



GAZİOSMANPAŞA BİLİMSEL ARAŞTIRMA DERGİSİ  
(GBAD)

Gaziosmanpaşa Journal of Scientific Research

ISSN: 2146-8168

<http://dergipark.gov.tr/gbad>

Araştırma Makalesi (Research Article)

Cilt/Volume : 11

Sayı/Number: 3

Yıl/Year: 2022

Sayfa/Pages: 274-281

Alınış tarihi (Received): 13.12.2022

Kabul tarihi (Accepted): 20.12.2022

## Cüruf Tabanlı Geopolimer Harçlarda Kılcal Su Emme, Rötire ve Basınç Dayanımının İncelenmesi

Şinasi BİNGÖL<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tokat  
\*Sorumlu yazar: sinasi.bingol@gop.edu.tr

**ÖZET:** Geopolimer harç teknolojisi, yapı sektöründe önem kazanan konulardandır. Çimentonun üretimindeki yüksek enerji maliyeti, yüksek karbondioksit (CO<sub>2</sub>) salınımı ve üretimindeki zorluklar çimento yerine alternatif bağlayıcılar araştırmayı cazip kılmaktadır. Geopolimer harçlar yüksek fırın cürufu (YFC), uçucu kül (UK) ve silis dumanı (SD) gibi atık ürünlerin bazı alkali ürünlerle aktivasyonu ile elde edilen yeni nesil bağlayıcılardır. Bu çalışmada YFC kullanılarak, farklı oranlarda (%3, %6, %9) sodyum silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) ile alkali aktive edilmiş geopolimer harçlar üretilmiştir. 40\*40\*160 mm'lik prizma kalıplarda üretilen harçlar uygun kür koşullarında bekletildikten sonra, kılcal su emme, rötire ve basınç dayanımı özellikleri incelenmiştir. Ayrıca sonuçları mukayese edebilmek için Portland Çimentolu (CEM I 42.5 R) kontrol harçları üretilmiştir. Basınç dayanımı açısından cüruf lu harçların daha yüksek dayanımlara eriştiği belirlenmiştir. Ancak kılcal su emme ve rötire özellikleri bakımından çimentolu harçların daha olumlu sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler** – Yüksek fırın cürufu, Basınç dayanımı, Kılcal su emme, Rötire

## Investigation Of Capillary Water Absorption Shrinkage And Compressive Strength In Slag -Based Geopolmer Mortars

**ABSTRACT:** Geopolymer mortar technology is one of the important issues in the construction industry. The high energy cost, high carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emission and difficulties in the production of cement make it attractive to search for alternative binders instead of cement. Geopolymer mortars are new generation binders obtained by the activation of waste products such as blast furnace slag (BFS), fly ash (FA) and silica fume (SF) with some alkaline products. In this study, alkali activated geopolymer mortars with sodium silicate (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) at different ratios (3%, 6%, 9%) were produced using BFS. After the mortars produced in 40\*40\*160 mm prism molds were kept in suitable curing conditions, their capillary water absorption, shrinkage and compressive strength properties were investigated. In addition, in order to compare the results, control mortars with Portland Cement (CEM I 42.5 R) were produced. In terms of compressive strength, it was determined that slag mortars reached higher strengths. However, it has been observed that cemented mortars give more positive results in terms of capillary water absorption and shrinkage properties.

**Keywords** – Blast furnace slag, Compressive strength, Capillary water absorption, Shrinkage

### 1. Giriş

Beton üretim teknolojisinin ilerlemesi, bileşenlerinin kolay elde edilmesi ve ucuz olması nedeniyle inşaat sektöründe en çok kullanılan yapı malzemesidir (Meyer 2009). Ayrıca insanların sudan sonra en çok kullandığı ürün betondur. Yıllık 20 milyon tondan fazla beton üretilmektedir (Kaya 2022).

