

Mineral Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Porozite ve Basınç Dayanımlarına Yüksek Sıcaklığın Etkisi

Effect of High Temperature on Porosity and Compressive Strength of Mineral Additive Used Self-Compacting Concretes

Turgut KAYA¹ , Cenk KARAKURT² , Mahmut DUMANGÖZ³

Özet-Bu çalışmada, mineral katkılı kendiliğinden yerleşen betonların fiziksel ve mekanik özelliklerine yüksek sıcaklığın etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, birireferans numunesi olmak üzere mermer tozu ve yüksek fırın cürufu%10, %20 ve %30 oranlarında ince agrega ile ağırlıkça ikame edilerek 7 farklı beton serisi üretilmiştir. Üretilen beton numuneleri 365 günlük kür süresinin sonunda 1 saat süreyle 400°C ve 800°C’de yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmıştır. Yüksek sıcaklık etkisi sonrası numuneler üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler yapılarak beton özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan mineral katkılı kendiliğinden yerleşen betonların yoğun yapısı ve boşluk oranının düşük olması nedeniyle yüksek sıcaklık altındaki dayanım kayıp oranları ve gözeneklilik artış oranları normal dayanımlı betonlara göre daha yüksek olmuştur.

Anahtar kelimele: Kendiliğinden yerleşen beton; Mineral katkılar; Porozite; Yüksek sıcaklık

Abstract- In this study, it is investigated that the effect of high temperature on physical and mechanical properties of mineral additive used self-compacting concretes. For this purpose self-compacting concrete specimens were produced with marble dust and ground granulated blast furnace slag at 10%, 20% and 30% replacement ratios by weight against fine aggregate. At the end of the 365 days curing process the concrete specimens were subjected to high temperature effect at 400°C and 800°C for 1 hour. After high temperature effect the physical and mechanical tests were carried out in order to determine the variation of the concrete properties. In a series of all concrete, previous and post-high temperature of porosity-pressure values are compared and so the loss of strength and porosity values was recorded. As a result, mineral reinforced concrete that is high density and the low of the rate of porosity dense structure and in that the percentage loss of strength under high temperature and increased porosity rates are higher than normal strength concrete. According to test results the strength loss and porosity increase ratios were higher than traditional concrete due to the dense and reduced pore structure of the concrete.

Keywords:Self-compactingconcrete; Mineral additives; Porosity; High temperature,

I.GİRİŞ

Beton; çimento, agrega vesuyun uygun oranlarda karıştırılmasıyla imal edilen, başlangıçta plastik kıvamda olup sertleştikten sonra dayanım kazanan önemli taşıyıcı bir yapı malzemesidir. Betondan beklenen özellikler arasında işlenebilirlik, dayanım ve dayanıklılık önemli bir yere sahiptirler.Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), kimyasal katkı kullanılarak yüksek akıcı kıvamda üretilen özel bir betondur [1]. Betonun yapısına zarar veren önemli kalıcılık sorunları arasında donma çözünme, yüksek sıcaklık, aşınma vb. etkiler bulunmaktadır[2]. Beton servis ömrü boyunca fiziksel, kimyasal ve mekanik etkilerle hasara uğrayabilmektedir. Bu çevresel etkiler betonun performansının zamanla azalmasına, işlevini ve dayanıklılığını yitirmesine yol açabilmektedir. Betonun yüksek sıcaklığa maruz kalması bu fiziksel etkilerden birisidir[3]. Beton üretiminde klasik malzemeler dışında betonun dayanımı ve dayanıklılığını iyileştirmede kullanılan kimyasal ve mineral katkıların kullanımı ile yüksek performanslı ve yüksek dayanımlı betonların kullanımları yaygınlaşmaktadır. Yüksek dayanımlı betonların yoğun yapısı ve boşluk oranının düşük olmasıyla

