

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ATIK CAM İÇEREN PARKE TAŞLARININ YANGIN, DONMA-ÇÖZÜLME
VE AŞINMA DAYANIMLARININ İNCELENMESİ**

Enver Sedat YAHLİZEDE

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2007**

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ATIK CAM İÇEREN PARKE TAŞLARININ YANGIN, DONMA-ÇÖZÜLME
VE AŞINMA DAYANIMLARININ İNCELENMESİ**

Enver Sedat YAHLİZEDE

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2007**

Yrd. Doç. Dr. Paki TURGUT danışmanlığında, Enver Sedat YAHLİZADE ‘nin hazırladığı “Atık Cam İçeren Parke Taşlarının Yangın, Donma-Çözülme ve Aşınma Dayanımlarının İncelenmesi ” konulu bu çalışma 27/08/2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Paki TURGUT

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mahmut KÖMÜR

Üye : Doç. Dr. Murat KISA

Bu Tezin İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım

Prof. Dr. İbrahim BOLAT
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: 724

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	4
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	5
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	15
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	19
KAYNAKLAR.....	20
ÖZGEÇMİŞ.....	21
ÖZET.....	22
SUMMARY.....	23

ÖZ

Yüksek Lisans Tezi

ATIK CAM İÇEREN PARKE TAŞLARININ YANGIN, DONMA-ÇÖZÜLME VE AŞINMA DAYANIMLARININ İNCELENMESİ

Enver Sedat YAHLİZADE

**Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman : Yrd. Doç. Dr. Paki TURGUT
Yıl: 2007, Sayfa: 25**

Bu çalışmada, ağırlıkça %10, 20 ve 30 oranında cam tozu parke taşları içerisinde bulunan kumla yer değiştirmiştir. Atık cam tozu içeren beton parke taşlarının donma-çözülme, aşınma ve yangın dirençleri incelenmiş ve atık cam tozu içermeyen kontrol numunesi ile karşılaştırılmıştır. 50 tekrarlık donma-çözülmede, beton parke taşı içerisinde bulunan atık cam tozunun herhangi bir zararlı etkisi olmamıştır. %20 atık cam tozu oranında, beton parke taşının aşınma direnci yaklaşık %15 kadar artmıştır. 600 °C sıcaklıkta, atık cam tozu içeren beton parke taşlarında gözle görülür bir çatlama olmamıştır.

ANAHTAR KELİMELEER : Kaldırım taşı, beton, atık cam tozu, fiziksel özellikler

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF FIRE, FREEZING-THAWING AND ABRASION RESISTANCES OF PAVING STONES WITH WASTE GLASS

Enver Sedat YAHLİZADE

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

**Supervisor : Assist. Prof. Dr. Paki TURGUT
Year: 2007, Page:25**

In this study, 10, 20 and 30% waste glass powder as weight were replaced by sand in concrete paving stones. Freezing-thawing, abrasion and fire resistance of concrete paving stones with waste glass powder were investigated and compared with control sample without waste glass powder. In the 50 cycles of freezing-thawing waste glass powder was not harmful in the concrete paving stones. In the 20% waste glass powder ratio abrasion resistance of concrete paving stone was increased about 15%. In the 600 °C temperature there was not any visible cracks on the concrete paving stones with waste glass powder.

KEYWORDS: Paving stone, concrete, waste glass powder, physical properties

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tez çalıŐmamın yapılmasında yardımlarını esirgemeyen tez danıŐmanım Yrd.Doç.Dr. Paki Turgut'a, maddi ve manevi desteklerinden dolayı tüm sevgili aileme, teze maddi katkılarında dolay HÜBAK BaŐkanlıđına, BELSAN A.Ő.'ye ve cihazlarından istifade ettiğim TÜBİTAK'a teŐekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.Ayrıca fkltemizdeki araştırma görevlisi ve bölüm hocalarıma destek ve yardımlarında dolay teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. Atık cam yığınları	2
Şekil 1.2. Atık cam işleme ünitesi	3
Şekil 3.1. Karışımda kullanılan agregalar ve cam tozunun elek analizleri	6
Şekil 3.2. Cam tozu, iri ve ince agregaların elek analizinin yapılması	6
Şekil 3.3. Karışımların yapıldığı mikser	8
Şekil 3.4. Taze karışımın çelik kalıp içerisinde sıkıştırılması	8
Şekil 3.5. Sıkıştırma işleminden sonra, parke taşlarının görünümü	8
Şekil 3.6. Parke taşlarının fiskiye sistemi ile kürü	9
Şekil 3.7. Elmas testere	9
Şekil 3.8. Donma-çözülme testi düzeneği	10
Şekil 3.9. Aşınma Testi düzeneği	12
Şekil 3.10. Aşınma numunesi üzerinde ölçüm noktaları (üst görünüş)	13
Şekil 3.11. Aşınma testi için hazırlanmış numuneler	13
Şekil 3.12. Yüksek sıcaklık testinin yapıldığı fırın	14
Şekil 4.1. Cam tozu ile kumun yer değiştirmesinin aşınma miktarına etkisi	17
Şekil 4.2. 600 C sıcaklığa maruz kalmadan önce numune durumları	18
Şekil 4.3. 600 C sıcaklığa maruz kaldıktan sonra numune durumları	18
Şekil 4.4. 600 C sıcaklıktaki numune, 20 C su ile soğutulduktan sonra	18

