

Refrakter Yalıtım Malzemesi Üretimine Deneysel Olarak Araştırılması

Bekir GÜNEY^{1*}

ÖZET: Silis dumanı yüksek sıcaklık ürünü seramik bir malzemedir. Endüstriyel bir atık olan silis dumanına bu özelliği refrakter yapısı kazandırmaktadır. Endüstriyel atıklar tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de küçümsemeyecek miktarlarda çevresel problemlere sebep olmaktadır. Bu atıkların değerlendirilmesi çevre problemlerinin çözümüne ve ekonomik girdilere katkı sağlamaktadır. Bu çalışmada, endüstriyel refrakter atık bir malzeme olan silis dumanı termal yalıtım malzemesi üretiminde kullanılmıştır. Üretilen yalıtım tuğlasında, silis dumanı, sönmüş kireç ve su kullanılmıştır. Tuğla macunu, silis dumanı atıkları, su ve kireç farklı ağırlık oranlarında karıştırılmak suretiyle kullanılmıştır. Üretilen ısı yalıtım malzemesinin özelliklerini değerlendirmek için, elde edilen tuğlanın fiziksel, mekanik ve mikro yapı özellikleri test edilmiştir. Bağlayıcılık oranına göre 1.2 oranında silis dumanı katılan tuğla düşük yoğunluk ve yüksek mekanik mukavemet bakımından iyi özellikler göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel atık, puzolan, silis dumanı, yalıtım tuğlası

Experimental Investigation of Refractory Insulation Material Production

ABSTRACT: The silica fume which is the high temperature product is a ceramic material. A refractory structure gives that feature to the silica fume which is an industrial waste. Industrial wastes cause environmental problems in quantities that cannot be underestimated in our country as it is in the whole world. The utilization of these wastes contributes to the solution of environmental problems and to economic inputs. In this study, the silica fume which is an industrial refractory waste was used in thermal insulation material production. Silica fume, slaked lime and water were used in the insulation brick produced. The brick paste was prepared by mixing silica fume wastes, water and lime at different weight ratios. The physical, mechanical and microstructural properties of the produced brick were tested to evaluate the properties of the manufactured insulation material. According to the binder ratio, the brick which silica fume added in 1.2 ratio showed good properties in terms of low density and high mechanical strength.

Keywords: Industrial waste, pozzolan, silica fume, insulation brick.

¹Bekir GÜNEY (Orcid ID: 0000-0001-9764-9313), Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Karaman, Türkiye

*Sorumlu yazar/Corresponding Author: Bekir GÜNEY, e-mail: guneyb03@hotmail.com

GİRİŞ

Günümüzde binalar büyük enerji tüketen yapılardır. Farklı iklim şartlarında binaların ısıtılması ya da soğutulmasında büyük enerji sarf edilir. Binalarda sonradan iklimlendirme yapılarak istenilen konforun sağlanması yüksek maliyetler içermektedir. Bu maliyetlerin azaltılması binaların yapım aşamasında uygun şekilde tasarlanarak kullanılan malzemelerin yalıtım özelliğinin yüksek olması ile sağlanabilir (Al-Homoud, 2005).

Yalıtım malzemeleri, enerji tasarruflu binaların tasarlanması ve inşasında temel elemanlardır. Bu malzemelerin ısı ve ses yalıtım özelliği çevre ve kamu sağlığı açısından önemlidir. Son yıllarda yalıtım malzemelerinin özellikleri iyileştirilmiş olmasına rağmen nem ve yangın tehlikesi gibi problemlere çözüm aranmaktadır. Perlit, cam, pamuk, taş yünü, koyun yünü, mineral yün, selüloz, poliüretan, polistiren köpük ve ahşap gibi malzemeler bu arayışların sonucu olarak ısı, ses ve nem yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır (Papadopoulos, 2005; Júlio ve ark., 2016; Al Zaidi ve ark., 2019). Çoğu Avrupa ülkesinde binalarda ısı yalıtımı zorunludur. Bu yalıtım sadece termal özellikler açısından değil aynı zamanda binanın iç konforu ve çevresel etki açısından da ele alınmaktadır (Anonymous, 2003).

Avrupa standartlarına (Anonymous, 1986; 2000a, 2000b; 2001a; 2001b; 2003) göre ısı yalıtım malzemelerinin özellikleri; malzemenin yoğunluğu, mekanik mukavemeti, ısı yalıtım yeteneği, ses emilimi, neme ve yangına karşı direnci, binada kullanılabilirliği vb. gibi fiziksel özelliklerine göre değerlendirilir.

