması ve zamanla çimentolaşması sonucu oluşan mermerlerdir.

**Metamorfik (başkalaşma) mermerler:** Kayaçların fiziksel ve kimyasal etkiler sonucu farklı duruma gelmesi sonucu oluşan mermerlerdir.

**Mağmatik mermerler:** Magmanın yeryüzüne çıkması sonucu oluşan mermerlerdir. Granit ve bazalt en belirgin örnekleridir (Erkek ve Özdemir, 2011).

#### 2.1.2.5. Ekonomik şartlara göre mermerler

- Ekonomik mermerler
- Sert mermerler
- Traventer ve oniks mermerler (Mawlawizada, 2020)

#### 2.1.2.6. Ticari pazara ve renge göre mermerler

- Buldukları yerleşim yerine göre isimlendirilirler.
- Beyaz ve gri renkte bulunurlar. Fakat bünyelerinde bulunan farklı elementlerden dolayı pembe, yeşil ya da siyah gibi renklerde de bulunabilirler (Kışman ve Kan, 2011).

#### 2.1.3. Mermerin kullanım alanları

Mermerler, insanlık tarihi boyunca birçok alanlarda aktif bir şekilde kullanılmaktadır. Genellikle inşaat sektöründe kullanılan mermer, estetik ve dayanıklı olması nedeniyle hem iç hem de dış cephelerde dekorasyon amaçlı kullanılmaktadır. Mermerler genellikle;

- İnşaat sektörü (iç ve dış kaplama, zemin döşemesi, iç ve dış cephelerde süsleme vb.)
- Mezarlık (Mezar taşı, anıt)
- Heykeltraş
- Süs eşyası yapımı ve dekorasyon (vazo, abajur, isimlik vb.) alanlarında kullanılmaktadır (Beycioğlu vd., 2008; Özdemir, 2021; Dhanapandian vd., 2009).

#### 2.1.4. Atık mermer tozu

Mermer tozu, mermerin kesilmesi, şekillendirilmesi ve cilalanması sırasında endüstriyel bir yan ürün olarak elde edilen ve ciddi çevre sorunlarına neden olan inert bir malzemedir (Khodabakhshian vd., 2018). Ciddi derecede çevre kirliliğine neden olan atık mermer tozu çoğunlukla geri dönüştürülmemekte ve endüstride kullanılmamaktadır (Zhang vd., 2020).

Mermer endüstrisi, uygun şekilde bertaraf edilmeyen ve genellikle açık araziye dökülen ve arazinin kirlenmesine yol açan taş bulamacı ve katı atık üretmektedir (Kumar vd., 2021).

#### 2.1.4.1. Atık mermer tozunun kullanım alanları

Atık mermer tozu, İnşaat, kâğıt, çimento, kimya, plastik gibi birçok sanayi alanında aktif bir şekilde kullanılmaktadır. Şekil 2.1'de atık mermer tozunun kullanıldığı sanayi dalları ve kullanım şekilleri verilmiştir (Demir, 2008; Tatar, 2014).





**Şekil 2.1.** Atık mermer tozunun kullanım alanları

#### 2.1.4.2. Atık mermer tozlarının çevresel etkileri

Atık mermer tozları habitatta korkunç şekilde ve tahrip edici zararlar vermektedir. Bu zararlar fiziksel ve kimyasal olmasının yanı sıra biyolojik olarak ciddi boyutlara ulaşmaktadır. Atık mermer tozları;

- Toprağa karışması durumunda toprağın gözeneklilik durumunu ve su emme kabiliyetini azalttığı için toprak üzerinde yetişen ürünün verimini düşürmektedir.
- Havadan daha düşük yoğunluğa sahip atık mermer tozu parçacıkları havada asılı kaldığından dolayı hava kirliliğine neden olmaktadır.
- Nehirlerde ve akarsulara suyun kalitesini düşürmekle birlikte suyun depolanma kapasitesini azaltmaktadır.
- Toprak üzerinde uzun süre kalmaları durumunda, yer altı su havzalarını olumsuz yönde etkilemektedir.
- Karayollarının yapısını bozmakta ve araçların seyrini aksatmaktadır.
- Çevreye atık olarak bırakılması durumunda çevre görüntü kalitesini bozmaktadır.
- Yerleşim yerlerinin turizm hacmini bozmaktadır (Yamanel, 2015).

#### 2.2. Tuğla

Tuğla, inşaat sektörünün en önde gelen kilit unsuru olarak görülmektedir. Killi toprağın su ile homojen bir şekilde karıştırıldıktan sonra yüksek sıcaklıklarda fırınlanması sonucu oluşan tuğla, düşük maliyet, yüksek dayanıklılık ve kullanım kolaylığı gibi faydalı özelliklere sahip oldukları için inşaat projelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Diaz vd., 2007; Yüksel ve Şişman, 2003; Cultrone ve Sebastian, 2009; Khitab, 2016). Dünya tarihinin ilk yapı malzemesi özelliğini taşıyan tuğlanın, geçmişten günümüze kadar tasarımı ve ebatları değişmekte ve gelişmektedir. Tuğla ana maddesi olan killi toprağın, doğal ve ucuz olmasından dolayı tuğla, maliyeti düşük bir yapı malzemesidir (Levent, 2012).

Türk Yapı Sektörü Raporuna göre, ülkemizde 2021 yılı itibariyle 172 tesiste tuğla üretimi yapılmakta ve her geçen yıl tesis sayısı azalmaktadır (Tablo 2.1). Bu tesislerde, 2021 yılı içerisinde 30.216.000 m<sup>3</sup> tuğla üretilmiştir (Türk Yapı Sektörü Raporu, 2021).

**Tablo 2.1.** Türkiye’de tuğla üretimi yapan tesis sayıları

Yıllar	Firma Sayısı
2017	268
2018	241
2019	207
2020	177
2021	172

Türkiye’de üretilen tuğlalar sadece ülke içerisinde kullanılmamakta, aynı zamanda ihracatı da yapılmaktadır. Tablo 2.2’de tuğla ihracatı, Tablo 2.3 ise tuğla ihracatı yapılan ülkeler verilmiştir.

**Tablo 2.2.** Tuğla ihracatı

Yıllar	Ton	Milyon Dolar	Birim Fiyat Dolar/Kg
2017	28.442	7,6	0,27
2018	42.110	8,1	0,19
2019	41.309	7,7	0,19
2020	41.440	8,6	0,21
2021	75.565	14,3	0,19

**Tablo 2.3.** Tuğla ihracatı yapılan ülkeler

2020			2021		
Sıra	Ülke	İhracat Dolar	Sıra	Ülke	İhracat Dolar
1	İngiltere	5.633.662	1	İngiltere	10.057.316
2	İsrail	435.059	2	İsrail	738.232
3	Hollanda	337.493	3	Hollanda	360.424
4	KKTC	318.436	4	Azerbaycan	334.491
5	Belçika	288.482	5	Almanya	333.724
6	Irak	249.875	6	KKTC	331.025
7	Fransa	227.484	7	Bulgaristan	248.021
8	Azerbaycan	164.311	8	Katar	226.376
9	Karadağ	115.467	9	Belçika	209.104
10	Rusya	89.824	10	Irak	198.360
<b>Toplam İhracat</b>		<b>8.598.204</b>	<b>Toplam İhracat</b>		<b>14.268.949</b>

Tablo 2.4’de son 5 yılda en düşük firma sayısının 2021 yılına ait olduğu görülmektedir. Tabloda 2020 ve 2021 yılları karşılaştırılmıştır. Her iki yılda da ilk üç sıra değişmemiş ve İngiltere, İsrail ve Hollanda şeklinde sıralanmaktadır. Birinci sırada yer alan İngiltere 2020 yılında 5.633.662 İhracat dolar iken 2021 yılında bu rakam 10.057.316 İhracat dolara yani yaklaşık iki katına yükselmiştir. 2020 yılında 89.824 ihracat dolar ile Rusya son sırada yer alırken, 2021 yılında 198.360 ihracat dolar ile Irak son sırada yer almaktadır. 2020 yılında toplam ihracatın 8.598.204 ihracat dolar, 2021 yılında ise 14.268.949 ihracat dolar olduğu görülmüştür.

**Tablo 2.4.** Tuğla ihracatının dünya ihracatı içindeki payı

Yıllar	Türkiye İhracat Milyon Dolar	Dünya İhracat Milyon Dolar	Türkiye Pay %
2016	6.1	1.966	0,31
2017	7.6	2.044	0,37
2018	8.1	1.855	0,44
2019	7.7	2.202	0,35
2020	8.6	2.491	0,36
2021	14.3	3.110	0,46

### 2.2.1. Tuğlanın tarihçesi

Dünya tarihinin ilk yapı malzemesi olarak kayıtlara geçen tuğla, kilin su ile harmanlanmasıyla oluşmaktadır. Ateşin icadından sonra pişirilerek üretilen tuğla, günümüzdeki halinin atası olarak düşünülmektedir. Tuğlanın ilk icat edildiği dönemlerde inşa edilen her bina aslında tuğla üretim tesis olarak görülebilmektedir. Çünkü her binanın inşa edileceği tuğlalar bina çevresinde üretilmekteydi. Bu bağlamda ilk tuğla imalat tesisi, tuğla malzemesi kullanılarak üretilen ilk evindir denilebilmektedir. Yerleşim yerleri alüvyonlu toprakların bulunduğu bölgelerde kurulmaya başlanmıştır. Mezopotamya’da bulunan Nil nehri yakınlarında yapılan kazılarda kalıplaşmış kil tabletlere rastlandığı bilinmektedir. Kil tabletlerinin yanı sıra duvar rölyefleri de bu durumu kanıtlar niteliktedir. O dönemde tapınaklar, zengin ve gösterişli yapılar bu kil tuğla tabletleriyle üretilmiştir. Bir başka deyişle insanoğlunun kendi elleriyle şekil verdiği ilk tuğlalar yaklaşık 15 000 yıl önceye dayanmaktadır. Zaman geçtikçe insanlar daha sağlam ve yüksek katlı yapılar yapma gereksinimi duymaya başlamıştır. Bunun için pişmiş tuğla üretimine başlamışlardır. 1877-1917 yılları arasında Alman Arkeolog Robert Koldwey’in Babil şehrinde yapmış olduğu kazılarda pişmiş tuğla örneklerine rastlamaktadır. Kazıda çıkarılan tuğlaların keskin kenarlı, düzgün bir forma sahip ve iyi bir teknikle üretildiği tespit edilmiştir. Bu yapıt fırınlanmış tuğla malzemesinin sistemli ve bir düzen içerisinde kullanılan ilk yapı olarak tarihe geçmiş ve ilk yüksek kapasiteli üretim tesisi özelliği taşımıştır. Daha sonra Anadolu’ya ve Avrupa’ya hızla yayılmaya başlamıştır.

Mezopotamya bölgesinde Asurlar, Persler ve Sasaniler tuğla üretimini farklı şekilde geliştirmiştir. Tuğla kısa süre içerisinde vazgeçilmez bir yapı malzemesi olmuştur.

Romalılar, tuğla ile ilgili ilk standardı geliştirmiş ve uygulamaya sunmuşlardır. Tuğlanın kalınlığından kaynaklanan kuruma ve pişirme sorunları üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu Romalıların ilk araştırma ve geliştirme çalışması olarak tarihe geçmiştir.

Bu araştırmalar neticesinde ince formda ve yüksek dayanımlı tuğla üretimi gerçekleştirmişlerdir. Tüm bunların yanı sıra Romalılar, İngiltere, Almanya, İspanya ve Fransa'ya tuğlayı tanıtmış ve uygulanmasını yaygınlaştırılmasına destek vermiştir.

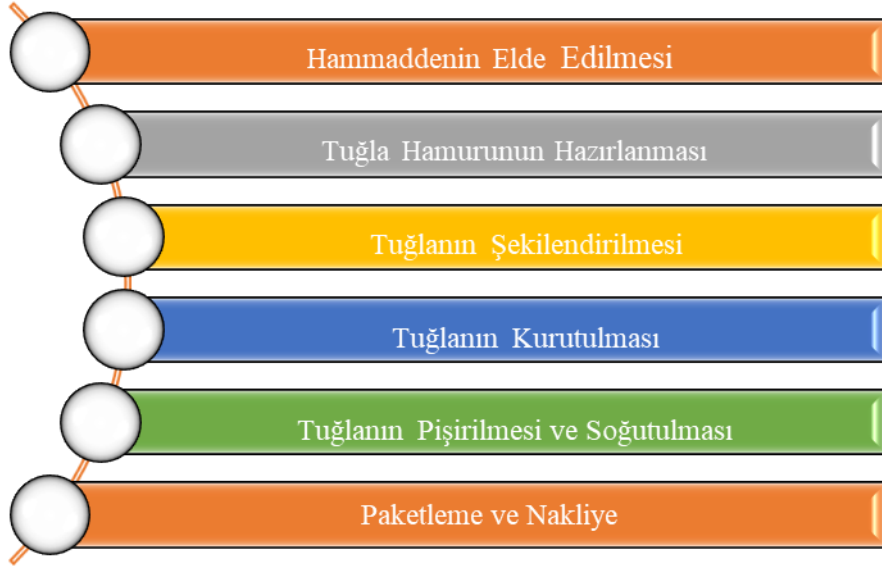
Anadolu'da tuğla gelişimine baktığımızda yukarıda sıralanan kronolojiyle nerdeyse paralel gittiği görülmüştür. Endüstriyel olarak ilk pişmiş tuğla üretimi ve uygulamaya katılımı milattan önce 4. Yüzyılda Lidyalılar tarafından yapılmıştır. Bu tarih neredeyse Babil kulesinin yapımına denk gelmektedir. Yunanlılardan sonra Bizanslılar tarafından geliştirilen tuğla, Bizanslılardan sonra da Selçuklular tarafından geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Tuğlanın geliştirilmesinde oldukça etkili olan Selçuklular, taş ve tuğlayı birlikte kullanmış ve önemli mimari yapılar inşa etmişlerdir. Selçuklulardan sonra Osmanlılar tuğla gelişimine önemli derecede katkı sağlamıştır. Anadolu'ya tuğla standardı ilk olarak Osmanlılar döneminde getirilmiştir. Tuğla standardı Fatih Sultan Mehmet zamanında katı ve sert bir Şekilde uygulanmaktaydı. Fatih döneminde tuğlalar 4,5x28x28 cm ebatlarındaydı. Hatıllarda kullanılan tuğlalar daha ince üretilmekteydi. Taban tuğlaları kare (25x25 cm) ya da çapları 30-60 cm arasında altıgen Őeklindeydi. Bu standartlar dışında imal edilen tuğlalar kesinlikle yapı inşasında kullanılmaz, hatta satışı bile yapılamazdı.

Fatih döneminden 1700'l yıllara kadar tuğla sanayinde dikkate değer gelişmeler yaşanmamıştır. Lakin sanayi devriminin ardından tuğla sanayinde de önemli gelişmeler yaşanmaya başlanmıştır. Bu dönemde tuğlalar fabrikasyon üretimine geçmeye başlamıştır. Teknolojinin gelişmesiyle farklı form, biçim ve özelliklerde üretilen tuğla 21. yy'da inşaat alanında önemli ve vazgeçilmez yapı taşı olmaya devam etmektedir (Levent, 2012; Zal, 2010).

### **2.2.2. Tuğlanın retim süreçleri**

Tuğla retimi; hammaddenin elde edilmesi, tuğla hamurunun hazırlanması, tuğlanın Şekillendirilmesi, tuğlanın kurutulması, tuğlanın pişirilmesi ve soğutulması, paketleme ve nakliye aşamalarından oluşmaktadır (Şekil 2.2).





