

ÖĞÜTÜLMÜŞ ATIK CAM TOZU KATKILI BETONUN BASINÇ DAYANIMINA YÜKSEK SICAKLIĞIN ETKİSİ

Eyyüp ORHAN¹ Murat ŞAHİN²

¹ Bozok Üniversitesi, Sorgun Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, 66100, Yozgat, TÜRKİYE

² Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fak., İnşaat Mühendisliği Bölümü, 23100, Elazığ, TÜRKİYE
eyyup.orhan@bozok.edu.tr

Özet-Bu çalışmada, öğütülmüş atık cam tozunun, katkı maddesi olarak ilave edilmesiyle üretilen betonlarda yüksek sıcaklık etkisinin, basınç dayanımına etkileri incelenmiştir. Deneyleerde kullanılan öğütülmüş atık cam tozu, betona %0, %5, %10, %15, %20 oranlarında, çimento ile yer değiştirilerek ilave edilmiştir. Basınç dayanımı, ultrasonik ses geçirgenliği deneyi ve yüksek sıcaklık deneyleri için 100×100×100 mm ölçülerinde küp numuneler hazırlanmıştır. Numuneler 20±2 °C’ de 7, 28, 90 gün standart su küründe bekletilmişlerdir. Kür uygulanan numuneler 100°C, 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklığa maruz bırakılarak basınç dayanımındaki değişimler incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, ileriki yaşlarda cam tozu katkılı betonun 600°C ve 900°C sıcaklıklarda göstermiş olduğu basınç dayanımı, kontrol betonuna göre artış göstermiştir. Sonuç olarak, öğütülmüş cam tozunun optimum kullanımı %10 oranında olduğu ve ileriki yaşlarda kontrol numunesine göre cam tozu katkılı numunelerde daha az dayanım kaybı meydana gelmiştir.

Anahtar Kelimeler- Cam Tozu, Yüksek Sıcaklık, Basınç Dayanımı, Beton

EFFECT OF HIGH TEMPERATURE TO COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE WITH GROUND WASTE GLASS POWDER ADDITIVE

Abstract-Hereby study analyses the effects of high temperature on compressive strength in concrete produced by addition of ground waste glass powder. In relevant tests, ground waste glass powder is added to concrete in the rates of 0%, 5%, 10%, 15%, and 20% instead of cement. Cube samples of 100×100×100 mm are prepared for experiments with regard to compressive strength, ultrasonic sound permeability and high temperature. Samples are steeped in standard water cure at 20±2°C for 7, 28 and 90 days. Water-cured samples were exposed to temperature of 100°C, 300°C, 600°C and 900°C, respectively, and the changes in compressive strength were analyzed. According to results, the compressive strength of concrete with glass powder additive subject to temperatures of 600°C and 900°C increases in upcoming years to a higher level than control concrete. Therefore, 10% is found to be the optimum rate for ground glass; accordingly, the samples with glass powder additive suffered less loss of strength in the coming years, compared to control sample.

Key Words- Glass Powder, High Temperature, Compressive Strength, Concrete

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Nüfus artışı, toplumun tüketim alışkanlıkları, endüstriyel tesislerin çoğalması ve bu gelişmelere paralel olarak endüstriyel atıkların çeşitli çevre sorunlarını meydana getirdiği bilinmektedir. Bu sorunların çözümü için atık malzemelerin depolanması, imha edilmesi veya yeniden değerlendirilmesi gerekmektedir [1]. Günümüzde, kaliteli ve ekonomik yapı malzemelerine olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bu nedenle, bazı endüstriyel atıkların yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi gerek ekonomik gerekse çevre sorunlarını çözme bakımından büyük önem taşımaktadır.