Yalıtım malzemesinin kullanım için yeniden geri dönüştürülmesi sırasında ekonomik, çevresel ve biyolojik etkileri uluslararası kabul edilebilir standart şartlarını taşıması gerekmektedir (Anonymous, 2006). Ayrıca halk sağlığı açısından gaz emisyonu, yangın emniyeti ve toksisite konsantrasyon değerleri kabul edilen

sınırlar içerisinde olmalıdır (Sedlbauer ve Koenig Sind, 1998).

Bu özellikleri en iyi refrakter malzemeler sağlayabilir. Yüksek sıcaklıkta fiziksel ve kimyasal etkiler altında ergimeden özelliklerini koruyarak dayanabilen malzemeler refrakter malzeme olarak tanımlanmaktadır. Refrakterler 2500 °C ve daha yüksek sıcaklıklara dayanabilen seramik malzemelerdir (Mukhopadhyay, 2000).

Refrakter malzemeler sınıfından olan silis dumanı (silika füme), silisyum veya demir silisyum alaşımlarının üretimi esnasında, ana bileşeni bir mikrometreden küçük, küresel, amorf, camsı silis (SiO₂) partiküllerinden oluşan, yüksek düzeyde puzolanik özelliğe sahip bir yan üründür (Koca, 1996; Liu ve ark., 2009). Elektrik ark fırınlarında yaklaşık 2000 °C sıcaklıkta, silisyum ve ferrosilisyum üretimi sırasında, yüksek saflıktaki kuvarsitin kömür ile indirgenmesiyle elde edilir (Anonymous, 1987). Çevre koruması amacı ile 1950'li yıllarda silis dumanının değerlendirilmesi konusundaki ilk çalışma Norveç'te yapılmıştır. Çok ince taneli ve puzolanik özelliğinin yüksek olmasından dolayı 1969 yılında beton endüstrisinde kullanılmaya başlanmıştır (Holland, 2005).

Beton bileşenlerinde aranan en önemli özellik yüksek bağlanma mukavemetini sağlamaktır. Günümüzde, nano yapılı malzeme teknolojisi şaşırtıcı bir hızda gelişmektedir. Araştırmacılar pek çok malzeme çeşidi ile yoğun olarak çalışmalar yapmaktadır.

Silis dumanı, kireç ve su belirli oranlarda karıştırıldığında hidrasyon reaksiyonu meydana gelir. Silika dumanı çok geniş yüzey alanı ve amorf karakteri sebebiyle yüksek puzolanik aktivite gösterir (Abo-El-Enein ve ark., 1996). Silis dumanı ve suyun, CaO/SiO₂ oranına bağlı olarak meydana getirdiği moleküler C-S-H reaksiyonu farklılık gösterebilir (Cohen ve Bentur, 1988).

Temel çimento hidrasyonu, alit (C₃S) ve belitin (C₂S) çözünmesi ile formasyonunu, çökeltme, kalsiyum silikat hidratları (C-S-H) ve

kalsiyum hidroksit (CH) çökelme formasyonundan oluşur. Kalsiyum hidroksit bilinen bir kristalin fazı iken (Petch, 1961), C-S-H jeli doğal nano yapıya sahiptir (Jennings, 2008). C-S-H çökmesiyle dolgu malzemesi olarak puzolanik etki göstermektedir (Muller ve ark., 2015). Silis dumanı nano tane yapısında kullanımıyla beton içerisindeki boşluklar azaltılmakta ve betonun stabilitesi gelişmektedir. Silis dumanı ile CH reaksiyonu sonucu betonun dayanımını ve durabilitesini artırmaktadır (Hijorth, 1983).

Silika, bol miktarda puzolanik doğaya sahiptir. Hidrasyon süresince serbest kireçle reaksiyona girme kapasitesi yüksektir. Betona dayanıklılık, sızdırmazlık ve sağlamlık sağlayan C-S-H jelleri oluşturur (Rodrigues., 2016; Arun, 2016). Silis dumanı, serbest kireç ve su oranları en rantabl seçilerek termal ve mekanik özellikler daha da iyileştirilebilir (Aka ve ark., 2019).

Termal yalıtım malzemelerinin farklı avantajları mevcuttur. Bunlar arasında ısı iletkenliği, perforasyon açığı, şantiye adaptasyonu, işlenebilirlik, mekanik dayanım, yangından korunma, yangın sırasındaki duman emisyonu, sağlamlık, iklim farklılıklarına dayanıklılığı, donma/çözülme döngülerine karşı direnç, su direnci, maliyetler, biyo-uyumluluk, toksisite ve çevresel etkiler sayılabilir.