**Şekil 2.2.** Tuğla üretim aşamaları

#### 2.2.2.1. Hammaddenin elde edilmesi

Tuğla hammaddesi olan killi toprak ağır tonajlı iş makineleri vasıtasıyla toprak yapısı ve arazi durumu baz alınarak uygun bölgelerden çıkarılarak tuğla üretim tesisine yakın yerlere taşınmaktadır. Taşınan toprak belirli bir süre dinlendirildikten sonra üretime katılmaktadır. Killi toprak alınırken organik madde ve humuslu topraktan ayrılmış olmasına dikkat edilmelidir (Şekil.2.3)

Tuğla üretim tesisine getirilen killi topraklar katmanlı bir şekilde stok alanındaki toprak üzerine dökülmektedir. Kaynaktan çıkarılıp stok alanına getirilen killi topraklar belirli bir süre boyunca (yıllarca da sürebilir) dinlenmeye bırakılmaktadır. Bunun amacı toprak içerisindeki tuz ve karbonatın bünyeden atılmasını sağlamaktır (Zal,2010).



**Şekil 2.3.** Killi toprak (Web İleti, 1)

#### 2.2.2.2. Tuğla hamurunun hazırlanması

Killi toprağın üretime katılabilmesi için ilk etapta öğütme işlemi yapılmaktadır. Öğütme işleminde killi toprak dairesel bir kazan içerisinde sürekli hareket halinde olan ve 4 ila 8 ton ağırlığa sahip valslerle valsli değirmende yapılmaktadır. Bunun nedeni iri toprak parçalarını ezmek ve taşları ortadan kaldırmaktır. Bunun yanı sıra öğütme işlemi yapıldığında daha homojen ve daha iyi kohezyon ve plastiklik özelliğine sahip killi toprak elde etmektir. Öğütme işlemi tamamlandıktan sonra killerin tane boyutlarını eşitlemek, iri taşlarından ve bitkisel atıklardan arındırmak amacıyla eleme işlemine geçilmektedir (İnce, 2019; DPT, 2001).

Öğütme ve eleme işlemi tamamlanan killi toprak su ile mikser vasıtasıyla karıştırılarak plastik kıvamda bir hamur elde edilmektedir (Sürül, 2015; Çimen, 2019).

Daha sonra tuğla hamurunun mukavemetinin artması için hamur belirli bir süre dinlendirilmektedir. Hamur kalitesini önemli derecede etkileyen dinlendirme işleminde, killerde bulunan tiksotropik özellikten dolayı tuğla hamurunun mukavemeti artmaktadır (Görhan, 2011).

#### 2.2.2.3. Tuğlanın şekillendirilmesi

Tuğla hamurunun hazırlanması aşaması tamamlandıktan sonra şekillendirme aşamasına geçilmektedir. Bu aşamada şekillendirmeye uygun hale gelen tuğla hamuru, farklı teknikler kullanılarak, farklı form ve ebatlarda yarı mamul tuğla üretilmektedir (Zal, 2010). Tuğla şekillendirmesinde genellikle aşağıdaki yöntemler kullanılmaktadır.

- Kalıplama; Harman tuğla üretiminde kullanılmaktadır.
- Presleme; Kiremit imalatında tercih edilen bir yöntemdir.
- Extrude; Hazırlanmış tuğla hamurunun vakum pres makinasına gönderilmektedir.

Vakumlama yöntemi kullanılarak belirli bir basınç verilerek kalıptan çıkarılmaktadır. Vakum pres makinasının ucunda bulunan ve ağızlık adı verilen bölmeden tuğla iki boyutlu olarak çıkmaktadır. Ardından ince bir tel yardımıyla bölünen tuğlaya üçüncü boyutu verilmiş olmaktadır.

Homojen ve plastik özelliğe sahip tuğla hamuru hazırlamak için ilk olarak yoğrulma işlemi yapılmaktadır. Bu işlem yoğrulma kabında kille suyun birleştirilmesi ile yapılmaktadır. Karıştırma işleminin ardından tuğla hamuru şekillendirilmeye gönderilmektedir. Şimdilerde, tuğla şekillendirilmesinde üç farklı teknik kullanılmaktadır. Bunlar;

**Katı çamur metodu:** Killi toprak plastiklik özelliği kazanmak amacıyla, ağırlıkça %12-%15 arasında değişen miktarda su ile karıştırılmaktadır. Ardından hamur 375-725 mm Hg vakumlu kısma gitmektedir. Burada hamurun işlenebilirliği ve plastik özelliğinin iyileştirilmesi için havası alınmaktadır. Havası alınan hamurun dayanımı artmaktadır. Ardından hamur iki boyutlu şekilde kalıba extrude edilmektedir (Şekil 2.4). İki boyutu belirli kolon haline getirilmiş yarı mamül tuğlanın otomatik kesici yardımıyla kesilerek üçüncü boyutu verilmektedir.



Şekil 2.4. Tuğla kalıp çıkışı (Zal, 2010)

**Yumuşak çamur metodu:** Bu yöntem çok fazla su içerdiği için katı çamur metodunun kullanılmadığı killer için uygun bir yöntemdir. %20 ila %30 arasında değişen oranlarda su çeken tuğla hamuru kalıplarda şekillendirilmektedir. Kalıplara yapışma sorununu ortadan kaldırmak amacıyla kalıplar su veya kum ile yağlanmaktadır. Tuğlalar, kum ile yağlanmış kalıplarda üretildiğinde kum baskılı, su ile yağlanmış kalıplarda üretildiğinde ise su baskılı tuğla ismini almaktadır. Bu metot kullanılarak hem makine ile hem de el yöntemiyle tuğla üretimi yapılabilmektedir (İnce, 2019).

**Kuru presleme metodu:** Aşırı düşük plastiklik özelliğine sahip killi topraklar için uygun bir yöntemdir. Killi toprak max %10 oranında su kullanılarak karıştırılmaktadır. Ardından sıkıştırılmış hava ya da hidrolik basınç kullanılarak 3,4-10,3 MPa basınç altında çelik kalıplar kullanılarak şekil verilmektedir (İnce, 2019).

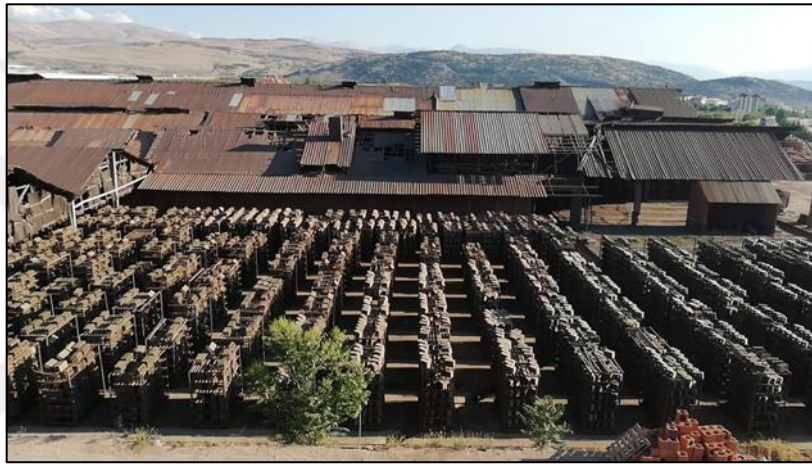
#### 2.2.2.4. Tuğlanın kurutulması

Kurutma işlemi fiziksel bir prosestir. Bu proseste killi toprak içerisinde yer alan ve tuğla hamuru üretmek ve bu hamura şekil vermek amacıyla katılan suyun değişik

metotlar kullanılarak bünyesindeki suyun uzaklaştırılmasıdır. Yarı mamül tuğla numunelerinin hızlı bir şekilde kurumaması durumunda deformasyonlar ve çatlamlar görülmektedir (Uz vd., 2006). Bu sebeple yarı mamül şeklindeki tuğla numuneleri pişirilmeden önce kurutma işlemine tabi tutulmalıdır (Görhan, 2011; Çimen, 2019).

Yarı mamul tuğla numunelerinin kurutulmasında iki yöntem uygulanmaktadır.

**Doğal kurutma:** Atmosfer şartlarında yapılan kurutma işlemidir (Şekil 2.5). Numuneler ilk olarak üstü kapalı yarı açık alanda bir süre kurutulduktan sonra üzeri açık ve güneşli bir ortama çıkarılmaktadırlar. Sıcak iklim bölgelerinde uygulanan bir yöntemdir (Şişman vd., 2006).



Şekil 2.5. Doğal kurutma (Web ileti 3)

**Suni kurutma:** Yarı mamül tuğlaların, özel olarak tasarlanmış kurutma odalarında kurutulması esasına dayanan bir yöntemdir (Şekil 2.6). Bir başka deyişle numuneler tünel fırın kurutma sistemiyle kurutulmaktadır. Bu yöntem killi toprak içerisinde bulunan suyun ilk olarak yüksek hava basıncı, düşük sıcaklık işlemin bitmesine yakın zaman diliminde ise düşük buhar basıncı, yüksek sıcaklık ile bünyeyi terk etmesi yasasına öre çalışmaktadır. Bu sistemde, henüz pişirilmemiş tuğla numuneleri tünel fırın kuruma alanına getirilmektedir. Alana gelen tuğlalar çalışsan işçiler tarafından sehpalara dizilmektedirler. Daha sonra işçiler yardımıyla raylı sistemler üzerinden tünel fırınlara götürülmektedir (İriş, 2019). Son şekli verilen tuğla numuneler %7 ila %30 arasında değişen oranlarda nem içermektedir. Bu nemin çoğu sıcaklığı 38-204 °C olan kurutma odalarında bünyeden ayrılmaktadır. Kurutma süresinin belirlenmesinde kilin türü oldukça önemlidir. Fakat genel olarak bu süre 24-48 saat olarak planlanmaktadır (Şahin, 2008).



**Şekil 2.6.** Suni kurutma (Web ileti 4)

#### 2.2.2.5. Tuğlanın pişirilmesi ve soğutulması

Kurutma işlemi tamamlanan tuğla numuneleri pişirme işlemi için özel fırınlara sevk edilmektedir. Bu fırınlar içerisinde pişen tuğlalar yine bu fırınlar içerisinde soğutma işlemine tabi tutulmaktadır (Aksin, 2007).

Tuğla pişirme süresi fırın türü başta olmak üzere birçok değişkene göre farklılık göstermektedir. Genel olarak pişirme süresi 40-150 saat arasında değişmektedir. Pişirme işlemi için birçok fırın kullanılmaktadır. Bunlardan en sık kullanılanı ise tünel fırın ve periyodik fırındır. Bu fırınlarda yakıt olarak doğalgaz, petrol, talaş ya da kömür kullanılabilir.

**Periyodik fırınlarda:** Pişmemiş tuğla numuneleri, sıcak fırın gazlarının rahatça dolaşabileceği şekilde belli bir sisteme göre periyodik fırınlara dizilmektedir (Şekil 2.7). Tüm tuğlalar periyodik fırına doldurulmakta, pişirilmekte, soğutulmakta ve boşaltılmaktadır. Bu süreç bir döngü şeklinde sürekli devam etmektedir.



Şekil 2.7. Periyodik fırın (Web ilet, 1)

**Tünel fırınlarda:** Yarı mamul tuğla numuneleri vagonlara yüklenmektedir. Yükleme tamamlandıktan sonra raylı sistem yardımıyla farklı sıcaklık zonlarında belirli saatlerde kalarak geçişler yapılmaktadır. Her zondaki sıcaklık sürekli kontrol altında tutulmakta ve fırın devamlı çalışır şekilde olmaktadır (Şekil 2.8) (Çimen, 2019).



Şekil 2.8. Tünel Fırın (Web ilet, 2)

Pişirme işlemi 6 aşamada tamamlanmaktadır (İnce, 2019). Bunlar;

- Serbest suyun buharlaşması; maksimum 204 °C’de gerçekleşmektedir.
- Dehidrasyon; Yaklaşık 149-982 °C arasında gerçekleşmektedir
- Oksidasyon; Yaklaşık 538-982 °C arasında gerçekleşmektedir
- Vitrifikasyon; 871-1316 °C arasında gerçekleşmektedir
- Flashing; Fırın sıcaklığı düşmektedir.
- Soğutma; Fırın sıcaklığı düşmektedir.

Tuğla pişirme sırasında çeşitli reaksiyonlar göstermektedir. Fırın sıcaklığı 300 °C olduğunda tuğla bünyesinde bulunan organik maddeler yanmaktadır. 550 °C’de tuğla içerisinde bulunan su, tuğla bünyesinden uzaklaşmaktadır. Sıcaklık 550-900 °C’de tuğla

bünyesinde bulunan silis ve alümin reaksiyona girerek metakaolin silikatını meydana getirmektedir (Çimen, 2019).

Piştirme tamamlandıktan sonra, sert, sabit formda, belirli bir dayanıma ve renge sahip tuğlalar imal edilmiş olmaktadır. Piştirme sıcaklığı arttığında, tuğlanın basınç dayanımı ve birim ağırlığı artar, su emme oranı azalır (Sürül, 2015). Tuğlanın aşırı yüksek sıcaklıklarda pişirilmesi camlaşmaya neden olmakta bu da harca yapışma kabiliyetini olumsuz yönde etkilemektedir (Ekmekyapar ve Örüng 1993).

Piştirme işlemi sırasında sıcaklık maksimuma ulaşmakta ve bu noktadan sonra sıcaklık düşmeye başlamaktadır. Bu işlem soğutma işlemidir. Periyodik fırınlarda soğutma süresi 48-72 saat arasındadır. Tünel fırınlarda soğutma süresi 48 saattir (Şahin, 2008).

Soğutma işleminin hızlı bir şekilde yapılması durumunda, tuğlanın renk tonlarında bozulma, numunede çatlama, kavlama gibi yüzeysel sorunlara neden olacağından, soğutma işlemine çok özen gösterilmelidir (İnce, 2019; Şahin, 2008).

#### 2.2.2.6. Paketleme ve nakliye

Piştirilmiş tuğla numunelerinin soğutma işleminin ardından numuneler fırından dışarı çıkarılmaktadır. Dışarı çıkarılan tuğlalar ayıklanma, sınıflandırma, paketleme ve depolama aşamalarından geçmektedir. Numunelerin kolay bir şekilde taşınabilmesi için tuğlalar paletler üzerine dizilip çelik tellerle sarıldıktan sonra ambalajlanmaktadır. Farklı mimari görüntü elde etmede kullanmak için üretilen üniform olmayan form ve renklere sahip tuğlalara paketleme işlemi yapılamamaktadır. Bu tür tuğlalar ağaç paletler üzerinde taşınmaktadır. Paket haline gelen tuğlalar sevkiyat işlemi için kamyonlara yüklenmektedir. (Zal, 2010; Işık, 2010; Işık, 2004). Şekil 2.9'da tuğla numunelerinin paketlenme işlemleri verilmiştir.



Şekil 2.9. Tuğla numunelerinin paketlenmesi

### 2.2.3. Tuğlanın sınıflandırılması ve çeşitleri

Tuğlaların sınıflandırılması özellikli yapı inşasında kullanımı baz alınarak yapılmaktadır. Tuğlanın doğru ve düzgün bir şekilde uygulanamaması farklı problemleri ve çirkin bir estetiğe neden olmaktadır. Bunun önlenmesi için çeşitli standartlar düzenlenmiş ve uygulamaya koyulmuştur. İnşaat endüstrisinin farklı alanlarının bir araya gelerek hazırlamış olduğu bu standartların en yaygın ve kapsamlı olanı ASTM'nin tuğla ile ilgili yayınladığı standartlardır. ASTM standartlarının tamamı en uygun performansı yakalamak amacıyla periyodik bir şekilde incelenmektedir. İncelemenin ardından o dönemin şartları göz önüne alınarak revize edilmektedir. Tablo 2.5'de tuğla çeşitleri ve standartları verilmiştir.