Camlar günlük hayatta, şişe camı, pencere camı, dekoratif camlar, ampül camı, ışın tüpleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır [2]. Bu camlar atıl malzeme olduktan sonra çimento üretiminde, cam agrega veya filler malzeme olarak ve çimento yerine puzolanik katkı olarak geri dönüştürülmesi sağlanabilmektedir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde katı atıklar sosyal, ekonomik ve çevresel sorunların en büyüğünü oluşturmaktadır. Atıkların denetim, kontrol altına alınması, çimento ve beton üretimine geri kazandırılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır (3-17). Tablo 1'e göre atık malzemeler içinde camın % 18.46'sı geri kazanılabilir olduğu görülmektedir. Birçok yerleşim yeri için çok büyük problem teşkil eden katı atıkların önemli bir miktarını oluşturan cam atıklar, bazı durumlarda kaynağından özel olarak ayrılırken, bir miktarı da çöplüklerden ayırılarak yeniden değerlendirme için toplanmaktadır. Bu atıkların önemli bir bölümü cam eşya üretiminde kullanılmaktadır.

Tablo 1. Türkiye'de geri kazanılabilir atık malzeme yüzdeleri (Percentage of recoverable waste materials in Turkey) (18)

Geri kazanılabilir atık malzeme	%
Kağıt, Karton	45.48
Metal	8.62
Cam	18.46
Plastik	19.19
PET, PVC	6.15
Lastik, Kauçuk	3.35
Tekstil	4.88

Camlar, yüksek sıcaklıklarda bile viskozitesini koruyan sıvılardır. İnorganik maddelerden elde edilen ve silikat sistemden oluşan seramik malzemelerdir. Bununla birlikte, bileşenlerinin yüksek sıcaklıklarda eriyinceye kadar ısıtılması ve kristalleşmeden katı bir hale gelene kadar soğutulmasıyla diğer seramiklerden ayrılır (19). Cam amorf yapıya ve yüksek sertliğe sahip, saydam, kimyasal etkenlere ve ısı değişikliklerine dayanıklı, ışığı düzgün kırma özelliği olan ve güneş radyasyonuna geçirimsiz bir malzeme olarak tanımlanabilir. Camın ana maddesi ise saydamlık özelliğini sağlayan, amorf bünye içinde erimiş ve dağılmış durumda bulunan silis (SiO₂)'dir. Atık camlar beton içerisinde direkt olarak kullanılamamaktadır. Yıkayıp yabancı maddelerinden arındırıldıktan sonra, öğütme işlemine tabi tutulur. Öğütme işleminden sonra elenerek tane büyüklüğüne göre sınıflara ayrılır. İri malzemeler betonda agrega yerine, toz malzemeler ise çimento yerine veya filler malzeme olarak kullanılır (20).

Literatür araştırmalarında; Shao ve diğ., 38µm'den daha küçük tane çaplı cam tozunun beton içerisinde puzolanik etki yaptığını bulmuşlardır. Shayan ve Xu, atık cam tozunun beton durabilitesine katkıda bulunduğunu göstermiştir. Shi ve diğ., atık cam tozu kullanılarak üretilmiş harçlar üzerinde yapmış oldukları testler neticesinde alkali-silika reaksiyonunun azaldığını bulmuşlardır. Cornialdesi ve diğ., 100 µm'den daha küçük tane çaplı cam tozu ile yapılan harç ve betonlarda alkali-silika reaksiyonlarının hiç oluşmadığını göstermişlerdir. Topcu

ve Canbaz ise atık camların betonda iri agrega olarak kullanılması durumunda, betonun işlenebilirlik ve basınç dayanımını bir miktar düşürdüğünü belirtmişlerdir (21-24).

Yapılan araştırmalarda, atık camların beton içerisinde kullanımıyla ilgili çalışmalar genellikle dayanım testleri ve alkali-silika reaksiyonları ile sınırlı kalmıştır. Donma-çözülme, aşınma ve yüksek sıcaklık deneyleri ile ilgili bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışmada ise, öğütülmüş atık cam tozları çimento ile yer değiştirilerek hazırlanan beton numunelerin yüksek sıcaklık etkisinin basınç dayanımı ve ultrasonik ses geçirgenliğine etkileri incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERİMENTAL STUDY)

2.1. Malzemeler (Materials)

Deneylede, Elazığ Çimento Fabrikası'ndan temin edilen ve TS EN 197-1'de CEM I 42,5 R olarak tanımlanan çimento kullanılmıştır (25). Mineral katkı olarak atık pencere camlarının 50 µm tane büyüklüğüne kadar öğütülmesi sonucu elde edilen cam tozu kullanılmıştır. Kimyasal katkı olarak Sika ViscoCrete Hi-Tech-36 Serisi üçüncü nesil süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Çimentonun ve Cam tozunun fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 2'de, akışkanlaştırıcının özellikleri ise Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 2. Çimentonun ve Atık cam tozunun fiziksel ve kimyasal özellikleri (Physical and chemical properties of cement and waste ground glass powder) (26)

