

## Atık mermer tozu katkılı kil tuğlaların fiziksel özelliklerinin araştırılması

### *Investigation of the physical properties of clay bricks with waste marble powder additive*

Lina İ. İSRAİL\*, Kemal KÖSEOĞLU

Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksekokulu, 35100, İzmir

• Geliş tarihi / Received: 20.09.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 30.01.2023

#### Öz

Atıkların yeniden kullanılması ya da geri dönüştürülmesi üzerinde titizlikle durulması gereken önemli bir konudur. Bu çalışmada mermer madenciliğinde yan ürün olarak nitelendirilen mermer tozu kil tuğlalara katılarak değerlendirilmiştir. Hazırlanan tuğlalara sinterleşme sıcaklığı 950°, 1113° ve 1185° C olan üç farklı endüstriyel pişirim rejimi uygulanmıştır. Doğrusal pişirme küçülmesi, pişirme mukavemeti, su emme ve renk gibi fiziksel testler ile tuğlaların ulusal ve uluslararası standartlara uygunluğu araştırılmıştır. En uygun katkı oranının %20 olduğu görülmüştür. Pişirme küçülmesinin % 0,06 ile 2,4 arasında değiştiği, pişirme mukavemet değerinin en düşük 6 MPa en yüksek yaklaşık 37 MPa olduğu ve su emme değerinin ise % 13 ile %20 aralığında kaldığı tespit edilmiştir. Sıcaklık artışı ile kırmızı ve sarı renk değerlerinde azalma görülmüştür. Çalışmanın doğal kil kaynakların daha az kullanımı ve atıkların değerlendirilmesi açısından büyük önem taşıdığı düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Atık mermer tozu, Fiziksel özellikler, Kil tuğlalar

#### Abstract

Reusing or recycling of wastes is an important issue that needs to be considered painstakingly. In this study, marble dust, characterized as a by-product of marble mining, was evaluated by adding it to clay bricks. Three different industrial firing regimes with sintering temperatures of 950°, 1113°, and 1185°C were applied to the clay bricks prepared. The compliance of the bricks with national and international standards was investigated by physical tests such as linear firing shrinkage percentage, firing strength, water absorption percentage, and color. It was seen that the most appropriate contribution rate was 20%. The firing shrinkage changed between 0.06% and 2.4% while firing strength was a minimum of 6 MPa and maximum of 37 MPa and finally, water absorption percentage varied between 13%-20%. A decrease in red and yellow color values was observed with the increase in temperature. The study is thought to be of great importance in terms of less usage of natural clay resources and reuse of wastes.

**Keywords:** Waste marble powder, Physical properties, Clay bricks

\* Lina İ. İSRAİL; lina.israil.01@mail.ege.edu.tr

## 1. Giriş

### 1.1. Introduction

Teknoloji ve sanayileşmenin ilerlemesi ve hızlı nüfus artışı ihtiyaçları giderek arttırmakta, doğal kaynakların zamanla azalmasına, atıkların ve yan ürün oluşumunun katlanarak artmasına neden olmaktadır. Atık ve yan ürün niteliği taşıyan maddelerin depolanması ve biriktirilmesi insan sağlığı açısından zararsız olarak nitelendirilse bile büyük bir dikkat ve bilgi birikimi ile yapılmalıdır (Segada vd., 2005). Özellikle gelişmekte olan ülkelerde artan çevre kirliliği, toprakların giderek verimsizleşmesi gibi olumsuzluklar atık yönetiminde büyük sorunlara sebebiyet vermektedir (Khan vd., 2021). Doğru bir şekilde yapılacak geridönüşüm bu tür sorunları azaltarak ülke ekonomisine büyük fayda sağlayacaktır.

Dünya mermer rezervlerinin %40'ı Türkiye'de yer almaktadır (İhracat Genel Müdürlüğü, 2021). Ülkemizde mermer madenciliği giderek önem kazanmakta fabrika ve işleme tesislerinin sayısı her geçen gün artmaktadır. Bu durum mermer endüstrisinin en büyük sorunlarından biri olan doğaya büyük yığınlar halinde bırakılan mermer atıkların hacmini de giderek arttırmaktadır. Mermer madenciliğinde boyut küçültme işlemlerinde çıkarılan bloklar ürün haline dönüştürülürken oluşan parça ve tozlar suyla karıştırılır, makinelerde kek haline getirilir ve bu şekliyle atık olarak doğaya bırakılır (Bilgin & Koç, 2013). Toplam üretimin en az % 40'ını oluşturan, çevre açısından kalıcı etkisi bilinmeyen (Ceylan & Manca, 2013) bu alkali atıklar toprağın alkaliliğini artırarak (Abdalkader vd., 2021) bitki örtüsünü olumsuz etkilemekte, hava ve su kirliliğine de sebep olmaktadır.