¹turgut.kaya@bilecik.edu.tr

²cenk.karakurt@bilecik.edu.tr

^{1,2,3}Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 11210 Gülümbe, BİLECİK

sıcaklık altındaki performansları normal dayanımlı betonlardan daha düşüktür[4]. Mermerlerin işlenmesi sırasında atık malzeme olarak mermer tozu ortaya çıkmaktadır. Mineral katkı ikamesi olarak betonda kullanılan malzemelerden biriside mermer tozudur. Mermer tozlarının farklı endüstri alanlarında değerlendirilmesive çevre kirliliğinin azaltılması için yararlı olacaktır[5].Demir - çelik fabrikalarının üretim atığı olarak açığa çıkan yüksek fırın cürufu (YFC) üretim sırasında yüksek sıcaklığa sahip bir malzeme olarak çıkmaktadır. YFC'nin hızlı bir şekilde soğutulmasıyla puzolanik özellik gösteren, beton üretiminde ince malzeme veya öğütülmüş halde çimento imalatında ve betonlarda katkı malzemesi olarak değerlendirilmektedir. Betonda YFC kullanımı betonun dayanıklılığını artırmaktadır[6]. Betonda katkı amaçlı kullanılan çok ince taneli cüruf, betonun işlenebilmesini olumlu yönde artırmaktadır[7]. Yüksek fırın cürufu katkılı betonların yüksek sıcaklık altında diğer puzolan katkılı betonlara göre daha iyi performans göstermektedir. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu katkılı ve katkısız çimento ile üretilen çimento pastalarından cüruf katkılı çimento pastasının katkısız göre ağırlık kaybında azalma, yüksek sıcaklık etkisi altında mekanik özellikler bakımından da katkısız oranla daha iyi performans göstermişlerdir[8,9].

II. MALZEME VE YÖNTEM

A. Malzeme

Deneyisel çalışmada kullanılmak üzere Bilecik Sançim A.Ş. Çimento fabrikasından temin edilen ve TS EN 197-1'de CEM I 42.5 R olarak tanımlanan çimento kullanılmıştır[10]. Mineral katkı olarak,Bolu Çimento San. A.Ş. 'den temin edilen yüksek fırın cürufu(YFC) ve mermer atölyelerinin kesim ve işleme atığı olan mermer tozu(MT) kurutulup elenerek 0,125 mm elek altı malzeme mineral katkı olarak kullanılmıştır. Kullanılan çimento ve mineral katkılara ait fiziksel-kimyasal özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

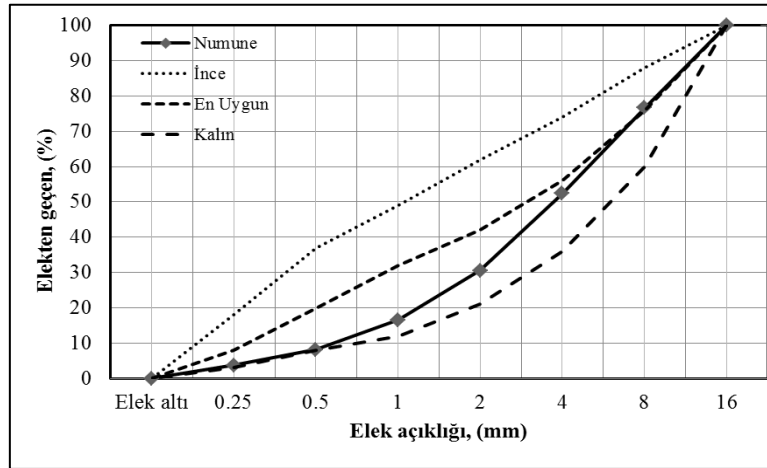
Tablo 1. Kullanılan Çimentonun fiziksel-kimyasal ve mekanik özellikleri.

Fiziksel Özellik		Kimyasal Bileşimler			
		Bileşenler (%)	Çimento	YFC	MT
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3.06	SiO ₂	19.96	32.92	4.68
Özgül Yüzey (cm ² /g)	3641	Al ₂ O ₃	5.03	11.76	-
0,090 mm Elek Kalıntısı (%)	0.1	Fe ₂ O ₃	2.88	1.46	0.03
0,045 mm Elek Kalıntısı (%)	4	CaO	63.6	39.6	51.8
Standart Kıvam Su Miktarı (%)	29.6	MgO	1.17	4.18	0.4
Priz Başlama Süresi (Dk)	190	K ₂ O	0.8	0.94	-
Priz Sona Erme Süresi (Dk)	260	Na ₂ O	0.27	0.52	-
Genleşme (Le Chatelier) (mm)	1	SO ₃	2.79	2.08	-
Mekanik özellik		Cl	0.005	0.02	-
Basınç Dayanımı N/mm ²		TiO ₂	-	0.63	-
2 Gün	21.6	A.Z	-	-	41.16
7 Gün	42.7	Kızdırma Kaybı	3.02	2.22	-
28 Gün	61.5				

