

ALKALİ TUZ İÇERİĞİNİN GEOPOLİMER CEPHE KAPLAMA MALZEMESİ ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Yrd. Doç. Dr. Gökhan GÖRHAN¹
Yrd. Doç. Dr. Gökhan KÜRKLÜ²

Konu Başlık No: 1. Çatı ve Cephe Sistemleri ve Bileşenleri

ÖZET

Yapılan bu çalışmada NaOH ve KOH ile uçucu kül içerikli geopolimer cephe kaplama malzemesi üretilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda piyasada üretimi yapılan cephe kaplama malzemeleri incelenmiş ve mevcut ölçülere yakın olacak şekilde örnekler üretilerek geopolimer cephe kaplama malzemesine ait özellikler araştırılmıştır.

Örneklerin üretiminde kullanılan uçucu kül Kütahya Seyitömer Termik Santrali uçucu külü olup, karışımlarda standart kum kullanılmıştır. Alkali aktifleştirici olarak; sodyum silikat solüsyonu (SS), sodyum hidroksit (NaOH) ve potasyum hidroksit (KOH) kullanılmıştır. Hazırlanan harçlar, 215 mm x 65 mm x 15 mm'lik ahşap kalıplarda ve vibrasyon yöntemiyle cephe kaplama malzemesi olarak şekillendirilmiştir. Ardından örnekler 24 saat süre ile 85 °C'de termal kür işlemlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla laboratuvar tipi etüve yerleştirilmiştir.

Sonuç olarak, çalışmada uygulanan üretim yönteminin piyasada bulunan diğer cephe kaplama tuğla malzemelerine oranla, örnekleri daha gözenekli bir yapıda bıraktığı görülmüştür. Bununla birlikte yapılan donma-çözülme testlerinde geopolimer cephe kaplama malzemelerinin önemli bir hasara uğramadığı gözlenmiştir. Tüm veriler dikkate alındığında 6 M NaOH ile üretilen, 6A-24 örneklerinin tüm gruplar içinde en ideal örnek grubunu oluşturduğu görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELELER

Geopolimer, cephe kaplama malzemesi, KOH, NaOH, uçucu kül.

¹ A.K.Ü., Müh. Fak., İnş.Müh. Böl., Merkez - Afyonkarahisar, ggorhan@aku.edu.tr

² A.K.Ü., Müh. Fak., İnş. Müh. Böl., Merkez - Afyonkarahisar, kurklu@aku.edu.tr

1. GİRİŞ

Uçucu kül, öğütülmüş kömürün yanması sonucu oluşan, toz ve gaz halinde atmosfere karışan, mikron boyutundaki taneciklerin termik santral bacalarına ilave edilen elektrostatik çökeltici filtreler veya filtre torbaları tarafından tutulması ve uçucu kül silolarında istiflenmesiyle elde edilen endüstriyel bir atıktır. Yaygın olarak kullanılan sınıflandırma yöntemine göre uçucu küller F ve C sınıfı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. F tipi uçucu küldeki silika ve alümina, alkali aktifleştiricilerle tepkimeye girdiğinde geopolimer adı verilen ve amorf zeolit yapısında olan polimer bir yapı malzemesi elde edilebilmektedir [1].

Geopolimerler, polikondenzasyon sonucu oluşan termoset polimer yapısına sahiptir. Geopolimerizasyon yüksek alkali ortamda moleküllerin çözünme, taşınma, yönelme ve polikondensasyon (çoklu yoğunlaşma) hareketlerini kapsayan bir ekzotermik kimyasal süreçtir [1]. Polikondenzasyon, çeşitli ısı ve kimyasal etki ile monomerler arasındaki bağların değişmesi ve moleküller içindeki atomların enerji düzeylerinin değişmesi ile gerçekleşir [1]. Geopolimer, organik kimya ürünü polimerlerden farklı olarak karbon elementi yerine kuartz içerisindeki silisyum moleküllerinin yüksek pH'lı alkali ortamda, alüminatlarla polikondenzasyona uğraması ile oluşur [2]. Oda sıcaklığında başlayan geopolimer reaksiyonu istenilen karışım sağlandıktan sonra 40–100 °C sıcaklıklarda etüv ya da buhar odasında ısı işleme tabi tutularak, polimerizasyon süreci uzatılır. Böylece üretilmek istenilen geopolimer malzeme özellikleri de iyileştirilmiş olur [3].