İnce partiküllü ve az metal oksit içerikli mermer atık tozlarının tuğlalar, yapı malzemeleri, seramikler, karolar vb. pekçok endüstriyel uygulamada değerlendirilmesi için araştırmalar yapılmaktadır (Marras vd., 2010). Tuğlaların termal iletkenliğini düşürdüğü, ve uygun katkı miktarlarında pişme mukavemeti açısından olumlu sonuçlar alındığı literatürde belirtilmiştir (Sütçü vd., 2015; Munir vd., 2018; Khan vd., 2021). Seghir vd. (2019) yaptıkları çalışmada harçtaki bir miktar çimento yerine atık mermer tozu kullanılmıştır. Tuğlanın mukavemetinde ve görünen yoğunluğunda azalma, gözenekliliğinde de artış görülmüştür. Başta kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ) ve dolomit ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ) olmak üzere mika, kuvars ve grafit gibi mineraller içeren mermer tozları seramik yapılarda eritici olarak kullanılmıştır. Pişme esnasında kalsiyum ve magnezyum oksidin silikalaşması ile oluşan ürünler bünyenin mekanik özelliklerini geliştirmiştir (Garcia-Ten vd., 2003).

1980'lerden sonra ülkemizde artan endüstrileşme ve şehirleşme bina ihtiyacını arttırdığı için tuğla üretimi ve dolayısıyla doğal ana hammadde olan killere de ihtiyacı arttırmıştır. Mermer tozunun tuğla reçetesine katılması ile atık hacminin ve kil tüketiminin azaltılması ve ekonomiye kazandırılması düşüncesiyle gerçekleşen bu çalışmanın amacı deneysel tuğla örneklerinin hazırlanması, pişme küçülmesi, pişme mukavemeti, su emme ve renk gibi fiziksel özelliklerinin incelenmesidir.

## 2. Materyal ve metod

### 2.1. Material and method

#### 2.1.1. Hammaddeler

##### 2.1.1.1. Raw materials

Bu çalışmada kullanılan hammaddeler Tablo 1'de kimyasal analizleri verilen plastik kil (Uşak kili) ve mermer tozudur (Aytaş Akın Mermer San. ve Tic. A.Ş., Burdur). Hammaddelerden alınan 10 gramlık örnekler 110°C'de etüvde (Nüve KD 400) kurutulmuştur ardından kimyasal analizleri Ege Seramik Sanayi ve Ticaret A.Ş fabrikasında (Polat Holding A.Ş, İzmir, Türkiye) Metek Spectra IQ II X-ışınları flüoresans spektrometresi ile yapılmıştır.

**Tablo 1.** Hammaddelerin kimyasal analizi

**Table 1.** Chemical analysis of raw materials

Hammadde	KK*	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Toplam
Uşak kili	6,01	63,48	20,12	4,40	0,78	0,44	1,07	0,94	2,76	100
AMT	44,01	0,01	0,88	0,02	0,01	52,77	2,03	0,27	0,00	100

KK\*: Kızdırma kaybı

## 2.2. Hammaddelerin karakterizasyonu

### 2.2. Characterization of raw materials

TS 705 (2005) standardı gereği kullanılacak olan kil ulusal standartları karşılamalıdır bu amaçla ilk önce 1000°C'de pişirilen Uşak kilinden kesitler alınarak siyah çekirdek oluşumlarına bakılmıştır. TSE EN ISO 10545-4 (2000) eğilme testi için toz kuru kil ağırlıkça %7 oranında nemlendirilmiştir. Ardından el presinde 10 cm x 5 cm x 1 cm ebatlarında tek eksen boyunca 300 barlık hidrolik pres (SACMI 470, PIL) altında sıkıştırılmıştır. 110°C'de 2 saat etüvde (Nüve KD 400) bekletilen kilin kuru mukavemeti, yer karosu pişirim rejimi olan 1185°C'de 42 dakika pişirim sonrası küçülme yüzdesi, mukavemeti, su emme yüzdesi ve pişme rengi gibi bazı fiziksel özellikleri Ege Seramik Sanayi ve Ticaret A.Ş Kimya laboratuvarında deney numuneleri hazırlanmadan önce tayin edilmiştir.

#### Pişme küçülmesi (PK) testi:

Kuru ve pişmiş örneklerin boyu ( $l_k$ ,  $l_p$ ) kumpas ile ölçülmesi sonrası PK (1) formülüne göre hesaplanmıştır.

$$\% \text{ PK} = \frac{l_k(\text{mm}) - l_p(\text{mm})}{l_k(\text{mm})} \times 100 \quad (1)$$

#### Pişme ve kuru mukavemet (PM ve KM) testi:

3 nokta eğme cihazı (Ceramic Instrument Bending Strength) kullanılarak kilin KM ve PM (2) formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{PM / KM (kg/cm}^2\text{)} = \frac{3x Fx L}{2x bxh^2} \quad (2)$$

Eşitlikte F numune üzerine uygulanan kuvvet, L, mesnetler arası mesafe, b ve h sırasıyla numune boyu ve yüksekliğidir.

