





Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Yüksek Fırın Cürufu, Bazalt ve Üleksit Katkılı Beton Örneklerin Yüksek Sıcaklık Etkisi Altında Özelliklerinin İncelenmesi

 Mustafa EKEN ^{a,*},  Ela GÖRÜR ^b

^a İnşaat Teknolojisi Bölümü, Elbistan Meslek Yüksekokulu, İstiklal Üniversitesi, K.maraş/Elbistan, TÜRKİYE

^b İnşaat Teknolojisi Bölümü, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Sütçü İmam Üniversitesi, K.maraş, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: mustafaeken.me@gmail.com.tr

DOI: 10.29130/dubited.824747

ÖZET

Yapı elemanları için en önemli durabilite özelliklerinden birisi de yüksek sıcaklık etkisine maruz kaldıktan sonra göstermiş oldukları dayanımdır. Bu çalışmada, öğütülmüş yüksek fırın cürufu (İÖYFC), bazalt (BZ) ve üleksit (U) katkılarıyla üretilen beton örneklerin yüksek sıcaklık etkisi altındaki özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla, TS 802 standardında belirtilen şartlara uygun beton karışımında ince agreganın yerine kütlece yüksek fırın cürufu %10-20, bazalt %10-20 ve üleksit %1-2 oranlarında eklenmiştir. Yüksek fırın cürufu, bazalt ve üleksit katkılı 7 ve 28 günlük örnekler bir saat 600 ve 800 °C sıcaklık etkisinde bırakılarak havada ve suda olmak üzere iki farklı soğutma rejimine tabi tutulmuştur. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan örnekler basınç dayanımı ve ultrasonik dalga hızı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca örnekler üzerinde 7 ve 28 günlük basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı ve aşınma deneyleri yapılmıştır. 600 °C yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan numunelerin havada soğutma sonrası basınç dayanım değerleri referans numunesine göre %40-%20-%8 oranlarında ve suda soğutma sonrası basınç dayanım değerleri referans numunesine göre %60-%55-%42 oranlarında İÖYFC10, İÖYFC20 ve U1 katkısının yüksek sıcaklık etkisine karşı dayanım değerlerini arttırdığı göstermektedir. Bu değerlendirme ile yüksek fırın cürufu ve üleksit katkısının ince agregası olarak beton karışımında yüksek sıcaklık etkilerine karşı dayanıklı beton üretiminde kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Bazalt, Yüksek fırın cürufu, Durabilite, Yüksek sıcaklık

Investigation of Properties of Blast Furnace Slag, Basalt and Ulexite Added Concrete Samples Under The Influence of High Temperature

ABSTRACT

One of the most important durability properties for structural elements is the strength they show after being exposed to high temperature effects. In this study, the properties of concrete samples produced with ground blast furnace slag (İÖYFC), basalt (BZ) and ulexite (U) additives under high temperature effect were investigated. For this purpose, 10-20% blast furnace slag, basalt 10-20% and ulexite 1-2% were added by mass instead of fine aggregate in the concrete mixture in accordance with the requirements specified in the TS 802 standard. 7 and 28 days old samples with blast furnace slag, basalt and ulexite were exposed to 600 and 800 °C temperature for one hour and subjected to two different cooling regimes, air and water. Compressive strength and ultrasonic wave velocity tests were performed on samples exposed to high temperatures. In addition, 7 and 28 days compressive strength, ultrasound velocity and abrasion tests were performed on the samples. The compressive strength values after air cooling of the samples exposed to 600 °C high temperature effect are 40% -20% -8% compared to the reference sample and the compressive strength values after cooling in water are 60% -55% -42% compared to the reference sample for GBFS10, GBFS20 and It shows that the U1 contribution increases the resistance values against the high temperature effect. With this evaluation, it has shown that blast furnace slag and ulexite admixture can be used as fine aggregate in the concrete mixture in the production of concrete resistant to high temperature effects.

Keywords: Basalt, Ground Blast Furnace Slag, Boron Wastes, Durability, High temperature

I. GİRİŞ

Beton, birçok alt ve üst yapı teknolojilerinde yaygın kullanım alanına sahip dayanım, dayanıklılık ve ekonomi gibi birçok mühendislik özelliğini karşılayan dünyada en çok kullanılan yapı malzemesidir [1]-[3]. Yapıların işlevlerini öngörülen servis ömrü boyunca yerine getirilmesine durabilite ve kalıcılık olarak tanımlanmaktadır [4]. Beton sahip olduğu işlevsellik özelliğinden dolayı hizmet süresi boyunca dayanıklılığını etkileyecek birçok fiziksel, kimyasal ve çevresel etkilere maruz kalabilmektedir [5]. Betonun maruz kaldığı durabilite problemleri arasında yüksek sıcaklık etkisi en önemli parametrelerinden birisi olarak kabul edilmektedir. Betonun özellikle yüksek sıcaklıklarda göstermiş olduğu direnç ve betonun alev almayan, duman çıkarmayan malzeme özelliğine sahip olması betonu diğer yapı malzemelerden (çelik, ahşap, plastik,seramik) ayıran diğer bir özelliğidir. Fakat bu özelliğinin belirli sıcaklıklarla sınırlı olduğu unutulmamalıdır [6]. Durabiliteyi etkileyen fiziksel ve kimyasal olaylardan bir diğeri de betonun aşınmaya karşı göstermiş olduğu dirençtir. Beton karışımının içerisine farklı malzemelerin eklenmesiyle betonun aşınmaya karşı göstermiş olduğu direnç artırılarak betonun performansı geliştirilebilmektedir [5].