**Tablo 2.5.** Tuğla çeşitleri ve standartları (Işık, 2010)

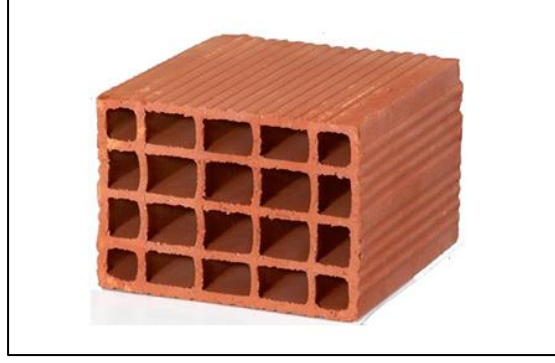
Tuğlaların Sınıflandırılması	ASTM Standardı
Yapı Tuğlası	C 62
Delikli Tuğla	C 652
Yüzey Tuğlası	C 216
Kaldırım Tuğlası	C 902
Seramik Sırlı Tuğla	C 126
İnce Tuğla	C 1088

**Yapı tuğlası:** Gerek yapısal gerekse yapısal olmayan ve estetik özellik gerektirmeyen duvar tuğlalarına yapı tuğlası denilmektedir. Yapı tuğlası dolgu ya da destek malzemesi görevi görürler.

**Delikli tuğla:** Yüzey tuğlasıyla benzer özelliklere sahip delikli tuğla, boşluk alana bakımından yüzey tuğlasından daha büyüktür. Bu tuğlaların kullanım alanları yüzey tuğlalarıyla aynıdır. Delik alanı büyük olan tuğlalar katı ve çelik malzemeler ile birlikte kullanılmaktadır. Delikli tuğlalar yatay delikli tuğla ve düşey delikli tuğla olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

**Yatay Delikli Tuğla:** Yatay delikli tuğlalar taşıma özelliğine sahip değildir. Bu nedenle bina inşasında iç bölme duvar yapımında ve dış duvar inşasında kullanılmaktadır. Yatay delikli tuğla makine tuğlası olarak bilinmektedir (Şekil 2.10).





**Şekil 2.10.** Yatay delikli tuğla

**Düşey delikli tuğla:** Düşey delikli tuğlalar taşıma kabiliyetlerine göre sınıflandırılmaktadırlar. Taşıyıcı kabiliyeti bulunan ve taşıyıcı kabiliyeti bulunmayan olmak üzere iki guruba ayrılmaktadır. Taşıyıcı düşey delikli tuğlalar yığma yapı inşasında, taşıyıcı olmayanlar ise dış duvar inşasında kullanılmaktadır. Şekil 2.11’de düşey delikli tuğla görünüşü verilmiştir.



**Şekil 2.11.** Düşey delikli tuğla

**Yüzey tuğlası:** Bu tuğlalar, estetik güzelliğin aranmadığı gerek yapısal gerekse yapısal olmayan tuğla çeşididir.

**Kaldırım tuğlası:** Kaldırım tuğlası, yollarda yaya yürüme alanı olan kaldırımların ya da bisiklet gibi hafif araçların kullandığı yolların imalatında kaldırım malzemesi olarak kullanılmaktadırlar.

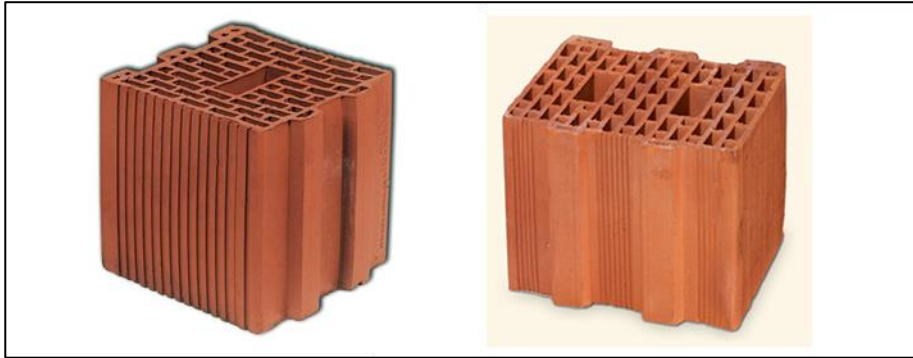
**İnce tuğla:** Et kalınlığı düşürülmüş, normal yüzeyli, pişmiş kil tuğlaları ince tuğla sınıfına girmektedir. Yapıştırımalı yüzey uygulaması için uygun olan bu tuğlalar kalifiye ustalık gerektirmemektedir (Işık, 2010).

**Asmolen Tuğla:** Asmolen tuğla, binalarda ısı ve ses yalıtımı amacıyla kullanılmaktadır (Şekil 2.12). Dolgu betonlara nazaran dört kat daha hafif olan asmolen tuğlalar, ateşe karşı dayanıklı hatta yanmaz özelliğe sahiptirler (Web İleti 5)



Şekil 2.12. Asmolen tuğla

**İzo Tuğla:** İzolasyon tuğlası olarak bilinen izo tuğlalar mükemmel derecede ısı ve ses yalıtım özelliğine sahiptirler (Şekil 2.13). Yüzey şekilleri ve birbirine geçmeli formlarından dolayı ısı köprüsü problemini ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca harç malzemesinden de tasarruf edilmektedir. Basınç dayanımı açısından diğer tuğlalara göre daha üstün özellikli olan bu tuğlalar, bina inşasında sıkça kullanılan tuğla çeşididir.



Şekil 2.13. İzo tuğla

**Baca Tuğlası:** Baca inşasında kullanılan baca tuğlası (Şekil 2.14), bacanın daha etkin çalışmasını sağlamaktadır. Bu tuğlalarla üretilen bacalarda ısı ve dumanın bina içerisine sızma ihtimali yok denecek kadar azdır. 600 °C'ye kadar dayanabilen baca tuğlaları, yüksek ısı karşısında direnç kabiliyetleri oldukça yüksektir. (Web İleti 5).



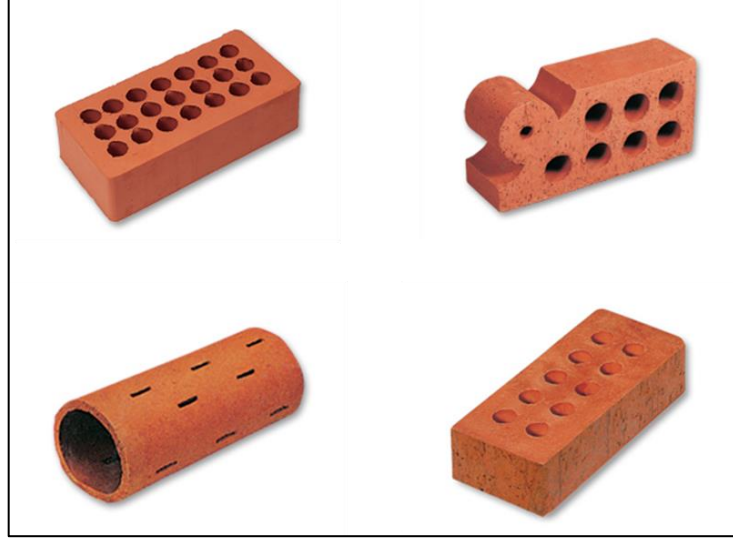
Şekil 2.14. Baca tuğlası

**Cam Tuğla:** Cam tuğla, binalarda genellikle dekorasyon amaçlı kullanılmaktadır. Genel olarak, iç ve dış cephede kaplama olarak, peyzaj uygulamalarında kullanılmaktadır. Yarı saydam yapısı nedeniyle ışığı geçirebildiği için kullanıldığı alanın karanlık olma ihtimalini ortadan kaldırmaktadır. Estetik açıdan oldukça güzel görünmektedir. Diğer tuğlalara göre daha yüksek fiyata satılmaktadırlar. Şekil 2.15’de cam tuğlanın görüntüsü verilmektedir (Web İleti 5).



Şekil 2.15. Cam tuğlası

**Dekoratif Tuğla:** Dekoratif tuğla (Şekil 2.16), dekorasyon işlerinde, iç ve dış yüzey kaplama uygulamalarında ve peyzaj uygulamalarında tercih edilmektedir. Düşük basınç dayanımlarından dolayı taşıyıcı tuğla olarak kullanımları mümkün değildir.



Şekil 2.16. Dekoratif tuğla

**Ateş Tuğlası/Harman Tuğla:** Yüksek ısı yalıtım özelliğine sahip ateş/harman tuğlası genellikle endüstriyel alanlarda ve restorasyon uygulamalarında kullanılmaktadır. Adını üretim alanlarından alan harman tuğla çok eski yıllarda harmanda yakılan ateş vasıtasıyla pişirilip kullanılmaktaydı. Teknolojinin gelişimi ile fabrikasyon üretim yapılan bu tuğlaların birim hacim ağırlıkları diğer tuğlalara göre oldukça yüksektir. Şekil 2.17’de verilen harman tuğla genellikle restorasyon uygulamalarında kullanılmaktadır (Web İleti 5).



Şekil 2.17. Harman tuğla

### 2.3. Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Ramakrishnan vd., (2023), araştırmalarında, tuğla imalatında kil kullanmaktan kaçınmak için uçucu kül, taş ocağı tozu, mermer tozu, yumurta kabuğu tozu (ESP) ve pirinç kabuğu külü (RHA) dahil olmak üzere çeşitli atık malzemeleri değişen oranlarda kullanmışlardır. Numunelere basınç dayanımı ve su emme deneyleri yapıp elde edilen

verileri geleneksel tuğla ile karşılaştırmışlardır. Çalışmada sonuç olarak numunelerin basınç dayanımı ve su emme değerlerinin standart inşaat tuğlaları için gerekli olan ilgili standartları sağladığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, atık malzemelerden tuğla üretmenin maliyetinin geleneksel tuğlalardan daha az olduğunu bildirmişlerdir.

Rasool vd., (2023) yapmış oldukları çalışmada endüstriyel bir tuğla fırın fabrikasında kilin ağırlığına göre %0, 3, 6, 9, 12 ve 15 gibi değişen oranlarda atık mermer tozu (WMP) kullanımının etkisinin değerlendirilmesini amaçlamışlardır. Performanslarını ölçmek için kil, WMP ve tuğlalar üzerinde bir dizi mekanik ve dayanıklılık testi yapmışlardır. WMP'nin dahil edilmesinin, yapıyı ağırlık olarak daha hafif hale getirerek, tuğlaların birim ağırlığının azalmasına neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca, tüm tuğla numuneleri için basınç dayanımı ve donma çözülme testi sonuçları ve %12 WMP katkılı tuğla numuneleri için sülfat testleri Pakistan Yapı Kanunu ve ASTM C67 tarafından öngörülen limitler içerisinde olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca tuğla endüstrisi için sürdürülebilirlik ve ekonomi sağlamak üzere çevresel atığı azaltabilen yanmış kil tuğlaları hazırlamak için kilin ağırlığına göre %12'ye kadar WMP'nin dahil edilebileceği sonucuna varmışlardır.

Zhang vd., (2020), yapmış oldukları çalışmada, silis dumanı (SF), (%0, %2,5, %5 ve %10) ve atık mermer tozunun (WMP), (%0, %5, %10, %15 ve %20) gözenekli betonun mekanik ve dayanıklılık özellikleri üzerindeki etkileri araştırmışlardır. Hüresel betonun çökme, yoğunluk, su emme ve mekanik özelliklerini tartışmışlardır. SF ve WMP içeren gözenekli betonun MgSO<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> saldırısına karşı direnci, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, kütle ve mikro yapıdaki değişikliklerini değerlendirmişlerdir. Çalışmada sonuç olarak, %10 SF ve %5-20 WMP içeren gözenekli beton, optimum mekanik ve dayanıklılık özellikleri sergilediğini bildirmişlerdir. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> saldırısından sonra, bu beton, kontrol grubuna göre önemli ölçüde daha yüksek mekanik özellikler sergilemiş ve önemli ölçüde daha az beton bozulması ve kütle (%0,20–1,49), basınç dayanımı (%27,40–40,20) ve yarmada çekme dayanımı (%37,26–46,04) kayıpları sergilediğini tespit etmişlerdir. Ayrıca taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri, SF ve WMP içeren numunelerin (özellikle SF10 ve SF10M5) MgSO<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> saldırısına karşı daha iyi direnç gösterdiğini ifade etmişlerdir. Genel olarak, çimentonun uygun SF ve WMP ikameleri, özellikle sülfat asidi saldırısından sonra, hüresel betonun mekanik ve dayanıklılık özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiği sonucuna varmışlardır.

Büyüksagis vd., (2017), çalışmalarında, yalıtım levhası yapıştırma harçlarında hammadde olan dolomit yerine farklı oranlarda mermer tozu (MT) katkısının nemi,

kimyasal yapısı ve tane boyutunu araştırmışlardır. Üretilen numunelere, basınç-çekme-eğilme dayanımları, su emme, ilk priz süresi ve akış yayma testlerini uygulamışlardır. Sonuç olarak; mermer atık tozunun nem oranının %1'den düşük olduğunu ve partikül boyutlarının +710 mm ve 125 mm ham dolomite göre daha fazla olduğunu bildirmişlerdir.

Arel, (2016) çalışmasında, beton üretiminde işlenmiş mermer atığının kullanılması, çevre kirliliğini azaltmanın yanı sıra ekonomiyle ilgili önemli faydalar sağladığını bildirmiştir. Ayrıca çimentonun %5-10 oranında mermer tozu ile değiştirilmesinin betonun mekanik davranışını iyileştirirken, çimento üretiminin CO2 emisyonlarını %12 oranında azalttığını tespit etmiştir

Vardhan vd., (2015) çalışmalarında %50'ye varan değişken seviyelerde çimentonun kısmi ikamesi olarak mermer tozu kullanmışlar ve mekanik özellikleri açısından mermer tozunu analiz etmişlerdir. Sonuç olarak, %10 çimentonun değiştirildiği mermer tozu, numune karışımının işlenebilirliğini ve basınç dayanımını iyileştirerek kesin teknik sonuçlar verdiğini bildirmiştir.

Soliman (2013), çalışmasında betonun özelliklerine %0; %2,5; %5; %7,5; %10; %12,5; %15; %17,5 ve %20 oranlarında kısmi çimento ikamesi olarak mermer tozu kullanılmasının etkisini araştırmıştır. Sonuç olarak, kontrol karışımına kıyasla %7,5'in üzerindeki ikame oranlarında betonun basınç dayanımının yaklaşık %26 azalırken, mermer tozunu %7,5'e değiştirerek basınç dayanımının yaklaşık %25 arttığını bildirmiştir. Ayrıca, %5'e kadar mermer tozu kullanmanın, betonun dolaylı gerilme mukavemetini ve elastisite modülünü kontrol karışımına göre artırdığını ve daha yüksek ikame oranları için azaldığını tespit etmiştir.

Bilgin vd. (2012), Atık mermer tozunun endüstriyel tuğlada katkı maddesi olarak kullanılabilirliği araştırılmışlardır. Çalışmada farklı oranlardaki atık malzemeyi endüstriyel tuğla harcı içerisine ağırlıkça %0 ila %80'e kadar ikame etmişlerdir. Üretilen numuneleri 900, 1000 ve 1100 °C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta sinterlemişlerdir. Sonuç olarak; üretilen endüstriyel tuğlanın fiziksel, kimyasal ve mekanik dayanımına mermer tozu katkı maddesi miktarının olumlu etkisi olduğunu görmüşlerdir.