Bileşenler (%)	Portland Çimentosu	Atık Cam Tozu
SiO ₂	21.12	73.90
Al ₂ O ₃	5.62	1.69
Fe ₂ O ₃	3.24	0.98
CaO	62.94	9.89
SO ₃	2.30	1.72
MgO	2.73	2.96
Na ₂ O	-	7.86
Kızdırma Kaybı	1.78	-
Özgül Yüzey (cm ² /gr) (Blaine)	3430	-
Özgül Ağırlık	3.10	2.6

Tablo 3. Akışkanlaştırıcı katkının kimyasal ve fiziksel özellikleri (Chemical and physical properties of plasticizer) (27)

Görünüm / Renk	Açık kahverengi sıvı
Kimyasal Yapı	Modifiye polikarboksilat esaslı polimer
Yoğunluk	1.07 – 1.11 kg/l (20 °C'de)
pH Değeri	3 - 7
Donma Noktası	-9
Suda Çözünabilir Klorür Yüzdesi	En fazla % 0.1, Klorür içermez.

2.2. Karışım Oranları ve Detayları (Mix Proportions and Details)

Bu çalışmada mineral katkı olarak kullanılan atık cam tozu kullanılan betonların basınç dayanımına yüksek sıcaklığın etkisini belirlemek amacıyla 7, 28 ve 90 günlük kür süreleri için beş farklı beton serisi hazırlanmıştır. Bu seriler; kontrol betonları (Control), %5 cam tozu katkılı betonlar (CGP5), %10 cam tozu katkılı betonlar (CGP10), %15 cam tozu katkılı betonlar (CGP15) ve %20 cam tozu katkılı betonlardan (CGP20) oluşmaktadır. Tüm beton serilerinde aynı tane çapına sahip agrega kullanılmış olup, çimento dozajı 400 kg/m^3 olarak seçilmiştir. Katkı maddesi olarak kullanılan öğütülmüş cam tozu, Portland çimentosu ile ağırlık olarak yer değiştirilerek kullanılmıştır. Tüm beton serilerinde karışımların Slump deneyinin çökme değeri 7–9 cm arasında bulunmuştur.

Basınç dayanımı, ultrasonik ses geçirgenliği ve yüksek sıcaklık deneyleri için $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}$ ölçülerinde küp numune kalıpları kullanılmıştır. Hazırlanan karışımlar, Her defasında 25'er kez şişlenerek 3 aşamada kalıplara yerleştirilmiştir. Bir gün kalıplarda bekletilen numuneler sökülerek 7, 28 ve 90 gün $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de su kürüne tabi tutulmuşlardır. Hazırlanan beton numunelerin karışım oranları Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Beton karışım oranları (Concrete mixture rates)

Karışım	Çimento (kg/m^3)	Su/Toz	SA* (kg/m^3)	GP** (kg/m^3)	Agrega (kg/m^3)		
					0-4	4-8	8-16
CONTROL	400	0.53	4	0	600	515	598
CGP5	380	0.53	4	20	599	513	597
CGP10	360	0.53	4	40	597	511	594
CGP15	340	0.53	4	60	595	508	593
CGP20	320	0.53	4	80	594	506	592

*Süper Akışkanlaştırıcı

**Öğütülmüş Cam Tozu (Glass Powder)

2.3. Basınç Dayanımı Deneyi (Compressive Strength Test)

Basınç dayanım deneyi TS EN 12390–3'e göre yapılmıştır (28). 7, 28 ve 90 gün sonunda numuneler 3000 kN yükleme kapasitesine sahip otomatik kontrollü preste kırılarak basınç dayanımı değerleri ölçülmüştür

