

Silis Dumanı, Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Betonların Bazı Durabilite Özellikleri

Hanifi BİNİCİ*¹, Mustafa EKEN¹, Aytaç DİNÇER¹

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

Özet

Bu çalışmada; silis dumanı (SD), uçucu kül (UK) ve yüksek fırın cürufu (YFC) betonların durabilite özellikleri araştırılmıştır. Çimento yerine SD, YFC ve UK, ağırlıkça %5 ve %10 oranlarında tekli, %10 oranında ikili ve üçlü karışım olarak kullanılmıştır. Ayrıca agrega yerine ağırlıkça %5 ve %10 oranlarında YFC kullanılmıştır. Numunelerin 7, 28, 180 günlük basınç dayanımı, 28 günlük numunelerin permeabilite ve aşınma ile 60 günlük sülfat dayanımları ve SEM taramaları incelenmiştir. Yüksek fırın cürufu katkısı dayanıklılığa ve dayanıma olumlu katkı sağlamıştır. Çimento ikamesi olarak %10 oranında silis dumanı ve agrega olarak %10 oranında YFC katkılı numunelerin 28 ve 180 günlük basınç dayanımı, referans numunesine göre sırası ile %17 ve %20 oranlarında daha yüksek bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Silis dumanı, Yüksek fırın cürufu, Uçucu kül, Sülfat direnci, SEM

Some Properties of Durability of Silica Fume, Fly Ash and Blast Furnace Slag Added Concretes

Abstract

In this study, silica fume (SD), fly ash (FA) and blast furnace slag (HFBS) durability properties of concrete were investigated. Instead of cement SD, HFBS and UK, 5% and 10% percent by weight of single, double and triple mixture of 10% were used. In addition, 5% and 10% percent by weight of aggregate used HFBS. Samples 7, 28, 180-day compressive strength, permeability and wear a 28-day and 60-day sulfate resistance of samples and SEM scans were examined. Strength to strength, and has contributed to the positive contribution of blast furnace slag. As a substitute for cement, silica fume and aggregate 10% of the samples doped YFC 10% of the 28 and 180-day compressive strength, according to the reference sample, respectively, were higher than rates of 17% and 20%.

Keywords: Fly ash, Silica fume, Blast furnace slag, Sulfate resistance, SEM

* Yazışmaların yapılacağı yazar: Hanifi BİNİCİ, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş. hbinici@ksu.edu.tr

1.GİRİŞ

Yapıların tasarımında, betonun tasarlanan dayanımdan daha az dayanıma sahip olmaması istenmektedir. Ancak, betonun servis süresince karşılaştığı fiziksel ve kimyasal olaylar karşısında yeterli dayanıklılık göstermesi gerekmektedir. Betonun yeterince dayanıklı olması, en az betonun dayanımı kadar hatta çoğu zaman dayanımdan daha da önemlidir[1-3]. Dayanıklılığı yüksek betonların üretiminde genellikle doğal ve yapay puzolanlar kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan puzolanlar; silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu vb. bazı organik küllerdir [4-5]. Yapay olarak kullanılan puzolanlar, kaynakların ve çevrenin korumasını sağlanmakta ve maliyeti azalmaktadır [6-8]. Uçucu kül puzolanik özelliği olan mineral kökenli termik santral atığı malzemedir [9]. Uçucu kül taneleri genellikle küresel yapısı nedeni ile betonun işlenebilme özelliğini iyileştirmesi, taze betonda terlemeyi azaltması, betonun hidrasyon ısısını azaltması gibi birçok olumlu özelliğini geliştirmektedir [10]. Silis dumanı çok yüksek oranda silis içeren, genellikle camsı ve düzgün yüzeyli küresel taneciklerden oluşan endüstriyel atıktır. Silis dumanı taneleri boşlukları doldurmada, $Ca(OH)_2$ kristallerini küçültmekte ve çimento ve betonun basınç dayanımının artmasını sağlamaktadır[11]. Yüksek fırın cürufu demir üretimi sırasında ortaya çıkan atık üründür [12]. Yüksek miktarlarda kalsiyum oksit içermesiyle nedeniyle, öğütülmüş yüksek fırın cürufunun kendiliğinden de bir miktar bağlayıcı özelliği bulunmaktadır. Öğütülmüş cüruf taze betonun işlenebilirliğini artırırken terlemeyi azaltmaktadır [13]. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, puzolanlar ikili ve üçlü karışım olarak kullanılarak mekanik ve kimyasal etkileri incelenmiştir [14-17]. Birden fazla mineral katkıyı birlikte kullanarak etkileri en uygun hale getirmek mümkündür [6]. Uçucu kül ve silis dumanının harçların dayanıklılıklarını da önemli miktarda arttırdığı belirtilmiştir [18]. Silis dumanı, uçucu kül ve çimento karışımının beton basınç dayanımının gelişimi üzerindeki etki mekanizmaları farklı olduğu bilinmektedir. İki mineral katkı maddesinin birbirlerinin eksikliklerini tamamlamaları yanında 7, 28 ve 90