#### Su emme (SE) testi:

Kil kuru olarak ( $W_1$ ) ve iki saat suda kaynatılıp kurutulduktan ( $W_2$ ) sonra ayrı ayrı tartılmıştır. SE yüzdesi (3) formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\% \text{ SE} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100 \quad (3)$$

#### Renk Testi:

CIELab renk sistemine göre trikromatik renk koordinatlarını ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) belirlemek için Erichsen Spectromaster 565-D renk cihazı kullanılmıştır. Beyazlık derecesi, 0-100 arasında değişen  $L^*$  ile belirlenir. 0 siyah, 100 beyaz rengi temsil eder. Yeşil-kırmızı arası renk değişimi  $a^*$  ile ( $-a^*$  yeşil,  $+a^*$  kırmızı) mavi-sarı arası renk değişimi  $b^*$  ile ifade edilir ( $-b^*$  mavi,  $+b^*$  sarı).

## 2.3. Deneysel tuğla örnekleri (DTÖ)' nin hazırlanması

### 2.3. Preparation of the experimental brick samples (EBS)

Standart ve ağırlıkça farklı oranlarda atık mermer tozu içeren 11 adet DTÖ Tablo 2'de verilen reçeteye göre hazırlanmıştır. AMT'nin tuğla yapımında kullanılabilirliği bir standarda göre tespit edilmemiştir. Ancak, tuğlada olası çatlamalara karşı tane iriliğinin küçük olması, erime ve sinterleşmede sorun yaşanmaması için mermer miktarının iyi ayarlanması gerekir (Marbleport, 2014). Bu nedenle katkı miktarı en çok %40 kullanılabilmiştir. Karışımlara öğütmeyi kolaylaştırması için ağırlıkça %1 sodyum silikat çözeltisinden (%10 w/w) ilave edilerek bu işleme tane iriliği -100 µm olacak şekilde (Maccihine Macine Schmalta) 16 dakika devam edilmiştir. 110 °C'ye ayarlı etüvde (Nüve KD 400) bir saat kurutulan karışım bölüm 2.2'de verilen koşullarda şekillendirilmiş ve sıkıştırılmıştır. Numunelere uygulanacak olan endüstriyel pişirim sıcaklıkları ve toplam süreleri tuğlanın pişme sıcaklığı olan 950°C (65 dk), Ege Seramik fabrikasının duvar ve yer karosu pişirim sıcaklıkları olan 1113°C (36 dk) ve 1185°C (42 dk) olarak belirlenmiştir. Tünel fırınlarda (SACMI) gerçekleşen pişirim döngüleri son kurutma, dehidrasyon, oksidasyon, sinterleşme ve pişme indirgenmesi (soğutma) basamaklarını içerir. Sinterleşme basamağı tüm pişirim sıcaklıklarında 8 dakikadır. Fırın sıcaklığı 100°C'ye düştüğünde numuneler fırından çıkarılmıştır. DTÖ, bölüm 2.2'de verilen pişme küçülmesi, pişme mukavemeti, su emme ve renk testlerine tabi tutulmuştur.

**Tablo 2.** DTÖ bileşimleri  
**Table 2.** Chemical composition of the EBS

DTÖ numarası	STD*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kil	100	99	97,5	95	92,5	90	87,5	85	80	70	60
AMT	0	1	2,5	5	7,5	10	12,5	15	20	30	40

STD\*: Standart

### 3. Bulgular ve tartışma

#### 3. Results and discussion

Kil içinde yer alan organik maddeler 250-500°C pişme sıcaklığı aralığında yanar. Özellikle fırın oksijeninin yetersiz olduğu hızlı tuğla pişiriminde kilin dış tabakalarında sinterleşme başladığı halde iç tabakalarında yanmamış organik maddeler siyah çekirdek oluşumu şeklinde kendini gösterir (Köseoğlu, 2007). Çalışmada kullanılan kil için böyle bir durum söz konusu değildir. Saf kaolinitin  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  oranı 1,3 kullanılan Uşak kilinin ise 3,16'dır. Oranın yüksek olması kilde kuvars mineralini; reçetedeki ağırlıkça %2'den fazla olan K<sub>2</sub>O yüzdesi de illit mineralini işaret etmektedir. Düşük kızdırma kaybı yüzdesi (%6,01), uçucu bileşiklerin, yanmış organik maddelerin ve karbonat ayrışmasının az olduğunu gösterirken (Santos, 1989; Segada vd., 2005) bu durum toplam toprak alkali yüzdelерinin düşük olmasından da anlaşılmaktadır. Pişme küçülmesi %7,4 olan kilin su emme yüzdesi %1,8'dir. Yüksek alümina yüzdesine (%20,2) sahip Uşak kilinin kuru ve pişme mukavemet değerleri sırasıyla 66,4 ve 493 kg/cm<sup>2</sup> (6,51 MPa ve 48,64 MPa) olup oldukça plastiktir. Mukavemet, küçülme ve su emme değerlerinin tümünün standarda (TS 705, 2005) uygun olması kilin rahatlıkla tuğla yapımı için kullanılabileceğini göstermektedir. Trikromatik renk koordinatları (L\*, a\*, b\*) 44,86, + 12,03, +16,05'dir. Yapısındaki yüksek Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği (%4,4 w/w) kilin kırmızı (+12,03) ve sarı (+16,05) rengini açıklamaktadır.