Beton hacminin %75'lik kısmını oluşturan agregaların mineral yapısı betonun mekanik özelliklerini etkilemektedir. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan örneklerin soğutma türüne göre basınç dayanım değerlerinde değişiklikler meydana gelmektedir. Havada soğutulan örneklerin basınç dayanım değerlerinde meydana gelen azalma suda soğutmaya tabi tutulan örneklere oranla daha azdır [7]-[10]. Shoaib vd., [11] yaptıkları çalışmada iki farklı cüruf kullanılarak üç farklı su/çimento oranlarıyla üretilen numuneler 2 saat süreyle 600 °C sıcaklığa maruz bırakılmışlar ve numuneleri havada, suda ve fırında soğutmuşlardır. Araştırmacılar soğutma türüne bağlı olarak basınç dayanımlarında farklılıklar belirlemişlerdir. Havada soğutulan numunelerin basınç dayanım değerinde meydana gelen azalmanın suda ve fırında soğutulmaya bırakılan numunelerden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu basınç dayanım değerlerinde meydana gelen farklılığın CaO'in CaCO₃'a dönüşmesiyle açıklanmıştır. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan betonlarda agregalar ile çimento matrisi arasında bulunan bağ zayıflayarak çatlamlara neden olmaktadır [12]. Meydana gelen çatlakların oluşumunu engellemek ve azaltmak için farklı yöntemler kullanılmaktadır [13]-[14]. Betonun servis ömrü boyunca iç ve dış etkilere karşı direncini yüksek tutması betonda dayanıklılık ya da kalıcılık olarak adlandırılmaktadır. Bu yüzden betondan mekanik etkilere karşı göstermiş olduğu dayanım dışında fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkilere karşı da direnç göstermesi beklenmektedir. Bu direnci artırabilmek için beton üretiminde farklı tipte katkı maddeleri kullanılmaktadır. Ayrıca, gelişmeye açık ya da gelişmiş ülkelerde enerji tüketimi kaynak kullanımı ile birlikte artmakta ve sonucunda atık ürünler ortaya çıkmaktadır. Böylece, çevre kirliliği sorunları ve ekolojik dengede bozukluklar meydana gelmektedir. Bu olumsuzluğu minimize etme amacıyla özellikle son yıllarda, yapı malzemelerin üretiminde atık malzemelerin kullanımı yaygın hale getirilmeye çalışılmaktadır. Yurt ve arkadaşları (2018) yüksek fırın cürufu, silis dumanı ve uçucu kül katkılı kendiliğinden yerleşen betonların düşük sıcaklıklarda farklı kür koşullarına maruz bırakılması sonucu ultrases geçiş hızı ve rezonans frekansı gibi tahribatsız deney yöntemleri ile meydana gelebilecek değişimleri incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda, yüksek fırın cürufu, silis dumanı ve uçucu kül katkılı beton örneklerinin düşük sıcaklıklarda maruz kalma sürelerinin artması ile dinamik elastisite modülü ve ultrases geçiş hız değerlerinin azaldığını belirtmişlerdir [15]. Yüksel ve arkadaşları (2007) granüle yüksek fırın cürufunu ince agrega yerine ikame ederek ürettikleri beton örneklerinin mekanik özelliklerini iyileştirdiklerini belirtmişlerdir [16]. Çam ve arkadaşları (2019) granüle yüksek fırın cürufunun beton numuneleri üretiminde agregadan ikame edilerek kullanılabileceğini belirtmişlerdir [17].

Betonun direncinin artırılması konusunda farklı katkı maddelerinin kullanılması önerilmektedir. Bu maddelerden birisi de bor madenidir. Dünyada bor madenleri endüstrinin çeşitli dallarında kullanılarak farklı malzemelerin üretiminde değerlendirilmektedir. Türkiye Dünya bor rezervinin % 72'lik oranına sahip olması ile önemli bir ekonomik avantaja sahiptir [18]-[19]. Bor elementi doğada Na(sodyum), Ca (kalsiyum) ve Mg (magnezyum) oksitlerine bağlı içerisinde kristal suyu bulunan ve bor tuzu adı verilen mineraller halinde bulunmaktadır. Bu minerallerden Üleksit, Kolemanit ve Tinkal Türkiye'de

çıkarılan ve ticari önem arz eden bor tuzlarıdır [20]. Bor içeren killi atıklar kullanılarak yapılan çalışmada; çimento üretimine ek katkı olarak kullanma oranının %5-%10 arasında faydalı olduğunu belirtmişlerdir [21].

Diğer bir katkı olarak kullanılan yüksek fırın cürufu, demir üretimi sırasında ortaya çıkan ve büyük miktarda aktif silis içeren atık üründür [22]. Öğütülmüş cüruf taze betonda işlenebilirliğe olumlu yönde katkı sağlarken betonda meydana gelebilecek terleme oranını düşürmektedir ve betonun dayanıklılığa ve dayanıma olumlu katkıları bulunmaktadır [23]-[24]. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, puzolanların farklı karışım kombinasyonları deneyerek betonun mekanik ve kimyasal özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir [25]. Beycioğlu ve arkadaşları (2008) granüle yüksek fırın cürufu katkısının taze betonda işlenebilmeyi olumlu yönde etkilediği, durabilite problemlerine karşı dayanımı arttırdığı ve betonun teknolojik özelliklerini iyileştirdiğini ifade etmişlerdir [26]. Kürklü (2016) yaptığı çalışmada, granüle yüksek fırın cürufunun geopolimer harç üretiminde ve agregadan ikame edilerek kullanılabilirliğini araştırmıştır. Araştırmada numuneler üzerinde bazı mekanik ve fiziksel deneyler gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak granüle yüksek fırın cürufunun agrega ve geopolimer harç üretiminde kullanılabilirliğini ortaya koymuştur [27].

Doğada yaygın halde bulunan esas olarak feldspattan oluşan doğal taşlar sınıflandırmasında yer alan volkanik kayalardan birisi olan bazalt [28] sahip olduğu yüksek fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı endüstrinin birçok farklı alanlarında kullanılmaktadır [29]. Pek (2014) yaptığı çalışmada, bazalt agregasının betonda kullanımını araştırmak için işlenebilirlik, granülometri, beton basınç dayanımı, ve ASR deneyleri gerçekleştirmiştir. Araştırma sonuçları bazaltın deniz yapılarında üretilen betonlarda agrega olarak kullanılabilirliğini göstermiştir [30].

Beton sektöründe agrega temini deniz veya nehir gibi doğal kaynaklardan karşılanmaktadır. Özellikle çimento/beton üretimindeki artış miktarı dikkate alındığında ince agrega temininde bazı malzeme yetersizlikleri yaşanmaktadır [31]-[32]. Yapılan literatür taramasında, geleneksel betonda farklı atıklar çimentodan ikame edilerek kullanılmakta ve geleneksel betonun durabilitesini arttırdığı ifade edilmektedir. Bu çalışmada da, demir çelik fabrika yan ürünü olan granüle yüksek fırın cürufu (İÖYFC), bor atığı olan Üleksit (U) ve Bazalt (BZ) gibi farklı katkıları ince agregadan ikame edilerek 600 ve 800 °C yüksek sıcaklıklar etkisi altında iki farklı soğutma rejimine karşı gösterdikleri davranışları ve aşınma, basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı deneyleri yapılarak özellikleri incelenmiştir. Aynı zamanda kullanılan yan ürünlerin optimum ikame oranları belirlenmiştir.

II. MATERYAL ve YÖNTEM

A. MALZEMELER

Bu çalışma kapsamında, kullanılan çimento CEM I 42.5 tipi, farklı oranlarda katkı malzemesi olarak Üleksit (U), Yüksek fırın cürufu (İÖYFC) ve Bazalt (BZ) kullanılmış ve bu katkı malzemelerinin betonun durabilitesine olan etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan üleksit ETİ Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'nden, yüksek fırın cürufu İskenderun Demir Çelik Fabrikası'ndan temin edilmiş; bazalt ise Osmaniye-Çukurova bölgesinden elde edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan CEM I 42.5 çimento, yüksek fırın cürufu, bazalt ve üleksitin fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla alınan örnekler üzerinde ETİ Maden Şirketine ait laboratuvarında deneyler ve analizler yapılmış elde edilen sonuçlar Tablo 1 ve 2'de verilmiştir.