günlük dayanımları üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir [19]. Bu çalışmada silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu katkı betonların bazı mekanik ve kimyasal özellikleri araştırılmıştır. Çalışmada adı geçen üç malzemenin aralarında ikili ve üçlü kombinasyon oluşturarak üretilen beton numunelerin dayanım ve dayanıklılıkları incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR ve BULGULAR

2.1. Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada Kahramanmaraş Çimko Narlı Çimento fabrikasında üretilen CEM I 42,5 tip çimento kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 1 ve 2’de verilmektedir.

Çizelge 1. Çimentonun kimyasal analizi

Bileşenler	Çimento(%)
SiO_2	20,21
Al_2O_3	4,62
Fe_2O_3	3,34
CaO	63,40
MgO	2,52
$Na_2O+0,658K_2O$	0,41
SO_3	2,20
Serbest CAO	0,46
Kızdırma Kaybı	2,95
Çözünmeyen Kalıntı	0,29

Çalışmada kullanılan silis dumanı Antalya Etibank Elektrometalürji İşletmesinden, yüksek fırın cürufu İskenderun Oysa çimento fabrikasından, uçucu kül Zonguldak Çatalağzı termik santralinden temin edilmiştir. Bu malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3 ve 4’te verilmektedir.

Deney çalışmalarında kullanılan agregalar, Kahramanmaraş Yenice kale mevki kalker taşı kırma tesisinden temin edilmiştir. Agregaların elek analizleri Şekil 1’de ve fiziksel özellikleri Çizelge 5’de verilmiştir.

Çizelge 2. Çimentonun fiziksel analizi

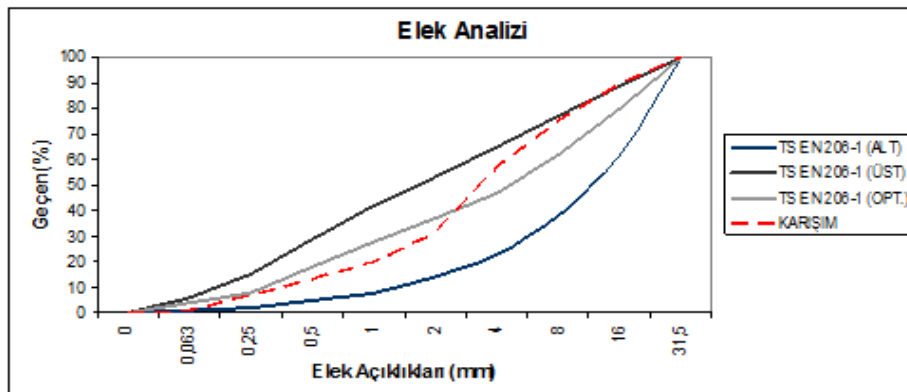
Çimento Tipi	Özgül Ağırlık (kg/cm ³)	Özgül Yüzey (cm ² /g)	200 µ Elek Üzerinde Kalan (%)	90 µ Elek Üzerinde Kalan (%)	45 µ Elek Üzerinde Kalan (%)
CEM I 42,5	3,14	3450	0	0,38	6,72