Çimento beton içerisindeki bağlayıcı kısmı oluşturan ve su ile reaksiyona girdiğinde ısı açığa çıkaran bir malzemedir. Çimentonun üretimi yüksek enerji gerektiren bir süreçtir. Üretimi

esnasında çok yüksek sıcaklıklarda işlemler yapıldığı için yüksek miktarda CO<sub>2</sub> salınımı gerçekleşmektedir. Doğaya salınan CO<sub>2</sub>'nin %7'sinden çimento sorumlu tutulmaktadır. Ayrıca dünyadaki enerjinin %2-3'ü çimento üretiminde harcanmaktadır (Damtoft ve ark. 2008; Juenger ve ark. 2011; Kaya ve ark. 2022). Çimentonun yüksek emisyonları ve enerji sarfiyatı nedeniyle, iklim değişikliğine ve küresel ısınmaya %65 civarında katkı sağladığı belirtilmektedir (Zhou ve ark. 2016).

Çimentonun çevreye verdiği tüm etkiler göz önüne alındığında, alternatif bağlayıcı malzeme elde edilmesi için çalışmalar yapılması gerekmektedir. Bu amaçla yeni nesil bağlayıcı malzemeler araştırılmaktadır. Bunların en sık bilineni YFC ve UK gibi endüstriyel yan ürünlerin kullanımıyla geopolimer harçlar üretmektir. YFC ve UK demir-çelik üretimi ve elektrik üretimi esnasında açığa çıkan atık malzemelerdir. Yapay puzolan olarak da bilinen bu ürünler bazı alkalilerle aktive edilmekte ve bağlayıcılık özellikleri araştırılmaktadır (Habert, D'Espinose De Lacaillerie, and Roussel 2011; Lokuge ve ark. 2018).

Geopolimer harçların çimento yerine kullanımının araştırılması için bir takım fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmektedir. Yapılan bazı çalışmalarda harçların kılcal su emme, rötre ve basınç dayanımı gibi özellikleri incelenmiştir. Canbaz (2007), YFC ile çimentoyu % 0-25-50-75-100 oranlarında ikame ederek kılcal su emme değerlerini incelemiştir. Cüruf miktarı arttıkça kılcal emme katsayısının arttığını belirlemiştir. Onat (1998), yüksek fırın cürufuyla çimentoyu yer değiştirerek beton üretiminde kullanmıştır. Kılcal su emme değerlerinin azaldığını ve ıslanma-kuruma direncine fayda sağladığını tespit etmiştir. Rashad (2015), UK, hidratlı kireç, Portland çimentosu ve kireç taşının kuruma rötresini azalttığını, silis dumanının ise artırdığını belirlemiştir. Bakharev ve ark. (2000), cüruf lu betonların dayanımlarının erken geliştiğini, ancak rötre oranlarının bir miktar fazla olduğunu ifade etmişlerdir. İlkentapar (2013), rötre azaltıcı katkıların rötreyi azaltmaya katkı sağladığını belirtmiştir.

Bu çalışmada, YFC üç farklı oranda (%3, %6 ve %9) Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ile aktive edilerek geopolimer harçlar üretilmiştir. Harçların kılcal su emme, rötre ve basınç dayanımı gibi özellikleri incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Kontrol harçlarının üretilmesinde Adoçim Tokat fabrikasından temin edilen Portland çimentosu kullanılmıştır. İnce agrega olarak CEN Standart Kum (1350 g) kullanılmıştır (TS EN 196-1 2016). Geopolimer harç üretimi için kullanılan YFC Adana çimento A.Ş.'den temin edilmiştir. Karışım suyu içilebilir temiz şebeke suyudur (TS EN 1008 2003).

Harç karışımları (TS EN 196-7 2010)'e uygun olarak su/bağlayıcı oranı 1:2, bağlayıcı/agrega oranı 1:3 olacak şekilde belirlenmiştir. Alkali aktivasyon için gereken Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> miktarı bağlayıcı miktarının %3'ü, %6'sı ve %9'u oranında Na içerecek şekilde belirlenmiştir. Hazırlanan harçlar 40\*40\*160 mm'lik prizma kalıplara yerleştirilmiştir. Harç karışım miktarları Tablo 1'de verilmektedir. Kontrol harçlarının sembolik gösterimi 'KH' ile, %3 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> içeren geopolimer harçlar 'YFC3', %6 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> içeren geopolimer harçlar 'YFC6', %9 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> içeren geopolimer harçlar 'YFC9' ile gösterilmiştir.

