

ATIK CAM ve YÜKSEK FIRIN CÜRUFU KATKILI HARÇLARIN ÖZELLİKLERİ

Ömer ÖZKAN

Alaplı Meslek Yüksek Okulu, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, 67850 Alaplı, Zonguldak
omerozkan@hotmail.com, ozkan@karaelmas.edu.tr

(Geliş/Received: 22.11.2005; Kabul/Accepted: 20.02.2006)

ÖZET

Bu çalışmada, bağlayıcı olarak öğütülmüş atık şişe camlar ve endüstriyel yan ürünler içeren harçların özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla, iki farklı renkte camın tek başlarına ve cama ilaveten yüksek fırın cürufu'nun çimento ile çeşitli oranlarda yer değiştirmesi suretiyle oluşturulan harç numuneleri üretilmiştir. Numunelerin basınç dayanımı, NaCl, Na₂SO₄, MgSO₄ ve yüksek sıcaklığa karşı dayanıklılıkları araştırılmıştır. Ayrıca ASR yönünden genleşme ölçümleri yapılmıştır. Basınç dayanımında % 10 renksiz cam-yüksek fırın cürufu yer değiştirmesinde en yüksek sonuç elde edilmiştir. Diğer dayanıklılık deneylerinde ise bütün yer değiştirme oranlarında referanstan yüksek sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık camlar, yüksek fırın cürufu, basınç dayanımı, dayanıklılık.

PROPERTIES OF MORTARS CONTAINING WASTE BOTTLE GLASS AND BLAST FURNACE SLAG

ABSTRACT

In this study, the properties of mortars that contain waste bottle glass and blast furnace slag as binding materials were investigated. For this purpose, specimens that were mixed with glass of two different colors alone and also together with glass mortar specimens where some amount of mortars were substituted with blast furnace slag were produced. The compressive strength test of specimens exposed to NaCl, Na₂SO₄, MgSO₄ are investigated. Also, expansion calculations that were related to ASR were made. For compressive strength, on clear glass-blast furnace slag with substitution ratio of 10 %, the highest results were obtained. In all ratio substitutions higher result were obtained from the reference in the other resistance tests.

Keywords: Waste glass, blast furnace slag, compressive strength, durability.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Camlar günlük hayatta, şişe camları, düz cam (pencere camı), ampul camı, ışın tüpleri gibi bir çok alanda kullanılmaktadır. Bu camların kullanım süreleri çok kısadır, kullanıp depolanması halinde dahi çevre için büyük sorun yaratmaktadır [1]. Atık camların agrega olarak kullanıldığı betonların özellikleri bir çok çalışmada araştırılmıştır [2,3]. Bunun yanında, atık camların asfalt katkısı veya yol dolgusu olarak tekrar kullanım olanakları üzerine çalışmalar da yapılmaktadır [4,5]. Ancak, atık camdaki reaktif silis ve çimento pastasındaki yüksek oranda alkali ortam nedeniyle oluşan alkali-silika reaksiyonu ve ondan kaynaklanan zararlı genleşmeler nedeniyle söz konusu uygulamalar sınırlı düzeyde

kalmaktadır. Portland çimentosundaki alkali ile agregadaki silis arasındaki kimyasal reaksiyon sonucunda oluşan jel genleşmeye dayalı çatlak oluşumuna neden olur. Bu çatlaklar betonu zayıflatarak servis ömrünü kısaltır [6]. Son zamanlarda, betonda Alkali silika reaksiyonu (ASR) genleşmelerini önleyici ve atık camların geri kazanımına yönelik çalışmalar yapılmıştır [7,8,1]. Betondaki genleşmeyi engellemek amacıyla yan ürünler ile puzolanik, organik ve inorganik katkıları yaygın olarak kullanılmaktadır [9]. Camlar metal ve metal oksitler katkısı ile renklendirilmektedirler. Camlara kahverengi rengi vermek için % 0.05-0.5 oranlarında NiO (nikel oksit) katılır. Renksizleştirme işlemi ise cam içinde bulunması arzu edilmeyen demirden kaynaklanan rengin giderilmesiyle sağlanır.

Yüksek fırın cürufu (YFC) potansiyel bir hidrolik bağlayıcıdır. Yüksek fırın cürufu Portlant çimentosuna kısmi yer değiştirme yapılarak kullanılmaktadır. Genellikle, portlant çimentosu ile YFC'nin yer değiştirmesi erken dayanımı düşürür, fakat, geç dayanımı ve beton dayanıklılığını artırır [10]. Birçok araştırmacı klinker kullanmadan alkali-cüruf çimentoları geliştirmeye yönelmiştir. Üretimde az enerji harcanması, yüksek dayanımlı olması, yoğun bir mikro yapı göstermesi ve Portlant çimentoları ile kıyaslandığında daha dayanıklı olması gibi avantajları sebebiyle tercih edilmektedir [11-13]. Ayrıca görülmüştür ki, alkali-cüruf çimentoları geleneksel Portlant çimentolarına göre radyoaktif veya tehlikeli atıkların stabilizasyonunda daha etkilidir [11].

Bazı killer alkali, magnezyum ve Ca_2SO_4 gibi kimyasal maddeler içerir. Zemin yüzeyinde biriken tuz birikintileri Na_2SO_4 veya MgSO_4 'tır. Zararlı MgSO_4 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve C_3A ile reaksiyona girerler. Bu reaksiyon sonucunda hacim genişlemesine neden olan etrenjit ve alçı oluşumu görülür. Bu oluşum malzemenin sodyum sülfatlarla dayanıklılığını arttırırken magnezyum sülfatta aynı etkiyi yapmaz. Puzolanik reaksiyon ile oluşan CSH jelleri magnezyum sülfat ataklarına karşı daha zayıf ve hassastır [14-18]. Buğday samanı külünün çimento katkısı olarak kullanıldığı bir çalışmada sülfatlar karşı direncin yer değiştirme oranına ve sülfat konsantrasyonuna bağlı olduğu rapor edilmiştir [19]. Doğal bir puzolan ile yan ürün bir puzolanın klinker ile yer değiştirdiği bir çalışmada farklı inceliklerde ve farklı öğütme teknikleri kullanılmıştır. Magnezyum sülfat dayanıklılığı sodyum sülfata göre daha yüksek çıkmıştır [20].