Çizelge 3. Silis dumanı, uçucu kül ve YFC'nun kimyasal analizi

Ana Bileşenler				Ara Bileşenler		
Bileşenler	Silis dumanı(%)	Uçucu Kül(%)	YFC(%)	Bileşenler	YFC(%)	Silis dumanı(%)
SiO ₂	79,94	54,52	42,35	MnO	1,99	-
Al ₂ O ₃	0,83	24,60	11,26	K ₂ O	1,14	-
Fe ₂ O ₃	0,20	7,54	1,00	TiO ₂	0,66	-
CaO	2,53	2,63	33,09	Cr ₂ O ₃	1,92	0,38
MgO	7,68	3,39	7,99	SO ₃	0,39	0,21
Na ₂ O+		0,78		C	-	1,22
Kızdırma	2,96	0,80	1,99	S	-	0,923

Çizelge 4. Silis dumanı, uçucu kül ve YFC'nun fiziksel analizi

	Silis Dumanı	Uçucu Kül	YFC
Özgül Ağırlık	2,34	1,80	2,53
Boyut	<90 µm	1805 blaine	0-5 mm ve 4950 blaine



Şekil 1. Beton numunelerde kullanılan agregalara ait elek analizi

Çizelge 5. Agregaların fiziksel özellikleri

Özellik	İnce Agregası (0-7 mm)	Orta agregası (8-16 mm)	İri Agregası (16-25 mm)
Özgül Ağırlık (gr/m ³)	2,61	2,67	2,75
Su Emme Kapasitesi (%)	3,1	1,6	0,8
Aşınma 500 Devir (%)	-	29,9	22,7

2.2. Metot

TS 802'ye uygun olarak yapılan beton karışımında agregası yerine ağırlıkça %5 ve 10 oranında yüksek fırın cürufu ikame edilmiş ve çimento yerine ağırlıkça %5 ve 10 oranlarında yüksek fırın cürufu (Y), silis dumanı (S) ve uçucu kül (U) ikame edilmiştir.

Ek olarak çimento yerine ağırlıkça % 5 oranında silis dumanı ve uçucu kül ve % 3,33 oranında yüksek fırın cürufu (Y), silis dumanı ve uçucu kül ikame edilmiş ve karışım oranları Çizelge 6'da verilmiştir. Taze betonun çökme ve sıcaklık değerleri Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Beton karışım malzeme oranları ve taze beton özellikleri

Numune Adı	Beton Bileşenleri (kg/m ³)								Çökme (mm)	Beton Sıcaklığı (°C)
	Çimento	0-5 Kum	5-12 Çakıl	12-25 Çakıl	Su	YFC	S	U		
R	310	1122	300	371	170	-	-	-	15	22
5Y/5U	294,5	1065,9	300	371	170	56,1	-	15,5	10	20
5Y/10U	279	1065,9	300	371	170	56,1	-	31,0	11	20
5Y/5Y	294,5	1065,9	300	371	170	71,6	-	-	10	20
5Y/10Y	279	1065,9	300	371	170	87,1	-	-	12	20
5Y/5S	294,5	1065,9	300	371	170	56,1	15,5	-	10	20
5Y/10S	279	1065,9	300	371	170	56,1	31,0	-	9	21
5Y/10UY	279	1065,9	300	371	170	71,6	-	15,5	10	20
5Y/10US	279	1065,9	300	371	170	56,1	15,5	15,5	11	20
5Y/10UYS	279	1065,9	300	371	170	66,4	10,3	10,3	10	20
10Y/5U	294,5	1009,8	300	371	170	112,2	-	15,5	10	20
10Y/10U	279	1009,8	300	371	170	112,2	-	31,0	9	21
10Y/5Y	294,5	1009,8	300	371	170	127,7	-	-	10	20
10Y/10Y	279	1009,8	300	371	170	143,2	-	-	9	21
10Y/5S	294,5	1009,8	300	371	170	112,2	15,5	-	11	21
10Y/10S	279	1009,8	300	371	170	112,2	31,0	-	10	21
10Y/10UY	279	1009,8	300	371	170	127,7	-	15,5	9	20
10Y/10US	279	1009,8	300	371	170	112,2	15,5	15,5	11	20
10Y/10UYS	279	1009,8	300	371	170	122,4	10,3	10,3	10	20

2.2.1. Basınç Dayanımı

Basınç dayanım deneyi her karışım için üç adet 150x150x150 mm ölçülerindeki küp numuneler üzerinde, TS EN 12390-3'e göre yapılmıştır.