Tablo 1. Harç karışım miktarları  
Table 1. Mortar mixture amounts

	Çimento (g)	Cüruf (g)	Su (ml)	Agrega (g)	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (g)
KH	450	0	225	1350	0
YFC3	0	450	225	1350	36
YFC6	0	450	225	1350	72
YFC9	0	450	225	1350	108

Kılcal su emme deneyi (ASTM C1585-13,2013)'e uygun olarak yapılmıştır. Harçlar 28 gün kür havuzunda bekletildikten sonra, etüvde 105°C'de sabit ağırlığa gelince kadar 24 saat bekletilmiştir. Harç yüzeyinin suyla temas eden kısmı 5 mm suya batacak şekilde 4x16 cm'lik yüzeyleri boyunca ayarlanan mesnetler üzerine konulmuştur. Yan yüzeyleri ise su emmeyen bantla kaplanmıştır (Şekil 3.19). 1, 5, 10, 20, 30 dakikalık ve 1, 2, 3, 4, 5, 6 saatlik sürelerde numune tarafından emilen su miktarları tespit edilerek birincil kılcal su emme katsayısı, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 günlük sürelerde emilen su miktarları tespit edilerek ikincil kılcal su emme katsayısı belirlenmiştir. Zamana bağlı kılcal su emme miktarları yüzey alanına bölünerek I değerleri hesaplanmıştır.

$$I = m_t / axd \quad (1)$$

Burada;

I= Absorbe edilen su miktarı (mm)

a= Suyla temas eden yüzey alanı (mm<sup>2</sup>)

m<sub>t</sub>= t sürede emilen su miktarı (g)

d= Suyun yoğunluğu (g/mm<sup>3</sup>)



Şekil 1. Kılcal su emme deneyi  
Figure 1. Capillary water absorption test

Rötre deneyi için özel pimli kalıplar kullanılarak 40\*40\*160 mm'lik kalıplarda numuneler üretilmiştir. Harçların ilk boyları ölçüldükten sonra, 21±2°C sıcaklık ve %50±4 bağıl nem koşullarında laboratuvar ortamında muhafaza edilmiştir. Numunelerin üzerinde 14,30,180 ve 360 günlük boy değişimleri incelenmiştir.



Şekil 2. Rötire deneyi  
Figure 2. Shrinkage test

Harçların basınç dayanımı (TS EN 196-1 2016)'ya uygun olarak çimento presinde belirlenmiştir.



Şekil 3. Basınç dayanımı deneyi  
Figure 3. Compressive strength test

### 3. Bulgular ve Tartışma

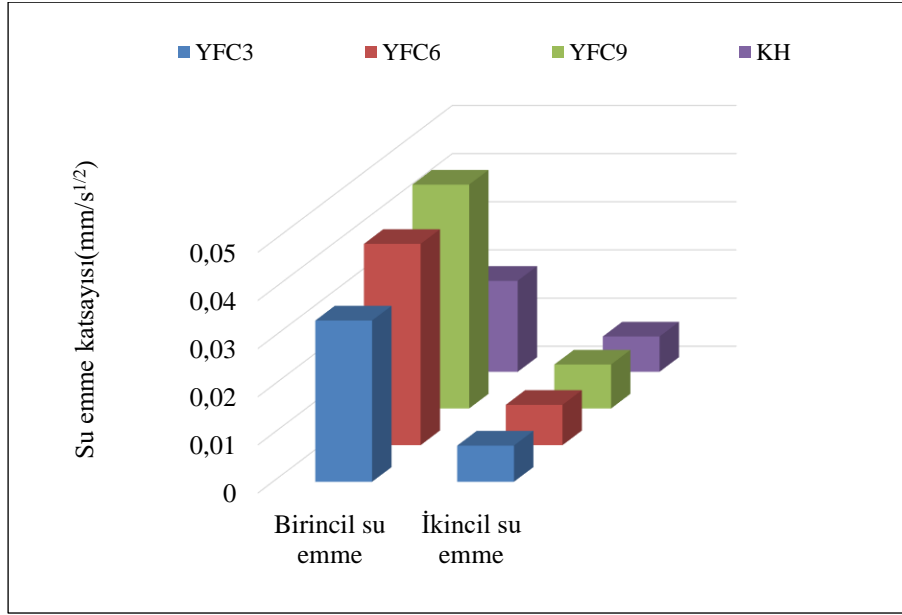
Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen kılcal su emme sonuçları Tablo 2'de ve Şekil 4'te verilmektedir.