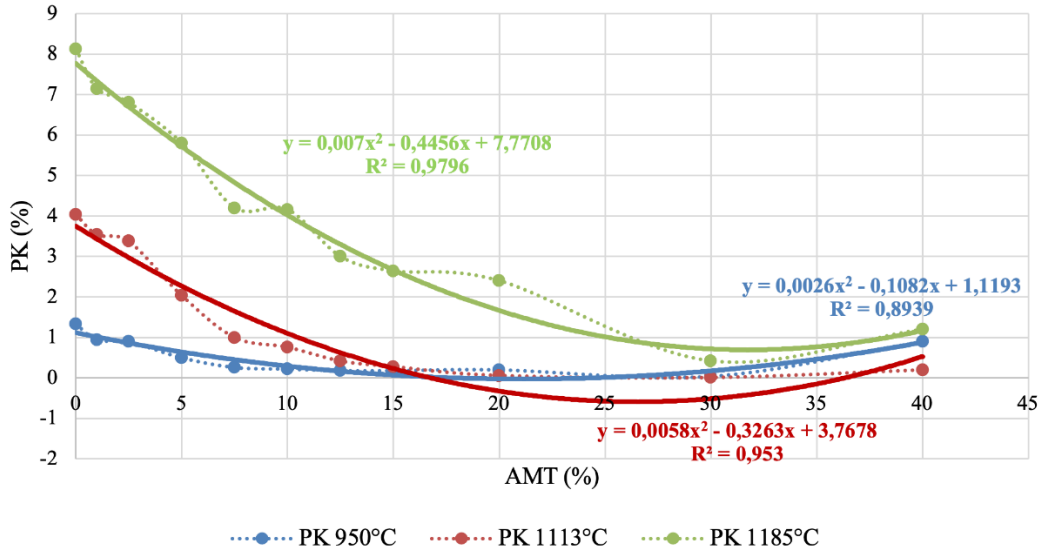
Yaklaşık ağırlıkça %53 oranında CaO ve yaklaşık %2 oranında MgO içeren atık mermer tozu büyük çoğunlukla kalker, az bir oranda da dolomit kaynaklıdır (Saboya Jr. vd., 2007; Bilgin vd., 2012; Munir vd., 2018) %44,01 olan kızdırma kaybı yüzdesi de bunu açıkça ortaya koymaktadır.

#### 3.1. DTÖ'nin fiziksel özellikleri

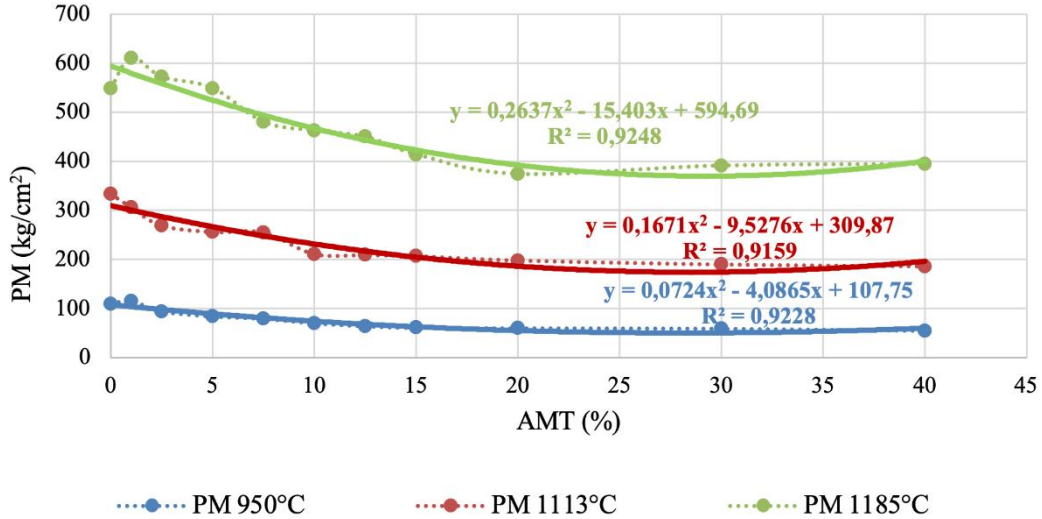
##### 3.1. Physical properties of the EBS