Beton numunelerin 7, 28, 180 günlük basınç dayanımı sonuçları Çizelge 7'de verilmiştir. Basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde 7 günlük basınç dayanımı sonuçlarının tamamı katkısız referans numunesinin verdiği değer altında bulunmuştur (Çizelge 7). Bu durum puzolanların genel özelliği ile açıklanabilir. Puzolanik katkı kullanımı, çimentodan yapılan azaltma nedeniyle erken yaş dayanımında olumsuz rol oynar. 7 günlük seriler incelendiğinde en yüksek basınç dayanım değeri 10Y/5U numunesinden elde edilmiştir. Bu durum uçucu külün 7 günlük puzolanik aktivitesinin kullanılan diğer puzolanlardan daha yüksek olmasıyla açıklanır. İlk günlerde puzolanik madde miktarının artması da beton basınç dayanımının düşmesi ile sonuçlanmıştır.

Bu sonuç da çimento miktarında meydana gelen azaltma ile açıklanabilir. Puzolanların çimentoda beraber ikame edildiği numuneler ise diğer numunelere göre ortalama basınç dayanımı değerleri vermişlerdir. US kodlu numunelerde silis dumanının ilk günlerdeki düşük dayanım kazandırma hızını uçucu kül tek başına, UYS kodlu numunelerde ise yüksek fırın cürufu ile birlikte telafi etmiştir.

28 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde uçucu külün aktivitesinin bir miktar azaldığını ve silis dumanının 7 günlük sonuçlara göre daha yüksek puzolanik aktivite gösterdiği görülmektedir. En yüksek basınç dayanımı 10Y/10S numunesinden elde edilmiştir. Bu sonuç silis dumanının ileri yaşlarda göstermiş olduğu yüksek puzolanik aktivite ve yüksek dayanımlı yüksek fırın cürufu agregasının beraber kullanılmış olmasıyla açıklanabilir. 28 günlük basınç dayanım değerleri puzolanik madde miktarının artmasıyla artmıştır.

Çizelge 7. Beton numunelerin basınç dayanımları

NUMUNELER	7 GÜN (MPa)	28 GÜN (MPa)	180 GÜN (MPa)
5Y/5U	20,30	29,00	32,10
5Y/10U	19,60	29,60	32,60
5Y/5Y	20,10	29,10	32,30
5Y/10Y	19,40	30,10	33,10
5Y/5S	19,70	29,30	33,50
5Y/10S	19,00	30,30	35,40
5Y/10UY	19,30	29,90	32,80
5Y/10US	19,20	30,10	33,00
5Y/10UYS	19,30	30,00	33,00
10Y/5U	22,10	30,70	33,90
10Y/10U	21,30	31,00	34,30
10Y/5Y	21,70	30,90	34,00
10Y/10Y	21,10	31,40	35,00
10Y/5S	21,40	30,90	35,70
10Y/10S	20,50	31,60	37,20
10Y/10UY	21,00	31,10	34,40
10Y/10US	20,70	31,30	34,80
10Y/10UYS	20,90	31,10	34,60