Çalışmamızda iki farklı, renksiz ve kahverengi şişe camının, YFC ile ayrı ayrı ve birlikte katkı yapılmasının harç, fiziksel ve mekanik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla; 7 ve 28 günlük basınç dayanımları, Na_2SO_4 , MgSO_4 , NaCl , yüksek sıcaklığa dayanıklılık ve ASR etkisi incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL DETAIL)

2.1. Malzeme (Material)

Çalışmada, TS EN 197-1 [21] standardına uygun üretilmiş 28 günlük basınç dayanımı 42.5 MPa olan CEM I Portlant (PÇ) tipi çimento kullanılmıştır. YFC Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları'ndan temin edilmiş ve laboratuvar değirmeninde 4 saat boyunca öğütülmüştür. Renksiz (RC) ve kahverengi (KC) renkte şişe camı kullanılmış ve camlar laboratuvar ortamında 5 saat öğütülmüştür. PÇ, YFC ve camların kimyasal özellikleri Tablo 1'de, fiziksel özellikleri de Tablo 2'de verilmiştir.

Çalışmada, standart Rilem kumu kullanılmıştır [22]. Kullanılan kum silis kumudur, kumun gradasyonu ve kimyasal kompozisyonu Tablo 3'te verilmektedir. pH değeri 7,6 ve sertliği 12,8 olan şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

Tablo 1. Malzemelerin kimyasal özellikleri (Chemical composition of materials)

	PÇ %	YFC %	RC %	KC %
SiO_2	20.52	35.10	73.04	72.10
Al_2O_3	5.11	17.54	1.81	1.74
Fe_2O_3	2.84	0.70	0.04	0.31
CaO	63.62	37.8	11.50	11.57
MgO	1.59	5.50	0.32	0.46
SO_3	3.00	0.70	0.22	0.13
Na_2O	0.25	0.41	12.74	13.45
K_2O	0.81	1.72	0.35	0.2
Kızdırma Kaybı	1.96	1.08	-	-

Tablo 2. Malzemelerin fiziksel özellikleri (Physical properties of materials)

	PÇ	YFC	RC	KC
Özgül ağırlık	3.16	2.90	2.62	2.60
İncelik (cm^2/g)	3300	3720	4830	4672
Elek üstü kalan (%) >32 μm	21	18	12	14
Elek üstü kalan (%) >90 μm	0.8	0.6	0.6	0.8
Elek üstü kalan (%) >200 μm	0.1	0.1	0.1	0.1
Priz süresi (dakika)	190/225	-	-	-
Hacim genişmesi (mm)	1	-	-	-

Tablo 3. Kum özellikleri (Sand properties)

Kimyasal kompozisyon	Elek göz açıklığı		Kalan
	%	(mm)	
SiO_2	93.05	2	-
Al_2O_3	3.11	1.6	5.23
Fe_2O_3	0.37	1	33.02
CaO	0.17	0.5	65.74
MgO	0.03	0.16	86.21
SO_3	0.07	0.08	99.12
K_2O	1.50	Nem	0.11
Na_2O	1.10	Kızdırma Kaybı	0.57

2.2. Karışım (Mixture)

Camlar laboratuvarda granüle hale getirilmiş ve laboratuvar değirmeninde 5 saat öğütülmüştür. YFC ise fabrikadan granüle halde temin edilmiş ve camlar gibi laboratuvar değirmeninde 4 saat öğütülmüştür. Öğütme işlemi kendi ekseninde dönen bilyalı laboratuvar değirmeninde yapılmıştır. Değirmende bir seferde 10 kg malzeme öğütülmüştür. Değirmende kullanılan bilyeler 30 kg ağırlığındadır.

Numune üretiminde önce, iki farklı renkte cam ayrı serilerde çimento ile yer değiştirilmiştir. Daha sonra, yine her biri ayrı seri olmak üzere, camlar ile birlikte aynı oranda YFC yer değiştirmiştir. Numunelere referans olarak katkısız harç çubukları üretilmiştir. Çalışmada toplam beş grup bulunmaktadır. Bunlar, herhangi bir yer değiştirmenin yapılmadığı referans, renksiz camın kullanıldığı "R", kahverengi camın kullanıldığı

Tablo 4. Karışım detayı (Mixture details)

Harçlar	Karışım	PÇ	Cam	YFC
Referans	% 100 PÇ	100	-	-
R10	% 90 PÇ + % 10 Renksiz Cam	90	10	-
R30	% 70 PÇ + % 30 Renksiz Cam	70	30	-
R50	% 50 PÇ + % 50 Renksiz Cam	50	50	-
RY10	% 90 PÇ + % 5 Renksiz Cam + % 5 YFC	90	5	5
RY30	% 70 PÇ + % 15 Renksiz Cam + % 15 YFC	70	15	15
RY50	% 50 PÇ + % 25 Renksiz Cam + % 25 YFC	50	25	25
K10	% 90 PÇ + % 10 Kahverengi Cam	90	10	-
K30	% 70 PÇ + % 30 Kahverengi Cam	70	30	-
K50	% 50 PÇ + % 50 Kahverengi Cam	50	50	-
KY10	% 90 PÇ + % 5 Kahverengi Cam + % 5 YFC	90	5	5
KY30	% 70 PÇ + % 15 Kahverengi Cam + % 15 YFC	70	15	15
KY50	% 50 PÇ + % 25 Kahverengi Cam + % 25 YFC	50	25	25

“K”, renksiz cam-YFC'nin birlikte yer değiştirmesinin yapıldığı “RY” ve kahverengi cam ile YFC'nin birlikte yer değiştirmesinin yapıldığı “KY”. Her grupta % 10, 30 ve 50 oranlarında yer değiştirme yapılmıştır. Tüm grupların karışım oranları Tablo 4'te verilmektedir.