Tablo 2. Kılcal su emme deneyi sonuçları  
Table 2. Capillary water absorption test results

Numune	Birincil su emme katsayısı ( $\text{mm/s}^{1/2}$ )	İkincil su emme katsayısı ( $\text{mm/s}^{1/2}$ )
<b>YFC3</b>	0.0335	0.00752
<b>YFC6</b>	0.0418	0.00837
<b>YFC9</b>	0.0465	0.00912
<b>KH</b>	0.0189	0.00734

Birincil ve ikincil kılcal su emme katsayılarına bakıldığında, Portland çimentolu kontrol harçlarının geopolimer harçlara kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmektedir. Cürufllu

harçların su emme kapasitelerinin yüksek olması sebebiyle bu durumun oluştuğu düşünülmektedir.



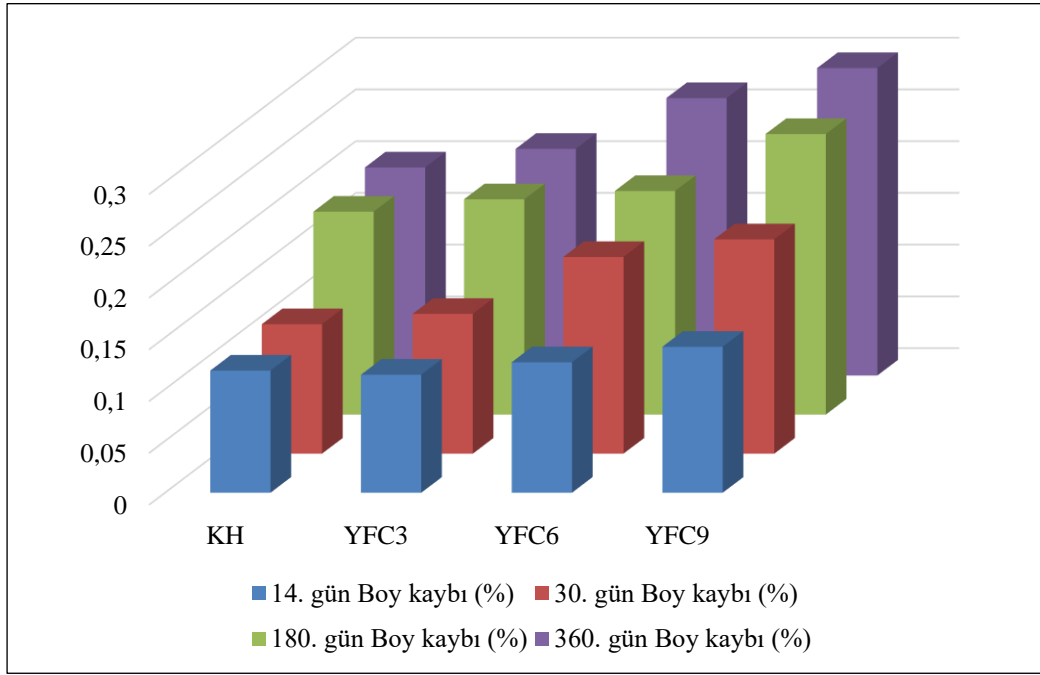
Şekil 4. Kılcal su emme deneyi sonuçları  
Figure 4. Capillary water absorption test results

Rötre deneyi sonuçları Tablo 3'te ve Şekil 5'te verilmektedir.

Tablo 3. Rötre deneyi sonuçları  
Table 3. Shrinkage test results

	14. gün	30. gün	180. gün	360. gün
	Boy kaybı (%)	Boy kaybı (%)	Boy kaybı (%)	Boy kaybı (%)
<b>KH</b>	0.118	0.125	0.196	0.201
<b>YFC3</b>	0.114	0.135	0.208	0.219
<b>YFC6</b>	0.126	0.190	0.216	0.268
<b>YFC9</b>	0.141	0.207	0.271	0.297

Rötre deney sonuçlarına göre kontrol harçlarının ilk günlerde geopolimer harçlara yakın değerlerde rötre yaptığı gözlenmektedir. 1 yılın sonunda ise en düşük rötrenin kontrol harçlarında oluştuğu belirlenmiştir. Sodyum oranı arttıkça geopolimer harçların da rötre değerlerinde artış gözlenmiştir.