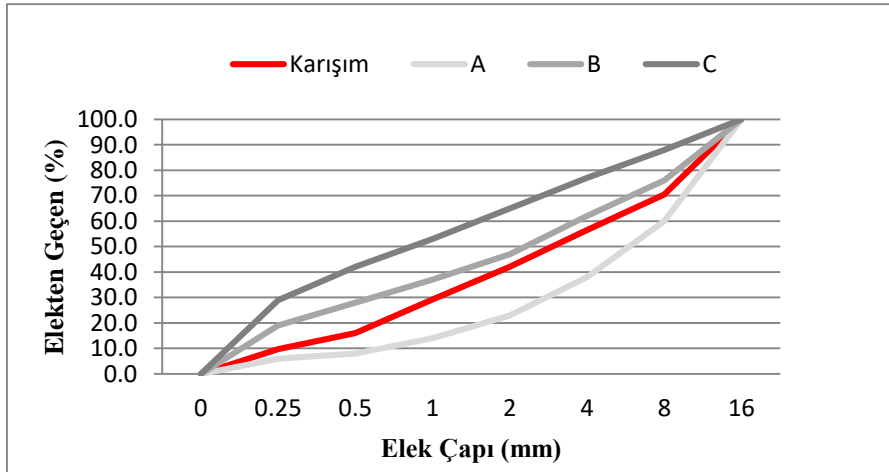
Tablo 1. CEM I çimento, yüksek fırın cürufu, bazalt ve üleksitin fiziksel özellikleri

	BZ	U	İÖYFC	CEM I 42.5
Özgül Ağırlık g/cm ³	2.7	2.52	2.87	3.16
Boyut	0-1 mm	0-1 mm	0-1 mm	3783 cm ² /g

Tablo 2. Üleksit, yüksek fırın cürufu ve bazaltın kimyasal özellikleri

Bileşenler (%)	BZ	İÖYFC	U	CEM I 42,5
SiO ₂	42.41	37.89	4	20,02
Al ₂ O ₃	14.35	10.29	0.25	4,87
Fe ₂ O ₃	11.95	0.95	0.04	3,44
CaO	10.46	35.86	19	62,49
MgO	7.92	7.38	2.5	2,81
Na ₂ O+K ₂ O	6.57	1.5	3.5	0,91
B ₂ O ₃	-	-	37	-
SO ₄	-	-	0.25	-
SO ₃	-	-	-	2,86
Serbest CaO	-	-	-	0,48
SrO	-	-	1	-
Kızdırma Kaybı	3	0	32.46	2,04

Bu çalışmada kullanılan agregalar Kahramanmaraş – Aksu bölgesinden alınarak yıkanmış ve elenmiş hale geldikten sonra kullanılmıştır. Deneilerde kullanılan agregaların granülometrisi Şekil 1’de, fiziksel özellikleri ise Tablo 3’ te verilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan agreganın granülometrisi
Tablo 3. Agreganın fiziksel özellikleri

Özellik	İnce Agregası	İri Agregası
Özgül Ağırlık(g/cm ³)	2.65	2.70
Sıkışık Birim Ağırlık(g/cm ³)	1.90	1.79
Gevşek Birim Ağırlık(g/cm ³)	1.70	1.65
Su Emme Kapasitesi(%)	2.30	1.32

B. MALZEMELERİN KARIŞIM ORANLARI

B. 1. Beton Karışımları

Bu çalışma kapsamında üretilen beton örneklerinin karışım esasları TS 802 [33] dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu standarda uygun olarak yapılan beton karışımında ince agreganın yerine % 10 ve 20 oranında yüksek fırın cürufu (İÖYFC), % 10 ve 20 oranlarında bazalt (BZ) ve % 1 ve 2 oranlarında ise Üleksit (U) yer değiştirilmiştir. Örneklerin üretimine ait özellikler Tablo 4'te verilmiştir. Bu karışım oranları dikkate alınarak her seri için üçer adet 10x10x10 cm boyutlarında küp beton örnekleri elde edilmiştir.

Tablo 4. 1 m³ beton karışımı için malzeme oranları ve örneklerin isimleri

Örnek Adı	Beton Bileşenleri					Yaş Beton Özellikleri	
	Su (kg/m ³)	Çimento (kg/m ³)	Kum (kg/m ³)	Çakıl (kg/m ³)	Katkı (kg/m ³)	Slump (mm)	Beton Isısı (°C)
R	165	300	760	1165	0	82	20
U1	165	300	752.4	1165	7.6	80	19
U2	165	300	744.8	1165	15.2	84	19
BZ10	165	300	684	1165	76	70	20
BZ20	165	300	608	1165	152	62	20
İÖYFC10	165	300	684	1165	76	65	20
İÖYFC20	165	300	608	1165	152	67	20

B. 2. Uygulanan Testler

Üretilen numuneler üzerinde kür süresine bağlı basınç dayanımı, sıcaklık derecesinin basınç dayanımına etkisi, ultrases hızı ve beton yüzeylerin aşınma tayini deneyleri yapılmıştır. Elde edilen deneysel veriler "Bulgular ve Tartışma" başlığı altında verilmiştir.

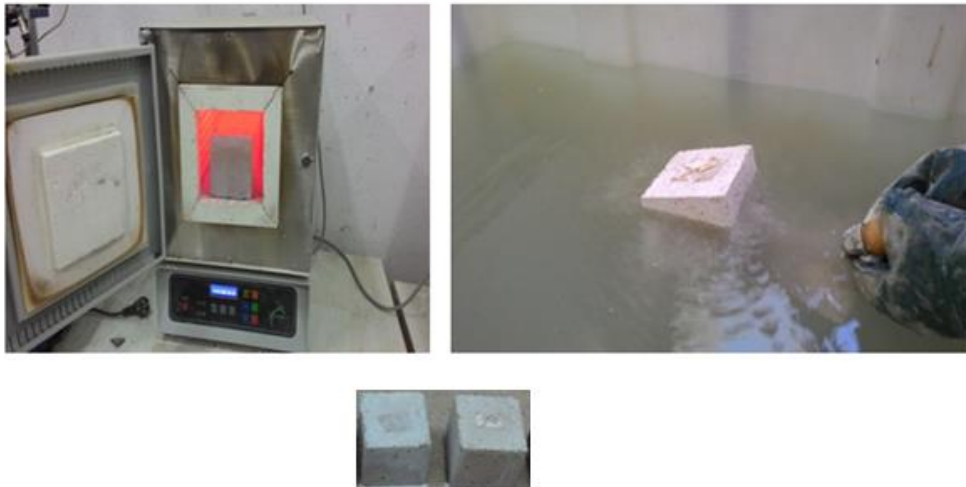
B. 2. 1. Basınç Dayanımı

Betonun mekanik özelliği genellikle basınç dayanımı ile değerlendirilmektedir. Farklı katkılarla üretilen beton numunelerin basınç dayanım değerleri TS EN 12390-3 standardına göre hesaplanmıştır [34].