2.4. Ultrasonik Ses Geçirgenlik Deneyi (Ultrasound Pulse Velocity)

Ultrasonik test cihazı ile betonun içerisine gönderilen ses üstü dalgaların betonun bir yüzeyinden diğer yüzeyine geçme süresi ölçülüp, dalga hızı hesaplanmaktadır. Bulunan bu ses üstü dalga hızı ile betonun basınç dayanımı ve diğer özellikleri arasındaki ilişki elde edilmektedir (29). Ultrasonik ses geçirgenliği deneyi her karışım için 3'er adet $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}$ ölçülerindeki küp numuneler üzerinde uygulanmıştır. Beton numunenin bir yüzeyinden gönderilen ses üstü dalganın diğer yüzeyine ne kadar zamanda geçtiği ölçüldükten sonra, dalga hızı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$V = (S/T).10^6 \quad (1)$$

Burada;

V = Ses üstü dalga hızı (m/sn),

S = Numunenin ses üstü dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzeyi arasındaki mesafe (metre),

T = Ses üstü dalganın gönderilmiş olduğu beton yüzeyinden, alındığı diğer yüzeye kadar geçen zaman (mikro saniye) (30).

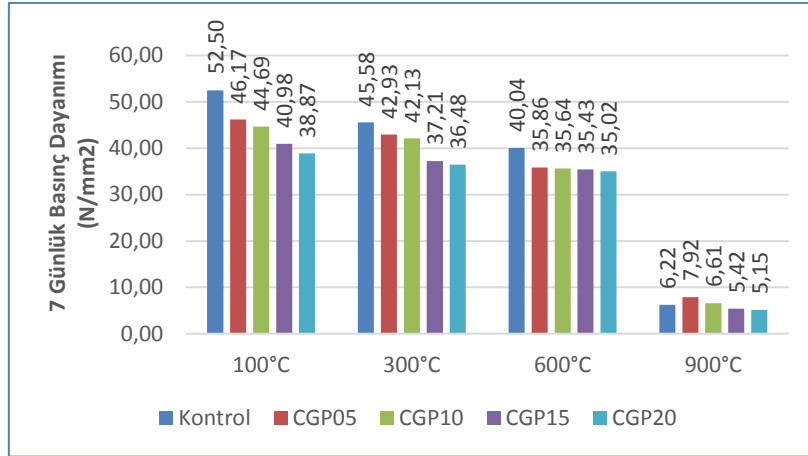
2.5. Yüksek Sıcaklık Deneyi (Exposure To High Temperature)

Hazırlanan numuneler 7, 28 ve 90 gün 20 ± 2 °C’de kür edildikten sonra kür havuzundan çıkarılarak etüvde kurutulmuştur. Numuneler 1320 °C kapasiteli, 2,5 °C/dak ısınma hızı olan fırında 100°C, 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Numuneler soğuk halde olan fırına yerleştirilip fırın çalıştırılmıştır. İstenilen dereceye gelindikten sonra 1 saat sıcaklık sabit tutulup fırın otomatik olarak kapanmıştır (31). Çıkarılan numuneler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Oda sıcaklığına kadar soğuyan numunelere basınç dayanımı deneyi ve ultrasonik ses geçirgenlik deneyi uygulanmıştır.

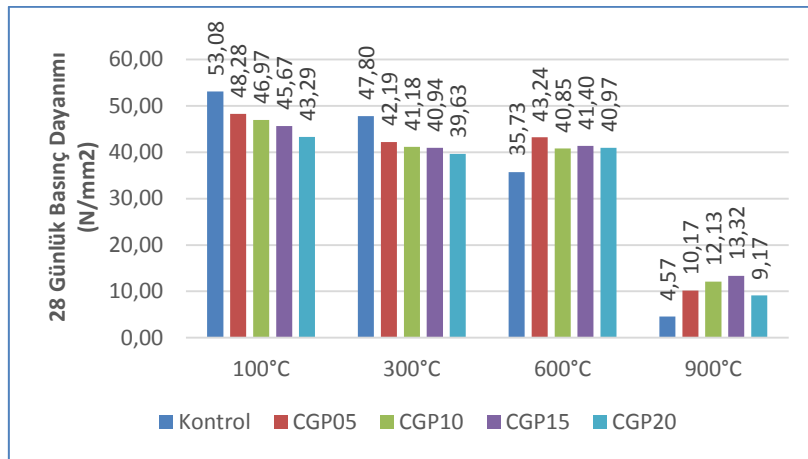
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu çalışmada, 60 adet 100×100×100 mm boyutlarında küp numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 20 ± 2 °C’de standart su küründe 7, 28 ve 90 gün kür edildikten sonra yüksek sıcaklık sonrası, basınç dayanımı ve ultrases hızı deneyleri yapılmıştır. Yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 1-2-3’te, yüksek sıcaklık sonrası ultrasonik geçiş hızı deney sonuçları ise Şekil 4-5-6’da verilmiştir.