Karışım oranları verilen çimentoların harç numuneleri Türk Standardı TS-EN 196-1'e göre üretilmiştir. Denede 40×40×160 ve 25×25×285 mm boyutlarında harç kalıpları kullanılmıştır. Tablo 4'te karışımı verilen serilerde, çimento, standart Rilem kumu ve su 1:3:0.5 oranlarında girmiştir. W/C oranı 0,5 olarak TS EN 196-1'e göre alınmıştır [23].

2.3. Deneyler (Testings)

Üretilen harç numunelerinin 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanım deneyleri TS-EN 196-1'e göre yapılmıştır [23]. Numuneler 20 °C oda sıcaklığında 24 saat bekletildikten sonra 20 ± 3 °C sıcaklığında yedinci güne kadar kür havuzunda bekletilmiş ve aynı gün 7 günlük basınç dayanımları test edilmiştir. Diğer numuneler yirmi sekizinci güne kadar kür havuzunda bekletilmiş ve havuzdan çıkarılmıştır. Aynı gün 28 günlük basınç dayanımları test edilmiştir.

Harç numunelerinin sülfatlara dayanıklılıkları incelenmiştir. Harç örnekleri bir gün boyunca kür odasında bekletilmiş ve kalıpları söküldükten sonra yedinci güne kadar 20 ± 3 °C suda bekletilmiştir. Yedinci günün sonunda üç numune % 4 Na₂SO₄, üç numune % 4 MgSO₄ çözeltisinde yirmi sekizinci gün sonuna kadar bekletilmiştir. Çözelti içerisinde bekletilen numunelerin yirmi sekizinci gün sonunda basınç dayanımları ölçülmüştür.

ASR testi ASTM C 1260'a göre hızlı harç çubuğu deneyi 25×25×285 mm harç çubukları kullanılarak yapılmıştır. Karışıma giren çimento, kum ve su oranı (1:2,25:0,47) şeklindedir [23]. Numune kalıplara yerleştirilmiş ve 24 saat kalıpta bekletilmiştir. Kalıptan çıkarılan harç çubukları 24 saat 80 °C suda bekletilmiş ve referans ölçümü yapılmıştır. Referans ölçümü ya-

pıldıktan sonra kalıplar, 80 °C 1 N NaOH çözeltisinde 14 gün boyunca kür edilmiştir. Harç numunelerinin her dört günde bir genişleme değerleri ölçülmüştür.

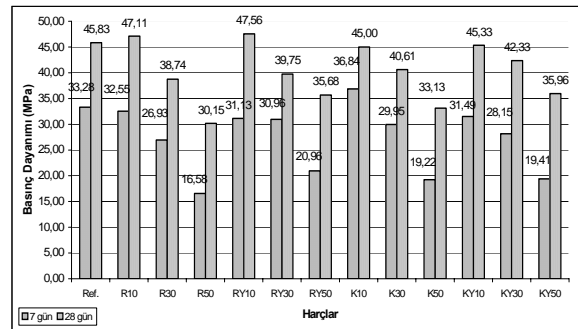
Harç numunelerin yüksek sıcaklığa dayanıklılıkları da incelenmiştir. 28 gün boyunca suda kür edilen harç numuneler 700 ve 1000 °C sıcaklıkta fırınlanmış ve sonuçta dayanım kayıpları incelenmiştir. Numuneler belirtilen sıcaklığa kadar fırın içerisinde bekletilmiştir. Fırın iç sıcaklığı istenilen değere ulaştığında numuneler fırından çıkarılmıştır. Fırın iç hacmi 9 dm³ olup, sıcaklık hızı da 6 °C/dak' dır. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numuneler, fırından çıkarıldıktan sonra 24 saat boyunca % 60-70 bağıl neme sahip laboratuvarında bekletilerek havada soğutulmuş ve 24 saat sonrasında basınç dayanımı ölçülmüştür.

Harç numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları, sülfatlara ve yüksek sıcaklığa dayanıklılığını belirlemek için bilgisayar kontrollü pres kullanılmıştır. Basınç dayanımlarının ölçümünde yükleme hızı 1 kN/s olarak seçilmiştir.

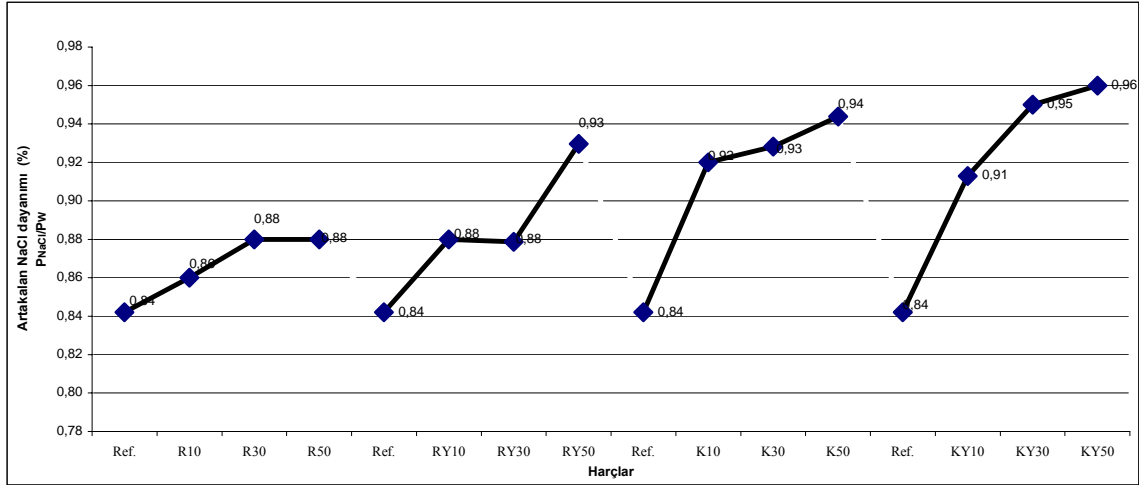
3. SONUÇLAR ve TARTIŞMA (RESULT and DISCUSSION)

3.1. Basınç Dayanımları (Compressive Strength)

Üretilen harç numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. 7 ve 28 günlük basınç dayanım sonuçları (7 ve 28 th days compressive strength results)