Geopolimer göstermiş olduğu mükemmel fiziksel ve kimyasal özellikleriyle; prefabrik yapı endüstrisi, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan yapı malzemeleri, heykeltçilik ve süsleme sanatları, beton esaslı yol kaplamaları, zemin iyileştirme, zehirli ve nükleer atıkların depolanması, refrakter seramik malzeme üretimi, ağır iklim şartlarına ve yangına dayanıklı duvar kaplaması üretimi, güçlendirme, tarihsel yapıların taşıyıcı sistemlerinin restorasyonu, uçak ve yarış arabası endüstrisi ve nükleer santrallerde kullanılabilir. Kullanılan teknolojinin gelişmişlik düzeyine, seçilen kimyasal oranlara göre ve toprak esaslı hammadde de yapılan fiziksel iyileştirmelerle geopolimere pek çok seramik malzeme de olduğu gibi istenilen fiziksel özellikler kazandırılabilir [1].

Yapılan bu çalışmada ise NaOH ve KOH ile uçucu kül içerikli geopolimer cephe kaplama malzemesi üretilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda piyasada üretilen yapılan cephe kaplama malzemeleri incelenmiş ve mevcut ölçülere yakın olacak şekilde örnekler üretilerek geopolimer cephe kaplama malzemesine ait özellikler araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Kullanılan Malzemeler

2.1.1. Uçucu kül

Örneklerin üretiminde kullanılan uçucu külün kaynağı Kütahya Seyitömer Termik Santrali olup, Afyonkarahisar'da faaliyet gösteren özel bir hazır beton firmasından elde edilmiştir. Uçucu külün lazer tane boyut analizleri Malvern Mastersizer 2000 cihazında yapılmış ve uçucu külün; d_{10} , d_{50} ve d_{90} değerleri Tablo 1'de verilmiş olup, spesifik yüzey alanı $0.366 \text{ m}^2/\text{g}$ olarak elde edilmiştir.

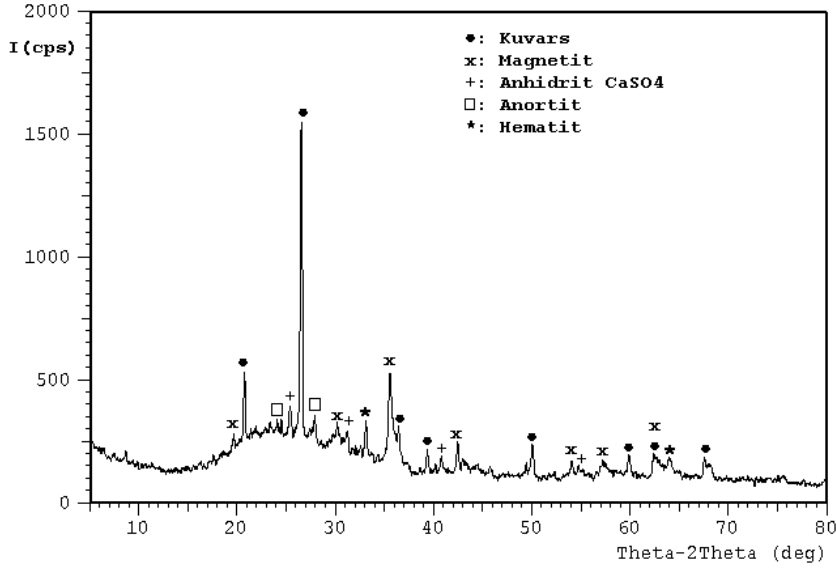
Tablo 1. Uçucu küle ait d_{10} , d_{50} ve d_{90} değerleri.