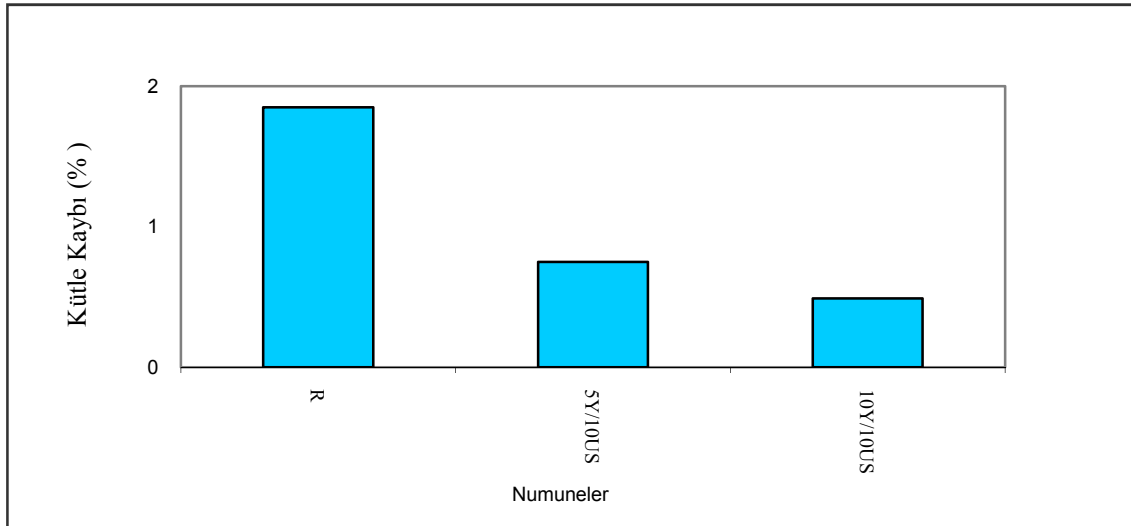
Çimento hidratasyonu sonucu, hidratasyon ürünü olarak oluşan $\text{Ca}(\text{OH})_2$, puzonlar ile reaksiyona girmeye başlar ve sonuç olarak betona dayanım kazandırıcı C-S-H jellerinin miktarında artış meydana gelir. 7 günlük numunelerin aksine 28 günde basınç dayanımlarının puzolan miktarıyla artması bu şekilde açıklanabilir. 180 gün sonunda elde edilen basınç dayanım değerleri 28 günlük basınç dayanım değerleriyle örtüşmektedir. Ancak uçucu kül katkılı numuneler diğer puzolanik katkılara göre daha az gelişim göstermiştir. Silis dumani ikameli numuneler ise daha çok aktivite göstermiş ve oldukça yüksek basınç dayanımı değerleri vermişlerdir. Agrega ikamesinin basınç dayanımına etkisi incelendiğinde ise bütün yaş gruplarında olduğu gibi yüksek fırın cürufu agregası katkısının artmasıyla olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Bu deneyde numunelerin karşılıklı olarak pürüzsüz yüzeyleri belirlenir. Ardından pundit cihazının iki başlığı gres yağı ile yağlanır. Yağlanan bu iki başlık numunenin yüzeyine karşılıklı gelecek şekilde sabitlenir. Daha sonra pundit cihazının okumaları yapılır (Şekil 4). Bu okumaların en küçük olanı alınarak numunenin genişliğine bölünerek ultra ses hızı belirlenir.

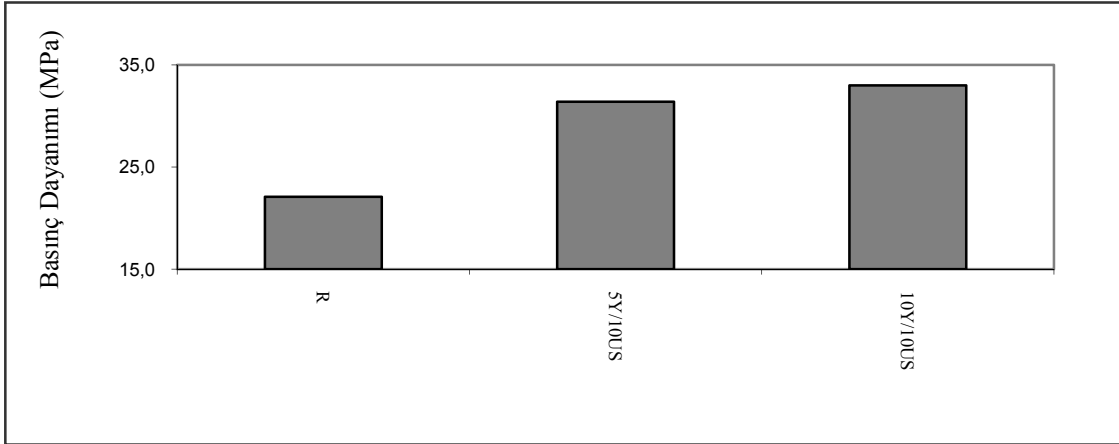
2.2.2. Sülfat Direnci

%10 Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen beton numunelerden 60 günlük veriler alınmıştır. Şekil 2'de 60 günlük sülfat çözeltisinde bekletilen beton numunelerin kütle değişimi ve Şekil 3'te basınç dayanımları verilmiştir.