Shelke vd., (2012), çalışmalarında çimentonun mermer tozu (%0; %8; %12 ve %16) ve SF (%0; %8) ile kısmi ikamesinin 7 ve 28. günlerde normal betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak, mermer tozu eklenerek çimento içeriği azaldığında tüm karışımlarda basınç dayanımının azaldığını gözlemlemişlerdir. Bu nedenle, 28 günde, ilgili kontrol karışımlarına göre %8; %12 ve

%16 mermer tozu içeren karışımlar, küp numuneler için yaklaşık %1; %25 ve %29, silindirik numuneler için sırasıyla %14; %32 ve %40 azalma göstermişlerdir. Ayrıca basınç dayanımı için optimal sonuçların %8 mermer tozu ve %8 SF'de bulunduğunu bildirmişlerdir.

Oza vd., (2022), mermer tozunun yeniden kullanılabilir malzeme olarak inşaat sektöründe kullanımına ilişkin bir inceleme yapmışlardır. Çalışmada, dolgu malzemesi olarak farklı oranlarda mermer tozu kullanarak beton üretimi yapmış ve ürettikleri betonun basınç dayanımını incelemişlerdir. Çalışmada, mermer tozu ilavesiyle betonun basınç dayanımında bir artış meydana geldiği bildirilmiştir. Bunun yanı sıra, çimento yerine kullanılan mermer tozu yüzdesine bağlı olarak üretim maliyetinin düştüğü tespit edilmiştir.

Kouribo ve Mahmoud, (2022), yapmış oldukları çalışmada Scopus veri tabanında sürdürülebilir beton üretimine yönelik atık mermer tozu hakkındaki mevcut belgelerin bilimsel bir incelemesini yapmayı amaçlamışlardır. Erişilebilir bibliyometrik verileri ve ilişkili belgeleri analiz etmişlerdir. Analiz başlıkları, en önemli yayınlara sahip kaynakları, en sık geçen anahtar kelimeleri, akademisyenleri ve en çok alıntı yapılan makaleler şeklindedir. Bunun yanı sıra Scientometric analiz yapmışlardır. Bu analiz, sürdürülebilir inşaat uygulamalarında atık mermer tozu kullanımına ilişkin araştırmaların mevcut durumunu belirlemektedir. Çalışmanın, sürdürülebilir inşaat uygulamalarında atık mermer tozunun yeniden kullanımı konusunda derinlemesine bilgi motivasyonuna katkı sağladığı görülmüştür. Ayrıca mevcut araştırmalardaki boşluklar tespit edilmiş ve bu boşlukları doldurmak için bir referans noktası sağlamamışlardır.

Ionescu vd., (2023), yapmış oldukları çalışmada, uçucu kül, mermer tozu ve yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen jeopolimer malzemelerin performansları üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Jeopolimer malzemeler fiziko-mekanik yöntemler, FTIR spektroskopisi ve mikroskopik olarak karakterize etmişlerdir. Sonuç olarak, uçucu külün hammadde olarak ikame edilmesiyle mekanik dayanım performansının azaldığını bildirmişleridir.

Venkatesh vd., (2022), yapmış oldukları çalışmada, mermer tozu parçacıkları (MTP) ve pirinç kabuğunun (PK) ikameli toprakla sıkıştırılmış yığma tuğlalar üretmişlerdir. Pirinç kabuğu yüzdesi, %0,5, %1,0 ve %2,0 arasında, MTP konsantrasyonu, toprakla birlikte %10, %20, %30 ve %40 olarak kullanmışlardır. Çalışmada, ön arıtma ve ek su gereksinimi gerektiren kırmızı tuğla ve çimento tuğlaların aksine, mermer tozuyla stabilize edilmiş duvar blokları yalnızca güneşte kurutulmasının

yeterli olduğunu bildirmişlerdir. Bu durumun daha az karbon emisyonu ve su tasarrufu sağladığını tespit etmişlerdir. MTP'deki kalsiyum prevalansına atfedilen bloklardaki MTP yüzdesinin artırılması, sıkıştırma mukavemetinde bir artışa yol açtığını, MTP nemi alamadığından ve toprak ile pirinç kabuğunun bıraktığı boşlukları kolayca kapatabildiğinden, bloğun kuru yoğunluğunu artırdığını tespit etmişlerdir. Ayrıca %30'daki MTP'nin ve %1,0'deki bağıl nemin, duvar bloklarının sıkıştırma özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiği sonucuna varmışlardır.

Sharma vd., (2022), yapmış oldukları çalışmada, mermer tozu, çeltik samanı lifi ve küspe külü ile karıştırılmış fırınlanmamış toprak blokların uygulanabilirliği incelemişlerdir. Toprağın kuru ağırlığına göre mermer tozu seviyesi %25 ila %35, küspe kül içeriği %7,5 ila %12,5 ve çeltik samanı lifi içeriği %0,8 ila %1,2 arasında seçilmiştir. Hazırlanan pişmemiş katkılı zemin bloklarının karışım tasarımı üzerinde çeşitli testler yaparak bloğun fiziksel özelliklerini ortaya çıkarmış, ardından modelleme ve optimizasyon yapmışlardır. Sonuç olarak, önerilen yöntemin, karıştırılmış toprak blokların fiziksel özelliklerini yakmadan iyileştirmek için, yakılmış tuğlalara üstün bir alternatif olduğunu bildirmişlerdir.

Khan vd., (2021), çalışmalarında, mermer tozunun seramik çamurunda kullanımının seramiğin özelliklerine etkisinin araştırılmasını amaçlamışlardır. Çalışmada Pakistan'da bulunan 3 farklı kaynaktan almış oldukları mermer tozunu kullanmışlardır. Tuğla üretiminde kilin ağırlıkça %0'dan %30'a kadar mermer tozuyla kısmen yer değiştirmesi ve %5 büyütmeyle yedi karışım tasarımı yapmışlardır. Ürettikleri numunelere, yığın yoğunluğu, su emme, porozite, termal iletkenlik ve basınç dayanımı deneyleri uygulamışlardır. Çalışmanın sonucunda, kilin kısmen mermer tozu ile yer değiştirmesi ile ağırlığının ve mukavemetinin azaldığı; porozite, su emmesini ve termal iletkenliğinin arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca mermer tozunun tuğlalarda kullanılmasının toprak erozyonunu en aza indirdiğini ve çevre kirliliğini azalttığını ifade etmişlerdir.

Shukla vd., (2020), yapmış oldukları çalışmada, çimentoda mermer çamur tozu kullanımını araştırmışlardır. Üretilen numunelerin basınç dayanımını ve mikro yapısını incelemişlerdir. Çimento hidratasyon ürünlerini elektron mikroskobu taraması ile tespit etmişlerdir. Çalışma sonucunda kompozit çimentoların, 28 günde ve 7 günden daha yüksek yoğunlukta olduğunu. Mermer tozu oranının artmasıyla basınç dayanımında artış olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca mermer tozunun çimento da kullanımı ile çevre kirliliğinin azaltılmasına katkıda bulunulabileceğini ifade etmişlerdir.



Debnath vd., (2020), çalışmalarında, killi toprağın mekanik özelliklerini iyileştirmek için mermer tozunun etkinliğini araştırmışlardır. İşlenmemiş toprağa ağırlıkça %0-30 aralığında mermer tozu ilave etmişlerdir. Hem işlenmemiş hem de işlenmiş toprakta atterberg limitleri, sıkıştırma testi ve mukavemet testleri gibi çeşitli testler gerçekleştirmişlerdir. İşlenmiş toprak durumunda elde edilen sonuçlar, işlenmemiş topraktan elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, mermer tozu içeriği ve kür süresi arttıkça zemin dayanımının arttığını tespit etmişlerdir.

Bostancı, (2020), çalışmasında, portland çimentosu yerine %20 oranında geri dönüştürülmüş cam kumu içeren, doğal agregalar yerine %5 ve %10 mermer tozu kullanılarak üretilen taze ve taze ve sertleşmiş beton özelliklerini incelemiştir. Bunun yanı sıra laboratuvar karışımlarının çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliğini değerlendirmek için daha ayrıntılı bir araştırma yapmıştır. Çalışma sonucunda;

- Atık malzeme kullanımının kontrol karışımına benzer taze özellikler sağladığını
- 28 günlük küp numunenin basınç mukavemeti, geri dönüştürülmüş cam kumu ve mermer tozu katkılı karışımlar için %10-%19 oranında azaldığını
- Ses geçirgenliği, termal iletkenlik ve su geçirgenliği gibi diğer mühendislik özellikleri için gelişmiş performanslar gösterdiğini
- Mermer tozu ve geri dönüştürülmüş cam kumu karışımları, geleneksel betona kıyasla daha düşük çevresel etkiye ve daha yüksek maliyete sahip olduğunu
- Mermer tozu ve geri dönüştürülmüş cam kumu kullanımının sırasıyla %17 ve %8 iyileşme göstererek, sürdürülebilir beton üretimi için umut verici bir çözüm olduğunu ortaya koymuştur.

İnce vd., (2020), çalışmalarında, atık mermer tozunun puzolanik betona katılmasının etkisini araştırmışlardır. Numunelerin basınç dayanımı, penetrasyon derinliği, gözeneklilik, sülfat atağı direnci ve donma/çözülme döngüsü direnci 1 yıllık bir süre boyunca değerlendirmişlerdir. Çalışma tamamlandığında;

- Mermer tozunun, betonun tuz kristalleşmesini ve donma ve çözülme direncini uzun vadede büyük ölçüde iyileştirdiği,
- Basınç dayanımında yalnızca küçük bir düşüş gözlemlendiğini
- Atık mermer tozunun puzolanik betona katılmasının uzun vadeli mekanik özellikleri ve dayanıklılık özelliklerini geliştirdiğini,
- Mermer tozunun dayanıklılık üzerindeki faydalı özelliklerini olduğunu,
- Betonda mermer tozu ve silis dumanı kullanımının, ekonomik kimlik bilgilerini ve çevresel etkiyi iyileştirerek, CO2 emisyonlarını azaltabileceğini,

▪ Mermer tozunun sadece fiziksel özellikleri iyileştirmekle kalmayıp, aynı zamanda atık bertarafı ve daha sürdürülebilir bir beton üretimi için çevre dostu bir yol sağladığını tespit etmiştir.

Gowtham vd., (2019), yapmış oldukları çalışmada, uçucu kül, taş ocağı tozu, kireç, alçı, kireç çamuru ve mermer tozu kullanarak tuğla üretimi gerçekleştirmişlerdir. Tuğla üretim kombinasyonlarını,

- Kireç, Alçı, Taş Ocağı tozu, Kireç Çamuru 64:9:2:13:12
- Uçucu kül, Kireç, Alçı, Taşocağı tozu, Mermer tozu 6:15:2:13:4
- Uçucu kül, Kireç, Alçıtaşı, Taş Ocağı tozu, Kireç Çamuru ve Mermer tozu 66:11:2:13:4:4 şeklinde reçete etmişlerdir.

Ürettikleri tuğla numunelerine, basınç dayanımı ve 7,14,21 gün sonra ise su emme testi uygulamışlardır. Çalışmada sonuç olarak, mermer tozu ve kireç çamuru kombinasyon karışımının iyi bir dayanım sağladığını tespit etmişlerdir.



### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Atık mermer tozu

Tez çalışması bünyesinde üretilen atık mermer tozu katkılı tuğla numunelerinde Kırşehir/Kaman Bölgesi'nden alınmıştır. Alınan atık mermer tozunun tane yoğunluğu 2,69 g/cm<sup>3</sup> 'tür. Mermer tozunun Tablo 4.1'de kimyasal özellikleri verilmiştir. Beyaz renge ve 2 µ tane boyutuna sahip atık mermer tozunun görüntüsü Şekil 4.1'de verilmiştir.

**Tablo 3.1.** Atık mermer tozunun kimyasal özellikleri

Oksit	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
MT (%)	39,95	16,63	9,23	33,61	0,58



**Şekil 3.1.** Atık mermer tozu

##### 3.1.2. Killi toprak

Tez çalışması kapsamında üretilen atık mermer tozu katkılı tuğla numunelerinde hammadde olarak kullanılan killi toprak kayseri ili merkez ilçesinden temin edilmiştir. Erciyes Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda incelenen killi toprağın mineralojisi Tablo 4.2 verilmiştir. Tabloda ağırlıkça oranları verilen elementlerden en yüksek oranın silisyuma ait olduğu görülmektedir. Silisyumu Oksijen Kalsiyum ve Alüminyum takip etmektedir.

**Tablo 3.2.** Killi toprağın mineralojik değerleri

Element	Si	O	Ca	Al	Fe	Nb	K	Mg
Ağırlık (%)	38,63	21,78	12,34	9,48	6,01	6,21	2,58	2,97

### 3.1.3. Karışım suyu

Atık mermer tozu katkılı numunelerinin üretiminde karışım suyu olarak, organik madde içermeyen ve içilebilir özellikte, Kayseri ili şebeke suyu tercih edilmiştir.

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Numunelerin üretimi

Numunelerin üreimi TS EN 771-1+A1 baz alınarak yapılmıştır. Tez çalışması kapsamında üretilecek atık mermer tozu katkılı tuğla numunelerinin üretimi için killi toprak, atık mermer tozu ve karışım suyu temin edilmiş ve üretimin yapılacağı laboratuvara getirilmiştir. Laboratuvara getirilmeden önce, killi toprağın alımında çeyrekleme metodu kullanılmıştır. Ardından killi toprak merdaneli ezici yardımıyla 2 µ tane çapına gelinceye kadar öğütülmüştür. Firmadan temin edilen atık mermer tozu 1 milimetrelik elekten elenmiş ve elek altı malzeme alınmıştır. Tuğla numunelerinin üretimi için Tablo 4.3’de verilen reçete hazırlanmıştır. Reçetede verilen REF; referans numune, AMT10; %10 oranında atık mermer tozu katkılı tuğla numunesi, AMT20; %20 oranında atık mermer tozu katkılı tuğla numunesi, AMT30; %30 oranında atık mermer tozu katkılı tuğla numunesi, AMT40; %40 oranında atık mermer tozu katkılı tuğla numunesi anlamına gelmektedir.

**Tablo 3.3.** Karışım reçetesi

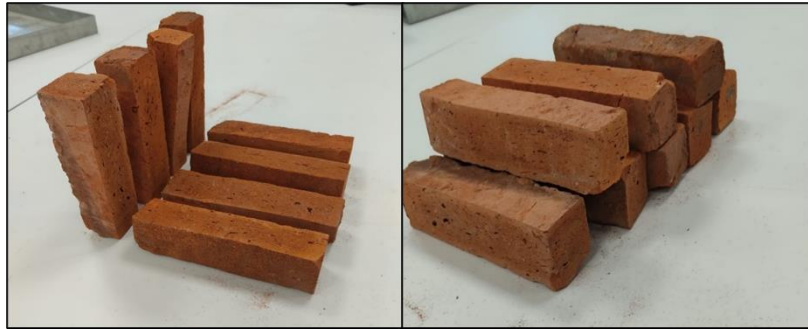
	Mermer Atığı (%)	Killi Toprak (%)
REF	--	100
AMT10	10	90
AMT20	20	80
AMT30	30	70
AMT40	40	60

Deneyisel çalışmada ilk etapta kuru malzemeler olan killi toprak ve atık mermer tozu 1 dakika boyunca kuru halde karıştırılmıştır. Ardından karışım suyu yavaş yavaş kuru karışıma eklenmiş ve düşük ayarda 1,5 dakika, 1,5 dakika da yüksek ayarda karıştırılarak tuğla hamuru elde edilmiştir. Hamur 4x4x16 cm boyutlarında yağlanmış çelik kalıplara yerleştirilmiştir (Şekil 4.2).