Son zamanlarda dünya çapındaki araştırmacılar endüstriyel atıkların yalıtım malzemelerindeki kullanılabilirliğini araştırmaktadır. Farklı kombinasyon ve miktardaki malzemelerin en iyi performanslarının belirlenmesi gerekmektedir

(Samiha ve ark., 2019). Dünyada ekonomik kayıpların büyük bir kısmı gereksiz enerji sarfiyatından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle enerji kayıplarını düşürerek çevreye ve insan sağlığına duyarlı malzemeler üretmek zorunludur. Malzemelerden yüksek termal koruma, konforlu yalıtım ve düşük işletme maliyeti beklenmektedir. Bildiğimiz kadarıyla önceki çalışmalar beton ve özelliklerini geliştirme üzerine olmuştur. Bununla birlikte, silis dumanı, serbest kireç ve suyun birlikte kullanımı ile ilgili sınırlı bilgi bulunmaktadır. Çalışmada, bu gereksinimleri karşılayabilecek farklı miktarlardaki yüksek sıcaklığa dayanabilen silis dumanı, su ve serbest kireç karışımından üretilen numunelerin performanslarının tayinine çalışılmıştır. Üretilen bu tuğlanın mekanik, fiziksel ve mikro yapı özellikleri araştırılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Numunelerin Hazırlanması ve Deneilerin Yapılışı

Bu çalışmada, Antalya Etibank Elektrometalürji İşletmesinden temin edilen silis dumanı ve piyasadan temin edilen %100 saf sönmüş toz kireç $\text{Ca}(\text{OH})_2$ karışımından yalıtım malzemesinin üretilmesi amaçlanmıştır. Üretim için gerekli olan malzeme karışım oranları, üretim basamakları ve yapılacak testler aşağıda açıklanmıştır. Bağlayıcı matrisi oluşturacak malzemelerin karışım oranları aşağıda verilen formüllere göre belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan silis dumanının kimyasal analizi aşağıda verilmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Silis Dumanının Kimyasal Analizi

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	S+A+F	CaO	MgO	Kızdırma Kaybı
81.4	0.92	0.32	82.64	2.86	8.05	3.01

Kimyasal analiz sonuçlarına dayanılarak $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{SiO}_2 = 1.2, 1.5$ ve 1.9 bağlayıcılık oranları için TSE EN 1097-6'ya göre numunenin

üretiminde kullanılacak malzeme miktarları hesaplanmıştır (Şimşek, 2007).

Çizelge 1'deki verilere göre silis dumanı içerisinde %81,4 SiO₂ ve %2,86 CaO

bulunmaktadır. Numune üretiminde kullanılacak malzeme miktarlarının hesaplanması şu metotla yapılmıştır; Örneğin; 1.5 bağlayıcılık oranına göre hesaplandığında,

Kireç \rightarrow % 100 $\text{Ca(OH)}_2 = X$,

Silis Dumanı = Y olsun. Kullanılan malzemelerin yüzde miktarlarını 1 no'lu formül yardımıyla hesaplayabiliriz.

$X+Y = 1 \Leftrightarrow X = 1 - Y$ olur. Yüzde olarak hesaplanırsa, $X = 100 - Y$ (1)

Kireç ve silis dumanı miktarlarını 2 no'lu formül yardımıyla hesaplayabiliriz.

$$\text{Ca(OH)}_2 : \text{SiO}_2 = \frac{\Sigma \text{CaO}}{\Sigma \text{SiO}_2} = 1.5 \quad (2)$$

Bağlayıcılık oranına göre yüzde olarak kireç ve silis dumanı miktarlarını 3, 4, 5 ve 6 no'lu formüller yardımıyla aşağıdaki şekilde hesaplayabiliriz.

$$\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow 1.X + 0.0286Y \quad (3)$$

$$\text{SiO}_2 \rightarrow 0.814Y \quad (4)$$

$$\frac{\text{Ca(OH)}_2}{\text{SiO}_2} = \frac{[(1X)+(0.286Y)]}{0.814Y} = 1.5 \quad (5)$$

$$X + 0.286Y = 1.221Y \Leftrightarrow X = 1.221Y - 0.286Y \Leftrightarrow X = 0.995Y \quad (6)$$

Elde edilen bu değerleri 1 no'lu formülde yerine koyarsak silis dumanı miktarını elde ederiz. Yani $X+Y = 100$ denkleminde 6 no'lu denklem ile elde edilen kireç miktarını yerine koyarsak $100 - Y = 0.995Y \Leftrightarrow 100 = 1.995Y$ bulunur.