Kütle kayıpları sonuçları incelendiğinde tüm katkılı numunelerin sülfat etkisinde referans betonundan daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Katkılı numuneler arasında ise en düşük kütle kaybı yüksek fırın cürufu katkısının yüksek olduğu numunelerde görülmüştür. 10Y/10US numunesi içerisindeki yüksek fırın cürufu katkısının yüksek olması sebebiyle sülfata karşı daha çok direnç göstermiştir. Yüksek fırın cürufu katkısı sülfat etkisine karşı dayanıklı olmasıyla bilinir. Numunenin sülfat etkisine karşı dirençli olması aynı zamanda basınç dayanımı direkt olarak etkilemiştir. Sülfat ortamından daha az etkilenen numunelerin basınç dayanımları daha yüksek bulunmuştur. Bu durum önceki çalışmalarla paralellik göstermiştir [20-22]. 10Y/10US numunesinin sülfat etkisi sonrası basınç dayanımı değeri seçilen numuneler arasında en yüksektir.



Şekil 2. Sülfat çözeltisinde bekletilen beton numunelerin kütle kayıpları



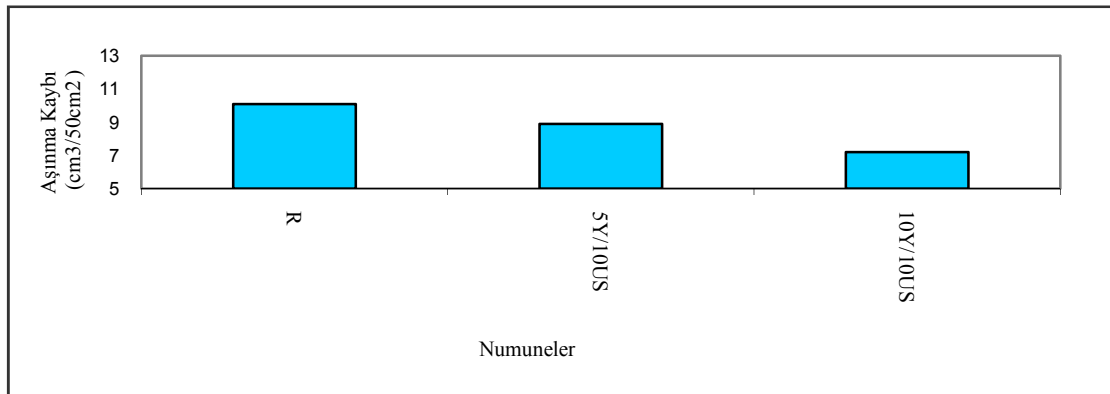
Şekil 3. Betonların basınç dayanımı kayıpları

2.2.3. Aşınma Dayanımı

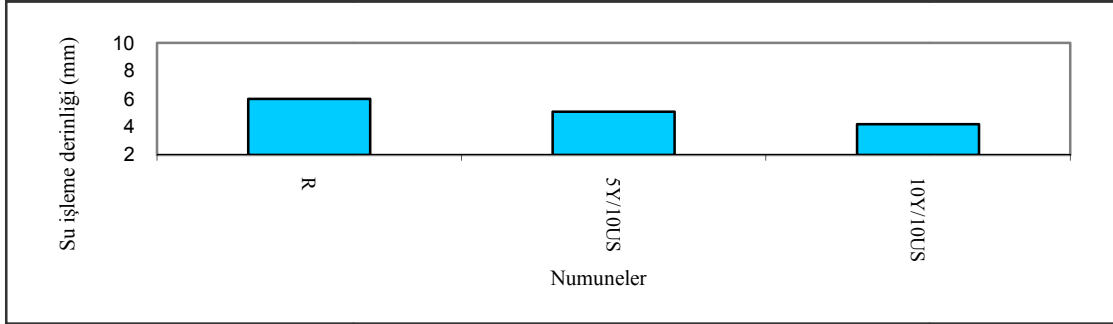
Aşınma dayanımı DIN 52108'e göre yapılmıştır. 71x71x71 mm ebatlarındaki 28 günlük numunelere yüzey aşınma deneyi yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 4'de verilmiştir. Yüksek fırın cürufunun agregaya ikame edildiği numuneler katkısız referans betonundan daha iyi sonuçlar vermiştir. En iyi aşınma dayanımını yüksek fırın cürufunun en fazla kullanıldığı 10Y/10US numunesi vermiştir. Diğer %10 yüksek fırın cürufu katkılı malzemelere göre daha yüksek aşınma dayanımı göstermesinin sebebi, içerisinde bulunan %10 silis dumanı katkısının 28 günlük süreçte aktive olarak betonun dayanım özelliklerini artırmasıyla açıklanabilir.