B. 2. 2. Beton Örneklerinin Yüksek Sıcaklık Dayanımı

Beton sahip olduğu yanmazlık özelliği ve ısı iletiminde iyi olmaması nedeniyle çeliği yüksek sıcaklıklara karşı korur ve yapıların yüksek sıcaklıklara karşı dayanımını arttırmaktadır. Meydana gelen dayanım kayıpları, kullanılan yan ürün malzemelerin özelliklerine, optimum katkı oranı miktarına, sıcaklık derecesine, sıcaklığa maruz kalma süresine ve soğutma şekillerine bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir [35]. Sıcaklık değişimi arttıkça Ca(OH)_2 yapısında bozulmalar meydana gelmektedir. Literatür taramalarında Ariöz (2007), Aydın ve Baradan (2007) ve Topçu (2008) yaptıkları çalışmalarda 250-420°C'de beton yüzeyinde parça kopmaları, bozulmalar ve güç kayıpları, 550-600 °C'deki sıcaklıklarda yük taşıma kapasitesinde azalma, betonda hasarlar, 800°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda beton tam anlamıyla bileşenlerine ayrılarak güç ve ağırlık kaybına maruz kalmaktadır. Sıcaklığın artmasıyla betonda meydana gelen bozulmaları ve Luo (2007) sıcaklık artışının betonda meydana getirdiği değişimleri ifade etmektedirler [36-39].

Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi yapı malzemeleri laboratuvarında üretilen ve kalıpta 24 saat tutulan numuneler kür havuzunda bekletilmiştir. Başlangıç olarak ısı derecesi 250°C daha sonra eşit aralıklarla sıcaklık değerleri kül fırını içerisinde 600°C'de 800°C'de olmak üzere iki farklı sıcaklıkta bir saat bekletilmiş ve numuneler yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra hava ve suda olmak üzere iki farklı koşulda soğutulmuştur (Şekil 2). Yüksek sıcaklıklara maruz kalan numunelerin renk değişimi göstermektedir. Oda sıcaklığında ve kür şartlarında olmak üzere iki farklı ortamda (hava ve su), soğutma türü uygulanan örneklerinde basınç dayanımı deneyleri yapılmış ve örneklerin basınç dayanımları belirlenmiştir.



Şekil 2. Yüksek sıcaklık etkisi deney aşamaları

B. 2. 3. Ultrases Geçiş Hızı

Dalga hızının yayılım hızının boşluk oranı arttıkça azaldığı bilinmektedir. Bu özellik kullanılarak malzeme içerisindeki boşlukların varlığı hakkında bilgi elde etmek mümkündür. Ultrases geçiş hızı aşağıdaki bağlantı ile hesaplanmaktadır.

$$V = \left(\frac{S}{t}\right) * 10^6$$

(1)

Burada;

V=P dalga hızı (kilometre/saniye)

S=İki malzeme arasındaki mesafe (kilometre),

t=P dalganın ulaşma süresi (mikrosaniye).

B.2. 4. Beton Yüzey Aşınmalarının Tayini

Beton yüzeylerin aşınma tayini TS 2824'e [40] uygun olarak kenar uzunlukları 70.7x70.7x70.7 olan küp biçiminde 14 deney örneği hazırlanmış ve 16 çevrim sonunda örneklerin aşınma direnci aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho r}$$

(3)

Burada;

ΔV = 16 Çevrimden sonra hacim kaybı (cm³)

Δm = 16 Çevrimden sonra kütle azalması (gr)

ρ = Numunenin yoğunluğu, çok katlı numunede aşınmaya maruz tabakanın yoğunluğu (gr/cm³)

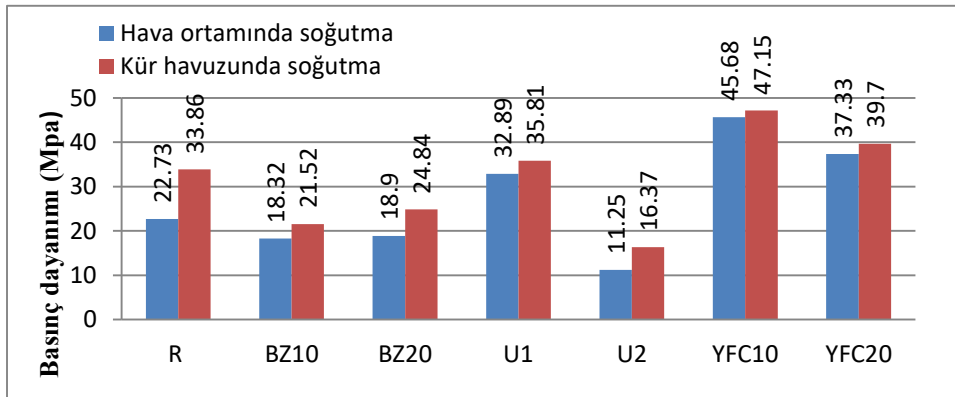
A= 50 cm² dir.

III. BULGULAR ve TARTIŞMALAR

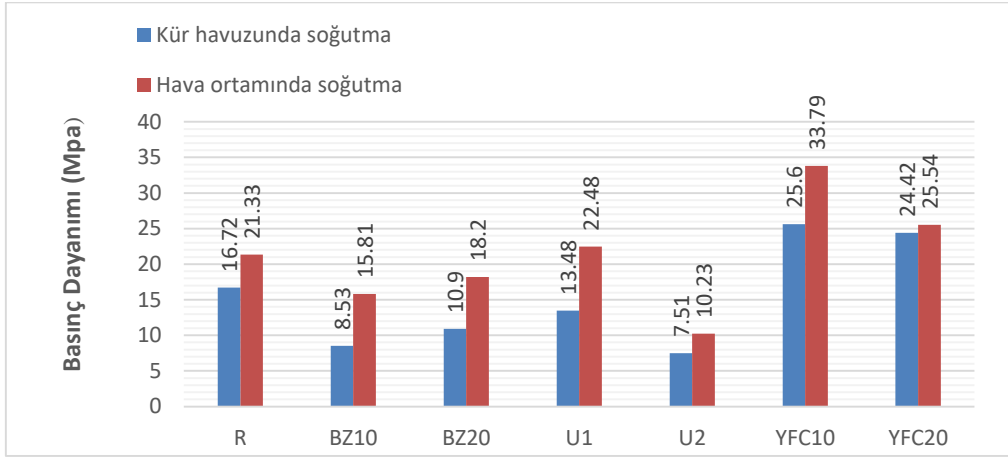
Yüksek fırın cürufu, bazalt ve üleksit katkı örnekleri kullanılarak hazırlanan beton örneklerinde gerçekleştirilen, laboratuvar deneylerine ait sonuçlar değerlendirilerek, hangi katkı türü ve oranının hangi oranda betonun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkili olduğu belirlenmeye çalışılmıştır.

A. BASINÇ DAYANIMI

Hava ortamında ve kür havuzunda soğutmaya bırakılan katkılı örneklerin 600 °C sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra basınç dayanımı Şekil 3' te, 800 °C 'deki basınç dayanımları da Şekil 4' de verilmiştir.