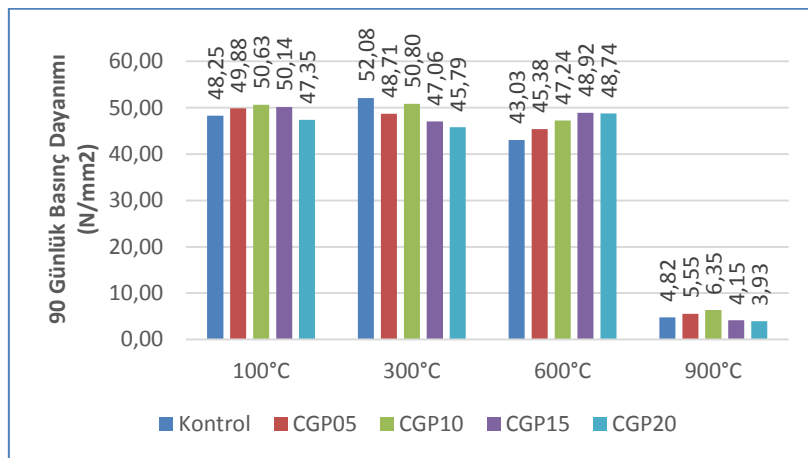
7 günlük betonun yüksek sıcaklık sonrası, 100 °C, 300 °C ve 600 °C’de kontrol betonuna göre basınç dayanımlarında düşüş meydana geldiği Şekil 1’de görülmektedir. 900 °C’de ise CGP05 ve CGP10 serilerinin kontrol betonuna göre daha az dayanım kaybettiği görülmektedir. İlk günlerde cam tozu etkisini çok fazla gösterememiştir. 28 ve 90 günlük yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımlarında cam tozu etkisini göstererek kontrol betonuna göre daha az dayanım kaybı meydana gelmiştir (Şekil 2-3). 600 °C’de cam tozu katkılı serilerin basınç dayanımlarında 300 °C’deki basınç dayanımı değerlerine göre bir miktar artış gözlenmiştir. Bu durum kısmen artan sıcaklıkla birlikte serbest suyun buharlaşması sonucu birbirine daha yakın hareket eden çimento jel tabakaları arasındaki Van der Waal’s kuvvetlerinin artması ile betonun dayanım kazanmasından kaynaklanmıştır (32). 90 günlük basınç dayanımlarında ise CGP20 hariç, diğer seriler 100 °C’de kontrol betonuna göre artış meydana gelmiştir. Bu artış ise cam tozunun puzolanik etki yarattığını göstermektedir. Diğer puzolanlarda olduğu gibi ileriki yaşlarda dayanım artışı görülmüştür. 90 günlük basınç dayanımında 600 °C’de cam tozu katkılı serilerde artış gözlenmiştir.



Şekil 1. 7 Günlük Betonun Yüksek Sıcaklık Sonrası Basınç Dayanımı (Compressive strength on 7-day concrete following high temperature)



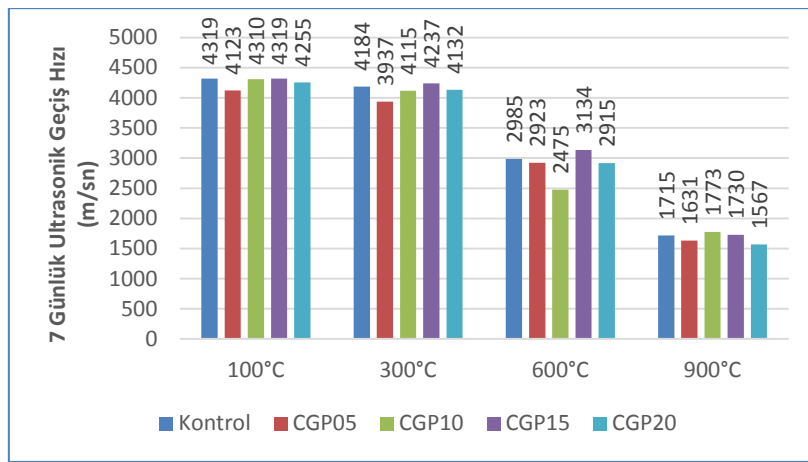
Şekil 2. 28 Günlük Betonun Yüksek Sıcaklık Sonrası Basınç Dayanımı (Compressive strength on 28-day concrete following high temperature)