Numune	d_{10} (μm)	d_{50} (μm)	d_{90} (μm)
Uçucu kül	8.103	32.829	92.778

Uçucu külün XRF analiz sonuçlarına göre; uçucu külün toplam $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ değeri % 80.09, CaO değeri ise % 6.06'dır. Bu verilere göre kullanılan uçucu kül, ASTM C618-08a'ya göre [4] F sınıfı uçucu küldür. Uçucu külden kütlece silika/alümina oranı ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) 2.49'dur (Tablo 2). Uçucu külün daha önce yapılan çalışmada elde edilen X-ışınları difraksiyon grafiğine (XRD) göre [5] uçucu külden; kuvars, magnetit, anhidrit, anortit ve hematit gibi mineraller bulunmaktadır (Şekil 1).

Tablo 2. Uçucu külün kimyasal kompozisyonu.

Kompozisyon	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	Na_2O	K_2O	SO_3	CaO	LOI	Total
Ağırlıkça, %	48.90	19.63	11.56	4.31	0.73	2.06	1.65	6.06	2.32	97.22



Şekil 1. Uçucu külün X ışınları difraktogramı.

2.1.2. Kum

Örneklerin hazırlanmasında, Limak Batı Çimento Fabrikası tarafından üretilen standart rilem kumu kullanılmıştır.

2.1.3. Kimyasal malzemeler

Örneklerinin üretiminde alkali aktifleştirici olarak; sodyum silikat solüsyonu (SS), sodyum hidroksit (NaOH) ve potasyum hidroksit (KOH) kullanılmıştır. Kullanılan kimyasal malzemelerin özellikleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Kimyasal malzemeler ve özellikleri.

Sodyum Silikat Solüsyonu (SS) (Cam Suyu)	Sodyum hidroksit (NaOH)	Potasyum hidroksit (KOH)
Na_2O : 7.5 - 8.5 % ; SiO_2 : 25.5 - 28.5 % Yoğunluk (20 °C) 1.296 - 1.396 g/ml Fe (demir) \leq 0.005 % ; Ağır metaller: (as Pb) \leq 0.005 % [6]	M: 40 g/mol NaOH \geq 97,0	M: 56,1 g/mol KOH \geq 85,0

2.2. Metot

2.2.1. Karışım prosedürü

NaOH ve KOH, uçucu kül partiküllerindeki silika ve alüminayı çözmek için reaktif olarak [7], sodyum silikat solüsyonu ile birlikte kullanılmıştır. Planlanan konsantrasyonlarda NaOH ve KOH çözeltisi hazırlanmış ve oda sıcaklığında 24 saat süre ile bekletilmiştir. Ardından, uçucu kül, NaOH ve KOH çözeltisi 3 dakika süre ile karıştırılmıştır. Karışıma sodyum silikat solüsyonu eklenerek 1 dakika daha karıştırıldıktan sonra son olarak kum eklenmiş ve 3 dakika sonra karıştırma işlemi sonlandırılmıştır. Karışımlara eklenen sodyum silikat solüsyonu (cam suyu) ise 3 modüllü ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}=3$) bir solüsyondur.

2.2.2. Geopolimer harçların hazırlanması

Geopolimer harçlarda NaOH ve KOH konsantrasyonunun etkisini belirlemek amacıyla iki farklı molariteye (M) sahip konsantrasyonlar kullanılmıştır. Pellet halde olan NaOH ve KOH saf suda çözünerek konsantrasyon haline getirilmiştir. Geopolimer harçlar hazırlanırken kullanılan malzemeler ve karışım oranları Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Harçların karışım oranları.

Konsantrasyon (M)	Uçucu kül (g)	Kum (g)	Sodyum silikat solüsyonu (ml)	NaOH/KOH solüsyonu (ml)
6	450	1350	290	145
9	450	1350	290	145

Hazırlanan harçlar, 215 mm x 65 mm x 15 mm’lik ahşap kalıplarda ve vibrasyon yöntemiyle cephe kaplama malzemesi olarak şekillendirilmiştir (Şekil 2). Ardından örnekler termal kür işlemlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla laboratuvar tipi etüve yerleştirilmiştir. Literatürde yapılan bir çalışmada kullanılan kür sıcaklığı ve süresi [8] bu çalışmada hazırlanan geopolimer cephe kaplama malzemelerine de uygulanmış ve hazırlanan örnekler Tablo 5’de verilmiştir.