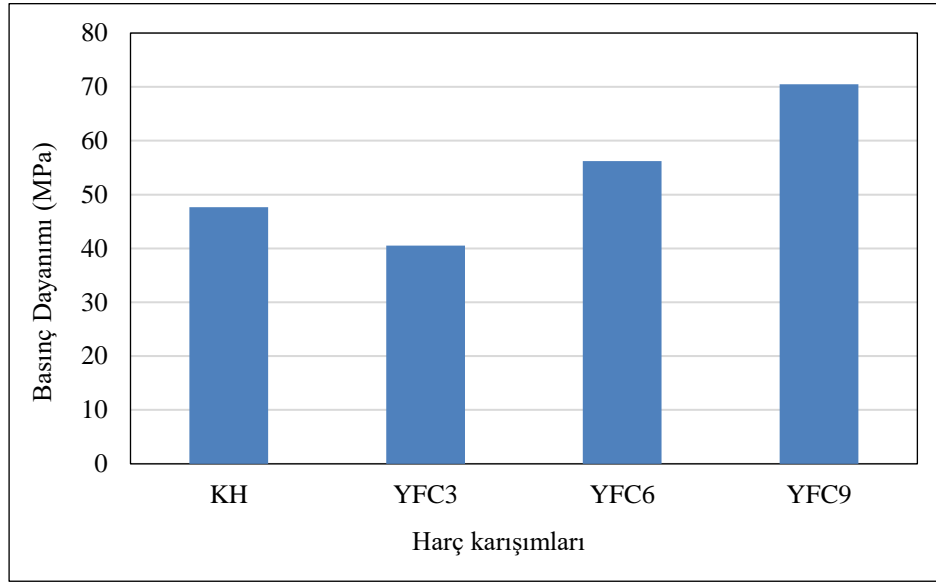
Şekil 5. Rötire deney sonuçları  
Figure 5. Shrinkage test results

28 günlük kür sürelerinin ardından harçların basınç dayanımları belirlenmiştir. Basınç dayanımı sonuçları Tablo 4'te ve Şekil 6'da verilmektedir.

Tablo 4. Basınç dayanımı sonuçları  
Table 4. Compressive strength results

Numune	Basınç dayanımı (MPa)
KH	47.63
YFC3	40.51
YFC6	56.21
YFC9	70.48

Basınç dayanımı sonuçlarına bakıldığında, en iyi sonuç %9 sodyum oranında 70.48 MPa olarak geopolimer harçlarda elde edilmiştir. %6 sodyum oranında da kontrol harcına kıyasla yüksek sonuçlar elde edilmiştir. %3 sodyum oranında ise kontrol harcında bir miktar düşük sonuç elde edilmektedir. Ancak genel anlamda basınç dayanımı açısından geopolimer harçların Portland çimentosuna göre oldukça iyi sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 6. Basınç testi sonuçları  
Figure 6. Compressive strength results

#### 4. Sonuç

Bu çalışma kapsamında %3, %6 ve %9 oranında  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  kullanılarak YFC'lu geopolimer harçlar, Portland çimentosuyla da kontrol harçları üretilmiştir. Harçların kılcal su emme, rötre ve basınç dayanımı gibi özellikleri incelenmiştir.

- Elde edilen sonuçlara göre geopolimer harçların basınç dayanımlarının kontrol harçlarına kıyasla yüksek sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Kılcal su emme ve rötre bakımından ise %3 sodyum oranlarında kontrol harçlarına yakın sonuçlar verdiği, ancak sodyum oranı arttıkça kılcal su emme ve rötre değerlerinin artış gösterdiği belirlenmiştir.
- Literatürde yapılan benzer çalışmalarda cüruf oranı arttıkça kılcal su emme değerlerinin arttığı belirlenmiştir (Canbaz 2007). Cürufllu betonlarda dayanımın hızlı geliştiği, ancak rötre değerlerinin de yüksek çıktığı farklı çalışmalarda tespit edilmiştir (Bakharev ve ark. 2000).
- Geopolimer harçlarda kılcal su emme ve rötre değerlerinin azaltılması için yeni çalışmalara yönelerek farklı denemeler yapılabilir. İlkentapar (2013), çalışmasında rötre azaltıcı katkıları kullanarak rötrenin azaltıldığını ifade etmektedir. Özellikle lif takviyeli geopolimer harçlar ve polimer emdirilmiş geopolimer harçlar üretilerek, deneysel olarak literatüre kazandırılması düşünülmektedir.