Buradan yüzde olarak;

Y'nin değeri %51,68 \Leftrightarrow X'in değeri %48,32 bulunur. Numuneler için 1250 g malzeme hazırlanmıştır. Bu hesaplamalara göre; 645.99 g silis dumanı ve 604.01 g kireç kullanılmıştır. Numuneler 0.01 g hassasiyetli elektronik terazide tartılarak karıştırıldı. Numune hammaddesi tam homojen oluncaya kadar mikserde karıştırıldı. Daha sonra yaklaşık malzeme miktarının %90'ına karşılık gelen 1125 g musluk suyu ile karışım kıvamlı şekilde karıldı. Bağlayıcı oranlarına göre hesaplanan malzeme ve kullanılan su miktarları verilmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Numune üretiminde kullanılan malzeme ve su miktarları

Bağlayıcılık Oranı	Silis Dumanı Miktarı (%)	Kireç Miktarı (%)	Silis Dumanı Miktarı (g)	Kireç Miktarı (g)	Kullanılan Su Miktarı (g)
1.2	59.14	40.86	739.30	510.70	1025
1.5	51.68	48.22	645.99	604.01	1125
1.9	44.24	55.76	552.95	697.05	1030

Elde edilen sıvı malzeme, 12 adet 40x40x160 mm ölçülerindeki kalıba, içerisinde boşluk kalmayacak şekilde dökülerek sıkıştırıldı. Malzeme kalıpta normal hava şartlarında 48 saat bekletildi. Silis dumanının çözünme oranını arttırarak, puzolanik reaksiyonları güçlendirmek ve daha fazla C-S-H üretmek amacıyla numuneler otoklav işlemine tabi tutuldu (Zhao ve ark., 2018). Bu işlem otoklavda 1.5 bar (1.52 kgf cm^{-2} veya 0.15 MPa) basınçta 8 saat yoğun buhar ortamında kür edilip devamında 105 °C

sıcaklıkta etüv içerisinde kurutularak yapıldı. Ardından tekrar musluk suyu bulunan havuzda doymun hale gelinceye kadar 48 saat bekletildi.

Numuneler 0.01 g hassasiyetli terazi ile tartılarak ağırlıkları tespit edilmiştir. Numunelerin basınç mukavemeti TSE EN 12390-3'e göre basınç test cihazında (Anonim, 2010a), eğilme mukavemeti TSE EN 12390-5'e göre çekme test cihazında (Anonim, 2010b), ses geçirgenliği TS EN 12504-4'e göre ultrases geçiş test cihazında (Anonim, 2012), Afyon Kocatepe

Üniversitesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarında yapılmıştır. Mikro yapı çalışmaları Afyon Kocatepe Üniversitesi SEM Laboratuvarında yapılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Numunelerin fiziksel özelliklerini incelemek için; etüv kurusu ağırlık, suda asılı ağırlık, doymun ağırlık (sudan çıktıktan sonra

yüzeyleri nemli bezle silindikten sonraki ağırlık) testleri yapılarak elde edilen değerler aşağıda verilmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3'te verilen verilere dayanarak aşağıdaki verilen formül 3 yardımı ile su emme, formül 4 yardımı ile porozite, formül 5 yardımı ile bulk yoğunluk, formül 6 yardımı ile görünür yoğunluk miktarları hesaplandı. Hesaplamalarda kullanılan formüller aşağıda verilmiştir;

Çizelge 3. Numunelerin Ağırlıkları

Bağlayıcılık Oranı	Etüv Kurusu Ağırlığı (g)	4 Adet Etüv Kurusu Ağırlığı (g)	Suda Asılı Ağırlığı (g)	4 Adet Suda Asılı Ağırlığı (g)	Doymun Ağırlığı (g)	4 Adet Doymun Ağırlığı (g)
1.2	214.3	848.3	116.7	462.6	371	1468
	211.1		116.0		365	
	213.2		114.4		360	
	209.7		115.5		372	
1.5	216.1	863.3	114.4	460.5	359	1451
	216.0		115.2		362	
	214.1		116.3		367	
	217.1		114.6		363	
1.9	220.0	897.2	121.5	484.4	371	1468
	222.4		123.2		365	
	228.5		118.6		360	
	226.3		123.2		372	

Görünür porozite için;

$$\% P = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_3 - W_2)} \times 100 \quad (7)$$

Bulk yoğunluk için;

$$\text{Bulk } Y = \frac{W_1}{(W_3 - W_2)} \quad (8)$$

Görünür yoğunluk için;

$$\text{Görünür } Y = \frac{W_1}{(W_1 - W_2)} \quad (9)$$

Su Emme Miktarı;

$$\% \text{ Su Emme} = \frac{(W_3 - W_1)}{W_1} \times 100 \quad (10)$$

Burada; W_1 : Etüv kurusu ağırlık (g), W_2 : Su içindeki ağırlık (g), W_3 : Doymun ağırlık (sudan çıkan numunenin yüzeyi nemli bezle silinip havada tartılarak, g). Yukarıda verilen

formüller ışığında örnekleme olarak 1.5 bağlayıcılık oranındaki dört numunenin fiziksel özellikleri hesaplanmıştır.