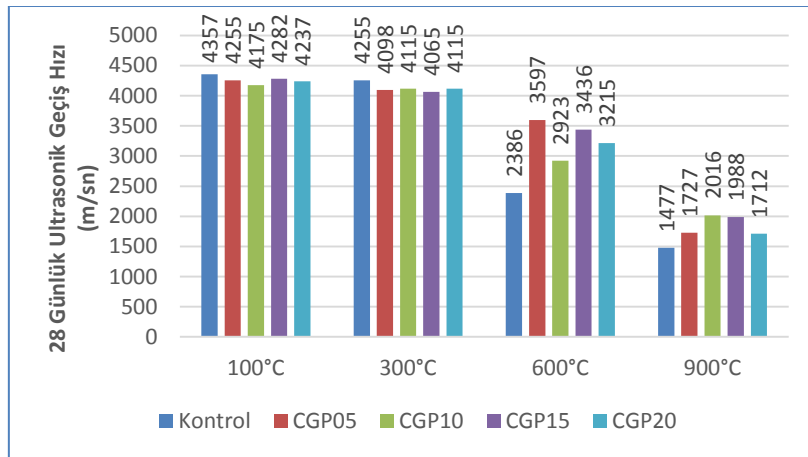
Şekil 3. 90 Günlük Betonun Yüksek Sıcaklık Sonrası Basınç Dayanımı (Compressive strength on 90-day concrete following high temperature)

Yüksek sıcaklık sonrası, ultrasonik geçiş hızının belirlenmesi ile numunelerde oluşan tahribat miktarı ölçülmüştür. Sıcaklık artışı ile ultrasonik geçiş hızında azalma olmuştur. Bunun nedeni betonun iç yapısında su buharlaşması sonucu oluşan boşluklarda ses üstü dalga hızının, dalganın verildiği ile alındığı yüzeyler arasında yavaş geçiş yapmasıdır. 300 °C sıcaklıktan sonra ultrasonik geçiş hızı ani olarak azalmıştır. Bunun nedeni, 600 °C ve 900 °C de CSH jellerinin yapısı hasar gördüğünden geçiş hızı ani olarak azalma göstermiştir. Betonun kapiler boşluklarındaki suyun, sıcaklığa bağlı olarak buharlaşması sonucu betonun bünyesinde birtakım çatlakların oluşması nedeniyle de ultrasonik geçiş hızları düşüşe uğramıştır.

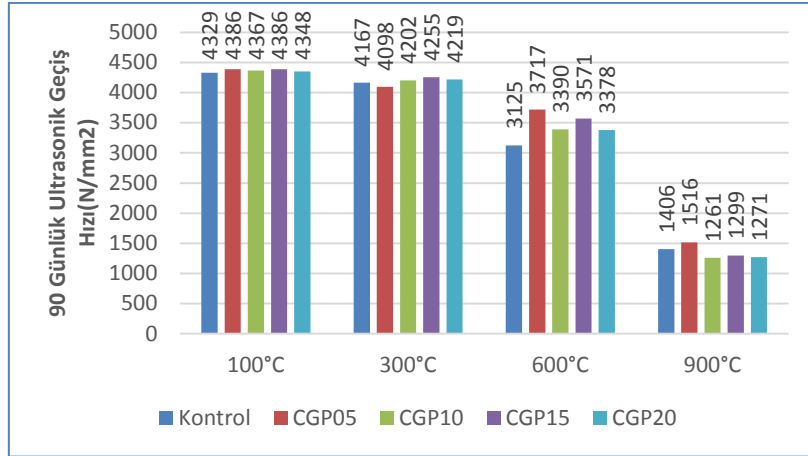
Cam tozu, çimento hidrasyonu süresince serbest haldeki kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girerek betonun basınç dayanımı gelişiminde etkili olmuştur. Ayrıca cam tozunun tane boyutu çok küçük olduğundan agrega ve çimento ara yüzeyinde puzolanik aktivitede haricinden filler etkisi gerçekleştirerek daha yoğun bir agrega-bağlayıcı ara yüzeyi oluşturmaktadır (31).