#### 5. Kaynaklar

- ASTM C1585-13, 2013. Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes.
- Bakharev, T., Sanjayan, J. G., and Cheng, Y. B., 2000. Effect of Admixtures on Properties of Alkali-Activated Slag Concrete. Cement and Concrete Research, Issue 30, pp. 1367-1374.
- Canbaz, M., 2007. Alkalilerle Aktive Edilmiş Yüksek Fırın Cürufllu Harçların Özellikleri. s.l.:Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Eskişehir, 206 s.

- Damtoft, J. S., Lukasik, J., Herfort, D., Sorrentino, D. and Gartner, E. M., 2008. "Sustainable Development and Climate Change Initiatives." *Cement and Concrete Research* 38(2):115–27.
- Habert, G., D'Espinoze De Lacaillerie, J. B. and Roussel, N., 2011. "An Environmental Evaluation of Geopolymer Based Concrete Production: Reviewing Current Research Trends." *Journal of Cleaner Production* 19(11):1229–38.
- İlkentapar, S., 2013. Kimyasal Katkı İçeren Alkali İle Aktive Edilmiş Cüruf Harçlarının Farklı Kür Koşulları Altındaki Özellikleri. s.l.:Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 68 s.
- Juenger, M. C. G., F. Winnefeld, F., Provis, J. L. and Ideker, J. H., 2011. "Advances in Alternative Cementitious Binders." *Cement and Concrete Research* 41(12):1232–43.
- Kaya, M., 2022. "The Effect of Micro-SiO<sub>2</sub> and Micro-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Additive on the Strength Properties of Ceramic Powder-Based Geopolymer Pastes." *Journal of Material Cycles and Waste Management* 24(1):333–50.
- Kaya, M., Köksal, F., Gencel, O., Muhammad J. M., and Syed M. S. K., 2022. "Influence of Micro Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and MgO on the Physical and Mechanical Properties of the Zeolite and Kaolin Based Geopolymer Mortar." *Journal of Building Engineering* 52(April):104443.
- Lokuge, W., Aaron W., Chamila G., David W. L., and Sujeeva S., 2018. "Design of Fly Ash Geopolymer Concrete Mix Proportions Using Multivariate Adaptive Regression Spline Model." *Construction and Building Materials* 166:472–81.
- Meyer, C. 2009. "The Greening of the Concrete Industry." *Cement and Concrete Composites* 31(8):601–5.
- Onat, O. B., 1998. Türkiye'de Üretilen Yüksek Fırın Cüruflarının Çimento Özelliklerine Etkisi. s.l.:İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Rashad, A. M., 2015. Influence of Different Additives on the Properties of Sodium Sulfate Activated Slag. *Construction and Building Materials*, Issue 79, pp. 379-389.
- TS EN 1008. 2003. Mixing Water for Concrete - Specifications for Sampling, Testing and Assessing the Suitability of Water, Including Water Recovered from Processes in the Concrete Industry, as Mixing Water for Concrete. Turkish Standardization Institute.
- TS EN 196-1. 2016. Methods of Testing Cement - Part 1: Determination of Strength. Ankara: Turkish Standardization Institute.
- TS EN 196-7. 2010. Çimento Deney Yöntemleri - Bölüm 7: Çimentodan Numune Alma ve Numune Hazırlama Yöntemleri. Ankara: TSE.
- Zhou, W., Chunjie Y., Ping D., Yi L., Zuhua Z., Xiumei Q., and Dan L. 2016. "A Comparative Study of High- and Low-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Fly Ash Based-Geopolymers: The Role of Mix Proportion Factors and Curing Temperature." *Materials and Design* 95:63–74.