**Şekil 3.2.** Çelik kalıplar

Ardında kalıplara 60 vuruş yapılarak sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra numuneler 24 saat boyunca kalıp içerisinde bekletilmiştir. Daha sonra kalıptan çıkarılan yarı mamul tuğla numuneleri 48 saat yarı açık alanda kurutulmuştur. Kurutma işleminin ardından pişirme fırınına yerleştirilmiş ve fırın sıcaklığı kademeli bir şekilde arttırılmıştır. Tuğla numuneleri en uygun pişirme sıcaklığı olan 900 °C’de pişirilmiştir (Uslu ve Arol, 2004). Tuğlalar 150 °C/saat pişirme hızı ile pişirilmiştir. Pişirme fırını tüm sıcaklık seviyelerinde 60 dakika sabit tutulmuştur. Pişirme sıcaklığı 900 °C’ye geldiğinde 120 dakika sabit tutulmuştur. Pişirilen numuneler fırın içerisinden çıkarılmadan soğutma işlemine geçilmiştir. Soğutma işlemi tamamlandıktan sonra fırından alınarak (Şekil 4.3) fiziksel ve mekanik deneyler uygulanmıştır.



**Şekil 3.3.** Atık mermer tozu katkılı tuğla numunesi

### 3.2.2. Numunelere uygulanan fiziksel deneyler

Tez çalışması kapsamında üretilen atık mermer tozu katkılı tuğla numunelerinin fiziksel özelliklerinin tespiti için, birim hacim ağırlık, su emme (Ağırlıkça), porozite, donma-çözülme etkisi, sülfat etkisi deneyleri yapılmıştır.

#### 3.2.2.1. Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık

Atık mermer tozu katkılı tuğla numunelerin suya doygun birim hacim ağırlıkları TS EN 772-4 standardı baz alınarak yapılmıştır. Standarda göre; tuğla numuneleri su dolu bir kap içerisinde yaklaşık 3 saat boyunca kaynatılmıştır. Su içerisinde alınan numunelerin sudaki asılı ağırlıkları (P1) ölçülmüştür. Daha sonra sudan alınarak bir bez yardımıyla yüzeydeki suyu alınmış ve suya doygun kuru ağırlıkları (P2) ölçülmüştür. Son olarak numuneler  $\pm 105$  °C sıcaklıktaki etüv fırınında 1 gün boyunca kurutulmuştur (P3) (Şekil 4.4). Elde edilen tüm değerler aşağıda verilen denklemde yerine yazılarak Suya doygun birim hacim ağırlık değeri bulunmuştur.

$$\text{Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık (g/cm}^3\text{)} = P3/P2-P1$$



Şekil 3.4. Numunelerin etüvde kurutulması

#### 3.2.2.2. Su emme (ağırlıkça)

Numunelere uygulanan bir diğer fiziksel deney su emme deneyidir. Deney TS EN 771-1+A1 standardı baz alınarak yapılmıştır. Bu deney kapsamında numuneler 1 gün boyunca kür havuzunda bekletilmiştir. Bir günün sonunda kür havuzundan alınan numunelerin dış yüzeyi bir bez yardımıyla silinmiş ve hassas terazi ile ölçüm yapılmıştır (Psh). Ardından numuneler değişmez ağırlığa gelene kadar etüv fırınında kurutulmuş ve daha sonra hassas terazi yardımıyla ölçüm yapılmıştır (P0). Elde edilen değerler aşağıdaki formülde yerine yazılarak su emme (ağırlıkça) değeri bulunmuştur.

$$\text{Su Emme (Ağırlıkça) } A_s = (P_{sh}-P_0) / P_0$$

### 3.2.2.3. Porozite

Atık mermer tozu katkılı tuğla numunelerin porozite değerleri TS EN 772-4 standardı baz alınarak yapılmıştır. Standarda göre; tuğla numuneleri su dolu bir kap içerisinde yaklaşık 3 saat boyunca kaynatılmıştır. Su içerisinde alınan numunelerin sudaki asılı ağırlıkları (P1) ölçülmüştür. Daha sonra sudan alınarak bir bez yardımıyla yüzeydeki suyu alınmış ve suya doymuş kuru ağırlıkları (P2) ölçülmüştür. Son olarak numuneler  $\pm 105$  °C sıcaklıktaki etüv fırınında 1 gün boyunca kurutulmuştur (P3). Elde edilen tüm değerler aşağıda verilen denklemde yerine yazılarak porozite değerleri bulunmuştur.

$$\text{Porozite (\%)} = ((P2-P1) / (P2-P3)) \times 100$$

### 3.2.2.4. Donma-çözülme etkisi

Tez çalışması kapsamında üretilen numunelerin donma çözülme deneyi Şekil 4.5’de verilen deney cihazıyla yapılmıştır. Deney TSE CEN/TS 12390-9 standardı baz alınarak yapılmıştır. Deneyde ilk adımda 20 °C suda 12 saat bekletilerek suya doymuş numune haline getirilmiştir. İkinci adımda, sudan alınan numuneler daha sonra soğutma hızı 4 saat içerisinde -20 °C’ye düşebilecek cihaz içine yerleştirilmiş ve 12 saat bu sıcaklıkta bekletilmiştir. Üçüncü adımda, numuneler dondurucudan alınıp 20 °C olan suya yerleştirilmiş ve 12 saat bekletilmiştir. Numunelerde buzun kalmamasına özellikle dikkat edilmiştir. Bu üç adım tek bir döngüyü ifade etmektedir. Bu döngü istenildiği kadar tekrarlanabilmektedir. Tez kapsamında bu döngü, 25 kez tekrarlanmıştır. Deney sonunda numuneler basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.5. Donma çözülme test kabini



### 3.2.2.5. Sülfat etkisi

Atık mermer tozu katkılı tuğla numunelerinin sülfat etkisi deneyi ASTM C1012 baz alınarak yapılmıştır. Standarda göre, üretilen tuğla numuneleri 30 gün boyunca %5'lik bir sülfat çözeltisi bulunan bir su dolu kap içerisinde bekletilmiştir. 30 günün sonunda numuneler basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur.

### 3.2.3. Numunelere uygulanan mekanik deneyler

Tez çalışması kapsamında üretilen atık mermer tozu katkılı tuğla numunelerinin mekanik özelliklerinin tespiti için, basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır.

#### 3.2.3.1. Basınç dayanımı

Numunelerin mekanik özelliklerinin tespiti için yapılan deneylerden biri basınç dayanımı deneyidir. Deney TS EN 772-1, 2012 standardı baz alınarak yapılmıştır. Deneyde belirli ölçülerde olan tuğla numunesine basınç pres cihazı vasıtasıyla darbesiz, değişmeyen miktarlarda kuvvet uygulanmaktadır. Numunede kırılmalar başlayana kadar kuvvet uygulanmaya devam edilmektedir. Uygulama kırılma anında durdurulmaktadır. Yükleme hızı TS EN 772-1 standardında Çizelge 2'de verilen  $0,05 \text{ (N/mm}^2\text{)}/\text{s}$ 'dir. Kesit alanı daha önceden hesaplanmış olan tuğla numunesinin kırılmasına neden olan kuvvet değerinin kesit alanına bölünmesiyle basınç dayanım değeri bulunmaktadır. Şekil 4.6'da numunelerin basınç dayanımı test düzeneği verilmiştir.



Şekil 3.6. Basınç dayanımı

### 3.2.3.2. Eğilmede çekme dayanımı

Mekanik özelliklerden tespiti için yapılan deneylerden bir diğeri ise eğilmede çekme dayanımı deneyidir. Deney TS EN 772-6, 2004 standardına göre yapılmıştır. Deneyde numuneye orta noktasından yüklenmiş basit kiriş yöntemi uygulanmaktadır. Bu yöntemde numune tam orta noktasından tekil yük uygulanarak yapılmaktadır. Şekil 4.7’de numunelerin eğilmede çekme dayanımı deney düzeneği verilmiştir.



Şekil 3.7. Eğilme de çekme dayanımı



#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

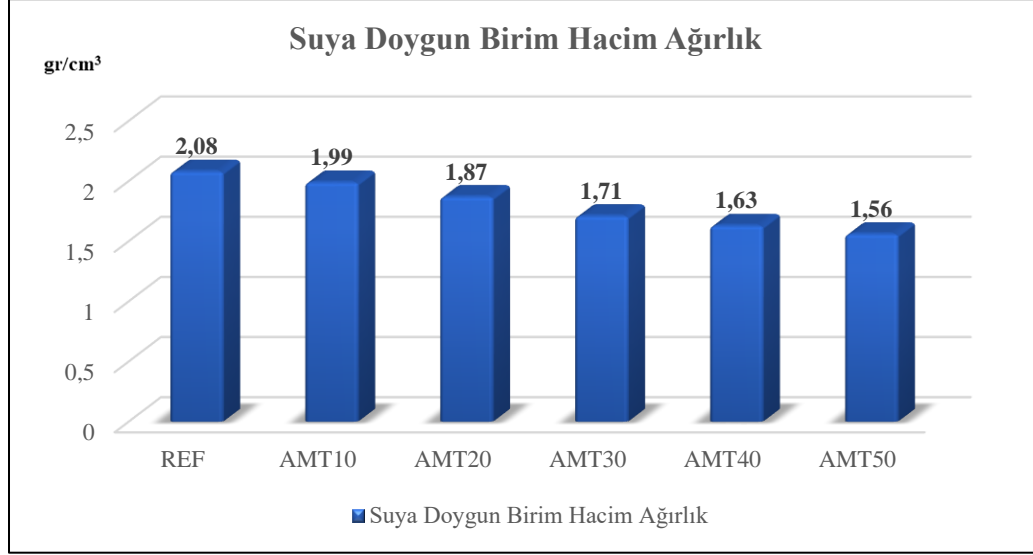
Tez çalışması kapsamında atık mermer tozu katkılı tuğla üretilmiş ve üretilen tuğla numunelerine, suya doygun birim hacim ağırlık, su emme (ağırlıkça), porozite, donma çözülme etkisi, sülfat ekişi, basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda başlıklar halinde sunulmuştur.

##### 4.1. Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık

Tez çalışması kapsamında üretilen numunelere uygulanan suya doygun birim hacim ağırlık deney değerleri Şekil 5.1’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde, atık mermer tozu katkısının tuğlanın suya doygun birim hacim ağırlık değeri üzerinde olumlu etkisinin olduğu görülmüştür. Atık mermer tozu miktarının artmasıyla suya doygun birim hacim ağırlık değerlerinde azalma meydana gelmiştir. En yüksek değer 2,08 g/cm<sup>3</sup> ile referans numuneye, düşük değer ise 1,56 g/cm<sup>3</sup> ile %50 oranında atık mermer tozu katkılı numunelerden elde edilmiştir.

Tuğla numunelerine atık mermer tozu ikamesiyle %4 ila %25 arasında değişen oranlarda düşüş yaşandığı tespit edilmiştir. Bu oranların sırasıyla, %4, %10, %18, %22 ve %25 olduğu hesaplanmıştır. Bunun nedeninin atık mermer tozunun birim hacim ağırlığının (2,02 g/cm<sup>3</sup>) kilin birim hacim ağırlığından (2,13 g/cm<sup>3</sup>) daha düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Tuğla numunelerinde suya doygun birim ağırlığın azalması, atık mermer tozunun gözenekliliğinin arttığına göstergesi olarak kabul edilmektedir (Sütçü ve Akkurt 2009).

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde; Eliche-Quesada vd., %20 atık mermer tozu içeren yanmış kil tuğlaların suya doygun birim hacim ağırlık değerlerinde %9'a varan azalma meydana geldiğini, Münir ve ark., %25 oranında atık mermer tozunun tuğla numunelerinin suya doygun birim hacim ağırlık değerini %15 oranında azalttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, Dhanapandian vd., Aydın ve Karakurt, yapmış olduğu çalışmada tez çalışmasına benzer sonuçlar elde etmişlerdir.



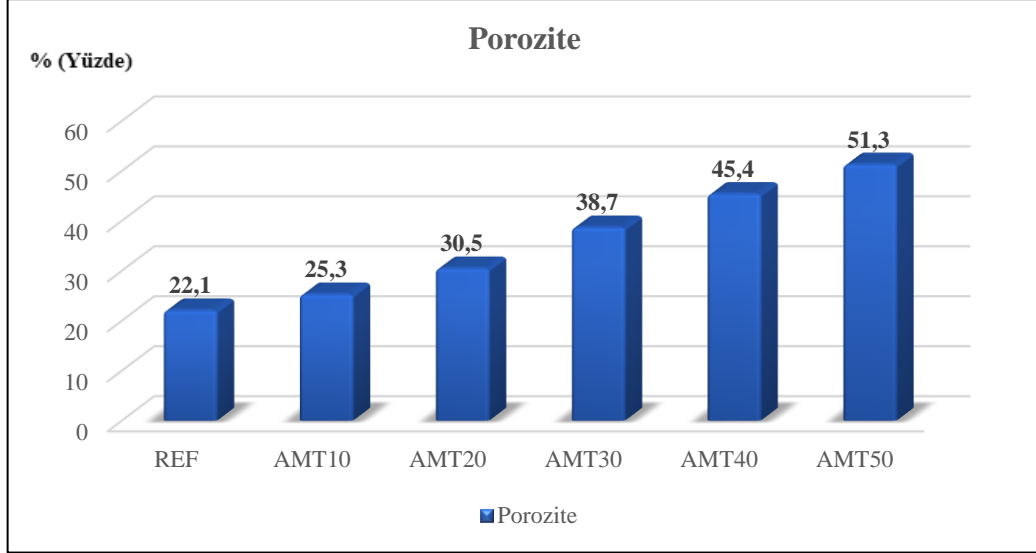
**Şekil 4.1.** Numunelerin suya doymun birim hacim ağırlık değerleri

#### 4.2. Porozite

Numune yapısında bulunan boşluk anlamına gelen porozite numunelerin mühendislik özellikleri için oldukça önemli bir parametredir. Çalışma kapsamında üretilen numunelerin porozite değerleri Şekil 5.2’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde, porozite değerlerinin %22,1 ila % 51,3 arasında değiştiği görülmüştür. En düşük porozite değeri referans numuneden, en yüksek porozite değeri ise AMT50 numunesinden elde edilmiştir. Başka bir deyişle, atık mermer tozu miktarının artmasıyla porozite değerinde artma meydana gelmiştir. Bulunan değerler sırasıyla; %22,1, %25,3, %30,5, %38,7, %45,4, %51,3’tür.

Atık mermer tozu katkılı numuneler referans numunesiyle kıyaslandığında; AMT10 numunesinin porozite değeri referans numuneye göre %14 oranında artmıştır. AMT20’de bu artış %38, AMT30’da %75, AMT40’da %105 ve AMT50’de ise %132’dir.

Atık mermer tozu öncelikle, CO<sub>2</sub> gazı üreten ve gözenekliliğin artmasına neden olan CaCO<sub>3</sub>’ten oluşmuştur. Yüksek sıcaklıklarda pişirilen tuğla numunelerine atık mermer tozunun eklenmesi, CaCO<sub>3</sub>’ün CaO ve CO<sub>2</sub>’ye ayrışması neden oldu ve gözeneklerin miktarını artırmıştır. Böylelikle porozite değerinin artmasına yol açmıştır. Açığa çıkan CaO reaktif bir bileşiktir (Sütçü ve Akkurt, 2009). Bu durum tuğlaların kuvars fazını kalsiyum alümino-silikatlar gibi yeni fazlara çevirerek tuğla özelliklerini değiştirebilmektedir (Sütçü ve ark. 2015). Bilgin vd.’nin yapmış olduğu çalışma da tez çalışmamızı desteklemektedir (Bilgin vd., 2012).