2.2.4. Permeabilite

Beton numuneler bir yüzeyinden 1 atm su basıncına maruz bırakılmış ve su işleme derinliği bulunmuştur. Permeabilite deneyi TS 3455 [21]'e göre yapılmıştır. Su işleme derinliği değerleri Şekil 5'te verilmiştir. Yüksek fırın cürufu agregası kullanılan her iki numune de referans numunesinden daha düşük su emme değeri vermiştir. Deney sonuçlarına göre en düşük su emme değeri veren numune 10Y/10US numunesidir. Deney sonuçları incelendiğinde beton basınç dayanımı sonuçları ile seçilen numunelerin su emme değerleri arasında bir ilişki olduğu görülmektedir.



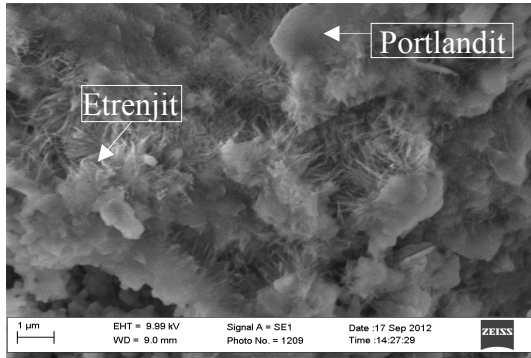
Şekil 4. Beton numunelerin aşınma kayıpları



Şekil 5. Beton numunelerin su işleme derinliği

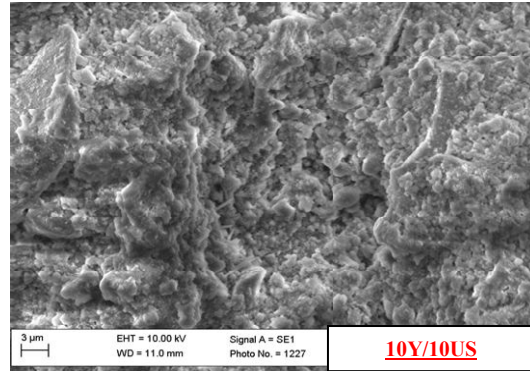
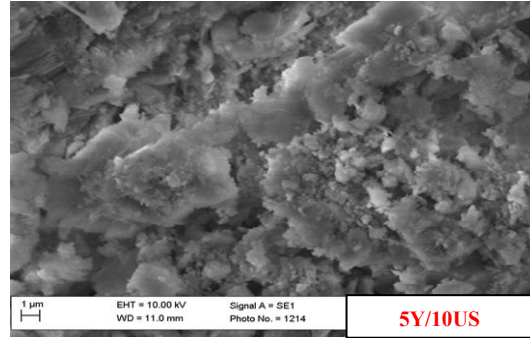
2.2.5. SEM İncelemeleri

Çalışmada 60 günlük beton numuneleri için elektron mikroskop (SEM) çalışmaları yapılmıştır. İncelemeler Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi SEM laboratuvarlarında yapılmıştır. Sem incelemeleri Şekil 6 ve Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 6. Referans numunesinin SEM incelemeleri

5Y/US numunesinin Şekil 7’deki sem incelenmesinde, CSH jelleri ve Portlandit minerali görülmektedir. 10Y/US numunesinin Şekil 7’deki incelenmesinde, homojen ve karalı yapı, CSH jelleri görülmektedir. Referans numunesinde oluşan etrenjit ve boşluklar diğer numuneler katkıların kullanılması ile azalmış ve daha sıkı yapı oluşmuştur. Yüksek fırın cürufunun daha az geçirimli olması ve aynı zamanda sülfata dayanıklı olması, numunelerin daha sıkı yapılarıyla açıklanabilir.



Şekil 7. Yüksek fırın cürufu agrega katkılı numunelerin SEM incelemeleri

3. SONUÇ

Yüksek fırın cürufu katkısı dayanıklılığa ve dayanıma olumlu katkı sağlamıştır. Mineral katkıların ikili ve üçlü karışımlar halinde kullanılması; mineral katkıların tek başlarına

kullanılması ile ortaya çıkan eksiklikleri giderilmiştir. Yani mineral katkıları birbirlerini tamamlayarak ilk yaşlardaki dayanımlarının referans numunesini yakın ve daha homojen olmasını sağlarken boşluk ve etrenjit miktarını da azaltmıştır.