Görünür porozite için değerler 7 no'lu formülde yerine konarak hesaplanmıştır;

$$\% P = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_3 - W_2)} \times 100 = \frac{(460.5 - 863.3)}{(1451 - 460.5)} \times 100 = -40.67 \quad (7)$$

Buradan porozite yüzdesi $100 - 40.67 = 59.33$

Bulk yoğunluk için değerler 8 no'lu formülde yerine konarak hesaplanmıştır;

$$\text{Bulk } Y = \frac{W_1}{(W_3 - W_2)} = \frac{863.3}{(1451 - 460.5)} = 0.872 \quad (8)$$

Görünür yoğunluk için değerler 9 no'lu formülde yerine konarak hesaplanmıştır;

$$\text{Görünür } Y = \frac{W_1}{(W_1 - W_2)} = \frac{863.3}{(863.3 - 460.5)} = 2.143 \quad (9)$$

Su emme miktarı için değerler 10 no'lu formülde yerine konarak hesaplanmıştır;

$$\% \text{ Su Emme} = \frac{(W_3 - W_1)}{W_1} \times 100 = \frac{(1451 - 863.3)}{863.3} \times 100 = 68.08 \quad (10)$$

değerleri hesaplanmıştır.

Formüller yardımıyla hesaplanan 1.5 ve diğer 1.2, 1.9 bağlayıcılık oranlarındaki numunelerin fiziksel özellikleri aşağıda verilmiştir (Çizelge 4). Numunelerin ortalama

ses geçirim hızları ultrases cihazı ile test edilerek ölçülen değerler aşağıda verilmiştir (Çizelge 4). Malzemeler tekrar 105 °C sıcaklıkta etüvde kurutulmaya bırakıldı.

Çizelge 4. Numunelerin Fiziksel Özellikleri

Bağlayıcılık Oranı	Su Emme Miktarı (%)	Porozite Miktarı (%)	Bulk Yoğunluk (g cm ⁻³)	Görünür Yoğunluk (g cm ⁻³)	Ses Geçirgenliği (km s ⁻¹)
1.2	73.65	61.04	0.844	2.199	2.1080
1.5	68.08	59.33	0.872	2.143	2.0671
1.9	63.51	57.99	0.913	2.173	2.1768

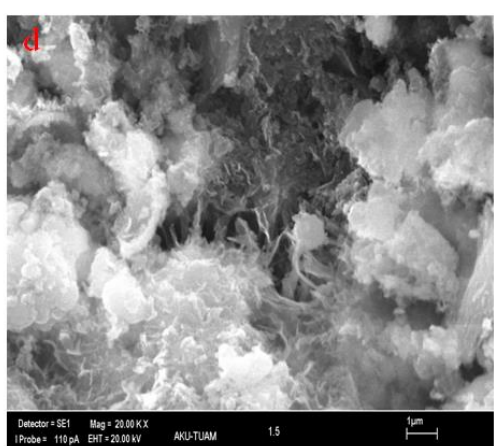
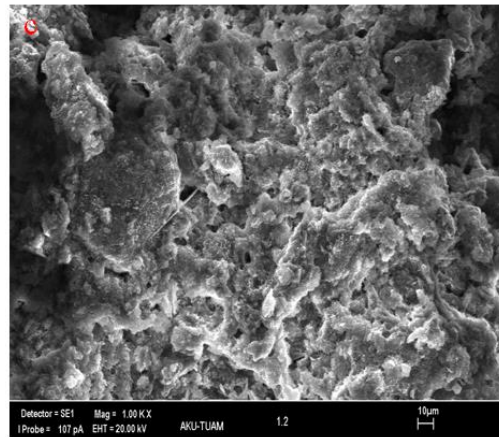
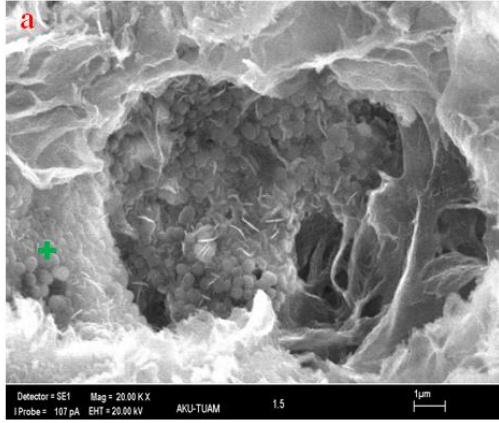
Numunelerin eğilme mukavemeti TSE EN 12390-5'e göre üç noktalı eğilme deneyi, basınç dayanımı ise basınç deneyi ile belirlenmiştir. Ölçülen değerler ve basınç dayanımına bağlı olarak hesaplanan eğilmede çekme dayanımı sonuçları aşağıda verilmiştir (Çizelge 5).