Şekil 4. 7 Günlük Betonun Yüksek Sıcaklık Sonrası ultrasonik geçiş hızı (Ultrasound Pulse Velocity of 7-day concrete following high temperature)



Şekil 5. 28 Günlük Betonun Yüksek Sıcaklık Sonrası ultrasonik geçiş hızı (Ultrasound Pulse Velocity of 28-day concrete following high temperature)



Şekil 6. 90 Günlük Betonun Yüksek Sıcaklık Sonrası ultrasonik geçiş hızı (Ultrasound Pulse Velocity of 90-day concrete following high temperature)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

- Cam tozu kullanımının 28 ve 90 günlük basınç dayanımlarında artışa neden olduğu görülmüştür.
- Cam tozu kullanımı ilk günlerde (7 günlük) basınç dayanımı düşüşüne neden olmuştur.
- 600 °C'de Van der Waal's kuvvetlerinin artmasından dolayı basınç dayanımlarında artış meydana gelmiştir.
- Cam tozu kullanılan seriler 900 °C sıcaklıkta, kontrol betonuna göre daha az etkilenmiştir.
- Öğütülmüş cam tozunun, puzolanik aktiviteye sahip olduğu ve filler malzeme etkisi gösterdiği görülmüştür.
- Cam tozunun optimum kullanım oranının %10 ve %15 olduğu görülmüştür.
- Yapılan bu çalışma ile katı atıkların içerisinde büyük oranını oluşturan cam atıkların çimento yerine betonda kullanımı hem betonun dayanımını artıracaktır hem de çevre kirliliğini azaltacaktır.

5. SEMBOLLER (SYMBOLS)

- V = Ses üstü dalga hızı (m/sn),
- S = Numunenin ses üstü dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzeyi arasındaki mesafe (metre),
- T = Ses üstü dalganın gönderilmiş olduğu beton yüzeyinden, alındığı diğer yüzeye kadar geçen zaman (mikro saniye)

6. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. Kılıçoğlu, C., (2013). Cam atıklarının betonda agrega ve çimento yerine kullanımı, Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- [2]. Özkan, Ö., (2007). Atık cam ve yüksek fırın cürufu katkılı harçların özellikleri, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 22(1), 87-94.
- [3]. Shayan, A., and Xu, A., (2006). Performance of glass powder as a puzolanik metarial in concrete: A field trial on concrete slabs, Cement and Concrete Research, 33, 457-468.
- [4]. Matos, A.M., and Sousa-Coutinho, J., (2012). Durability of mortar using waste glass powder as cement replacement, Construction and Building Materials, 36, 205-2015.