Şekil 1 AMT miktarı ile değişen DTÖ'nin PK değerlerini göstermektedir. Ölçümler çizilen eğilim çizgileriyle %90'dan fazla uyum göstermiştir. %30 AMT katkısına kadar PK tüm pişirim sıcaklıklarında azalmıştır (küçülme). 950°C'de azalma yaklaşık %1,3, 1113°C'de %4 ve 1185°C'de %7'dir. %40 AMT katkısında PK artmıştır (genleşme). DTÖ'de organik maddelerin yanması ve gaz çıkışlarının çok olması küçülmenin nedeni olarak düşünülmüştür (Saboya Jr. vd., 2007; Munir vd., 2018 a). Genleşmenin ise kalkerin CaO'e dönüşümü esnasında açığa çıkan CO<sub>2</sub> gaz çıkışı ve gözenek sayısının artmasından ya da çok reaktif genleşebilen CaO'in havadaki birçok madde ile etkileşime girmesinden kaynaklanabileceği tahmin edilmiştir. Benzer durumlara literatürde de rastlanmıştır (Bilgin vd., 2012). Tüm DTÖ'nin PK yüzdeleri üst limit olan %8'in altındadır (ASTM C210-95, 2019).

Tuğlanın gözenek dağılımı, sinterleşme derecesi (Dayalan & Beulah, 2014) ve tuğlaya konan katkı maddelerinin sertliği (Yüçetürk, 2010; Bilgin vd., 2012) bükülme mukavemetini belirleyen parametrelerdir. Düşük sertliğe sahip mermer katkısı ile tüm sıcaklıklarda PM düşmüştür (Şekil 2). Eğilim çizgileriyle %90 dan fazla uyumlu olan grafiklere göre 950°C'de 109 kg/cm<sup>2</sup> (10,69 MPa) olan mukavemet değeri %1 AMT katkısı ile 115 kg/cm<sup>2</sup> (11,28 MPa) yükselmiş ve kademeli olarak %20 AMT katkısına kadar 60 kg/cm<sup>2</sup> (5,88 MPa) değerine düşmüştür. Daha yüksek AMT içerikli DTÖ'nin mukavemet değerleri yaklaşık 7 MPa olan standart (TS 705, 2005) alt limitin dışında kalmıştır. %40 AMT katkılı DTÖ'nin PM, kontrol örneğine göre %50,4 azalmıştır. 1113° ve 1185°C pişirimlerinde PM sırasıyla 334 ve 549 kg/cm<sup>2</sup> (32,75 ve 549 MPa) dir. PM %40 AMT katkısı ile 1113°C'de %44,3 azalarak 186 kg/cm<sup>2</sup> (18,24 MPa), 1185°C'de %28,2 azalarak 394 kg/cm<sup>2</sup> (38,64 MPa) değerine düşmüştür.



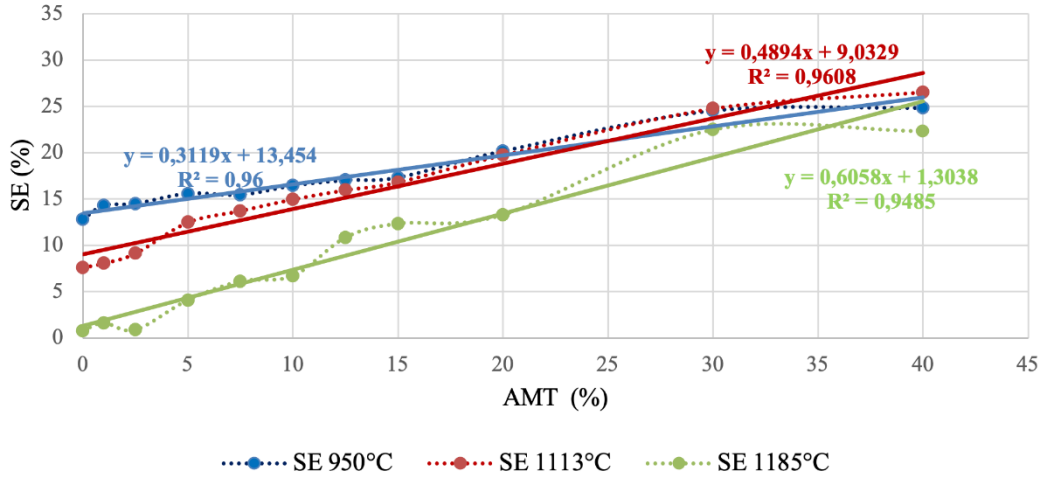
**Şekil 1.** Atık mermer tozu (AMT) miktarı ile değişen DTÖ'nin PK değerleri  
**Figure 1.** The variation of the fired shrinkage values of the EBS with waste marble powder (WMP)