Şekil 2. Arta kalan NaCl direnci (Relative residual resistance to NaCl)

Çimento ile yer değiştirmesi yapılan camların ve YFC'nin 7 ve 28 günlük basınç sonuçları incelendiğinde en iyi sonucu veren yer değiştirme oranı % 10 olarak belirlenmiştir. % 10 yer değiştirmede renksiz cam, kahverengi cama göre daha yüksek basınç dayanımı vermiştir. Park vd. kullanılan cam renginin basınç dayanımında etkili olmadığını vurgulamışlardır [24]. Çalışmamızda da cam renklerinin cam basınç dayanımına etkisinin çok büyük olmadığı görülmüştür. 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarında benzer sonuçlar göze çarpmaktadır. Puzolanların yavaş reaksiyona girdiği ve bu reaksiyonları daha hızlı hale getirmek için belirli aktivatörlerin kullanıldığı bir çok çalışmada rapor edilmiştir [25]. Camların puzolanlar gibi reaksiyonu yavaşlatıcı bir özelliği 7 ve 28 günlük basınç dayanım sonuçlarına bakıldığında görülmemektedir.

Camlar ile birlikte YFC'nin kullanıldığı serilerin 28 günlük basınç dayanımlarının cam yer değiştirmeli serilerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak 7 günlük basınç dayanımlarında bu durum görülmemekle birlikte, basınç dayanımı daha düşük değerlerdedir. Puzolanlar genel olarak kimyasal tepkimeye girerken kirece gereksinim duyarlar. Yapılarında kireç bulunmayan YFC geç reaksiyona girmektedir. Çünkü Portland çimentosu kimyasal reaksiyona girerken bünyesinde bulunan klinker bileşenlerinden yararlanır. Oysa kompoze çimentolarda önce yer değişmiş olan klinker kimyasal tepkimeye girer daha sonra klinker bileşenlerinin sonucu olan kalsiyum hidroksitle tepkimeye girmektedir. Bu ise, priz süresinin gecikmesine sebep olmaktadır.

Basınç dayanımı % 30 ve % 50 yer değiştirmelerde referanstan düşük değerler vermiştir. Yer değiştirme oranı camlar veya YFC'nin daha fazla öğütülerek, daha ince hale getirilmesi ile elde edilebilir. Shao vd.'nin yapmış olduğu bir çalışmada bu durumu desteklemektedir [8]. Üç farklı boyutta camı çimento ile yer değiştirdiklerinde 38 mikrondan daha ince öğütülmüş camların basınç dayanımına önemli katkı yaptığını ve incelik arttıkça yer değiştirme oranının da artırılabilirliğini ifade etmişlerdir.

3.2. NaCl Direnci (Resistance to NaCl)

Harç numunelerinin NaCl etkisinde arta kalan basınç dayanımları ölçülmüştür. Arta kalan basınç dayanımı ölçümünde NaCl içinde kür edilen numuneler ile suda kür edilen numunelerin basınç dayanımları karşılaştırılmıştır. Arta kalan NaCl dayanımı P_{NaCl}/P_W formülü ile hesaplanmıştır. P_{NaCl} , NaCl içinde kür edilen numune basınç dayanımını, P_W ise suda kür edilen numunenin basınç dayanımını vermektedir. Sonuçlar Şekil 2'de görülmektedir.

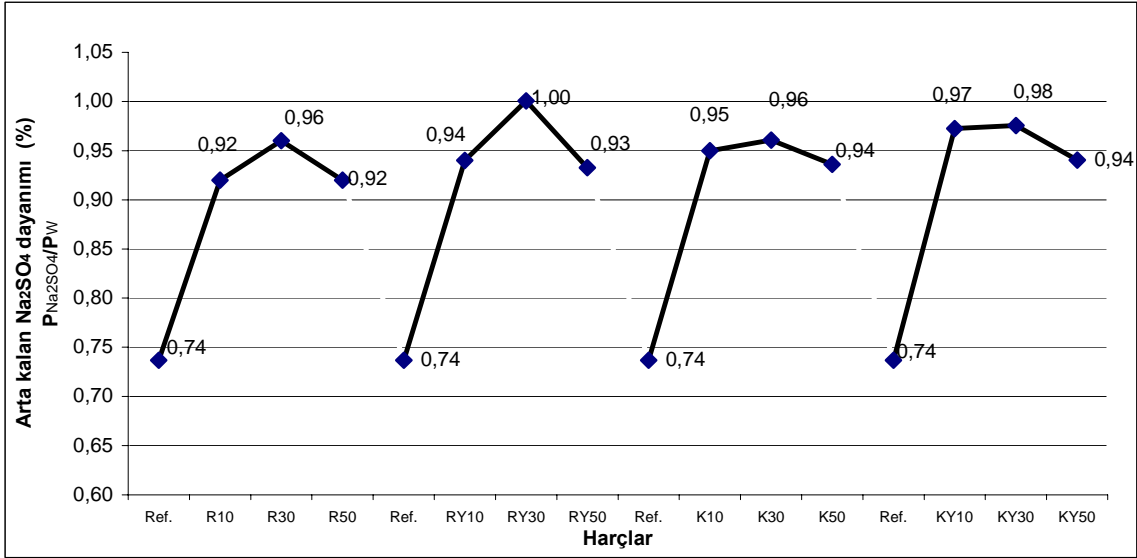
Referans harcın NaCl'ye karşı dayanıklılığı diğer serilerden % 2-12 düzeyinde düşük ölçülmüştür. Arta kalan basınç dayanımları cam rengine göre incelendiğinde renksiz cam kahverengi camdan daha az dirençli görülmüştür. Camların renkleri arasında % 6-8 düzeyinde fark görülmektedir. Cam katkı miktarı arttıkça az da olsa bir dirençte artış görülmektedir.

YFC katkısı incelendiğinde YFC yer değiştirmesinin yapıldığı seriler sadece cam yer değiştirmesinin yapıldığı serilerden % 2-4 düzeyinde yüksek dayanım sonuçları vermiştir. Cam ve YFC, klorür iyonlarının nüfuzunu engelleyerek, betonda klorürlere karşı dayanıklılığı artırmaktadır. Dolayısıyla bu durum basınç dayanımı sonuçlarında görülmektedir.