Agrega olarak, 0-5mm ince agreg, 5-12mm ve 12-22mm iri agregalar kullanılmıştır. Karışımlarda Bilecik şehir şebeke suyu ve kıvam düzenleyici Glenium C 303 süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Kullanılan agreganın granülometrisi Şekil 1'de ve kıvam düzenleyici kimyasal katkının teknik özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Glenium C 303 süper akışkanlaştırıcıya ait teknik özellikler.

Malzemenin Yapısı	Polikarboksilik Eter Esaslı
Renk	Açık Yeşil
Yoğunluk	1,023 - 1,063 kg/litre
Klor İçeriği % (EN 480-10)	< 0,1
Alkali İçeriği % (EN 480-12)	< 3



Şekil 1. Agrega granülometri eğrisi.

B. Yöntem

Bu çalışmada yüksek sıcaklığın 365 günlük mineral katkı KYB’de porozite ve basınç dayanımlarına etkileri incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla biri kontrol numunesi olmak üzere mermer tozu ve yüksek fırın cürufu %10, %20 ve %30 oranlarında ince agrega ile ikame edilmiştir. İşlenebilirliğin sağlanmasında GleniumC 303 süper akışkanlaştırıcı(SA) kullanılarak KYB numuneleri üretilmiştir. Betonların üretilmesinde 40 dm³ kapasiteli beton mikseri kullanılmıştır. Betonların hazırlanmasında kullanılan malzemeler ve karışım oranları Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. 1m³ beton için yaklaşık karışım miktarları

Karışımlar	Çimento (kg)	Su (kg)	Agregalar (kg)			(MT-YFC) (kg)	(SA) (kg)
			0-5	5-12	12-22		
Referans	386	220	509	692	532	-	-
MT %10	380	200	888	850	-	61	7
MT %20	380	200	826	850	-	123	7
MT %30	380	200	770	850	-	180	7
YFC %10	380	200	888	850	-	61	7
YFC %20	380	200	826	850	-	123	7
YFC %30	380	200	770	850	-	180	7

Karışım oranlarına uygun olarak Referans(R), %10-20-30 MT ve YFC katkı betonlar hazırlanıp her seriden 3 adet 70x70x70mm’lik kalıplara yerleştirilen KYB, 24 saat sonra kalıplardan alınıp kirece doygun 22±1 °C deki kür havuzuna yerleştirilmiştir. Kür havuzunda 28 gün bekletilen numuneler daha sonra havuzdan alınıp laboratuvar ortamında 365 gün tamamlanmaya kadar bekletilmiştir. Kür süresi tamamlanan numuneler üzerinde yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası fiziksel ve mekanik özellik deneyleri yapılmıştır.

1) Porozite

Yüksek sıcaklık öncesi 1 yılını laboratuvar ortamında tamamlayan numunelerin porozite değerleri (1) nolu ifade kullanılarak hesaplanmıştır [11]. Formülde; P= Porozite (%), W_{dyk}= Numunenin kuru yüzey doygun ağırlığı, (kg), W_{kuru}= Kuru ağırlığı, W_{su}= Su altındaki ağırlığıdır. Numunelerin su altındaki ağırlıklarının bulunmasında Şekil 2-a ‘da gösterilen özgül ağırlık deney aleti kullanılmıştır.