**Şekil 2.** Atık mermer tozu (AMT) miktarı ile değişen DTÖ'nin PM değerleri  
**Figure 2.** The variation of the fired strength values of the EBS with waste marble powder (WMP)

Yapılan araştırmalar tuğlada SE yüzdesinin üst limiti olarak %20-%30 arası olduğunu (Saboya Jr. vd., 2007, Kazmi vd., 2016, Munir vd., 2018 b) ifade etse de ılıman iklim koşulları için bu değer ASTM C62 (2013) standardı gereği %22'dir. DTÖ'nin SE yüzdesi Şekil 3'de verilmiştir. Doğrusal eğilim çizgileri ile %95 uyumlu grafiğe göre katkısız DTÖ'nin SE yüzdesi sırasıyla 950°, 1113°, 1185°C pişirim sıcaklıklarında %12,76, 7,59, 0,77'dir. %20 AMT içeren örneklerin tüm sıcaklıklarda SE değerleri üst limitin altında kalmıştır. Daha düşük mermer içeriklerinde SE değerleri 950°C ve 1113°C pişirimlerinde standart dışı olmuştur.

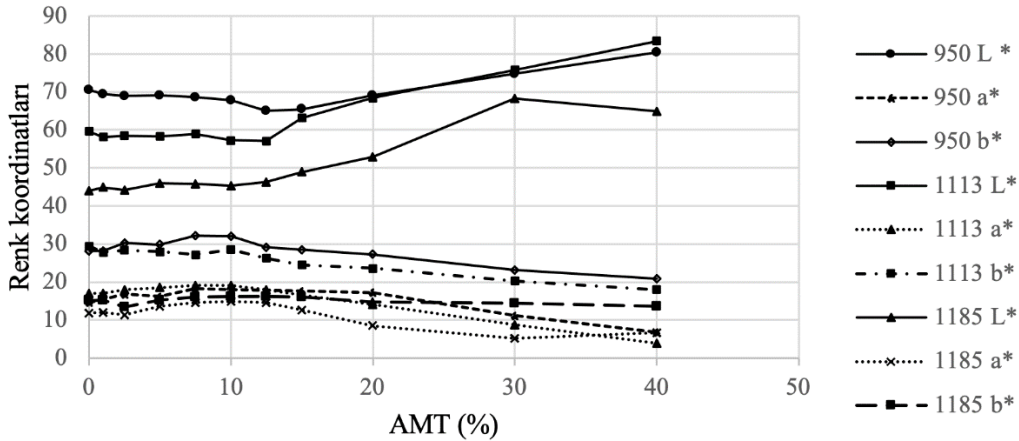
Estetik özelliklerin en az mekanik özellikler kadar önemli olduğu pişmiş tuğlalarda renk bütünlüğü aranır (Beal vd., 2019). Açık renkli tuğlaların ticari değeri düşüktür. Tuğlaya kırmızı, sarı ve kahverengi rengi veren kil yapısında yer alan demirin 900°-1250°C arası fırın sıcaklığında oksitlenme derecesidir (Toydemir, 1978; Tekinel vd., 1989; Karaman, 2006). Bu sebeple Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının en fazla %5-6 arası olması istenir. Daha yüksek demir içeriği tuğlalarda koyu mavi hatta siyah renge sebep olabilir (Maaze, 2016).



**Şekil 3.** Atık mermer tozu (AMT) miktarı ile değişen DTÖ'nin SE değerleri

**Figure 3.** The variation of the water absorption values of the EBS with waste marble powder (WMP)

Tuğla rengini etkileyen bir diğer unsur kalkerdir. Özbek ve arkadaşlarının 2001'de (Karaman, 2006) yaptığı bir çalışmaya göre %7 kalker içeriği ile 1050°-1100°C'de pişmiş toprak ürünün soluk sarı, sarı ve kahverengi tonlarında olduğu ve özellikle kırmızı renk tonun sıcaklık artışı ile açıldığı görülmüştür. Şekil 4 artan AMT miktarına karşı değişen renk koordinatlarını göstermektedir. L\* değerleri üç pişirim sıcaklığında %15 AMT katkısından sonra yükselmiştir. CaO miktarı artışı ile Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarı azalmış renk hafif açılmıştır. Aynı durum a\* (kırmızı) ve b\* (sarı) değerlerinin düşmesiyle de anlaşılmıştır.