3.3. Na₂SO₄ Direnci (Resistance to Na₂SO₄)

Harç numunelerinin Na₂SO₄ etkisinde arta kalan basınç dayanımları ölçülmüştür. Arta kalan Na₂SO₄ dayanımı, $P_{Na_2SO_4}/P_W$ formülü ile hesaplanmıştır. $P_{Na_2SO_4}$, Na₂SO₄ içinde kür edilen numune basınç dayanımını, P_W ise suda kür edilen numunenin basınç dayanımını vermektedir. Sonuçlar Şekil 3'te görülmektedir.

Harç çubuklarının bir diğer yıpratıcı sülfat türü olan Na₂SO₄'a karşı dayanıklılığı da incelenmiştir. Üretilen serilerde en düşük dayanıklılığı yine referans harç çubuğu numunesi vermiştir. Cam ve YFC katkısının Na₂SO₄'a karşı dayanıklılığı arttırdığı açıkça görülmek-



Şekil 3. Arta kalan Na₂SO₄ direnci (Relative residual resistance to Na₂SO₄)

tedir. Fakat, bu iki katkının etki bakımından birbirleri arasında fark görülmemiştir. Cam renginin de sodyum sülfat direncine önemli bir etkisi gözlenmemiştir. Katkı yapılan malzemeler bütün yer değiştirme oranlarında referansa göre daha dayanıklı görülmüştür. Sülfatlar betonda hacim genişlemesine sebebiyet veren etrenjit ve alçı oluşumuna sebebiyet vermektedir. Puzolan malzemeler ise Ca(OH)₂'yi bağlayarak zararlı etkiye engel olurlar [17,18]. Çalışmamızda da bu görüşü destekleyen sonuçlar elde edilmiş ve Na₂SO₄ çözeltisinde katkı yapılan bütün malzemeler dayanımı arttırmıştır.

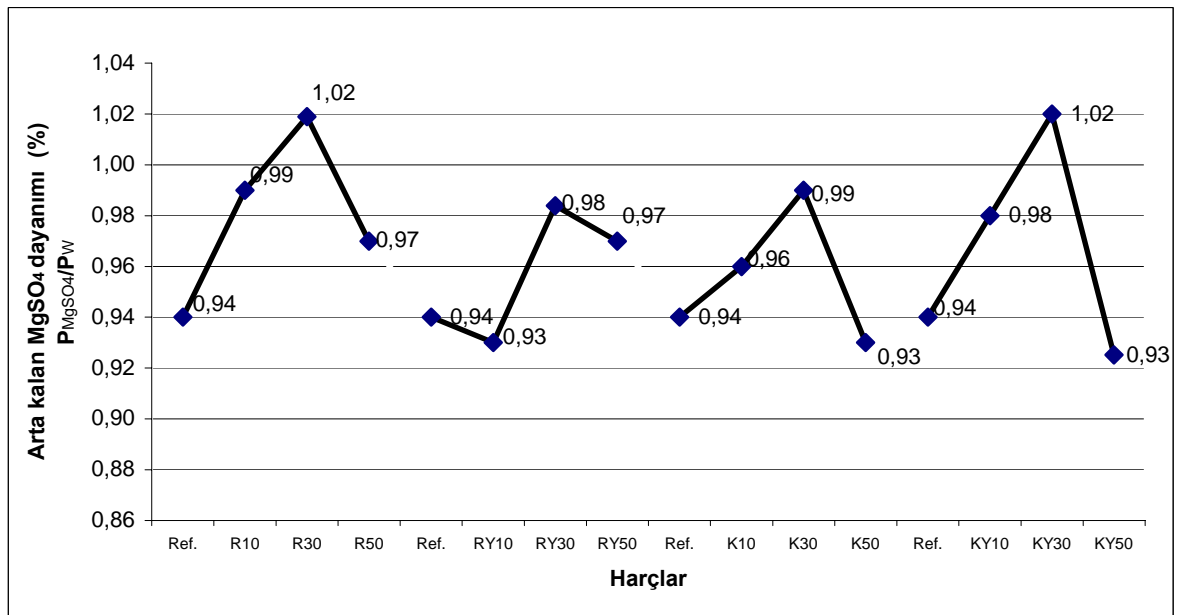
3.4. MgSO₄ Direnci (Resistance to MgSO₄)

MgSO₄ solüsyonuna maruz bırakılan numunelerin 28. günde basınç dayanımları ölçülmüştür. Arta kalan basınç dayanımı ölçümünde MgSO₄ içinde kür edilen numuneler ile suda kür edilen numunelerin basınç da-

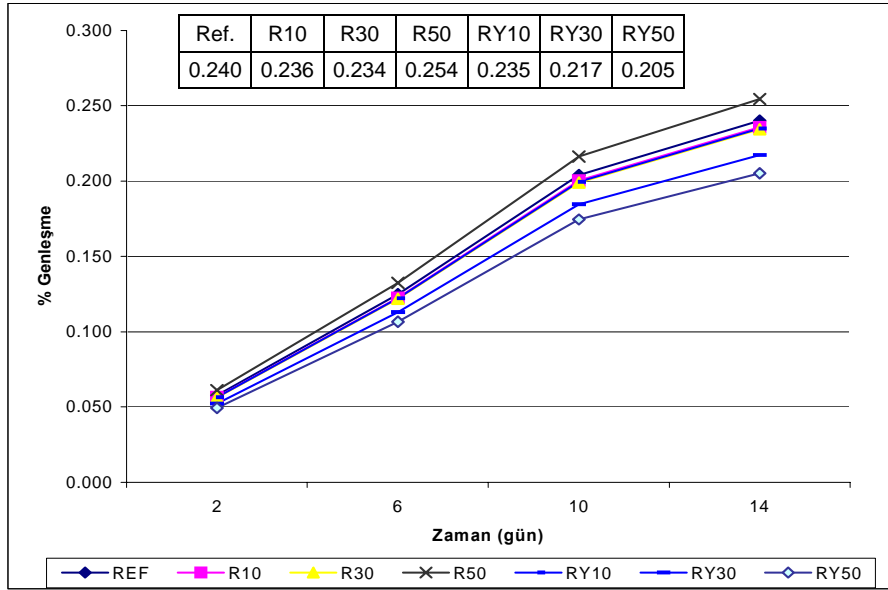
yanımları karşılaştırılmıştır. Arta kalan MgSO₄ dayanımı P_{MgSO_4} / P_W formülü ile hesaplanmıştır. P_{MgSO_4} , MgSO₄ içinde kür edilen numune basınç dayanımını, P_W ise suda kür edilen numunenin basınç dayanımını vermektedir. Sonuçlar Şekil 4'te görülmektedir.