4. KAYNAKLAR

1. Woods, H., Durability of Concrete Construction, ACI Monograph No.4, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 1987.
2. Mehta, K P, "Durability-Critical Issues for the Future" Concrete International, No. 23, pp. 27-33, July 1997.
3. Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., "Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)", Dokuz Eylül Üniv. Müh. Fak. Yayın No:298, 2002.
4. Shi, C., "An Overview on the Activation of Reactivity of Natural Pozzolans," Canadian Journal of Civil Engineering, No. 28, pp. 778-786, 2001.
5. Binici, H., "PÇ-GYFC-Pomza Üçlü Karışımlarının Özellikleri". Çukurova Üniversitesi, Doktora Tezi. 2002
6. Massazza, F., "Pozzolans and Durability of Concrete", 1st International Symposium on Mineral Admixtures in Cement, 1997, Istanbul, pp. 1-22.
7. Topçu, B., Canbaz, M., "Uçucu Kül Kullanımının Betondaki Etkileri" . Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der., 14, 11-24. 2001.
8. Yaprak, H., Simsek, O., Aruntas, H.Y., "Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufunun Süper Akışkanlaştırıcı Katkılı Beton Özelliklerine Etkisi", Beton 2004 Kongresi, İstanbul, 707-715. 2004
9. Malhotra, V., M., Mehta, P. K., "High Performance, High Volume Fly Ash Concrete". Supplementary Cementing Materials For Sustainable Development Inc., Ottawa, 2002.
10. Erdoğan Y.T., "Beton", Sayfa: 183, Ankara, 2003.
11. Yeğinobalı, A., Silis Dumanı ile Çimento ve Betonda Kullanımı, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ar-Ge, Y01.01, 2002.
12. Tokyay, M., ve Erdoğan, K., (1997). Cüruflar ve Cürüflü Çimentolar, Çimento Müstahsilleri Birliği, TÇMB / AR-GE/Y 97.2, 34.
13. Uysal, M., "Mineral Katkılar Kullanılarak Üretilen Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Özelliklerinin ve Dayanıklılığının İncelenmesi", Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2010.
14. Poon, C., Azhar, S., Anson, M., Wong, Y., "Comparison of the strength and durability performance of normal- and high-strength pozzolanic concretes at elevated temperatures" Cement and Concrete Research, 31 (2001) 1291-1300
15. Yazıcı, H., "The effect of silica fume and high-volume Class C fly ash on mechanical properties, chloride penetration and freeze-thaw resistance of self-compacting concrete". Construction and Building Materials 22 (2008) 456-462.
16. Yazıcı, H., Yardımcı M. Y., Aydın, S., Karabulut, A. S., 2009." Mechanical properties of reactive powder concrete containing mineral admixtures under different curing regimes" Construction and Building Materials 23, 1223-1233.
17. Gesoğlu, M., Güneşisi E., Özbay E., "Properties of self-compacting concretes made with binary, ternary, and quaternary cementitious blends of fly ash, blast furnace slag, and silica fume" Construction and Building Materials 23 (2009) 1847-1854.
18. Temiz, H., ve Tuğal, M., "Uçucu Kül ve Silis Dumanının Birlikte Katıldığı Harcın Özellikleri". Çimento ve Beton Dünyası, 2(12), 25-32, 1998.
19. Yeğinobalı, A., "Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Katkı Maddesi Olarak Kullanılması", TÇMB/AR-GE/Y01.01 3.Baskı, Ankara, 2003.
20. Binici, H., Aksogan, O., Kaplan, H., 2005. A study on cement mortars incorporating plain Portland cement (PPC), ground granulated blast-furnace slag (GGBFS) and basaltic pumice, Indian Journal of Engineering & Materials Sciences, 12 214-220.
21. Binici, H., Aksogan, O., 2006. "Sulfate resistance of plain and blended cement". Cem. Conc. Comp. 28. s. 39-46.

22. Binici H., Rızaođlu, T., Koluçolak, M., 2012. Investigation of durability properties of concrete pipes incorporating blast furnace slag and ground basaltic pumice as fine aggregates, *Scientia Iranica, Transactions A: Civil Engineering*, 19, 366–372.