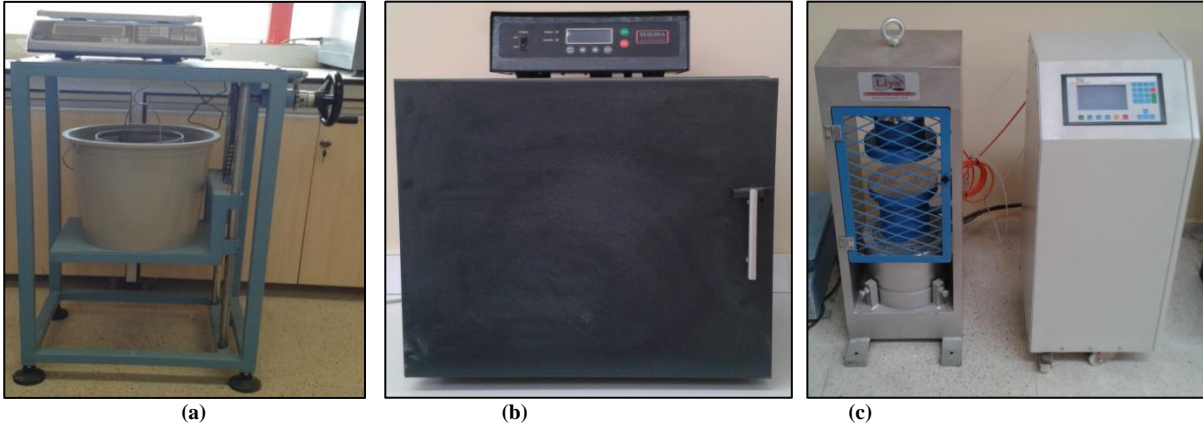
$$P = \frac{W_{dyk} - W_{kuru}}{W_{dyk} - W_{su}} \times 100 \quad (1)$$

2) Yüksek Sıcaklık Etkisi

Yüksek sıcaklık testleri için numuneler 1000°C kapasiteli Magma Therm markalı fırınında 10°C/dk kademeli olarak artan sıcaklıkta 1 saat süreyle 400 ve 800°C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Numuneler istenilen süre ve sıcaklıktan sonra ortam sıcaklığına gelinceye kadar laboratuvar ortamında soğumaya bırakılmıştır. Yüksek sıcaklık testi için kullanılan fırın Şekil 2-b 'de gösterilmiştir.

3) Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı deneyi her sıcaklık için 3 adet 70x70x70mm ölçülerindeki küp numuneler üzerinde TS EN 12390-3'e göre yapılmıştır [12]. 365 günlük yaşa ulaşan numuneler yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası,600 kNyükleme kapasitesine sahip, otomatik kontrollü basınç presinde 2,4 kN/sn yükleme hızında kırılarak basınç dayanımları kaydedilmiştir. Deneyde kullanılan basınç cihazı Şekil 2-c'de gösterilmiştir.



Şekil 2.(a) Özgül ağırlık deney sehpası, (b) Yüksek sıcaklık fırını, (c) Basınç deney cihazı

III.BULGULAR VE TARTIŞMA

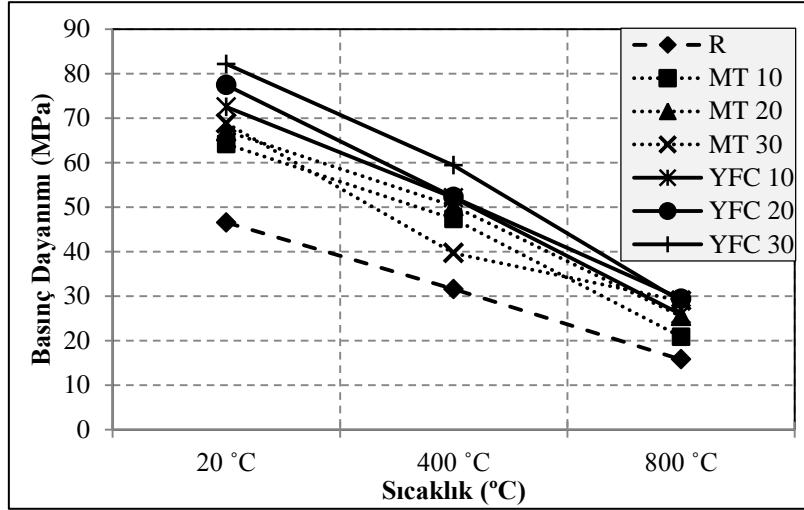
A. Basınç Dayanımı

Hazırlanan 7 seri betonun 365 günlük yaşa ulaşmasının ardından farklı sıcaklıklara maruz kalan serilerin 20 °C'de elde edilen basınç dayanımları ile karşılaştırılmış ve basınçlardaki dayanım kayıpları Tablo 4'te, beton tipinin farklı sıcaklıklardaki dayanım değişimleri ise Şekil 3'te verilmiştir.

Tablo 4. Beton serilerinin farklı sıcaklıklardaki basınç değerleri.