Şekil 2. Geopolimer cephe kaplama malzemeleri.

Tablo 5. Hazırlanan örnekler ve uygulanan kür prosesi.

Geopolimer konsantrasyonu (M)	NaOH (M)	Kür süresi (h)	Kür sıcaklığı (°C)	Geopolimer konsantrasyonu (M)	KOH (M)	Kür süresi (h)	Kür sıcaklığı (°C)
6A-24	6	24	85	6B-24	6	24	85
9A-24	9	24	85	9B-24	9	24	85

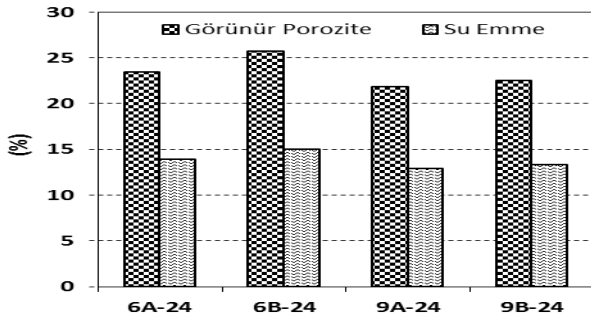
2.2.3. Uygulanan testler

Örnekler termal kür işlemlerinin ardından fiziksel ve mekanik testlerin yapılacağı güne kadar laboratuvar ortamında ve oda sıcaklığında muhafaza edilmiştir. Testlerde 75-90 gün arasındaki yaşlara sahip geopolimer cephe kaplama malzemeleri kullanılmıştır. Fiziksel testlerde ve eğilme dayanımı testinde her bir örnek grubundan üç örneğin ortalama değerleri alınmıştır. Donma-Çözülme testinde de her bir örnek grubundan üç örnek kullanılarak; 2 saat donma, 1 saat çözülme şeklinde olmak üzere toplam 30 döngü olacak şekilde donma-çözülme testi uygulanmıştır.

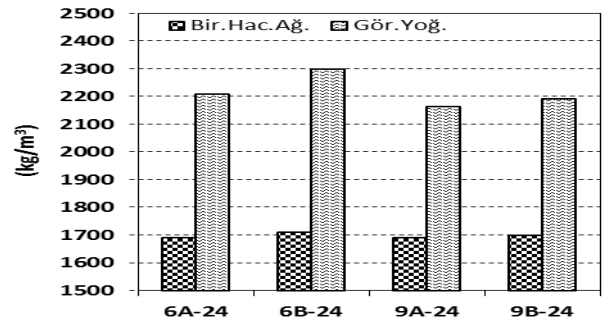
Örneklerin bir kısmı fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 24 saat boyunca su tankına yerleştirilmiştir. Bu örneklerin; su emme, görünen porozite, birim hacim ağırlık ve görünür yoğunluk gibi fiziksel özellikleri Arşimet prensibine göre belirlenmiştir. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi sırasında; örnekler su tankından alınarak, su içerisinde asılı ağırlıkları ve suya doymuş yüzey kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Ardından ilgili örnekler etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulup tekrar tartılmıştır. Elde edilen değerler yardımıyla örneklerin; görünen porozite, birim hacim ağırlık ve görünür yoğunluk değerleri TS EN 772-4'e [9] göre, su emme değerleri ise TS EN 771-1'e [10] göre belirlenmiştir. Geopolimer harçların mekanik özellikleri ise TS EN 196-1'e [11] göre gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bina dış cephe kaplamalarında; cam elyaf takviyeli çimento esaslı cephe kaplaması, ahşap ve ahşap kökenli cephe kaplaması, doğal taş cephe kaplaması vb. [12] farklı kaplama malzemeleri kullanılmaktadır. Yapılan bir anket çalışmasına göre [13] cephe kaplama malzemeleri arasında en çok tercih edilen ürün grubunun kompozit paneller olduğu da görülmüştür. Bununla birlikte ülkemizde kagir kaplama malzemesi olarak, cephe kaplama tuğlası da kullanılan malzemelerin başında gelmektedir. Dış cephe kaplama tuğlaları, 1100 °C'de sinterlenirken, su emme oranları da yaklaşık % 2 - % 6 arasında değişmektedir [14]. Bu çalışmada üretilen kaplama malzemelerinin su emme oranları ise % 12.9 - % 15 arasında değişmektedir (Şekil 3). Bu açıdan bakıldığında örneklerin su emme oranlarının piyasada bulunan cephe kaplama tuğlalarından yüksek olduğu görülmektedir. Bu noktada kil kökenli cephe kaplama tuğlaları yüksek sıcaklıklarda sinterlendiklerinde kil minerallerinin ergiyerek bünyedeki boşlukları doldurması ve böylelikle gözenek oranının doğal olarak da su emme oranlarının azalması meydana gelmektedir. Çalışmada üretilen örneklerde ise herhangi bir sinterleme yapılmaması nedeniyle tuğla kaplamalara göre daha fazla boşluk yapısının oluşması doğal karşılanmalıdır. Üstelik tuğla dış cephe kaplamalarında örnekler kesme metoduna göre elde edilirken, çalışmada üretilen örnekler üzerinde herhangi bir sıkıştırma işlemi yapılmamıştır. Sıkıştırma işlemi yapılmaması nedeniyle örneklerin porozite oranlarının da % 21.8 - % 25.7 arasında değişen değerlerde olduğu Şekil 3'de görülebilmektedir.