Şekil 3. Hava ve kür ortamında soğutulan örneklerin 600 °C 'deki basınç dayanımı değerleri

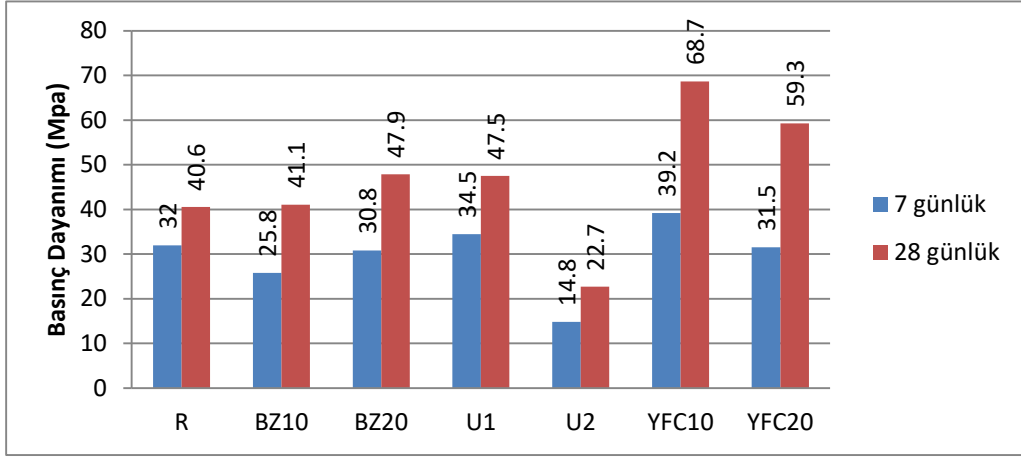


Şekil 4. Hava ve kür ortamında soğutulan örneklerin 800 °C 'deki basınç dayanımı değerleri

Yüksek sıcaklıklara maruz kaldıktan sonra çeşitli soğutma rejimlerine tabi tutulan betona ait basınç dayanımına ait grafikler Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde; sıcaklık arttıkça betonun basınç dayanımının azaldığı ve betonun 800 °C sonrasındaki basınç dayanımının, 600 °C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımına göre daha düşük olduğu görülmektedir. 600 °C sıcaklıkta ve hava ortamında soğutma türüne maruz kalan R %45, BZ10 %55, BZ20 %62, U1 %34, U2 %50, İÖYFC10 %33 ve İÖYFC20 %35 dayanım kaybına maruz kalmıştır. 600 °C sıcaklıkta ve kür havuzunda soğutma türüne maruz kalan R %20, BZ10 %45, BZ20 %48, U1 %26, U2 %30, İÖYFC10 %30 ve İÖYFC20 %31 dayanım kaybına maruz kalmıştır. 800 °C sıcaklıkta ve hava ortamında soğutma türüne maruz kalan R % 48, BZ10 %62, BZ20 %61, U1 %52, U2 %55, İÖYFC10 %51 ve İÖYFC20 %56 dayanım kaybına maruz kalmıştır. 800 °C sıcaklıkta ve kür havuzunda soğutma türüne maruz kalan R %60, BZ10 %80, BZ20 %79, U1 %72, U2 %66, İÖYFC10 %63 ve İÖYFC20 %58 dayanım kaybına maruz kalmıştır. Farklı katkı grupları ile katkısız grup karşılaştırıldığında, soğutma şekline göre basınç dayanımları ile sıcaklık arasındaki ilişki farklılıklar göstermektedir. 600 °C sıcaklığa maruz kalan numuneler soğutma türüne göre değerlendirildiğinde su ile soğutmaya tabi tutulan beton numunesindeki dayanım kaybı, havada soğutulan betona kıyasla daha düşüktür. Havada soğutma durumunda sıcaklığın düşme süresi uzun sürmekte ve daha uzun süre atmosferik ortamdaki şartlara maruz kalmakta, bu süreçte CaCO_3 ayrışarak geri oluşan CaO hacim genişmesi oluşumuna neden olmaktadır [41]. 800 °C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin soğutma türüne göre basınç dayanım değerleri incelendiğinde suda soğutulan numunelerin basınç dayanım değerleri havada soğutulmuş numunelere oranla daha düşük çıkmaktadır. Meydana gelen basınç dayanım düşüklüğünü yüksek sıcaklık sonrası su ile soğutulan numunelerin hızlı soğuma ile termal şok etkisi göstermesi ile açıklanabilir [42]-[44].

B. KÜR SÜRESİNE BAĞLI BASINÇ DAYANIMI

Bu çalışmada farklı katkı maddeleri ve oranları dikkate alınarak elde edilen beton örneklerinin farklı kür süreleri sonucundaki basınç dayanımlarına ait grafikler Şekil 5'de verilmiştir.



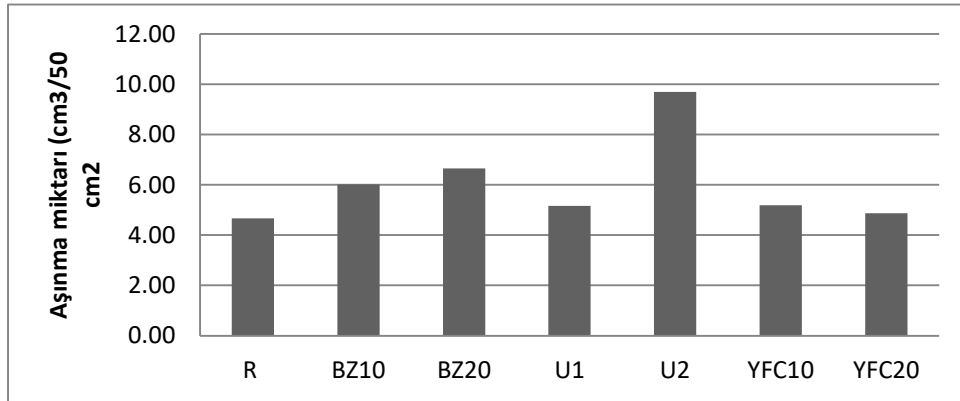
Şekil 5. Kür süresine bağılı olarak beton örneklerinin basınç dayanımındaki değişimler

Beton zamana bağılı olarak dayanım kazanan bir yapı malzemesidir ve genel olarak 7 günde öngörülen dayanıma 28 günde ise maksimum dayanımının yaklaşık %70' ine ulaşır. Yapılan araştırmalarda [45] 28 günlük dayanım standart dayanım kabul edilmiştir.

7 günlük kür sonrası basınç dayanım değeri 39,2 MPa ile en yüksek sonucu veren örnekler İÖYFC10 katkılı beton örneği iken, en düşük basınç dayanımı değeri veren örnek ise 14,8 MPa ile U2 katkılı beton örneğidir. 28 günlük kür sonrası basınç dayanımı değerleri incelendiğinde; U2 katkılı örnek hariç tüm katkılı örneklerin değerleri referans örneğinden BZ10 % 2, BZ20 %18, U1 %17, İÖYFC10 %67, İÖYFC20 %49 oranları ile daha yüksek çıkmıştır. Farklı kür sürelerinde en yüksek basınç dayanım değerini YFC katkılı örnekler göstermiştir.

C. BETON YÜZEYLERİN AŞINMA TAYİNİ

Farklı tip katkı malzemeler kullanılarak üretilen numunelerin aşınma dirençlerine ait değerlerin değişim grafiği Şekil 6'da verilmiştir.