Silis dumanı miktarının artırılması su emme oranı ve poroziteyi artmıştır. Çizelge 3'te 1.5 bağlayıcılık oranına sahip numunelerin suda asılı ağırlıklarının düşük elde edilmesi

numunelerin bünyesinde aktivasyona dahil olamayan materyal ve porozitelerin bulunmuş olabileceği ile ifade edilebilir. Aynı malzemenin basınç mukavemetinin yüksek çıkması bağlanma mukavemetinin yüksek olmasına bağlanabilir (Huang ve ark., 2018). Yalıtım malzemesi için ağırlık, mukavemet ve yalıtım özellikleri birlikte değerlendirilmesi gerekir. Buna göre 1.2 bağlayıcılık oranındaki numunenin daha uygun özellikte olduğu değerlendirilmiştir.

Çizelge 5. Numunelerin Mekanik Özellikleri

Bağlayıcılık Oranı	Eğilme Kuvveti (N)	Ortalama Eğilme Kuvveti (N)	Basınç Dayanımı (MPa)	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Ortalama Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)
1.2	1621.9	1543.9	9.10	9.11	3.80	3.62
	1416.1		8.75		3.32	
	1680.7		9.46		3.94	
	1457.2		9.15		3.42	
1.5	719.3	736.4	10.60	10.12	1.69	1.73
	732.1		11.76		1.72	
	751.6		8.91		1.76	
	742.8		9.21		1.74	
1.9	549.7	554.8	8.72	7.93	1.29	1.30
	517.4		7.64		1.21	
	580.1		7.56		1.36	
	572.3		7.83		1.34	



Şekil 1. Numunelerin mikroyapı görüntüleri (devam)

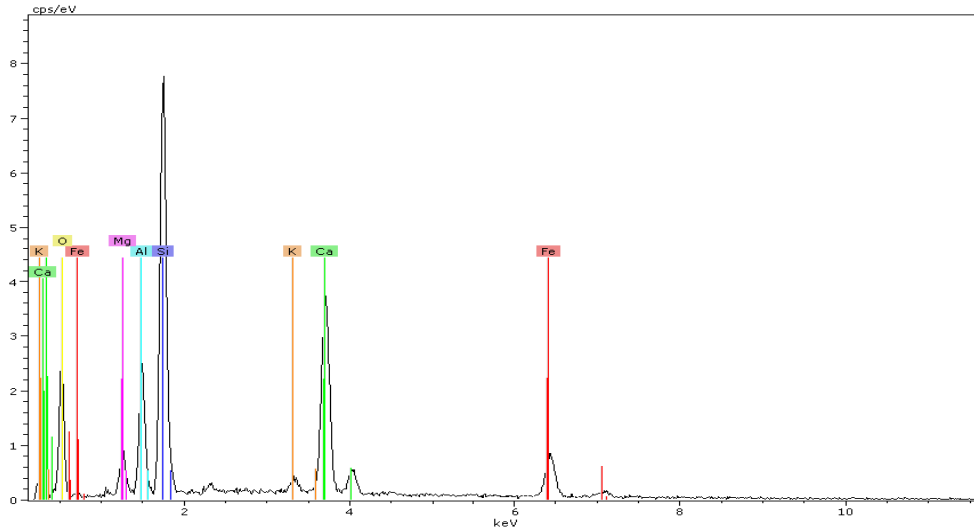
Mikroyapı Çalışması

Çalışmada üretilen numuneler üzerinde elektron mikroskop (SEM) ile elde edilen

mikrograflar Şekil 1(a, b, c, d)'de verilmiştir. Genelde katkı olarak kullanılan silis dumanının SiO_2 içeriği %80'in üzerindedir. Şekil 1(a)'da

işaretili bölgeden elde edilen morfoloji ve mikroyapı görüntüsüne ait Şekil 2'de verilen EDS noktasal analizine göre; karışım oranlarıyla uyumlu olarak Si miktarının en yüksek olduğu görülmektedir. Silis dumanının esas bileşeni kristalize olmayan amorf haldeki silistir. Diğer bileşenlerin ise %1-2 civarında Fe_2O_3 , ve %1'den az miktarda Al_2O_3 , SO_3 , MgO , Na_2O ve K_2O gibi oksitlerin olduğu Çizelge 1'de verilen sonuçlarla uyumlu olduğu SEM analiz sonuçlarından anlaşılmaktadır. Şekil 1(a, b, c, d)'de silis dumanı ilave edilmiş numunede meydana gelen reaksiyonlar görülmektedir.