**Şekil 4.2.** Numunelerin porozite değerleri

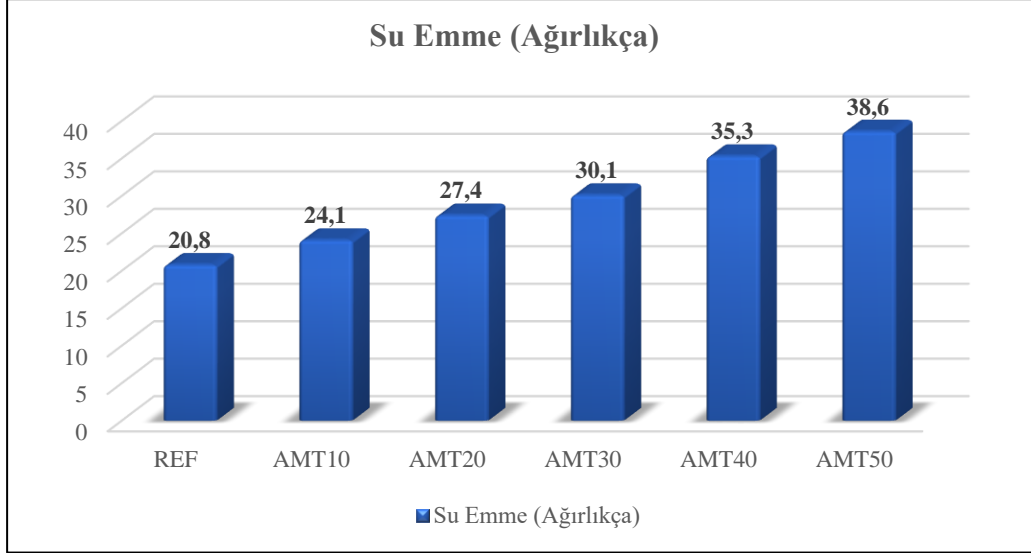
### 4.3. Su Emme (Ağırlıkça)

Şekil 5.3’de referans ve atık mermer tozu katkılı tuğla numunelerinin su emme (ağırlıkça) değerleri verilmiştir. Şekildeki grafik incelendiğinde; su emme oranlarının %20,8 ila %38,6 arasında değiştiği görülmüştür. En düşük değer referans numunesinden, en yüksek değer ise %50 oranında atık mermer tozu katkılı numunelerden elde edilmiştir. Bir başka deyişle atık mermer tozu oranının artmasıyla su emme oranında da artış meydana gelmiştir.

Atık mermer tozu katkılı numuneler referans numunesiyle kıyaslandığında; AMT10 numunesinin su emme oranı referans numuneye göre %15,8 oranında artmıştır. AMT20’de bu artış %31,7, AMT30’da %44,7, AMT40’da %69,6 ve AMT50’de ise %85,5’dir.

Su emme değerinin artmasının porozitte değeriyle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Atık mermer tozu miktarının artmasıyla porozite değeri artmış, oluşan gözenekler su emme oranında artmasına neden olmuştur. Bir başka deyişle, porozite ve su emme değerleri arasında doğrusal bir ilişki olduğunu göstermektedir. Bu sonuçların literatürde yer alan diğer çalışmalarla da uyumlu olduğu görülmüştür (Sütçü ve Akkurt 2009; Bilgin ve ark. 2012).

Çeşitli araştırmacılar tarafından bildirilen maksimum su emme limiti %20 ile %40 arasında değiştiğini göstermekte ve çalışmamızı desteklemektedir (Saboya ve ark. 2007; Kazmi ve ark. 2016). Bunların yanı sıra bazı çalışmalarda da tez çalışmasında olduğu gibi atık mermer tozu miktarının artmasıyla su emme miktarında artış meydana geldiği görülmüştür (Bilgin vd., 2012; Cobo-Ceacero vd., 2018).



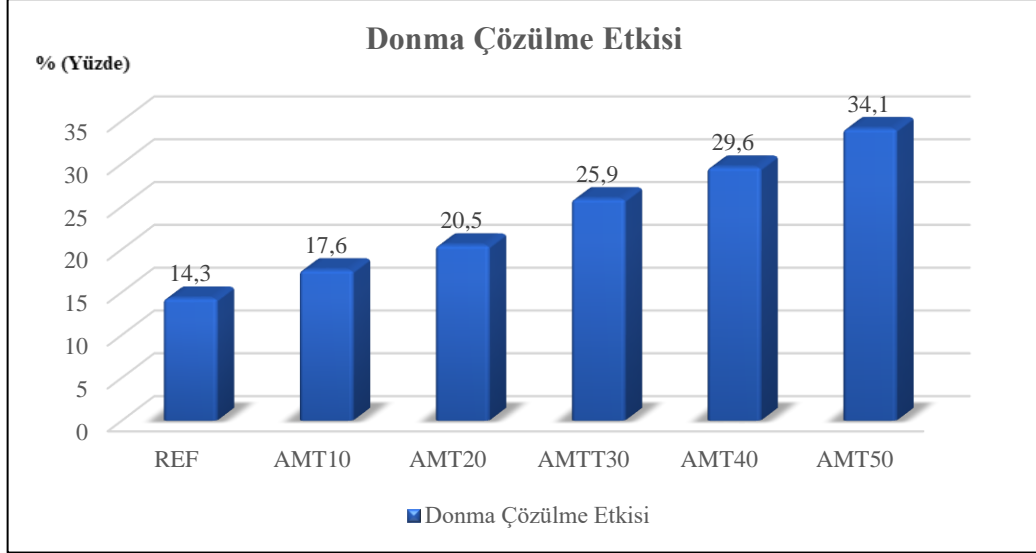
**Şekil 4.3.** Numunelerin su emme (ağırlıkça) değerleri

#### 4.4. Donma-Çözülme Etkisi

Numunelerin donma çözülme etkisi değerleri Şekil 5.4'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde, donma çözülme değerlerinin %14,3 ila %34,1 arasında değiştiği görülmüştür. Yine en düşük değer referans numunesinden en yüksek değer ise AMT50 numunesinden elde edilmiştir. Bulunan değerler sırasıyla; %14,6, %17,6, %20,5, %25,9, %29,6, %34,1'tür. Değerlerden de görüldüğü gibi atık mermer tozu miktarının artmasıyla donma çözülme değerinde de artış meydana gelmiştir.

Atık mermer tozu katkılı numuneler referans numunesiyle kıyaslandığında; AMT10 numunesinin donma çözülme etkisi referans numuneye göre %23 oranında artmıştır. AMT20'de bu artış %43,3, AMT30'da %81,1, AMT40'da %106,9 ve AMT50'de ise %138,4'dir.

ASTM C67 standardı, tuğlaların donma çözülme döngüsü sırasında çatlamaması veya kütle kaybının %3'ünü geçmemesi durumunda donmaya-çözölmeye dayanıklı olarak kabul etmektedir. Çalışma kapsamında yapılan deney sonucunda tüm numuneler, %3'ün üzerinde kütle kaybına maruz kalmış ve çatlamalar görölmüştür. Tuğlaların porozitesi, donma çözölmeye dayanımı için önemli bir etkidir (Davison 1980). Daha önce yapılan bir çalışmada, yüksek gözenek hacimlerine sahip tuğla numunelerinin, daha yüksek kütle kaybına maruz kaldığı, bunun da dayanıklılığı azalttığını bildirmişti (Netinger vd., 2014). Bu çalışma tez çalışmamızı destekler niteliktedir.



**Şekil 4.4.** Numunelerin donma çözülme dayanım değerleri

#### 4.5. Sülfat Etkisi

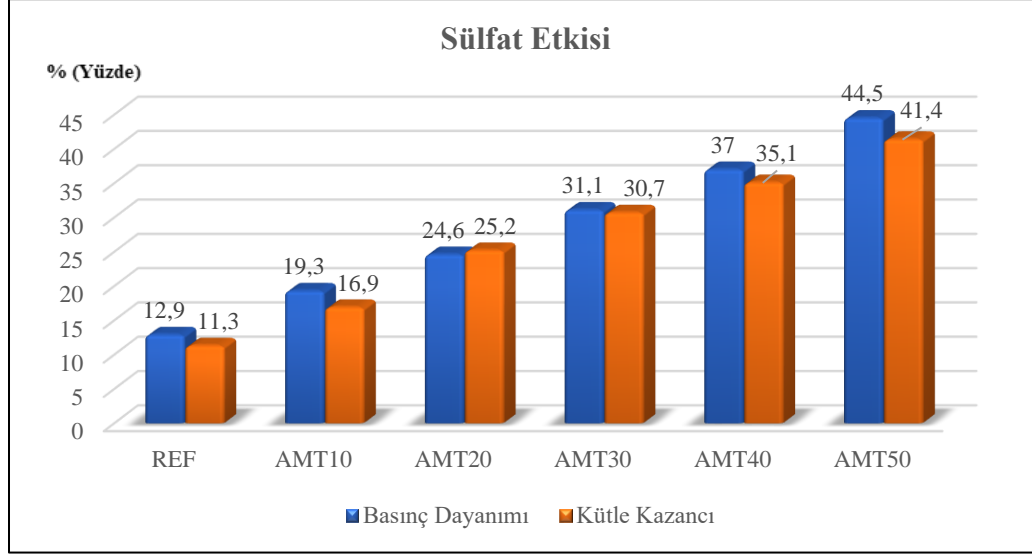
Şekil 5.5’de sülfat etkisine maruz kalan katkılı ve katkısız tuğla numunelerinin kütle kazancını ve basınç dayanımındaki azalma oranları verilmiştir.

Basınç dayanımı incelendiğinde; atık mermer tozu miktarının artmasıyla basınç dayanımında azalma meydana gelmiştir. Numunelerin basınç dayanımındaki azalma %12,8 ila 44,5 MPa arasında değişmektedir. En düşük basınç dayanımı kaybı referans numunesinden elde edilmiştir. Basınç dayanımının düşmesinin nedeninin, tuğlaların gözenekleri içindeki tuz kristallerinin basınç oluşturarak, iç mikro çatlaklara neden olması ve buna bağlı olarak basınç dayanımının azalması olduğu düşünülmektedir. Referans numunesi, atık mermer tozu katkılı numunelere göre daha az gözenekli yapıya sahip olduğu için en düşük basınç dayanımı kaybına sahip numunedir.

Tuğla numunelerinin gözenekleri tuz kristalleri ile dolduğu için kütle kazancına neden olmuştur. Atık mermer tozu katkılı numunelerinin gözenekliliği (porozitesi) daha fazla olduğu için kütle kazancı artmıştır. En düşük kütle kazancı en düşük porozite değerine sahip referans numuneden, en yüksek kütle kazancı ise en yüksek porozite değerine sahip AMT50 numunesinden elde edilmiştir. Kütle kazancı değerleri sırasıyla, %11,3, %16,9, %25,2, %30,7, %35,1 ve %41,4’dür.

Literatür incelendiğinde; Naik vd., ve Münir vd.’nin yapmış oldukları çalışma, tez çalışması ile paralel sonuçlar sunmuştur.





Şekil 4.5. Numunelerin sülfat etkisi değerleri

#### 4.6. Basınç Dayanımı

Mekanik özelliklerin tespiti için yapılan deneylerden biri basınç dayanımı deneyidir. Şekil 5.6'da atık mermer tozu katkılı tuğla numunelerine ait basınç dayanım değerlerinin bulunduğu grafik verilmiştir. Grafikte, atık mermer tozu ikameli tuğla numunelerinin basınç dayanım değerlerinin referans numunesine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra atık mermer tozu ikame oranının artmasıyla basınç dayanımında azalma olduğu tespit edilmiştir. Referans numune 4,4 MPa ile en yüksek basınç dayanımına sahipken, en düşük basınç dayanımı 1,98 MPa ile AMT50 numunesinden elde edilmiştir. Numunelerin basınç dayanımı sırasıyla; 4,4, 4,01, 3,54, 3,01, 2,5, 1,98 MPa'dır.

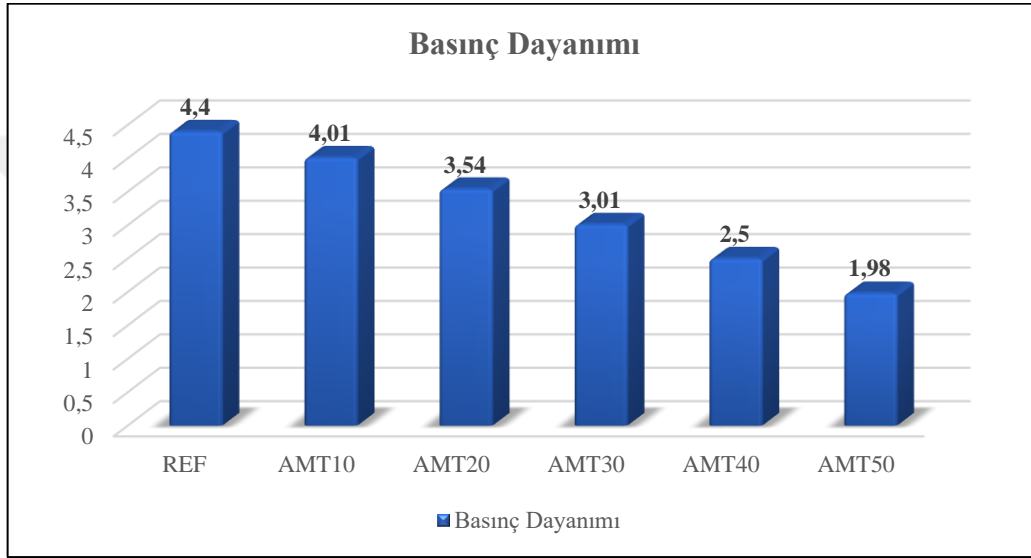
Atık mermer tozu katkılı numuneler referans numunesiyle kıyaslandığında; AMT10 numunesinin basınç dayanımı referans numuneye göre %8,8 oranında azalmıştır. AMT20'de bu azalma %19,5, AMT30'da %31,5, AMT40'da %43,1 ve AMT50'de ise %55'dir.

TS 704'e göre; tuğla basınç dayanımı 4-5 MPa arasında değişen tuğlalar orta dayanımlı tuğla, 2,5-3,9 MPa arasında değişen tuğlalar ise az dayanımlı tuğla sınıfına girmektedir. Çalışmada referans ve AMT10 numunesi orta dayanımlı tuğla sınıfına, AMT20, AMT30, AMT40 ve AMT50 numuneleri az dayanımlı sınıfına girmektedir.

Tuğla numunelerinin yoğunluğu, gözenekliliği ve gözenek boyutu basınç dayanımını etkileyen temel parametrelerdir (Aouba ve ark. 2016). Tuğlaların basınç dayanımı ile porozite değerleri arasında ters orantılı doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Ayrıca atık mermer tozunun yüksek sıcaklıklarda pişirilmesiyle

içerisindeki karbonatlar yanmakta ve porozite değerinin yükselmesine neden olmaktadır. Bu durum basınç dayanımı üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır (Kazmi vd., 2016-a; Kazmi vd., 2016; Sütçü vd., 2015).