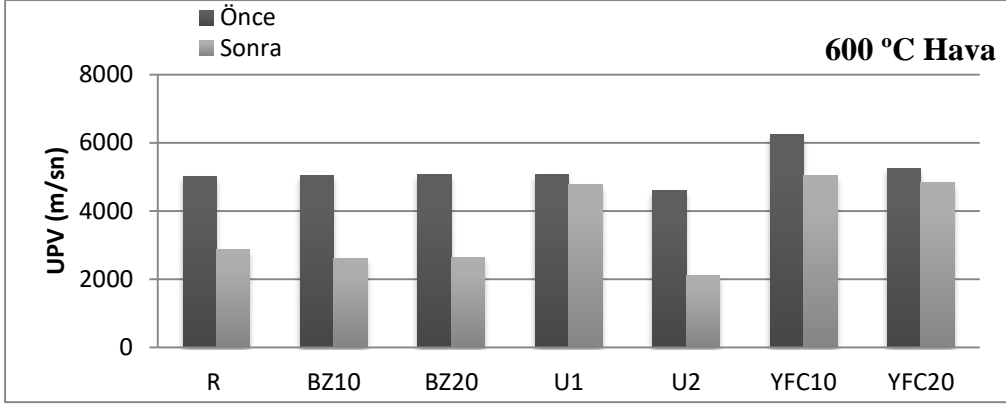
Şekil 6. Beton örneklerinin aşınma direncindeki değişimler

Referans, İÖYFC, BZ ve U katkılı beton örneklerinin 28 günlük aşınma değerlerinin görüldüğü Şekil 7'deki grafiğe göre; en fazla aşınmanın meydana geldiği beton örneği U2'dir. Beton örneklerinin aşınma değerleri ile basınç değerleri karşılaştırıldığında bu değerler arasında doğru bir orantı olduğunu görmek mümkündür. Aşınma dayanımının artığı beton örneklerinin basınç dayanımları da artmaktadır. Nitekim Atiş (2002) [46] yaptığı çalışmada benzer sonuçlara ulaşmış ve betonun aşınmaya karşı

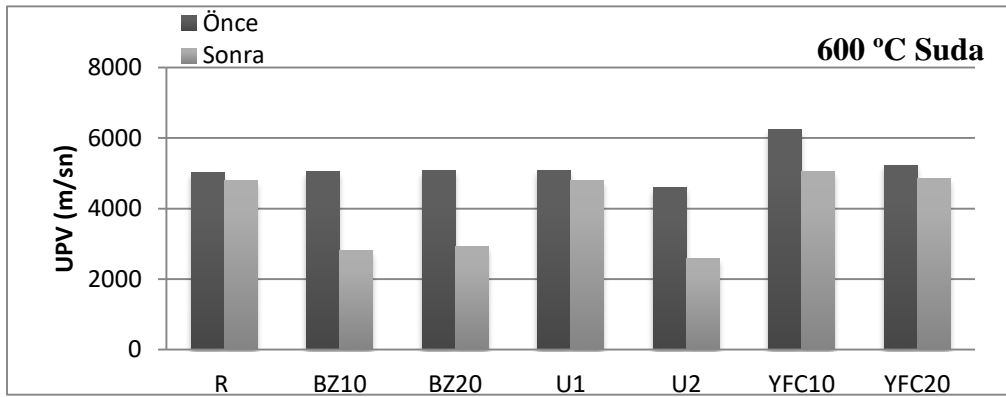
göstermiş olduğu direnç ile beton basınç dayanım değeri arasında benzerlik gösterdiği gözlemlenmiştir.

D. ULTRASES GEÇİŞ HIZI DENEYİ

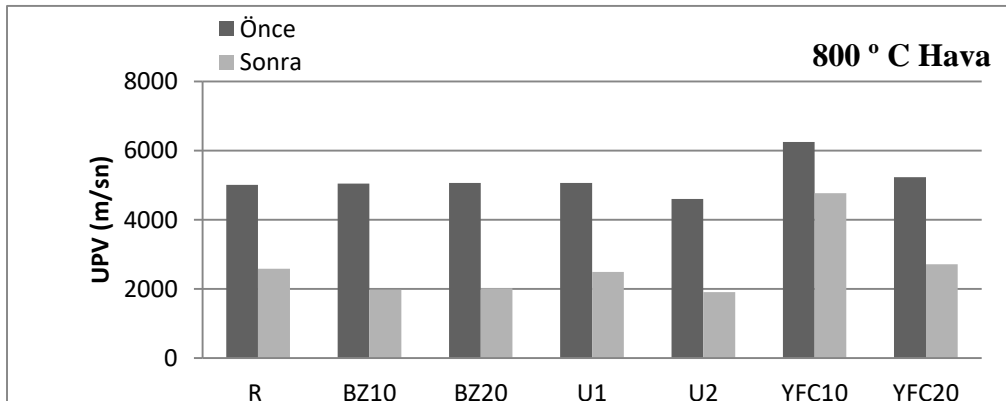
Örnekler üzerinde elde edilen ultrases geçiş hızı değerleri Şekil 7’de verilmiştir.



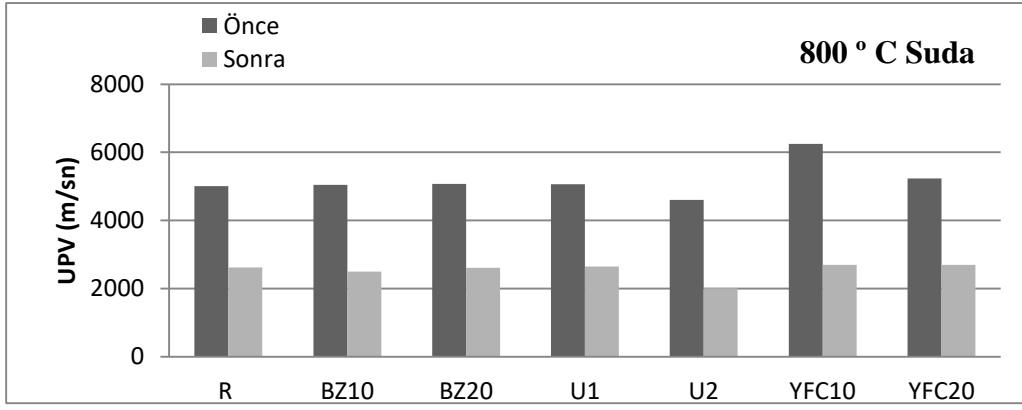
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 7. Beton örneklerinin ultrases geçiş hızı değerleri

Beton örneklerinin mekanik özellikleri ile ultrases geçiş hızı (upv) değerleri arasında bir bağlantı olduğu bilinmektedir. Ultrases geçiş hızı değerleri sonuçları örneklerin gözenek yapısına, numune yoğunluğu gibi özelliklere bağlıdır [47]. Daha sağlam ve boşluksuz ve dolayısıyla dayanımlı malzemelerde ultrases geçiş hızı daha hızlı yayılım gösterirler.