Beton Tipi	t (°C)	Basınç Dayanımı (MPa)	Dayanım Kaybı (%)	Beton Tipi	t (°C)	Basınç Dayanımı (MPa)	Dayanım Kaybı (%)
R	20	46.52	-	R	20	46.52	-
	400	31.57	32.14		400	31.57	32.14
	800	15.77	66.10		800	15.77	66.10
MT %10	20	64.16	-	YFC %10	20	72.50	-
	400	47.33	26.23		400	52.07	28.18
	800	20.86	67.49		800	25.93	64.23
MT %20	20	67.04	-	YFC %20	20	77.45	-
	400	50.19	25.13		400	52.27	32.51
	800	25.50	61.96		800	29.40	62.04
MT %30	20	68.84	-	YFC %30	20	82.17	-
	400	39.65	42.40		400	59.37	27.75
	800	28.95	57.95		800	28.88	64.85

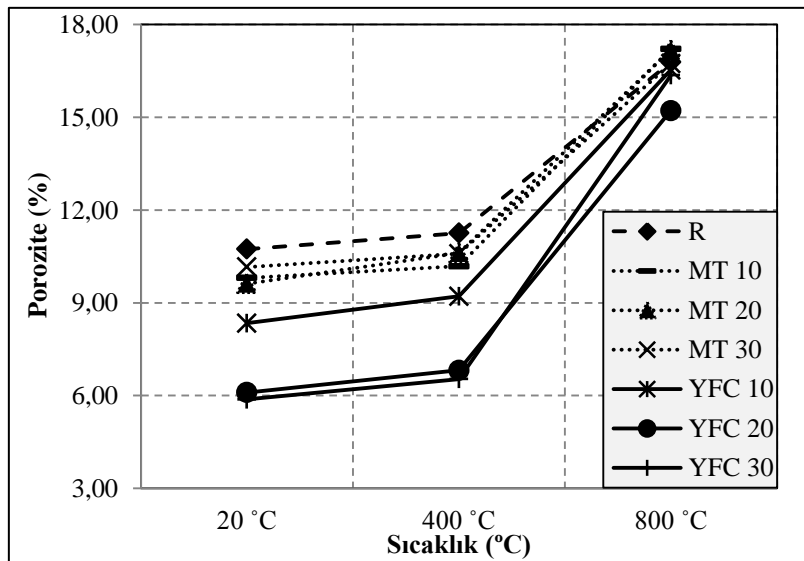
Tablo 4 ve Şekil 3 incelendiğinde sıcaklık artışı ile tüm serilerin basınç dayanımlarında azalmalar meydana gelmiştir. 400°C'ye maruz kalan betonlarda %25.13 - %42.40 oranları arasında dayanımlarda azalmalar olmuştur. 800°C 'de basınç dayanımlarındaki kayıplar %57.95 - %64.85 oranları arasında meydana gelmiştir. Bu sıcaklıktaki en yüksek dayanım kaybı YFC30 beton serisinden elde edilmiştir. En yüksek dayanımlar 20°C'de MT30 ve YFC30 serilerinden elde edilmiştir. Ancak en yüksek dayanım kayıpları, 400°C ve 800°C sıcaklık değerlerinde sırasıyla MT30 ve YFC30 serilerinde ortaya çıkmıştır. Yüksek dayanımlı betonların yoğun yapısı ve boşluk oranının düşük olmasıyla sıcaklık altındaki performansları normal dayanımlı betonlardan daha düşüktür[4]. Farklı sıcaklıklar altında, mineral katkılı, yüksek dayanımlı betonların mekanik davranışlarının incelendiği çalışmada betonun 700 °C'de dayanım kaybının %55'e ulaştığı sonucuna varmışlardır[13].



Şekil 3. Farklı sıcaklıklara maruz bırakılan betonların basınç dayanımı değişimleri

B. Porozite Tayini

Beton serilerinin farklı sıcaklıklar altındaki porozite değişimleri Şekil 4'te verilmiştir. 400°C'de porozite değerlerinde çok az bir miktar artış meydana gelmiş ancak 800°C'ye maruz kalan betonlarda porozitede belirgin bir artış görülmüştür. Sıcaklık artışı ile porozite değerlerinde artışlar meydana gelmiş ve bu artışlar nispetinde beton dayanımlarında kayıplar olmuştur[14].