- [5]. Taha, B., and Nounu, G., (2007). Using lithium nitrate and pozzolanic glass powder in concrete as ASR suppressors, *Cement & Concrete Composites*, 30, 497-505.
- [6]. Tuan, B.L.A., Hwang, C.H., Lin, K.L., Chen, Y.Y., and Young, M.P., (2013). Development of lightweight aggregate from sewage sludge and waste glass powder for concrete, *Construction and Building Materials*, 47, 334-339.
- [7]. Shi, C., Wu, Y., Riefler, C., and Wang, H., (2005). Characteristics and pozzolanic reactivity of glass powders, *Cement and Concrete Research*, 35, 987-993.
- [8]. Romero, S., James, J., Mora, R., and Hays, C.D., (2013). Study on the mechanical and environmental properties of concrete containing cathode ray tube glass aggregate, *Waste Management*, 33, 1659-1666.
- [9]. Cota, F.P., Melo, C.C.D., Panzera, T.H., Araujo, A.G., Borges, P.H.R., and Scarpa, F., (2015). Mechanical properties and ASR evaluation of concrete tiles with waste glass aggregate, *Sustainable Cities and Society*, 16, 40-56.
- [10]. Buanis, G., Bajare, D., Locs, J., and Korjakins, A., (2013). Alkali-silica reactivity of foam glass granules in structure of lightweight concrete, *Construction and Building Materials*, 47, 274-281.
- [11]. Lee, G., Poon, C.S., Wong, Y.L., and Ling, T.C., (2013). Effects of recycled fine glass aggregates on the properties of dry-mixed concrete blocks, *Construction and Building Materials*, 38, 638-643.
- [12]. Wang, H.Y., Zeng, H.H., and Wu, J.Y., (2014). A study on the macro and micro properties of concrete with LCD glass, *Construction and Building Materials*, 50, 664-670
- [13]. Zhao, H., Poon, C.S., and Ling, T.C., (2013). Utilizing recycled cathode ray tube funnel glass sand as river sand replacement in the high-density concrete, *Journal of Cleaner Production*, 51, 184-190.
- [14]. Khatib, J.M., Negim, E.M., Sohl, H.S., and Chileshe, N., (2012). Glass powder utilisation in concrete production, *European Journal of Applied Sciences* 4(4), 173-176.
- [15]. Kim, Jihwan., Moon, J.H., Shim, J.W., Sim, J., Lee, H.G., and Zi, G., (2014). Durability properties of a concrete with waste glass sludge exposed to freeze-and-thaw condition and de-icing salt, *Construction and Building Materials*, 66, 398-402.
- [16]. Jain, J.A., and Neithalath, N., (2010). Chloride transport in fly ash and glass powder modified concretes – Influence of test methods on microstructure, *Cement & Concrete Composites*, 32, 148-156.
- [17]. Liu, M., (2011). Incorporating ground glass in self-compacting concrete, *Construction and Building Materials*, 25, 919-925.
- [18]. Anonim, (2001). VIII. Beş yıllık kalkınma planı içme suyu, kanalizasyon, arıtma sistemler ve katı atık denetimi ihtisas komisyonu, Katı atık denetimi alt komisyonu raporu, D.P.T., Ankara.
- [19]. Smith, W.F., (2001). Malzeme Bilimi ve Mühendisliği (Çeviri: Kınıkoğlu, N.), Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- [20]. Baradan B., (2003). İnşaat Mühendisleri İçin Malzeme Bilgisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, Yayın No: 307, İzmir.
- [21]. Shao, Y., Lefort, T., Moras, S., and Rodriguez, D. (2000). Studies on concrete containing ground waste glass, *Cement and Concrete Research*, 30(1), 91–100.
- [22]. Shayan, A., and Xu, A., (2004) Value-added utilization of waste glass in concrete. *Cement and Concrete Research*, 34(1), 81–89.
- [23]. Corinaldesi, G.G., Moriconi, G., and Montenero, A. (2005) Characteristic and pozzolanic reactivity of glass powders. *Waste Management*, 25(2), 197–201.
- [24]. Topcu, I.B., and Canbaz, M., (2004). Properties of concrete containing waste glass, *Cement and Concrete Research*, 34(1), 267–274.
- [25]. TS EN 197–1, (2002). Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- [26]. Kavas, T., Çelik, M.Y., and Evcin, A., (2004). Cam atıklarının çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir,114-119.
- [27]. Orhan, E., 2012. Kendiliğinden yerleşen betonlarda katkı oranları değişiminin betonun özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
- [28]. TS EN 12390-3, (2003). Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [29]. Erdoğan, T. Y., (2003) Beton, ODTÜ Geliştirme vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara.
- [30]. ASTM C 597, (1994). Standard Test Method For Pulse Velocity Through Concrete, Annual Book of ASTM Standarts.
- [31]. Coşkun, A., Tanyıldızı, H., and Yazıcıoğlu, S., (2007). Mineral katkıli betonun aderans dayanımına 800 °C'nin etkisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 13(3), 347-351.
- [32]. Demirel, B., and Keleştemur, O., (2011). Yüksek sıcaklığa maruz pomza ve silis dumanı katkıli betonların mekanik ve fiziksel özelliklerine kür yaşının etkisi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7(1), 1-13.