Beton örnekleri 600 ve 800 °C sıcaklık değerlerine maruz bırakılmadan önce UPV değerleri ölçüldü. Oda şartlarında 28 günlük numunelerin upv değerleri 4600 - 6245 m/s arasında değişiklik göstermektedir. Aynı örnekler yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra tekrar upv ölçümleri gerçekleştirildi. 600 °C için havada ve suda soğutma ortamlarına göre sırasıyla upv değerleri; 2100 - 5044 m/s ve 2587 - 4837 m/s arasındaki değerlere düştüğü görülmektedir. 800 °C için havada ve suda soğutma sonuçları ise; 1904 - 4768 m/s ve 2010 - 2690 m/s arasına düşmektedir. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan beton örneklerin upv değerleri örneklerin basınç dayanım değerlerini de desteklemektedir [48].

IV. SONUÇ

Yüksek fırın cürufu, bazalt ve üleksit gibi farklı katkıları ile üretilen beton örnekleri oda şartlarında ve su yöntemiyle soğutulmuş ve örneklerin yüksek sıcaklık, basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı ve aşınma ve gibi durabilite özelliklerindeki değişimler araştırılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

- **Basınç Dayanımı:** Yüksek fırın cürufu, bazalt ve üleksit katkılı örneklerin 7 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde Referans numunesine göre %22 artış oranı ile en fazla dayanım değerini İÖYFC10 numunesi göstermiştir. 28 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde Referans numunesine oranla %67 artış miktarı ile İÖYFC10 numunesi en yüksek basınç dayanım değerine sahiptir. İÖYFC katkılı örneklerin basınç dayanım değerlerinin referans numunesine göre yüksek çıkması mineral katkılı betonların boşluk oranını azaltması ile açıklanabilir.
- **Yüksek Sıcaklık:** 600 °C yüksek sıcaklığa maruz bırakılan beton örnekler soğutma türüne göre değerlendirildiğinde suda soğutulan örneklerden İÖYFC10 ve U1 katkılı numuneler sırasıyla %30 - %34 oran ile en az dayanım kaybı gösteren numuneler olmuştur. 600 °C yüksek sıcaklığa maruz ve hava ortamında soğutmaya bırakılan numuneler arasında en az dayanım kaybı gösteren numune % 33 orana sahip İÖYFC10 numunesi olmuştur. 800 °C yüksek sıcaklığa maruz bırakılan beton örnekler soğutma türüne göre değerlendirildiğinde suda

soğutulan örneklerden İÖYFC20 katkılı numune %58 oranı ile en az dayanım kaybı gösteren numune olmuştur. 800 °C yüksek sıcaklığa maruz ve hava ortamında soğutmaya bırakılan numuneler arasında en az dayanım kaybı gösteren numune %51 orana sahip İÖYFC10 numunesi olmuştur. 800 °C suda soğutulan örneklerin havada soğutulan örneklere göre daha çok dayanım kaybı yaşadığı gözlemlenmektedir. Bu durum suda soğutulan örneklerin termal şok etkisine maruz kaldığı ile açıklanabilir. Yüksek sıcaklık etkisi altında mineral katkılı örneklerden İÖYFC katkılı numunelerin dayanım kayıp oranlarının düşük olması eklendikleri betonların yapısını yoğunlaştırması ile açıklanabilir.

- *Aşınma*: Farklı tip katkı malzemeler kullanılarak üretilen numunelerin aşınma dirençlerine ait değerler incelendiğinde en fazla aşınmaya maruz kalan numune U2 katkılı numune olmuştur. Aşınma miktarının fazla olması üleksit mineralinin sertlik değerinin düşük olması ile bağdaştırılabilir. Ayrıca basınç dayanımında elde edilen değerlerde bu açıklamayı desteklemektedir.
- *Ultrases Geçiş Hızı*: Ultrases geçiş hızlarının yayılması üretilen malzemelerin gözenek yapısına ve yoğunluğuna bağlıdır. 600 °C ve 800 °C sıcaklıklarına maruz bırakılan numunelerde en iyi upv değerleri İÖYFC katkılı örneklerden elde edilmiştir. Upv deneyinden elde edilen sonuçların basınç dayanım değeri sonuçları ile bağlantılı olduğu belirtilmektedir.

Sonuç olarak bu çalışma endüstriyel yan ve atık ürünlerin beton teknolojisinde kullanılmasıyla betonun maruz kalacağı yüksek sıcaklık, dayanım ve aşınma gibi bazı durabilite özelliklerini iyileştirdiği görülmektedir. Ayrıca, beton teknolojisinin teknik, ekonomik ve sürdürülebilirlik avantajları ile gelişmesine katkı sağlayacaktır.

V. KAYNAKLAR

- [1] H. Binici, M.Y. Durgun, T. Rızaoğlu, M. Koluçolak, “Investigation of durability properties of concrete pipes incorporating blast furnace slag and ground basaltic pumice as fine aggregates,” *Sharif Univ. Tech.*, vol. 19, pp. 366-372, 2012.
- [2] K. Hyeok-Jung, P. Sang-Min, k. Subbiah, K. Seung-Jun, “Durability performance evaluation of concrete containing TDFA (Tire Derived Fuel Ash),” *Construction and Building Materials*, vol. 133, pp. 376-386, 2017.
- [3] H. Ulusu, H.Y. Aruntas, O. Gencil, “Investigation on characteristics of blended cements containing pumice,” *Construction and Building Materials*, vol. 118, pp. 11-19, 2016.
- [4] B. Baradan, S. Aydın, “Betonun Durabilitesi”, Hazır Beton Kongresi. İstanbul, 2013.
- [5] T.Y. Erdoğan, *Beton*, Ankara, Türkiye: ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık, 2010.
- [6] A. M. Neville, *Properties of Concrete Fourth Edition*, New York/USA, Longman Scientific and Technical, 2000.
- [7] P. H. Perkins, *Repair, Protection and Waterproofing, of Concrete Structures*, England, Elsevier Applied Science Publishers, 1986.
- [8] C. Alonso, C. Andrade, M. Castellote and G. Khoury “Microstructure–Solid Phases. Course on Effect of Heat on Concrete”, *International Centre for Mechanical Sciences (CISM)*, 2003, pp. 9-13.
- [9] B. Postacıoğlu, *Beton*, İstanbul, Türkiye: Teknik Kitaplar Yayınevi, 1987.