Şekil 3. Örneklerin görünür porozite ve su emme oranları.

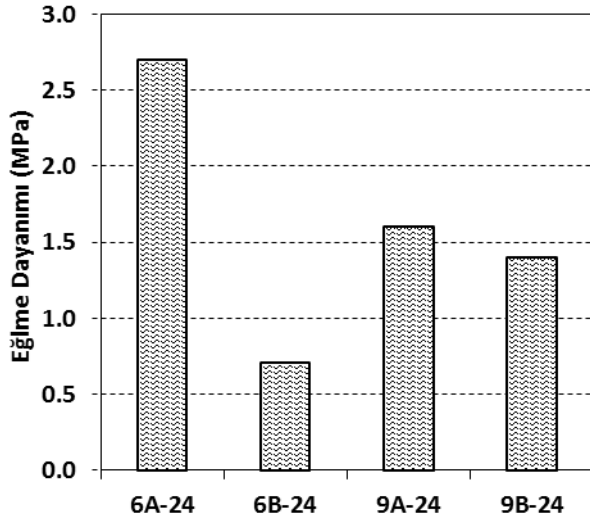


Şekil 4. Örneklerin birim hacim ağırlık ve görünür yoğunluk değerleri.

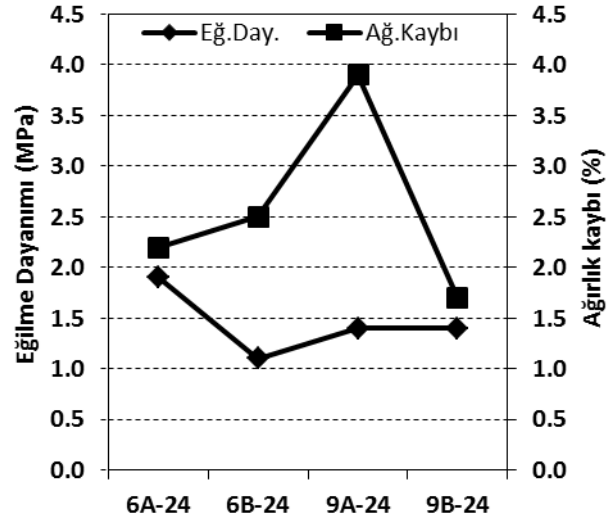
Dış cephe kaplama tuğlalarındaki ağırlığın 0.45 kg/adet olduğu belirtilmektedir [15]. Çalışmada üretilen geopolimer cephe kaplama malzemelerinin etüv kurusu ağırlıklarının da 0.35 – 0.45 kg/adet olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte geopolimer cephe kaplama malzemelerinin birim hacim ağırlık ve görünür yoğunluk değerleri sırasıyla; 1688 – 1707 kg/m³ ve 2161 – 2297 kg/m³ arasında değişmektedir (Şekil 4).