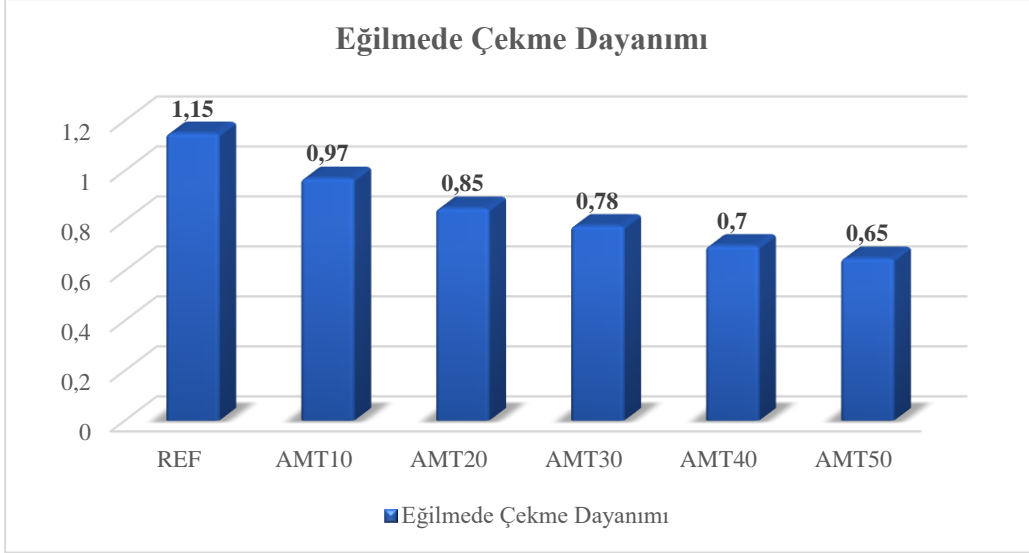
%10 atık mermer tozu ikameli tuğla numuneler, belirli limiti karşılayan basınç dayanımı elde etmişlerdir. Bu nedenle sürdürülebilir, uygun maliyetli duvar yapımında etkili bir şekilde kullanılabilir. Literatürde yer alan bazı çalışmalar tez çalışmamızda elde ettiğimiz değerlerle örtüşmektedir (Bilgin vd., 2012; Cobo-Ceacero vd., 2018; Ionescu vd., 2023).



Şekil 4.6. Numunelerin basınç dayanım değerleri

#### 4.7. Eğilmede Çekme Dayanımı

Mekanik özelliklerin tespiti için yapılan bir diğer deney de eğilmede çekme dayanımı deneyidir. Şekil 5.7’de eğilmede çekme dayanım değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde, atık mermer tozu ikamesinin numunelerin eğilmede çekme dayanım değerlerini arttırdığı görülmüştür. En düşük değer AMT50 numunesinden, en yüksek değer ise REF numunesinden elde edilmiştir. Eğilmede çekme dayanım değerleri 0,65-1,15 MPa arasında değişmektedir. ASTM C67 standardına göre duvar yapımında kullanılacak tuğlaların eğilmede çekme dayanımı değerinin minimum 0,65 MPa olması gerekmektedir. Bu durumda, atık mermer tozu katkılı tüm tuğla numunelerinin eğilmede çekme dayanım değerleri standardı karşılamaktadır. Ayrıca, tuğla numunelerinin eğilme mukavemeti değerleri, atık mermer tozu ikamesinin artmasıyla daha gözenekli hale gelen mikro yapısıyla ilişkilidir (Bilgin vd., 2012; Cobo-Ceacero vd., 2018).



**Şekil 4.7.** Numunelerin eğilmede çekme dayanım değerleri

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Tez çalışması kapsamında, kil içerisine farklı oranlarda (%10, %20, %30, %40, %50) Kırşehir yöresi atık mermer tozu ikame edilerek katkılı tuğla üretilmiştir. Üretilen bu tuğla numunelerine fiziksel ve mekanik deneyler yapılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen veriler değerlendirilmiş ve aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

- Atık mermer tozu katkılı tuğla numunelerinde mermer tozu miktarının artmasıyla suya doygun birim hacim ağırlık değerlerinde azalma meydana gelmiştir. En düşük değer AMT50 numunesinden elde edilmiştir.

- Tuğla numunelerinde atık mermer tozu miktarı arttıkça porozite değerlerinde de artış meydana gelmiştir. En yüksek poroziteye sahip numuneler AMT50 numuneleridir. Porozite oranının artması su emme oranının da artmasına neden olmuştur.

- Atık mermer tozu ikamesinin artmasıyla numunelerin su emme değerlerinde de artış görülmüş, en yüksek su emme oranı AMT50 numunesinden, en düşük su emme oranı ise referans numunesinden elde edilmiştir.

- Donma çözülme deneyi sonucunda atık mermer tozu miktarı arttıkça donma çözülme değerlerinde de artış meydana gelmiştir.

- Atık mermer tozu katkılı tuğla numunelerinde katkı miktarının artmasıyla sülfat etkisinde de artış meydana gelmiştir. Sülfat etkisi altında, basınç dayanımında ve kütle kazancında artış meydana gelirken en yüksek değer AMT50 numunesinden elde edilmiştir.

- Tuğla numunelerinin atık mermer tozu miktarı arttıkça basınç dayanımı değerlerinde azalma meydana gelmiştir. %10 oranında atık mermer tozu içeren numuneler orta dayanımlı tuğla sınıfına girdiği için yapı üretiminde kullanılabilir. En düşük basınç dayanımı AMT50 numunesinden, en yüksek basınç dayanımı ise referans numunesinden elde edilmiştir.

- Tuğla numunelerinin atık mermer tozu miktarı arttıkça eğilmede çekme dayanımı değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Tüm atık mermer tozu katkılı numuneler ASTM C67'de belirtilen, minimum eğilmede çekme dayanım değerini (yani 0,65 MPa) karşılamaktadır.

- Bu bulgulara dayanarak, tuğla üretiminde atık mermer tozu kullanılmasının uygun bir seçenek olduğu sonucuna varılmıştır.

- Atık mermer tozu katkılı tuğla numunelerinin porozite değerlerinin yüksek olması gözenekli bir malzeme olduğunu göstermektedir. Gözenekli malzemelerin ısı

performansı oldukça iyi olduğu için, numunelere ısı iletim katsayısı tayini deneyinin uygulanması önerilmektedir.

- Atık mermer tozu kullanımı verimli toprakların tükenmesini azaltabilmektedir.
- %10 oranında atık mermer tozu katkılı tuğlalar referans numuneye yakın değerlere sahip olduğu için sürdürülebilir tuğla üretiminde kullanımı uygundur.
- Kil tuğlalarda atık mermer tozu kullanımı, duvar inşaatının sürdürülebilirliğini artırabilmekte, düzenli depolama uygulamalarını azaltabilmekte ve bu yan ürünün doğal ekosistemlerde bertaraf edilmesinden sonra olası sağlık risklerini önleyebilmektedir.

## **5.2. Öneriler**

- Atık mermer tozunun çimento ve beton dışında, tuğla gibi yapı malzemelerinin yapımında da kullanılması tavsiye edilmektedir.
- Atık mermer tozunun inşaat alanında kullanılması üzerine yapılan akademik çalışmaların sayısı artırılmalıdır.
- Atık bertarafı için, atık mermer tozunun tuğla üretiminde kullanımı geliştirilmelidir.
- Tuğla üretiminde atık kullanımı laboratuvar ölçeğinde kalmamalı ve seri üretime geçilmesi için desteklenmelidir.
- Yapı malzemesi üretimi yapan işletmelere atık kullanımına teşvik amacıyla devlet desteği verilmelidir.

## 6. KAYNAKLAR

- Abdellatief, M., Elemam, W.E, Alanazi, H., & Tahwia, A.M. (2023). Production and optimization of sustainable cement brick incorporating clay brick wastes using response surface method, *Ceramics International*, 49(6), 15 March 2023, 9395-9411.
- Aksin, E. (2007). *Endüstriyel Atıklarının Tuğla Ve Kiremit Üretiminde Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 56s.
- Andreola, F., Lancellotti, İ., Sergi, R., Cannillo, V. & Barbieri, L. (2021). Comparison of Three Manufacturing Techniques for Sustainable Porous Clay Ceramics, *Materials*, 14(1), 157-167.
- Aouba, L., Bories, C., Coutand, M., Perrin, B., & Lemercier, H. (2016). Properties of fired clay bricks with incorporated biomasses: Cases of olive stone flour and wheat straw residues, *Construction and Building Materials*, 102(Part 1), 7–13.
- Arel, H.S. (2016). Recyclability of waste marble in concrete production, *Journal of Cleaner Production*, 131, 179-188.
- ASTM C1012, (2003). Standard test method for length change of hydraulic cement mortars exposed to a sulfate solution, ASTM C1012, West Conshohocken, PA
- Aydın, G., Karakurt, İ. (2020). Doğaltaş Üretim ve İşleme Tesisi Atıklarının Değerlendirilmesi, *ALKU Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 62-77.
- Beycioğlu, A., Başıyigit C. & Subaşı, S., (2008), Endüstriyel atıkların inşaat sektöründe kullanımı ile geri kazanılması ve çevresel etkilerinin azaltılması, *Çevre Sorunları Sempozyumu*, 1387-1394, Kocaeli.
- Bilensoy, M. (2010). *Mermer Fabrikaları Toz Atıklarının Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 65s.
- Bilgin, N., Yeprem, HA., Arslan, S., Bilgin A., Günay, E., & Marsoglu, B. (2012). Use of waste marble powder in brick industry, *Construction and Building Materials*, 29(2012), 449-457.
- Bostancı, Ş.C., (2020). Use of waste marble dust and recycled glass for sustainable concrete Production, *Journal of Cleaner Production*, 251 (2020) 119785, 1-14.

- Bui, Q.B., Morel, J.C., Reddy, B.V.V., & Ghayam, W. (2009). Durability of rammed earth walls exposed for 20 years to natural weathering, *Building Environment*, 44, 912–919.
- Büyüksagis, İ. S., Uygunoğlu, S., & Tatar, E. (2017). Investigation on the usage of waste marble powder in cement-based adhesive mortar. *Construction and Building Materials*, 154(2017), 734-742.
- Calatan, G., Hegyi, A., Deco, C., & Szilagyi, H. (2020). Opportunities regarding the use of adobe-bricks within contemporary architecture, *Procedia Manufacturing*, 46, 150–157.
- Cobo-Ceacero C.J.C., Cotes-Palomino M.T., Martínez-García C., Moreno-Maroto J.M., & Uceda-Rodríguez, M. (2018). Use of marble sludge waste in the manufacture of eco-friendly materials: applying the principles of the Circular Economy, *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 35399–35410
- Cultrone, G., & Sebastian, E. (2009). Fly ash addition in clayey materials to improve the quality of solid bricks, *Construction and Building Materials*, (23), 1178-1184.
- Çimen, S. (2019). *Bor Atığı Ve Perlit Katkılı Üretilen Tuğlanın Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu, 33s.
- Dalkilic, N., & Nabikoglu, A. (2017). Traditional manufacturing of clay brick used in historical buildings of Diyarbakir (Turkey). *Frontiers of Architectural Research*, 6, 346–359.
- Dhanapandian, S., Gnanavel, B., & Ramkumar, T. (2009). Utilization of granite and marble sawing powder wastes as brick materials. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 4(2), 147-160.
- Davison, J.I. (1980). Linear expansion due to freezing and other properties of bricks. *Proceeding 2nd Canadian Masonry Symposium*, Carleton Univ., Ottawa.
- Debnath, A., Saha, S., & Chattaraj, R. (2020). Stabilization of Clayey Soil with Marble Dust, *Recent Developments in Sustainable Infrastructure*, 75, 175-183.
- Demir, İ., (2008). Mermer Tozu ve Atıklarının Kullanım Alanlarının Araştırılması, 6. *Mermer ve Doğal Taş Sempozyumu*, 327, Afyonkarahisar.
- Demir, I. (2009). Reuse of waste glass in building brick production. *Waste Management Research*, 27, 572–577.

- Diaz, J.J.C., Nieto, P.J.G., Biempica, C.B. & Gero, M.B.P. (2007). Analysis and optimization of the heat-insulating light concrete hollow brick walls design by the finite element method, *Applied Thermal Engineering*, (27), 1445-1456.
- DPT, (2001). VIII. Beş yıllık kalkınma planı madencilik özel ihtisas komisyonu raporu, endüstriyel hammaddeler alt komisyonu kimya sanayi hammaddeleri çalışma grubu raporu cilt II, Ankara, 179.
- Ekmekyapar, T. & Örüng, İ. (1993). İnşaat Malzeme Bilgisi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Yayınları* No: 145, Erzurum, 22-36.
- Elabade, W.A.T. (2021). *Atık Mermer Tozu Ve Pirinç Kabuğu Külü Katkılı Köpük Betonların Mekanik Ve Bazı Durabilite Özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu, 74s.
- Eliche-Quesada, D., Corpas-Iglesias, F. A., Pérez-Villarejo, L., & Iglesias-Godino, F. J. (2012). Recycling of sawdust, spent earth from oil filtration, compost and marble residues for brick manufacturing. *Construction and Building Materials*, 34(Sep), 275–284.
- Erkek, D., & Özdemir, S. (2011). Mermer ve Traverten Sektörüne Küresel ve Bölgesel Yaklaşım. 42.
- Ertaş, F. C., Döven, M. S. & Özeyer, K. (2011). Tokat İli Mermer Endüstrisi Sektör Araştırması ve Rekabetçilik Analizi. 2011 Yılı Doğrudan Faaliyet Desteği Programı, Tokat.
- Filiz, M., Özel, C., Soykan, O. & Ekiz, Y. (2010). Atık mermer tozunun parke taşlarında kullanılması, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(2) 57-72.
- Gedik, İ.Ö. (2019). *Muğla Mermer Ocaklarının (Blok Mermer Üretim Faaliyetinin) Çevreye Olan Etkileri, Çözüm Önerileri Ve Çevre Mevzuatı Gereği Yapılması Gerekenler*, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla, 42s.
- Gorai, S. (2018). Utilization of Fly ash for sustainable environment management, *Journal of Materials and Environmental Science*, 9, 385–393.
- Gowtham, V., Ranjith, J.S., Saran, P., Sudhaker, A., & Balasubramaniam, N. (2019). An Experimental Study On Strength And Behavior Of Fly Ash Bricks Using Lime Sludge And Marble Dust, *South Asian Journal of Engineering and Technology*, 8(1), 11-14.



- Göl, F., Cibuk, S., Kacar, E., Saritas, Z.G., Yilmaz, A., Arslan, M., & Sen, F., (2022). Evaluation of solid wastes in the manufacture of ceramic tableware glazes. *Ceramics International*, 48, 15622–15628
- Göl, F., Kacar, E., Saritas, Z.G., Cibuk, S., Ture, C., Arslan, M., & Sen, F. (2023). The use of boron based materials on efficiency of environmentally friendly porous ceramics, *Environmental Research*, 216 (2023), 114454.
- Görhan, G. (2011). *Çeltik Kavuzunun Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 78s.
- Heniegal, A.M., Ramadan, M.A., Naguib, A., & Agwa, I.S. (2020). Study on properties of clay brick incorporating sludge of water treatment plant and agriculture waste. *Case Studies in Construction Materials*, 13, e00397.
- Ionescu, B.A., Barbu, A.M., Lăzărescu, A.V., Rada, S., Gabor, T., & Florean, C., (2023). The Influence of Substitution of Fly Ash with Marble Dust or Blast Furnace Slag on the Properties of the Alkali-Activated Geopolymer Paste, *Coatings*, 13(403), 1-21.
- Işık, İ. (2004). Tuğla Ve Kiremit Üretim Teknolojisi, *Dumlupınar Üniversitesi, Lisans Ders Notları*, Kütahya, 1-5.
- Işık, İ., (2010). Tuğla ve Kiremit Üretim Teknolojisi Ders Notları. Kütahya.
- İnce, A.S. (2019). *Tuğla Bünyesinde Kömür Artığı Ve Bor Kullanımının Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 22s.
- Ince, C., Hamza, A., Derogar, S., & Ball, R.J. (2020). Utilisation of waste marble dust for improved durability and cost efficiency of pozzolanic concrete, *Journal of Cleaner Production*, 270 (2020) 122213.
- İriş, S. (2019). *Tuğla Ve Gabzeton Yapı Malzemelerinin Sürdürülebilirliği Üzerine Karşılaştırmalı Bir Analiz*, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 24s.
- James, J., & Pandian, P.K. (2017). A short review on the valorisation of sugarcane bagasse ash in the manufacture of stabilized/sintered earth blocks and tiles. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017, 1706893.
- Katz, A., & Baum, H. (2006). Effect of high levels of fines content on concrete properties. *ACI Materials Journal*, 103, 474.