- [10] N. Yüzer, F. Aköz, ve L. Öztürk, “Compressive Strength – Color Change Relation in Mortars at High Temperature,” *Cement and Concrete Research*, vol. 34, pp.1803-1807, 2004.
- [11] M. M. Shoaib, S. A. Ahmed, ve M. M. Balaha, “Effect of Fire and Cooling Mode on the Properties of Slag Mortars,” *Cement and Concrete Research*, vol. 31, pp. 1533-1538, 2001.
- [12] M. Abid, X. Hou, W. Zheng, R.R. Hussain, “High temperature and residual properties of reactive powder concrete – A review,” *Construction and Building Materials*, vol. 147, pp. 339–351, 2017.
- [13] R. Abaeian, P. Behbahani, S.J. Moslem, “Effects of high temperatures on mechanical behavior of high strength concrete reinforced with high performance synthetic macro polypropylene (HPP) fibres,” *Construction and Building Materials*, vol. 165, pp. 631–638, 2018.
- [14] F. Köksal, M.A. Serrano-Lopez, M. Sahin, O. Gencel, C. Lopez-Colina, “Combined effect of steel fibre and expanded vermiculite on properties of lightweight mortar at elevated temperatures,” *Mater. Struct.* vol. 48, pp. 2083–2092 2015.
- [15] Ü. Yurt, M. Emiroğlu, “Kendiliğinden yerleşen betonların düşük sıcaklıklardaki davranışının tahribatsız yöntemlerle incelenmesi,” *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, c. 6, ss. 8-15, 2018.
- [16] İ. Yüksel, T. Bilir, Ö. Özkan, “Durability of Concrete Incorporating NonGround Blast Furnace Slag and Bottom Ash as Fine Aggregate,” *Building and Environment*, vol. 42, pp. 2651-2659, 2007.
- [17] A. Çam, O. Gencel, M. Durgun, “İnce agrega olarak granüle yüksek fırın cürufunun beton özelliklerine etkisi,” 3rd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies, Ankara, 2019.
- [18] R. S. Çelik, M. F. Kocabeyler, E. Tunç, A. Sağlık, O. Sümer, “Borlu Aktif Belit (BAB) Çimentosu ve DSİ Projelerinde Uygulanabilirliği,” *DSİ Teknik Bülten*, c. 105, ss. 1-23, 2009.
- [19] Etimaden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, *Bor sektör raporu*, Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı, 2018.
- [20] Etimaden İşletmeleri Genel Müdürlüğü. (2019, 30 Mart). [Online]. Erişim: <https://www.etimaden.gov.tr>
- [21] M. Özdemir ve N. U. Öztürk, “Utilization Of Clay Wastes Containing Boron As Cement Additives,” *Cement and Concrete Research*, vol. 33, pp. 1659-1661, 2003.
- [22] M. Tokyay ve K. Erdoğan, *Cürüflar ve Cürüflü Çimentolar*, Ankara, Türkiye: Çimento Müstahsilleri Birliği, 2009.
- [23] M. Uysal, “Mineral Katkılar Kullanılarak Üretilen Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Özelliklerinin ve Dayanıklılığının İncelenmesi,” Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2010.
- [24] H. Binici, M. Eken, ve A. Dinçer, “Silis Dumanı, Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Betonların Bazı Durabilite Özellikleri,” *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 28, ss. 11-20, 2013.
- [25] H. Yazıcı, M. Y. Yardımcı, S. Aydın, ve A. S. Karabulut, “Mechanical Properties of Reactive Powder Concrete Containing Mineral Admixtures Under Different Curing Regimes,” *Construction and Building Materials*, vol. 23, pp. 1223-1233, 2009.

- [26] A. Beycioğlu, C. Başyığıt, S. Subaşı, “Endüstriyel atıkların inşaat sektöründe kullanımı ile geri kazanılması ve çevresel etkilerinin azaltılması,” Çevre Sorunları Sempozyumu, Kocaeli, 2008.
- [27] G. Kürklü, “Oda Sıcaklığında Kür Edilen Granüle Yüksek Fırın Cürufllu Geopolimer Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması,” *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 16, ss. 356-367, 2016.
- [28] L. Laibao, Y. Yunsheng, Z. Wenhua, Z. Zhiyong, Z. Lihua, “Investigating The Influence Of Basalt As Mineral Admixture On Hydration and Microstructure Formation Mechanism Of Cement,” *Construction and Building Materials*, vol. 48, pp. 434-440, 2013.
- [29] M. Halifeoğlu ve N. Dalkılıç, “Tarihten Günümüze Diyarbakır Bazaltının Gelişim Süreci ve Bugünkü Kullanım Alanları,” I. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi, İstanbul, 2002.
- [30] N. Pek “Beton Deniz Yapılarında Bazalt Agregası Kullanımı,” İMO Teknik Dergi, İzmir, 2014.
- [31] S. Laserna, J. Montero, “Influence of natural aggregates typology on recycled concrete strength properties,” *Construction and Building Materials*, vol. 115, pp. 78-86, 2016.
- [32] A. Rashad, “Cementitious materials and agricultural wastes as natural fine aggregate replacement in conventional mortar and concrete,” *Journal of Building Engineering*, vol. 5, pp. 119-141, 2016.
- [33] TS 802, “Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları,” *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara 2016.
- [34] TS EN 12390-3 “Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini,” *Türk Standartları Enstitüsü (TSE)*, Ankara, 2019.
- [35] H. Açikel, “Betonarme kısa kolonların yangın dayanımlarının çeşitli parametreler açısından irdelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2017.
- [36] Ö. Ariöz, “Effects of elevated temperatures on properties of concrete,” *Fire Safety Journal*, vol. 42, pp. 516- 522, 2007.
- [37] S. Aydın, B. Bardan, “Yüksek sıcaklığa dayanıklı harç geliştirilmesi”, TMMOB 5. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, 2003.
- [38] İ. B. Topçu, A. Demir, “Uçucu kül katkılı harçlarda yüksek sıcaklık etkisi, ” 6.Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, 2005.
- [39] H. L. Luo, D. F. Lin, “Study the surface color of sewage sludge mortar at high temperature,” *Construction and Building Materials*, vol. 21, pp. 90-97, 2007.
- [40] TS 2824 EN 1338, “Zemin Döşemesi için Beton Kaplama Blokları-Gerekli Şartlar ve Deney Metotları,” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara 2005.
- [41] M. M. Sohaib, S. A. Ahmed, M. M. Balaha, “Effect of fire and cooling mode on the properties of slag mortars,” *Cement and Concrete Research*, vol. 31, pp. 1533-1538, 2001
- [42] A. Awal, S. M. Abdul, I. A. Shehu, M. Ismail, “Effect of cooling regime on the residual performance of high-volume palm oil fuel ash concrete exposed to high temperatures,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 98, pp. 875-883, 2015.
- [43] L. Li, P. Jia, J. Dong, L. Shi, G. Zhang, Q. Wang, “Effects of cement dosage and cooling regimes on the compressive strength of concrete after post-fire-curing 800°C,” *Construction and Building Materials*, vol. 142, pp. 208-220, 2017.

- [44] T. Gupta, S. Siddique, R. K. Sharma, S. Chaudhary, "Effect of elevated temperature and cooling regimes on mechanical and durability properties of concrete containing waste rubber fiber," *Construction and Building Materials*, vol. 137, pp. 35-45, 2017.
- [45] A. Doğangün, *Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarım*, İstanbul, Türkiye: Birsen Yayınevi, 2011.
- [46] C. D. Atış, "High Volume Fly Ash Abrasion Resistant Concrete," *Journal of Materials In Civil Engineering*, vol. 14, pp. 274-277, 2002.
- [47] M. Benaicha, O. Jalbaud, A. H. Alaoui, Y. Burtschell, "Correlation Between The Mechanical Behavior and The Ultrasonic Velocity Of Fiber-Reinforced Concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 101, pp. 702-709, 2015.
- [48] Z. Zebrari, İ. Bedirhanoğlu, E. Aydın, "Beton basınç dayanımının ultrasonik ses dalgası yayılma hızı ile tahmin edilmesi," *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, c. 8, ss. 43-52, 2017.