Örneklerin fiziksel özellikleri dikkate alındığında aynı molariteye sahip örneklerde kullanılan alkali aktivatörün sonuçlar üzerinde etkili olduğu görülmektedir. KOH kullanılan örneklerde, NaOH kullanılan örneklere göre daha yüksek değerlerin elde edildiği ve molarite değerlerinin yükselmesiyle bu değerlerin azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 3 ve Şekil 4).

Eğilme dayanımı verilere göre en yüksek eğilme dayanım değerleri 2.7 MPa ile 6A-24 örneklerinden elde edilmiştir. 9 M konsantrasyonlu örneklerin eğilme dayanım değerleri 6A-24 örneklerine oranla daha düşük seviyelerde gerçekleşirken, 6B-24 örneğinden daha yüksek değerler elde edilmiştir. Bu verilere göre NaOH kullanılması durumunda örneklerin daha dayanıklı oldukları ortaya çıkmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Örneklerin eğilme dayanımı değerleri.



Şekil 6. Donma-çözülme sonrası örneklerin eğilme dayanımı ve ağırlık kaybı değerleri.

Geopolimer cephe kaplama malzemelerinin su emme oranlarının piyasada mevcut bulunan dış cephe kaplama tuğlasına göre yüksek çıkması nedeniyle örneklere ayrıca donma-çözülme testi uygulanmış ve agresif ortama karşı göstereceği davranışın belirlenmesine çalışılmıştır. Donma-çözülme testi sonrasında yapılan eğilme dayanım testine göre örneklerin eğilme dayanımları 1.1 – 1.9 MPa arasında değişkenlik göstermiştir. Bu durumda 6A-24 örnekleri donma-çözülme testi sonunda % 30'luk bir dayanım kaybı yaşamıştır. Diğer örneklerde ise oluşan kayıplar daha düşük seviyelerde gerçekleşmiştir. Ağırlık kaybı verileri incelendiğinde ise geopolimer cephe kaplama örneklerinde % 1.7 - % 3.9 arasında değişen oranlarda kayıplar gerçekleştiği gözlenmiştir (Şekil 6). En fazla ağırlık kaybına uğrayan örnekler 9A-24 örnekleri olurken en az ağırlık kaybına uğrayan örneklerin 9B-24 örnekleri olduğu görülmüştür.

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Geopolimer cephe kaplama malzemesi üretiminin yapıldığı bu çalışmada bir dizi ön araştırma ve testler uygulanmıştır. Çalışmada uygulanan üretim yönteminin, piyasada bulunan diğer cephe kaplama tuğla malzemelerine oranla, örnekleri daha gözenekli bir yapıda bıraktığı görülmüştür. Bununla

birlikte yapılan donma-çözülme testlerinde geopolimer cephe kaplama malzemelerinin önemli bir hasara uğramadığı gözlenmiştir. Tüm veriler dikkate alındığında 6 M NaOH ile üretilen, 6A-24 örneklerinin tüm gruplar içinde en ideal örnek grubunu oluşturduğu düşünülmektedir.

Fiyat karşılaştırması açısından ise piyasada mevcut bulunan dış cephe kaplama tuğlası fiyatlarının 0.50 – 1.15 TL/adet [15] olduğu dikkate alındığında, üretilen geopolimer cephe kaplama malzemesi maliyetinin yaklaşık olarak 2.1 – 2.7 TL/adet olduğu hesaplanmıştır. Bu maliyet hesaplamasında kullanılan standart kumun örnek başına yaklaşık 1.5 TL maliyeti olduğu düşünüldüğünde kullanılan kimyasal malzeme maliyetinin 0.6 – 1.2 TL/adet olduğu göz ardı edilmemelidir.

Sonuç olarak; kâgir kaplama malzemesi grubuna giren cephe kaplama tuğlası ve geopolimer cephe kaplama malzemesi kıyaslandığında, üretilen örneklerin daha gözenekli ve daha maliyetli oldukları ortaya çıkmaktadır. Bu noktada üretilen örneklerde endüstriyel bir atık ürün olan uçucu külün kullanılması ile bu atığın geri dönüştürülerek bir yapı malzemesinde kullanılmasıyla çevreye vereceği zararların önleneyecek olmasına da dikkat edilmelidir. Nitekim cephe kaplama tuğlasında kullanılan ana malzeme kildir ve kil önemli bir hammadDEDİR. Maliyet konusunda ise, cephe kaplama malzemelerinde kili sinterlemek için belli bir enerji harcanması gerektiği de unutulmamalıdır.