MgSO₄'ın beton üzerinde önemli bir yıpratıcı etkisi vardır. Bu nedenle, üretilen seriler içinde, en düşük dayanıklılığı (27,9 MPa, % 94 artı dayanım) yine referans harç numunesi verirken; en yüksek değerleri de, % 30 yer değiştirme oranına sahip gruplar vermiştir. Camlar, MgSO₄'e karşı Na₂SO₄'de olduğu gibi dayanıklılık sergilemektedir. Serilerin % 50 yer değiştirme oranlarında referansa yakın sonuçlara ulaşılmıştır.

Puzolanlar Ca(OH)₂ ile reaksiyona girer ve bunun sonunda CSH jelleri oluşur. Bu oluşum malzemenin sodyum sülfata dayanıklılığını artırırken magnezyum



Şekil 4. Arta kalan MgSO₄ direnci (Relative residual resistance to MgSO₄)



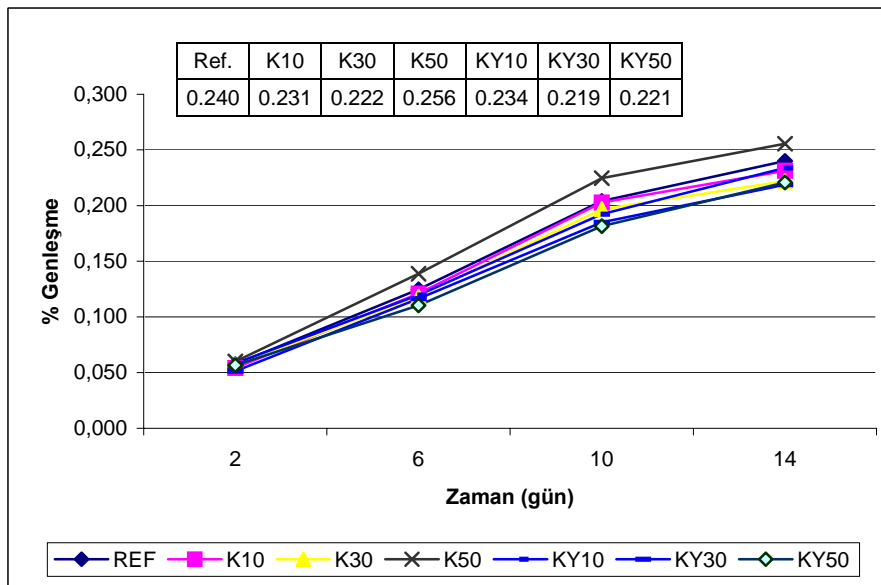
Şekil 5. Beyaz cama ASR etkisi (Effect of ASR on clear glasses)

sülfatta aynı etkiyi yapmadığı bir çok çalışmada vurgulanmaktadır [14-16]. Magnezyum sülfat etkisinde Brucite ve C-S-H' lar bağlayıcı özelliği olmayan M-S-H jellerine dönüşmektedir. En büyük bozulma bu dönüşüm sırasında meydana gelmektedir [26]. Literatürde verilen bu bilgilere rağmen harç numunelerinin arta kalan basınç dayanımları referanstan daha yüksek sonuçlar vermiştir. Binici ve Aksoğan'ın yapmış oldukları çalışma da Magnezyum sülfat dayanıklılığı, sodyum sülfata göre daha yüksek çıkmıştır [20]. Çelikhane ve yüksek fırın cürufunun çimento katkısı olarak kullanıldığı bir çalışmada da katkılı çimentolar portlant çimentosundan yüksek sonuç vermiştir [27]. Çalışmamızda sodyum sülfat ile magnezyum sülfata karşı direnç incelendiğinde birbirine yakın sonuçlar elde edilmekle birlikte magnezyum sülfat %1-2 oranında daha yüksek sonuçlar vermiştir.

3.5. Alkali Silika Reaksiyonu (Alkali-Silica Reaction)

ASR etkisi altında YFC, renksiz ve kahverengi camda meydana gelen genleşme değerleri yüzde olarak sırasıyla Şekil 5 ve 6'da görülmektedir.

Renksiz camlarda % 50 yer değiştirme oranında (R50) ASR genleşme değerleri en yüksek değerine ulaşmıştır. R10 ve R30 harç numunelerinin genleşme değerleri de referans numuneden daha düşük ölçülmüştür. Bu da cam katkısının % 30 yer değiştirme oranına kadar olumlu sonuçlar verdiğini göstermektedir. YFC ve camın yer değiştirmede birlikte kullanılmasında ise % 50 yer değiştirme oranında dahi referanstan daha düşük genleşme değeri ölçülmüştür. En az genleşme değeri de YFC ve Renksiz camın birlikte kullanıldığı % 50 yer değiştirme de gerçekleşmiştir. Puzolanlar, Portland



Şekil 6. Kahverengi cam'a ASR etkisi (Effect of ASR on brown glasses)

çimentosundan daha az reaktif oldukları ve daha düşük oranlarda alkali açığa çıkardıkları için seyreltici görevi görürler. Puzolanik katkı içeren karışımlar, sadece çimento içeren karışımlara nazaran daha yüksek efektif su/çimento oranına sahiptirler ve bu da alkali içeriğinin daha da seyrelmesine yol açar. Bunun yanında puzolanlar, çimento hamurundaki Ca(OH)_2 içeriğini azaltarak pH'ını düşürmektedir.