**Şekil 4.** Atık mermer tozu (AMT) miktarı ile değişen DTÖ'nin renk koordinatları

**Figure 4.** The variation of the colour coordinates of the EBS with waste marble powder (WMP)

Yukarıda anlatılan bulguların ışığında standartlara uygunluğu açısından üç pişirim sıcaklığı için en uygun AMT miktarı %20 olarak belirlenmiştir. Sırasıyla Tablo 3 %20 AMT'nin fiziksel özelliklerini Tablo 4 ise renk özelliklerini göstermektedir.

**Tablo 3.** %20 AMT katkılı tuğlanın fiziksel özellikleri

**Tablo 3.** The physical properties of the brick with 20 % WMP additive

Mekanik özellikler/Pişirim sıcaklığı (°C)	TS 705	950	1113	1185
PK (%)	maks. %8	0,2	0,06	2,4
PM (MPa)	min. 7 Mpa	5,88	9,61	36,68
SE (%)	maks. %22	20,15	19,72	13,28

maks: maksimum, min. minimum

**Tablo 4.** %20 AMT katkılı tuğlanın renk koordinatları  
**Tablo 4.** *The colour coordinates of the brick with 20 % WMP additive*

Piştirim sıcaklığı (°C)	Renk koordinatı	STD	%20 AMT
950	L*	70,57	69,12
	a*	14,63	17,28
	b*	28,15	27,29
1113	L*	59,61	68,45
	a*	17,00	14,05
	b*	29,42	23,58
1185	L*	43,96	52,93
	a*	11,85	8,48
	b*	15,14	14,72

STD: Standart

#### 4. Sonuçlar

##### 4. Conclusions

- AMT katkılı tuğlaların mekanik ve renk özelliklerinin incelendiği bu çalışmada kullanılan Uşak kilinin tuğla üretimi için uygun olduğu görülmüştür. Kızdırma kaybı düşüktür (%6,01). PM, SE, kuru ve pişme mukavemetleri sırasıyla %7,4, %1,8, 6,51 MPa ve 48,64 MPa olup oldukça plastiktir. %4,4 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriğinden dolayı rengi koyu sarı-kırmızı arasındadır (a\*= 12,03, b\*= 16,05).
- AMT tuğla içine en fazla %40 oranında katılabilmiştir. Daha yüksek AMT katkılı tuğlalar kırılmıştır.
- PK'nin % 0,2-2,4 arasında PM'nin en düşük 6 MPa ve SE'nin en fazla %20 olduğu belirlenen % 20 AMT katkılı tuğlalar TS 705 (2005) standardına en uygun sonuçları vermiştir.
- AMT tuğlaların sarı ve kırmızı renkleri azalan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarına bağlı olarak hafif açılmıştır.

#### Teşekkür / Katkı belirtme (Gerekli durumlarda veya tercihen kullanılır)

##### Acknowledgement

Hammaddelerin temini ve laboratuvar cihazlarının kullanımına imkân veren Ege Seramik fabrikası yönetimine ve Kimya Laboratuvarı personeline yazarlar teşekkürü bir borç bilirlir.

#### Yazar katkısı

##### Author contribution

Bu çalışma için hipotezin geliştirilmesi, yöntemin planlanması, deneylerin yapıldığı laboratuvar için izin alınması ve deneylerin yapılmasından sorumlu olan yazar Kemal Köseoğlu; literatür taraması, makale yazımı ve makaleyi eleştirel incelenmeye hazır hale getiren yazar Lina İ. İsrail'dir.

#### Etik beyanı

##### Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan ederler.

#### Çıkar çatışması beyanı

##### Conflicts of interest

Yazarlar aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

#### Kaynaklar

##### References

Abdelkader, H. A. M., Hussein, M. M. A., & Ye, H. (2021). Influence of waste marble dust on the improvement of expansive clay soils. *Advances in Civil Engineering*, 2021, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2021/3192122>