Geopolimer cephe kaplama malzemesi olarak üretilen örneklerde donma-çözülme sonrasında ortaya çıkan dayanım kayıplarının ve su emme oranlarının azaltılması için örneklerin belli bir basınç altında şekillendirilmesi ve bununla birlikte daha önceden yapmış olduğumuz çalışmalara göre standart kum yerine daha ince bir gradasyona sahip kırma kum kullanılması önerilmektedir. Böylelikle, geopolimer cephe kaplama malzemesi üretiminde örneklerin belli bir basınç altında şekillendirilmesi ve kırma kum kullanılması durumunda su emme değerlerinin, kullanılacak olan likit miktarının ve üretim maliyetlerinin azalacağı tahmin edilmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarla bu çalışmayı maddi olarak destekleyen, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne (Proje No: 12.MUH.05) teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- [1] Zeybek, O., 2009, “Uçucu Kül Esaslı Geopolimer Tuğla Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, İnş. Müh. A.B.D., Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [2] Kim D.,Ting H.L.,Chilingar G.V.,Yen F.Y. 2006, “Geopolymer formation and its unique properties”, Environ.Geol.,51, 103-111
- [3] Komnitsas, K., Zaharaki, D., 2007, “Geopolymerisation: A review and prospects for the minerals industry”, Minerals Engineering 20, 1261–1277.
- [4] ASTM C 618, 2000, “Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete, Annual Book of ASTM Standard, No. 04.02
- [5] Başpınar, M.S., Demir, İ., Görhan, G., Kahraman, E., 2011, “A Microstructural Study on The Phase Stability of Fly Ash/Cement Based Aerated Concrete”, Proceedings of the 12th Conference of the European Ceramic Society – ECerS XII, Stockholm, Sweden, 19-23 Jun 2011
- [6] Web 1. http://erenkimya.com/index.php?route=product/product&product_id=861&keyword=sodyum%20silikat%20, 2012.
- [7] Rattanasak, U., Chindapasirt, P., 2009, “Influence of NaOH solution on the synthesis of fly ash geopolymer”, Minerals Engineering, 22, 1073-1078

*7. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu 3– 4 Nisan 2014
Yıldız Teknik Üniversitesi Beşiktaş - İstanbul*

- [8] Palomo, A., Grutzeck, M. W., Blanco, M. T., 1999, “Alkali – activated fly ashes A cement fort he future”, Cement and Concrete Research, 29, 1323-1329.
- [9] TS EN 772-4, 2000, “Kagir Birimler, deney metotları- Bölüm 4: Tabii taş kâgir birimlerin toplam ve görünen porozitesi ile boşluksuz ve boşluklu birim hacim kütlelerinin tayini”, TSE, Ankara.
- [10] TS EN 771-1, 2005, “Kagir Birimler, Özellikler- Bölüm 1: Kil kâgir birimler (Tuğlalar)”, TSE, Ankara.
- [11] TS EN 196-1, 2009, “Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini”, TSE, Ankara.
- [12] Kaya, U., Türkeri, N., 2010, “Dış Duvar Sistemlerinde Kullanılan Yapı Malzemelerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi”, 5. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, 21-29, İstanbul-Türkiye.
- [13] Kaya, F. A., Dikmen, N., 2010, “1. Derece-Gün Bölgesi için Dış Duvar Sistemlerinde Malzeme Seçim Kriterleri”, 5. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, 83-89, İstanbul-Türkiye.
- [14] Web 2: http://www.feldhaus-klinker.de/fileadmin/PDFs/Tuerkisch_web.pdf, 06.02.2014.
- [15] Web 3: <http://www.doganaytuğla.com/catalog/CAT9CEA/kaplama-tugla-serisi.aspx>, 06.02.2014