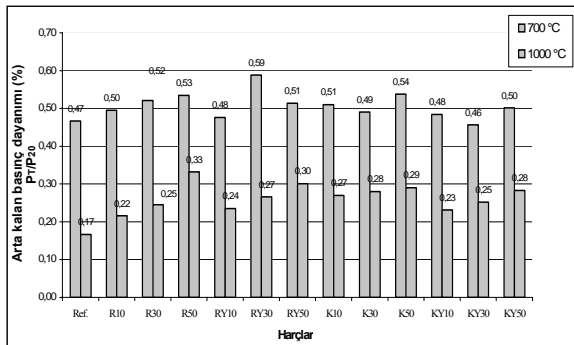
Kahverengi cam'ın kullanıldığı harç numunelerinin ASR genleşme değerleri de diğer seriler ile benzerlik göstermektedir. Bu seride de % 30 yer değiştirme oranına kadar yalnız cam katkısı ASR etkisini azaltmaktadır. % 50 yer değiştirmede ise en yüksek sonuçlar elde edilmiştir. YFC katkısı da bütün yer değiştirme oranlarında genleşme değerlerini düşürmüştür.

Camlar kendi içerisinde karşılaştırıldığında birbirlerine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Shao vd. ASR etkisini araştırdıkları çalışmalarında camın inceliği arttıkça genleşme değerinin azaldığını tespit etmişlerdir. Kontrol numunesine göre % 30 yer değiştirme oranlarında genleşme değeri büyükten küçüğe doğru şu şekilde sıralanmıştır: Kontrol, 150 mikron, 75 mikron, 38 mikron uçucu kül ve silis dumanı [8]. Bunun yanında Shayan ve Xu yaptıkları çalışmalarında öğütülmüş camın yer değiştirme oranı arttıkça genleşme değerinin arttığını ifade etmektedirler [1]. Bu çalışmada ise % 10 ve 30 yer değiştirmede ASR genleşme değeri azalırken % 50 yer değiştirmede referansa göre daha yüksek değer elde edilmiştir. Öğütülmemiş camların renklerinin ASR'ye yaptıkları etkinin incelendiği bir çalışmada renksiz camın, kahverengi ve yeşil renkli cama göre daha fazla genleşme değeri verdiği bulunmuştur [2]. Çalışmamızda cam renginin ASR genleşmeleri üzerinde büyük bir etkisi olmadığı görülmüştür.

3.6. Yüksek Sıcaklık (High Temperature)

Numuneler 700 ve 1000 °C yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan numunelerden elde edilen basınç dayanımları yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmamış numunelerin basınç dayanımlarına oranlanarak karşılaştırılmıştır. Arta kalan basınç dayanım sonuçları (P_1/P_{20}) Sonuçlar Şekil 7'de verilmektedir.

Farklı sıcaklıklarda beton yapısında genel olarak şu değişimler görülür. Beton kapiler su içermektedir, fizik-



Şekil 7. Yüksek sıcaklık etkisi (Effect of high temperature)

sel olarak bünyesinde bulunan su, 100 °C de ortamdan uzaklaşır [28]. Sıcaklık 400 °C nin üzerine çıktığında Ca(OH)_2 yapısında bozulmalar başlamaktadır. Yüzer vd. yaptıkları çalışmada, “bu ayrışmanın 530 °C’de tamamen gerçekleştiğini ve kayıp miktarının da % 33 oranında” olduğunu ifade etmektedirler [29]. 600 °C üzerinde C-S-H jelleri cement kabiliyetini kaybetmekte ve yapı dehidratasyona uğramaktadır. 800 °C’den sonra ise artık harç bütün özelliklerini yitirmektedir [30,31]. Puzolan katkılı harçlar üzerinde yapılan çalışmalarda, 300 °C’den sonra basınç dayanımlarının düşüşe geçtiği, 600 °C’ de % 50 düzeyinde ve 800 °C de ise % 60 düzeylerinde basınç azalmasının görüldüğü ifade edilmektedir [31,32].

Çalışmamızda referans numune tüm sıcaklıklarda en düşük dayanımı vermiştir. Yer değiştirme oranı arttıkça yüksek sıcaklığa dayanıklılığın arttığı görülmektedir. Yüksek sıcaklığa dayanıklılıkta cam rengi çok önemli olmamakla birlikte en iyi sonuç renksiz camda elde edilmiştir. Camlar ile YFC etkisi karşılaştırıldığında çok dikkate değer bir farklılık göze çarpmamaktadır. Ancak bu iki katkı malzemesi referansa göre daha iyi sonuçlar vermiştir. 700 °C’de harçlar % 50 dayanım kaybı göstermiştir. Literatürde buna benzer ifadeler yer almakta ve benzerlik görülmektedir. 1000 °C’de ise % 80 dayanım kaybı görülmüştür. Literatürde 800 °C’de % 60 kaybın görüldüğü ifade edilmektedir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Cam ve YFC’nin harç mekanik ve dayanıklılık özelliklerinin incelendiği çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Basınç dayanımı için % 10 yer değiştirme oranında en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Camlar incelendiğinde renksiz camlarda en yüksek değerlere ulaşılmıştır.
- Camlar ve YFC bütün yer değiştirme oranlarında; NaCl, Na_2SO_4 ve MgSO_4 gibi aşındırıcı solüsyonlarda referans’ a göre daha dayanıklı çıkmıştır.
- ASR etkisinde genleşme değerlerinde cam yer değiştirmesi % 30 yer değiştirmeye kadar olumlu sonuç verirken % 50 yer değiştirmede genleşme değeri referanstan yüksek olmuştur. YFC ise bütün yer değiştirmelerde iyi sonuçlar verirken birlikte kullanım ile % 50 yer değiştirmede görülen camın kötü etkisini azaltmıştır.
- Yüksek sıcaklık etkisinde bütün yerdeğiştirme oranları referanstan yüksek sonuç vermiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Shayan, A. ve Xu, A., “Value-added Utilization of Waste Glass in Concrete”. **Cement ve Concrete Research**, Cilt 34, 81-89, 2004.
2. Topçu, İ.B. ve Canbaz, M., “Properties of Concrete Containing Waste Glass”, **Cement and Concrete Research**, Cilt 34, 267–274, 2004.