Hidratasyonunu tamamlamış sertleşmiş hamur numunelerinin XRD çekimlerinde görülen piklerinin varlığı silis dumanı içeriğini göstermektedir. Numunelerin SEM incelenmesinde, literatürdeki hidratasyon prensiplerine uygun olarak (Diamond, 1986; Taylor, 1992; Malhotra ve Mehta, 1996; Gleize ve ark., 2003) CSH jelleri ve portlandit çekirdeklerle oluştuğu görülmektedir. Buna bağlı olarak homojen, kararlı ve daha sıkı yapı oluştuğu gözlemlenmiştir.



Şekil 2. Numunelerin mikroyapı görüntüleri

SONUÇ

Günümüzde boşa giden enerjiyi azaltma çalışmaları önem kazanmaktadır. Ayrıca atık malzemedan yalıtım malzemesi üretimi, çevre ve halk sağlığı açısından farkındalığın artmasını sağlayacaktır. Gelişmiş termal koruma, israfsız, kabul edilebilir bir enerji tüketimi, tatmin edici termal konfor şartları, sağlıklı bir çevre ve düşük işletme maliyetleri gibi bütünleşik konulara katkı sağlamak amacıyla yapılan bu çalışmada aşağıda sıralanan sonuçlar elde edilmiştir.

✓ Kireç ve aktif silis dumanı karışım oranları arasındaki hidratasyon reaksiyonu C-S-H oluşumlarına yol açmaktadır.

- ✓ Silis dumanı, nano büyüklükte tane ve amorf yapısından dolayı puzolanik özellik göstermektedir.
- ✓ Silis dumanı oranının artması porozite, çekme ve basınç dayanımını artırmaktadır.
- ✓ Porozitenin artması yalıtım özelliğini artırmaktadır.

Üretilen tuğlanın düşük ses geçirgenliği, yüksek porozite özelliği ve hafif olması dolayısıyla yalıtım malzemesi olarak kullanımının uygun olduğu kanaatine varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Abo-El-Enein SA, Abou-Gamra ZM, El-Hosiny EL, El-Gamal SMA, 1996 Characteristics of Lime-Silica Fume Mixa Tram. *Journal of Thermal Analysis*, 46: 275-284.
- Al-Homoud Mohammad, S. 2005 Performance Characteristics and Practical Applications of Common Building Thermal Insulation Materials. *Building and Environment*, 40, 353-366.
- Al-Zaidi AKA, Demirel B, Atis CD, 2019. Effect of Different Storage Methods on Thermal And Mechanical Properties of Mortar Containing Aerogel, Fly Ash and Nano-Silica, *Construction and Building Materials*, 199:501-507.
- Anonim, 2010a. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, TS EN 12390-3, Ankara.
- Anonim, 2010b. Beton-Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney Numunelerinde Eğilme Dayanımının Tayini, TS EN 12390-5, Ankara.
- Anonim, 2012. Beton Deneyleri - Bölüm 4: Ultrasonik Atımlı Dalga Hızının Tayini, TS EN 12504-4, Ankara.
- Anonim, 2013. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 6: Tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini, TS EN 1097-6, Ankara.
- Anonymous, 1987. Silica Fume in Concrete. AC Committe 226, *ACI Material Journal*, 84: 158-166.
- Anonymous, 1996. Building Components and Building Elements-Thermal Resistance and Thermal Transmittance, EN ISO 6946. Calculation Method, DIN, Berlin.
- Anonymous, 2000a. Classification of The Reaction to Fire Performance of Construction Products, 89/106/EC/147, Council Directive, Official Journal of The European Communities.
- Anonymous, 2000b. Thermal Insulation Products for Building. Factory Made Mineral Wool (Mw) Products, EN 13162. Specification, DIN, Berlin.
- Anonymous, 2001a. Thermal Insulation Products for Buildings, Factory Made Products of Expanded Polystyrene (EPS), EN 13163. Specification, DIN, Berlin.
- Anonymous, 2001b. Thermal Insulation Products for Buildings, Factory Made Products of Extruded Polystyrene (XPS), EN 13164, Specification, DIN, Berlin.
- Anonymous, 2003. Data from Publications and the Web-site of the European Association of Mineral Wool Producers. <http://www.eurima.org>. (Date of access: 16 October 2018).
- Anonymous, 2006. Environmental Labels and Declarations, ISO 14025-00. Type III. Environmental Declarations, Technical Report, ASTM International.
- Arun NG, Sandeep S, 2016. Effects of Silica Fume (Micro Silica or Nano Silica) on Mechanical Properties of Concrete: A Review, *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 7:345-357.
- Cohen MD, Bentur A, 1988. Durability of Portland Cement-Silica Fume Pastes in Magnesium Sulfate and Sodium Sulfate Solutions. *ACI Material Journal*, 85(3): 148-157.
- Diamond S, 1986. The Microstructures of Cement Paste in Concrete. In: *Proceedings of the VIII. Congress on Cement Chemistry*, Rio de Janeiro, Brazil, 122-147.
- Gleize PJP, Müller A, Roman H. R, 2003. Microstructural Investigation of a Silica Fume-Cement-Lime Mortar. *Cement and Concrete Composites*, 25(2): 171-175.
- Hijorth L, 1983. Development and Application of High-Density Cement-Based Materials. *Philosophical Transactions of the Royal Society, A*. 310(1511): 167-173.