- Kara, C. (2013). *Mermer Tozu Atığının Betonun Karbonatlaşmasına Etkisinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 37s.
- Kazmi, S.M.S., Abbas, S., Saleem, M.A., Munir, M.J., & Khitab, A. (2016). Manufacturing of sustainable clay bricks: Utilization of waste sugarcane Bagasse and rice husk ashes, *Construction and Building Materials*, 120(Sep), 29–41.
- Kazmi, S. M. S., Munir, M. J., Abbas, S., Saleem, M. A., Khitab, A., & Rizwan, M. (2016-a). Development of lighter and eco-friendly burnt clay bricks incorporating sugarcane Bagasse ash. *Proceedings of international conference on Advanced Materials and Emerging Technologies (ICAMET 2016)*, University of Engineering and Technology, Lahore, Pakistan.
- Khan, Z., Gul, A., Shah, S.A.A., Samiullah, Q., Wahab, N., Badshah, E., Naqash, T., & Shahzada, K. (2021). Utilization of Marble Wastes in Clay Bricks: A Step towards Lightweight Energy Efficient Construction Materials, *Civil Engineering Journal*, 7(09), 1488-1500.
- Khitab, A., & Anwar, W. (2016). Classical Building Materials, *Advanced Research on Nanotechnology for Civil Engineering Applications*, 1-20.
- Khitab, A. & Anwar, W. (2016). Advanced Research on Nanotechnology for Civil Engineering Applications; *IGI Global: Hershey, PA, USA, 2016*; pp. 1–27.
- Khodabakhshian, A., Ghalehnovi, M., Brito, J., & Shamsabadi, E.A. (2018). Durability performance of structural concrete containing silica fume and marble industry waste powder. *Journal of Cleaner Production*, 170 (2018), 42- 60.
- Kırşehir Doğal Taş Sektör Analizi Ve Yatırım İmkânları Raporu, (2014). <https://www.kalkinmakutuphanesi.gov.tr/assets/upload/dosyalar/ahika-2014-kirsehir-dogal-tas-sektor-analizi-ve-yatirim-imkanlari-raporu.pdf>.
- Kişman, Z. A., & Kan, Ö. D. (2011). Elazığ Mermeri Sektörel Arastırması, Fırat Kalkınma Ajansı Raporu, Elazığ, Türkiye.
- Koçyiğit, Ş. (2016). *Pomza Agregası, Atık Mermer Tozu Ve Kitre Katkılı Çimento Esaslı Kompozit Malzemenin Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 23s.
- Kumar, D.S, & Hudson, W.R. (1992). Use of Quarry Fines for Engineering and Environmental Applications; Special Report; University of Texas: Austin, TX, USA, 1992.

- Kumar, V., Singla, S., & Garg, R. (2021). Strength and microstructure correlation of binary cement blends in presence of waste marble powder, *Materials Today: Proceedings*, 43(2021), 857-862.
- Kuoribo, E., & Mahmoud, H., (2022), Utilisation of waste marble dust in concrete production: A scientometric review and future research directions, *Journal of Cleaner Production*, 374 (2022), 133872.
- Kuşçu, M., Bağcı, M., & Yıldız, A. (2001). Afyon Mermer Endüstrisi Ve Türkiye Mermer Sektöründeki Konumu. Türkiye Iıı. Mermer Sempozyumu(Mersem '2001) Bildiriler Kitabı 3-5 Mayıs 2001 /Afyon.
- Levent, M. (2012). Kırmızı Çamur Katkılı Tuğla Üretiminin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 41s.
- Manni, A., Haddar, A.E., Hassani, İ.EE.A.E., Bouari, A.E., & Sadik, C. (2019). Valorization of coffee waste with Moroccan clay to produce a porous red ceramics, *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 58, 5 (2019) 211.
- Mawlawizada, N.A, (2020). Atık Mermer Tozu Kullanılarak Üretilmiş Çevre Dostu Betonların Dayanım ve Dayanıklılık Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 15s.
- Munir, M.J., Abbas, S., Nehdi, M.L., Kazmi, S.M.S., & Khitap, A. (2018). Development of Eco-Friendly Fired Clay Bricks Incorporating Recycled Marble Powder, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2018, 30(5), 1-11.
- Murugesan, T., Bahurudeen, A., Sakthivel, M., Vijay, R., & Sakthivel, S. (2017). Performance evaluation of burnt clay-fly ash unburnt bricks and precast paver blocks. *Materials Today: Proceedings*, 4, 9673–9679.
- MTA, (Maden Tetkik Arama), (2023). Kırşehir İli Maden Ve Enerji Kaynakları, ss: 3.
- Naik, N., Bahadure, B., & Jejurkar, C. (2014). Strength and durability of fly ash, cement and gypsum bricks. *International Journal of Computer Engineering Research*, 4(5), 1–4.
- Netinger, I., Vračević, M., Ranogajec, J., & Vučetić, S. (2014). Evaluation of brick resistance to freeze/thaw cycles according to indirect procedures. *Gradevinar*, 66(3), 197–209.

- Ngayakamo, B.H., Bello, A., & Onwualu, A.P. (2020). Development of eco-friendly fired clay bricks incorporated with granite and eggshell wastes. *Environment Challenges*, 2020(1), 100006.
- Nisa, A.U., & Singh, P. (2023). An alkali activated geopolymer concrete brick incorporated with devri stone quarry dust, *Materials Today: Proceedings*, (In Press).
- Okubay, M., (2016). Bitümlü Sıcak Karışımlarda Agregada Olarak Mermer Atığı Kullanımının Araştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 63s.
- Okunade, E.A. The effect of wood ash and sawdust admixtures on the engineering properties of a burnt laterite-clay brick. *Research Journal of Applied Sciences*, 2008, 8, 1042–1048.
- Olaiya, B.C., Lawan, M.M & Olonade, K.A. (2023). Utilization of sawdust composites in construction—a review, *SN Applied Sciences*, 5 (140), 1-10.
- Oza, R.B., Kangda, M.Z., Agrawal, M.R., Vakharia, P.R., & Solanki, D.M., (2022). Marble dust as a binding material in concrete: A review, *Materials Today: Proceedings*, 60 (2022), 421-430.
- Özdemir, C. (2021). *Kırşehir Yöresi Atık Mermer Tozu Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu, 45s.
- Öztürk, M., (2018). Mermer Kesiminden Kaynaklanan Çevre Kirliliği ve Önlemleri. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Padmalosan, P., Vanitha, S., Kumar, V.S., Anish, M., Tiwari, R., Dhapekar, N.K., & Yadav, A.S., (2023). An investigation on the use of waste materials from industrial processes in clay brick production, *Materials Today: Proceedings*, (In Press).
- Pawar, A.S., & Garud, D.B., (2014b), Engineering properties of clay bricks with use of fly ash, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(9), 75-80.
- Pawar, A.S. & Garud, D.B. (2014a). Engineering properties of clay bricks with use of fly ash. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2014, 3, 75–80

- Peng, L., Zhao, Y., Ban, J., Wang, Y., Shen, P., Lu, J.X., & Poon, C.S. (2023). Enhancing the corrosion resistance of recycled aggregate concrete by incorporating waste glass powder, *Cement and Concrete Composites*, 137, March 2023, 104909.
- Ramakrishnan, K., Chellappa, V., & Chandrasekarabharathi, S. (2023). Manufacturing of Low-Cost Bricks Using Waste Materials, *Material Proceeding*, 13 (25), 1-8.
- Rasool, A.M., Hameed, I.A., Qureshi, M.U., Ibrahim Y.E., Icon, A, O, Q., & Sumair, A. (2023). Experimental study on strength and endurance performance of burnt clay bricks incorporating marble waste, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 22(1), 1-15.
- Ricardo, R.J., Brito, D., & Sardinha, M. (2015), Mechanical properties of structural concrete containing very fine aggregates from marble cutting sludge, *Construction and Building Materials*, 77, 349–356.
- Saboya, F., Jr., Xavier, G. C., & Alexandre, J. (2007). The use of the powder marble by-product to enhance the properties of brick ceramic. *Construction and Building Materials*, 21(10), 1950–1960.
- Sharma, T., Singh, S., Sharma, S., Sharma, P., Gehlot, A., Shukla, A.K, & Eldin, S.M., (2022). The Use of Marble Dust, Bagasse Ash, and Paddy Straw to Improve the Water Absorption and Linear Shrinkage of Unfired Soil Block for Structure Applications, *Materials*, 15(21), 7786.
- Shelke, V., Pawde, P., & Shrivastava, R. (2012). Effect of marble powder with and without silica fume on mechanical properties of concrete. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 1 (1), 40-45.
- Shukla, A., Gupta, N., & Gupta, A. (2020). Development of green concrete using waste marble dust, *Materials Today: Proceedings*, 26(2020), 2590-2594.
- Soliman, N.M. (2013). Effect of using marble powder in concrete mixes on the behavior and strength of RC slabs, *International Journal of Current Engineering and Technology*, 3 (2013), 1863–1870.
- Sutas, J., Mana, A., & Pitak, L.J.P.E. (2012). Effect of rice husk and rice husk ash to properties of bricks. *Procedia Engineering*, 32, 1061–1067.
- Sutcu, M., & Akkurt, S. (2009). The use of recycled paper processing residues in making porous brick with reduced thermal conductivity. *Ceramics International*, 35(7), 2625–2631.

- Sutcu, M., Alptekin, H., Erdogmus, E., Er, Y., & Gencil, O. (2015). Characteristics of fired clay bricks with waste marble powder addition as building materials. *Construction and Building Materials*, 82(May), 1–8.
- Sürül, O. (2015). *Yüksek Fırın Cürufu Ve Uçucu Külün Tuğla Üretiminde Katkı Olarak Kullanılmasının Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Zonguldak, 12s.
- Şahin, M., & Tanyıldızı, H. (2011). Vişne Çürüğü Mermer Tozu Katkılı Betonun Basınç Dayanımına Donma Çözülme Etkisinin Belirlenmesi, *Hazır Beton Kongresi*, İstanbul.
- Şahin, Ş. E. (2008). *Ham ve Kalsine Kolemanit Atıklarının Tuğla Yapımında Kullanım Olanaklarının Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 52s.
- Şişman, C.B., Kocaman, İ. & Gezer, E. (2006). Tekirdağ yöresinde üretilen ve tarımsal yapılarda yaygın olarak kullanılan tuğlanın fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine bir araştırma, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3 (1): 32- 40.
- Tahwia, A.M., Elgendy, G.M., & Amin, M. (2021). Durability and microstructure of eco-efficient ultra-high-performance concrete, *Construction and Building Materials*, 303, 2021, 124491.
- Tatar, E. (2014). *Mermer Tozu Katkılı Yalıtım Levhası Yapıştırma Harçlarının Performanslarının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 75s.
- Tosun, A., & Tatar, Ç. (2007). Türkiye'nin mermer ihracatını artırma olanaklarının araştırılması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9(3), 13-20.
- TS EN 772-4, (2000). Kagir birimler- deney metotları- bölüm 4: tabii taş kagir birimlerin toplam ve görünen porozitesi ile boşluksuz ve boşluklu birim hacim kütlelerinin tayini. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Türk Yapı Sektörü Raporu, 2021. Türkiye İMSAD Yapı Sektörü Raporu, Tuğla ve Kiremit, ss: 132-139.
- Vardhan, K., Goyal, S., Siddique, R., & Singh, M. (2015). Mechanical properties and microstructural analysis of cement mortar incorporating marble powder as partial replacement of cement. *Construction and Building Materials*, 96 (2015) 615–621.
- Venkatesh, K., Jeelani, S.H., Bano, S., Ganapathy, C.P., Impa, K.A., & Ramya, H.N., (2022). Investigating compressive strength of building blocks for varying content

- of marble dust and rice husk, *Materials Today: Proceedings*, 69 (2022), 1229-1232.
- Web ileti 1, <https://turkish.alibaba.com/product-detail/China-fired-red-clay-brick-tunnel-60595959679.html>. Erişim Tarihi: 23.03.2023.
- Web ileti 2, <https://www.anmaksan.com.tr/urunler/tunel-firin>. Erişim Tarihi: 27.03.2023.
- Web ileti 3. <http://sayezmakine.com/Urunlerimiz-1-25-hoffman-mobil-tugla-paketleme-makinesi>. Erişim Tarihi: 13.03.2023.
- Web ileti 4. <http://guralteknik.com.tr/?page=page&st=2&id=151>. Erişim Tarihi: 24.02.2023.
- Web ileti 5, <https://klinkertugla.com/tugla-cesitleri-nelerdir-guncel-tugla-fiyatla/> Erişim Tarihi: 18.01.2023.
- Yamanel, K. (2015). *Kayseri Yöresi Atık Mermer Tozu Katkılı Harçların Özelliklerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 32s.
- Yüksel, A.N. & Şişman, C.B. (2003). Tarımsal inşaat. Trakya Üniversitesi, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Genel Yayını (278)*, Ders Kitabı (36), Tekirdağ.
- Zal, B. (2010). *Zeolit, Tras Ve Uçucu Kül İle Tuğla Üretimi Ve Standard Tuğla İle Karşılaştırılması*. Yüksek Lisans, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 25s.
- Zhang, C., Wang, J., Song, W., & Fu, J. (2023). Effect of waste glass powder on pore structure, mechanical properties and microstructure of cemented tailings backfill, *Construction and Building Materials*, 365, 15 February 2023, 130062.
- Zhan, L. (2014). Production of bricks from waste materials. *Construction and Building Materials*, 47, 643–655.
- Zhang, S., Cao, K., Wang, C., Wang, X., Wang, J., & Sun, B. (2020). Effect of silica fume and waste marble powder on the mechanical and durability properties of cellular concrete. *Construction and Building Materials*, 241, 117980.

## ÖZGEÇMİŞ

<b>KİŞİSEL BİLGİLER</b>	
<b>Adı Soyadı:</b>	Tamara Zaid Kamil AL-SHAMMARI
<b>Uyruğu:</b>	Irak
<b>Orcid Numarası:</b>	0009-0002-3121-9438

<b>EGİTİM BİLGİLERİ</b>	
<b>Lisans</b>	
<b>Üniversite:</b>	Bağdat Üniversitesi
<b>Bölüm:</b>	İnşaat Mühendisliği
<b>Anabilim Dalı:</b>	-
<b>Mezuniyet Yılı:</b>	2017
<b>Yüksek Lisans</b>	
<b>Üniversite:</b>	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
<b>Enstitü:</b>	Fen Bilimleri Enstitüsü
<b>Anabilim Dalı:</b>	İleri Teknolojiler Anabilim Dalı
<b>Mezuniyet Yılı:</b>	2023

<b>Tezden Üretilen Makaleler ve Bildiriler</b>
Tamara, Z. & Önal, M. (2023). The Effect of Waste Marble Powder on the Engineering Properties of the Brick in Kırşehir Region. <i>Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi</i> 6.2: 167-179.