3. Park, S.B. ve Lee, B.C., “Studies on Expansion Properties in Mortar Containing Waste Glass and Fibers”, **Cement and Concrete Research**, Cilt 34, 1145–1152, 2004.
4. Refined, J., “Development of Non-Traditional Glass Markets”, **Resource Recycling**, 18– 21. 1998.
5. Uchiyama, J., “Long-term Utilization of the Glass Reasphalt Pavement”. **Pavement**, 3– 89, 1998.
6. Swamy, R.N., **The Alkali– Silica Reaction in Concrete**, Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.
7. Naohiro, S., “The Strength Characteristics of Mortar Containing Glass Powder”, **The 49th Cement Technology Symposium**, JCA, Tokyo, 114–119, 1995.
8. Shao, Y., Lefort, T., Moras, S. ve Domian, R., “Studies on Concrete Ground Waste Glass”, **Cement and Concrete Research**, Cilt 30, 91-100, 2000.
9. Kozlova, S., Millrath, K., Meyer, C. ve Shimano- vich, S., “A Suggested Screening Test for ASR in Cement-Bound Composites Containing Glass Aggregate based on Autoclaving” **Cement and Concrete Composites**, Cilt 26, 827–835, 2004.
10. Shi, C. ve Day, R. L., “Early Strength Development and Hydration of Alkali-Activated Blast Furnace Slag/Fly Ash Blends”, **Advances in Cement Research**, Cilt 11, No 4, 189-196, 1999.
11. Shi C., Day R. L., Wu X. ve Tang M., “Comparison of the Microstructure and Performance of Alkali- Slag and Portlant Cement Pastes”, **Proceedings of the 9th International Congress on the Chemistry of Cement**, New Delhi, 3, 298-304, 1992.
12. Malolepszy J. ve Petri M., “High Strength Slag- Alkaline Binders” **Proceedings of the 8th International Congress on the Chemistry of Cements**, Brazil, 4, 108-111, 1986.
13. Douglas E. ve Brvestetr J. A., “Preliminary Study on the Alkali Activation of Granulated Blast Furnace Slag”, **Cement and Concrete Research**, Cilt 20, No 5, 746-756, 1990.
14. Torii, K. ve Kawamura, M., “Effects of Fly Ash And Silica Fume on the Resistance of Mortar to Sulfuric Acid and Sulfate Attack”, **Cement and Concrete Research**, Cilt 24, 361-370, 1994.
15. Mangat, P.S. ve Khatib, J.M., “Influence of Fly Ash, Silica Fume, and Slag on Sulfate Resistance of Concrete”, **ACI Materials Journal**, Cilt 92, 542-552, 1995.
16. Wild, S., Khatib, J.M. and O'Farrell, M., “Sulphate Resistance of Mortar, Containing Ground Brick Clay Calcined at Different Temperatures”, **Cement and Concrete Research**, Cilt 27, No 5, 697-709, 1997.
17. Neville, A.M., **Properties of Concrete**, Final edition, Longman Ltd. England, 1997.
18. Mehta, P.K. ve Monteiro, P.J.M., **Concrete, Microstructure, Properties and Materials**, 154-159, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1997.
19. Biricik, H., Aköz, F., Türker, F. ve Berktaş, I., Resistance to Magnesium Sulfate and Sodium Sulfate Attack of Mortars Containing Wheat Straw Ash”, **Cement and Concrete Research**, Cilt 30, 1189-1197, 2000.
20. Binici, H. ve Aksoğan, O., “Sulfate Resistance of Plain and Blended Cement”, **Cement And Concrete Composites**, Cilt 28, 39–46, 2006.
21. TS- EN-197-1, **Compositions and Conformity Criteria for Common Cements**, Turkish Standards Institution, Ankara, 2002.
22. TS- EN-196-1, **Methods of Testing Cements- Determination of Strength**, Turkish Standards Institution, Ankara, 2002.
23. ASTM C 1260, 1994, **Standart Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregate**, ASTM Standarts, Philadelphia.
24. Park, S.B., Lee, B.C. ve Kim, J.H., “Studies on Mechanical Properties of Concrete Containing Waste Glass Aggregate” **9th Annual International Conf. on Composites Engineering**, in: D. Hui (Ed.), Sponsored by International Community for Composite Engineering and College of Engineering, Univ. of New Orleans, California, 603–604, 2002.
25. Moranville-Regourd, M., “Cements Made from Blast-Furnace Slag”, **Lea's Chemistry of Cement and Concrete** Ed. P.C, 633–674, 1998.
26. Gollop, R.S. ve Taylor, H.F.W., “Microstructural and Microanalytical Studies of Sulfate Attack”, **Cement and Concrete Research**, Cilt 22, 1027-1038, 1992.
27. Özkan, Ö., “Çelikhane ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Portlant Çimentosunun Özellikleri”, **Teknik Dergi**, (Yayında)
28. Savva, A., Manita, P. ve Sideris, K.K. “Influence of Elevated Temperatures on the Mechanical Properties of Blended Cement Concretes Prepared with Limestone and Siliceous Aggregates”, **Cement and Concrete Composites**, Cilt 27, 239–248, 2005.
29. Yüzer, N., Aköz, F. ve Dokuzer Öztürk L., “Compressive Strength–Color Change Relation in Mortars at High Temperature”, **Cement and Concrete Research**, Cilt 34, 1803–1807, 2004.
30. Castillo C. ve Durrani A.J., “Effect of Transient High Temperature on High Strength Concrete”, **ACI Materials Journal**, Cilt 87, No 1, 47–53, 1990.
31. Xu, Y. ve Chung, D.D.L., “Effect of Sand Addition on the Specific Heat and Thermal Conductivity of Cement”, **Cement and Concrete Research**, Cilt 30, 59-61, 2000.
32. Culfik, M.S. ve Özturan, T., “Effect of Elevated Temperatures on the Residual Mechanical Properties of High-Performance Mortar”, **Cement and Concrete Research**, Cilt 32, 809-816, 2002.