- ASTM International (2013). *Standard Specification for Building Brick (Solid Masonry Units Made From Clay or Shale ASTM C62*. West Conshohocken: An American National Standard.
- ASTM International (2019). *Standard Test Method for Standard Test Method for Reheat Change of Insulating Firebrick ASTM C210-95*. West Conshohocken: An American National Standard.
- Beal, B., Selby, A., Atwater, C., James, C., Viens, C., & Almquist, C. (2019). A comparison of thermal and mechanical properties of clay bricks prepared with three different pore-forming additives: vermiculite, wood ash, and sawdust. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 38(6), 13150-13155. <https://doi.org/10.1002/ep.13150>
- Bilgin, N., Yeprem, H., Arslan, S., Bilgin, A., Günay, E., & Marşoğlu, M. (2012). Use of waste marble powder in brick industry. *Construction and Building Materials*, 29, 449-457. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.011>
- Bilgin, Ö., & Koç, E. (2013). Mermer madenciliğinde çevresel etkiler. *Madencilik Türkiye Dergisi*, 28, 68-79.
- Ceylan, H., & Manca, S. (2013). Mermer parça atıklarının beton agregası olarak değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi*, 3(1), 21-25.
- Dayalan, J., & Beulah, M. (2014). Glazed sludge tile. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 4(3), 201-204.
- Garcia-Ten, J., Mallol, C., Bou, E., Silva, G., Fernandez, J., Molina, A., & Romera, J. (2003). Recycling marble working wastes in manufacturing ceramic products. *Ceramic Forum International*, 80(9), E884-E888
- İhracat Genel Müdürlüğü (2021). *Doğal taşlar sektör raporu*. Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. <https://ticaret.gov.tr/data/5b87000813b8761450e18d7b/Do%C4%9Fal%20Ta%C5%9Flar%20Sekt%C3%B6r%20Raporu%202021.pdf>
- Karaman, S. (2006). Yapı tuğlalarında renk oluşumu. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9(1), 125-129.
- Kazmi, S. M., 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, 29-41. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.084>
- Khan, Z., Gul, A., Shah S. A. A., Samiullah, Q., Wahab, N., Badshah, E., Naqash, T., & Shahzada, K. (2021). Utilization marble wastes in claybricks: a step towards lightweight energy efficient construction materials. *Civil Engineering Journal*, 7(09), 1488-1500. <http://dx.doi.org/10.28991/cej-2021-03091738>
- Köseoğlu, K. (2007). Talaş ve strafor katılarak tuğla üretimi. *Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, 2(8), 45-54.
- Maaze, R., Kumar, V., & Mishra, S. K. (2016). Influence of marble and aluminium waste powder on the performance of bricks. *International Journal of Engineering Development and Research*, 4(2), 900-912.
- Marbleport (2014). Tuğla kiremit hammaddesi. Türkiye'nin yapı taşları maden-mermer portalı. <http://www.Marbleport.com/doğal-kaynaklar/62/tuğla-kiremit-hammaddesi>
- Marras, G., Careddu, N., Intemicola, C. & Siotto, G. (2010). *Recovery and reuse of marble powder by-product*. Global Stone Congress 2010 (ss.1-5), Spain.
- Munir, M. J., Abbas, S., Nehdi, M. L., Kazmi, S. M. S., & Khitab, A. (2018 b). Development of eco-friendly fired clay bricks incorporating recycled marble powder. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(5), 1-11. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0002259](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002259)
- Munir, M. J., Kazmi, S. M. S., Gencel, O., Ahmad, M. R., & Chen, B. (2021). Synergistic effect of rice husk, glass and marble sludges on the engineering characteristics of eco-friendly bricks. *Journal of Building Engineering*, 42, 102484. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102484>
- Munir, M.J., Kazmi, S. M. S., Wu, Y., Hanif, A., & Khan, M. U. A. (2018 a). Thermally efficient fired clay bricks incorporating waste marble sludge: an industrial-scale study. *Journal of Cleaner Production*, 174, 1122-1135. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.060>
- Özbek, K., Çakı, M. & Ay, N. (2001). Pişmiş toprak bünyelerde CaO ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in etkileri. 1. *Uluslararası Pişmiş Toprak Sempozyumu* (pp.145-151), Eskişehir.
- Saboya, F., Xavier, G., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.05.029>
- Santos, P. (1980). *Clay Science and Technology* (2nd ed.). Edgar Blucher.
- Segadães, A., Carvalho, M., & Acchar, W. (2005). Using marble and granite rejects to enhance the processing of clay products. *Applied Clay Science*, 30(1), 42-52. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2005.03.004>
- Sütçü, M., Alptekin, H., Erdoğan, E., Er, Y., & Gencel, O. (2015). Characteristics of fired clay bricks with waste marble powder addition as building materials. *Construction and Building Materials*, 82, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.055>
- Tekin, O., Çevik, B., & Tekinsoy, M. A. (1989). *İnşaat Malzeme Bilgisi*. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi.
- Toydemir, N. (1978). *Pişmiş toprak yapı malzemesinin rasyonel üretim olanaklarının araştırılması* [Doçentlik Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi].
- Türk Standardı. (2000). *Seramik karolar- Eğilme Dayanımı ve Kırılma Dayanımı Tayini* (TSE EN ISO 10545-4:2000). Türk Standardları Enstitüsü.
- Türk standardı. (2005). *Fabrika Tuğlaları-Duvarlar için Dolu ve Düşey Delikli* (TS 705). Türk Standardları Enstitüsü.
- Yüçetürk, G. (2010). Yapay mermerde kullanılan kuvars ve kalsit minerallerinin fizikomekanik özellikleri. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 2(3), 72-80.