Şekil 4. Beton serilerinin porozite - sıcaklık değişimleri

IV. SONUÇLAR

Mineral katkılı kendiliğinden yerleşen betonların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine yüksek sıcaklık etkisinin araştırıldığı bu çalışmada aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır.

- KYB serilerinde 400°C den sonra çimento hamurunda ve çimento hamuru-agrega ara yüzünde oluşan mikro çatlaklar ile artan iç buhar basıncının dışarıya kolayca atılamaması porozite değerlerinde ve beton dayanımlarında kayıpların artması ile kendini göstermiştir.
- Mineral katkılı betonlarda 20°C deki basınç dayanımı en yüksek beton serisi YFC %30 ve MT %30 serilerinden elde edilmiştir. 400°C deki sıcaklıkta en yüksek basınç kaybı MT %30 beton serisinden, 800°C deki sıcaklıkta en yüksek basınç kaybı ise YFC %30 serisinden elde edilmiştir. Bu durum mineral katkılı betonların yoğun yapısı ve boşluk oranının düşük olması nedeniyle yüksek sıcaklık altındaki dayanım kayıp yüzdelerinin, normal dayanımlı betonlardan daha yüksek olduğunu göstermiştir.
- Yüksek sıcaklık etkisinde KYB numunelerinde oluşan dayanım kayıpları dikkate alındığında MT ve YFC kullanım oranlarının sırasıyla %20 ve %30 olmasının en uygun sonuçları verdiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Topçu, İ.B., Bilir, T., Baylavlı, H., “Kendiliğinden Yerleşen Betonun Özellikleri”, *Eskişehir Osmangazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, C.XXI, s.1, 2008.
- [2] Baradan, B., Yazıcı, B., “Betonarme Yapılarda Durabilite ve TS EN 206-1 Standardının Getirdiği Yenilikler” *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı 4/ 426, 2003.
- [3] Şahmaran, M., Li V.C., “Durability Properties of Micro-Cracked ECC Containing High Volumes Fly Ash”, *Cement and Concrete Research*, vol. 39, pp. 1033-1043, 2009.
- [4] Schrefler, B.A., Gawin, D., Khoury, G.A., Majorana, C.E., “Physical, Mathematical & Numerical Modeling”, *International Centre for Mechanical Sciences*, Course on Effect of Heat on Concrete, Udine/Italy, 2003.
- [5] Terzi, S., Kardeşin M., “Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonu Karışımında Filler Malzemesi Olarak Kullanımı”, *İMO Teknik Dergi*, vol. 193, pp. 2903-2922, 2003.
- [6] Topçu, İ.B., Canbaz, M., “Alkali Aktive Edilmiş Yüksek Fırın Cürüflü Harçlarda Donma Çözülme”, *Eskişehir Osmangazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, vol. XXI, S.2, 2008.
- [7] Erdoğan, T.Y., “Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu ve Kullanımı”, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Bildiriler Kitabı, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu*, 1995, s.1-13,
- [8] Tang, W.C., Lo, T.Y., “Mechanical and Fracture Properties Normal and High-Strength Concretes with Fly Ash after Exposure to High Temperatures”, *Magazine of Concrete Research*, No.61, pp. 323-330, 2009.
- [9] Mendes, A., Sanjayan, J., Collins F., “Phase Transformations and Mechanical Strength of OPC/Slag Pastes Submitted to High Temperatures”, *Materials and Structures*, No. 41, pp. 345-350, 2008.
- [10] TS EN 197-1, *Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
- [11] Türkmen, İ., “Influence of different curing conditions on the physical and mechanical properties of concretes with admixtures of silica fume and blast furnace slag”, *Materials Letters*, vol. 57, pp.4560-4569, 2003.
- [12] TS EN 12390-3, *Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2010.
- [13] Kim, G.Y., Kim, Y.S., Lee, T.G., “Mechanical Properties of High-Strength Concrete Subjected to Elevated Temperature by Stressed Test” *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, No. 19, pp.128-133, 2009.
- [14] Demirel, B., Gönen, T., “Yüksek Sıcaklığın Karbon Lif Takviyeli Hafif Betonda Basınç Dayanımı ve Poroziteye Etkisi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol.14, 2, s. 223-228, 2008.