- Holland T. C, 2005. Silica Fume User's Manual, Silica Fume Association. Free Highway Association, FHWA-IF-05-016, USA.
- Huang Y, Gong L, Shi L, Cao W, Pan Y, Cheng X, 2018. Experimental Investigation on the Influencing Factors of Preparing Porous Fly Ash-Based Geopolymer for Insulation Material. *Energy and Buildings*, 168: 9-18.
- Jennings H, 2008. Refinements to Colloidal Model of C-S-H in Cement: CM-II. *Cement and Concrete Research*, 38(3): 275-289.
- Júlio MF, Soares A, Ilharco LM, Flores-Colen I, Brito J, 2016. Aerogel Based Renders with Lightweight Aggregates: Correlation Between Molecular/Pore Structure and Performance, *Construction and Building Materials*, 124:485-495.
- Koca C, 1996. Yüksek Performanslı Beton Üretiminde Mikrosilis, Curuf, Klinker Karışımı Çimento Kullanımı. 4.Ulusal Beton Kongresi Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar Bildiri Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, s. 381-394.
- Malhotra VM, Mehta PK, 1996. Pozzolanitic and Cementitious Materials. *Advances in Concrete Technology*, Vol. 1. Overseas Publishers Association. Ottawa, Canada, USA.
- Mukhopadhyay M, 2000. *Advances in Refractory Materials Indian Scenario and Challenge for Future*. Refractories and Furnaces, Allied Publishers Limited. New Delhi, India.
- Muller ACA, Scrivener KL, Skibsted J, Gajewicz A. M, 2015. Influence of Silica Fume on The Microstructure of Cement Pastes: New Insights From H NMR Relaxometry. *Cement and Concrete Research*, 74: 116-125.
- Liu XH, Lv XD, Fu JX, Peng P, Gai GS, 2009. Application of Silica Fume in China *Advanced Materials Research*, 58:21-26.
- Papadopoulos AM, 2005. State of the Art in Thermal Insulation Materials and Aims for Future Developments. *Energy and Buildings*, 37 (1): 77-86.
- Petch HE, 1961. The Hydrogen Positions in Portlandite, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, As Indicated by the Electron Distribution, *Acta Crystallographica*, 14(9): 950-957.
- Rodrigues F, Evangelista L, Brito J, 2016. A New Method to Determine the Density and Water Absorption of Fine Recycled Aggregates, *Materials Research*, 16:1045-1051.
- Sedlbauer K, Koenig Sind N, 1998. Are Measures Needed to Reduce the Risks of Artificial Mineral Fibers and What are the Alternatives? *Wksb Heft*, 42: 33-39.
- Samiha Ramdani S, Guettala A, Benmalek ML, Aguiar JB, 2019. Physical and mechanical performance of concrete made with waste rubber aggregate, glass powder and silica sand powder, *Journal of Building Engineering*, 21:302-311.
- Şimşek O, 2007. Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleeri. Seçkin Yayınları, s.17-307, Ankara, Türkiye.
- Taylor HFW, 1992. *Cement chemistry*. 2nd ed. Academic Press. London, England.
- Zhaoab Z, Qua X, Lib F, Weib J, 2018. Effects of Steel Slag and Silica Fume Additions on Compressive Strength and Thermal Properties of Lime-Fly Ash Pastes. *Construction and Building Materials*, 183: 439-450.