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1. Cam tozu ve çimentonun kimyasal özellikleri	5
Çizelge 3.2. Parketaşı karışım oranları	7
Çizelge 3.3. Donma-Çözülme işleminden önce ve sonra numune ağırlıkları	10
Çizelge 3.4. Aşınmadan önce numune yükseklikleri	11
Çizelge 3.5. Aşınmadan sonra numune yükseklikleri	12
Çizelge 4.1. Test sonuçları	16

SİMGELER DİZİNİ

W ₀	: Donma-çözülme işleminden önceki numunenin kuru ağırlığı
W ₁	: 50 tekrarlık donma-çözülme işleminden sonra numunenin kuru ağırlığı
ΔV	: Hacim kaybı
D ₁	: Numunenin aşınmadan sonra 9 noktadan ölçülen yüksekliğin ortalaması
D ₀	: Numunenin aşınmadan önce 9 noktadan ölçülen yüksekliğin ortalaması

1. GİRİŞ

Camın uzun bir tarihi olup, 3500 yıldan beri içecek kaplarının yapımında kullanılmaktadır. Günümüzde de cam modern ve çok yönlü bir maddedir. Şeffaflığı, şeklinin bozulmaması, koku ve tat vermemesi ve çoğu kimyasala karşı dayanıklı olması nedeniyle cam ürünler yiyecek, içecek, kozmetik ve ilaç gibi birçok ürünün ambalajlanmasında tercih edilmektedir.

Cam, yerkabuğunda bolca bulunan silika (kum), soda külü ve kireç, feldispat ve bazı yardımcı elementlerden üretilir. Bu hammaddelerden silika çok önemlidir ve temin edilmesi aslında sınırsızdır. Soda külü, tuz kullanımı ile kimyasal olarak üretilebilir ve doğal olarak mineral oluşumu ile bulunabilir. Kireç ise bolca bulunabilen bir maddedir. Cam yapımı için kullanılan bu hammaddeler bir silo içinde karıştırılır ve büyük ocaklar içinde 26000 F de eritilir. Eritilen cam 20000 F ye soğutulur ve üretilmek istenen camın tipine bağlı olarak şişirme, baskı veya çizme yolu ile şekillendirilir. Cam şişe üretimi için gerekli olan enerji, ısı ile sağlanır. Cam üreticilerinin enerji tasarrufu sağlamak için kullandıkları yöntemlerden biri kullanılmış cam şişelerin geri kazanılmasıdır. Kırılmış cam materyaller, diğer hammaddelerle birlikte eritilerek geri kazanılabilir. Ocağa ne kadar kullanılmış cam ilave edilirse, daha az ısı gerekir. Bunun nedeni geri kazanılan camın, kum, soda külü ve kireçten daha düşük sıcaklıkta erimesidir. Eritme ocağında tamamı kullanılmış cam ürünler eritildiğinde, enerji tüketiminde %25 azalma sağlanmaktadır.

Doğal kaynakların tükendiği ve çevre kirliliğinin önemli boyutlara ulaştığı günümüzde, tüm atıkların geri kazanımında olduğu gibi cam geri kazanımı da önemli olmaktadır. Camların toplanarak soda, kireç geri kazanılması depolama sahalarının ömrünü uzatır, doğal kaynakları korur ve atık bertaraf maliyetlerini azaltır. Cam kaplar, düz cam ve sanayi camları (optik, ampül vb.) olarak sınıflandırılabilir. İyi kaliteli cam üretebilmek için aynı cinsten camlar eritilmelidir. Çünkü sadece bu tip camlar birbirine yakın kimyasal ve fiziksel özellikler taşırlar. Karışık camların

işlenebilirliği daha kötüdür ve kötü kaliteden dolayı daha kötü pazarlanırlar. Prensipler olarak, telli cam, düz cam, kurşun cam, kristal cam, ateşe dayanıklı cam, laboratuvar camları, flerosanlar, ampuller ve cam elyafı cam konteynerine konmamalıdır. Camlar günlük hayatta, şişe camları, düz cam (pencere camı), ampul camı, ışın tüpleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu camların kullanım süreleri çok kısadır, kullanıp depolanması halinde dahi çevre için büyük sorun yaratmaktadır. Atık camların renklerinin birbirinden çok farklı olması nedeniyle, çok az bir kısmı geri dönüşümde kullanılmakta, büyük çoğunluğu ise doğaya terk edilmektedir. Atık cam, toprak içerisinde çözünmeyen bir maddedir ve atık camın doğaya terk edilmesi, Şekil 1.1 de gösterildiği gibi, çevre dostu bir çözüm yolu değildir. Atık depolama alanlarında bulunan farklı cinsteki camların, ayrıştırılarak yeniden cam yapımında kullanılması maliyeti yüksek ve zaman alıcı bir işlemdir. Bu nedenle, atık camların tümünün aynı anda kullanılması için uygun bir uygulama alanının bulunması büyük önem taşımaktadır.

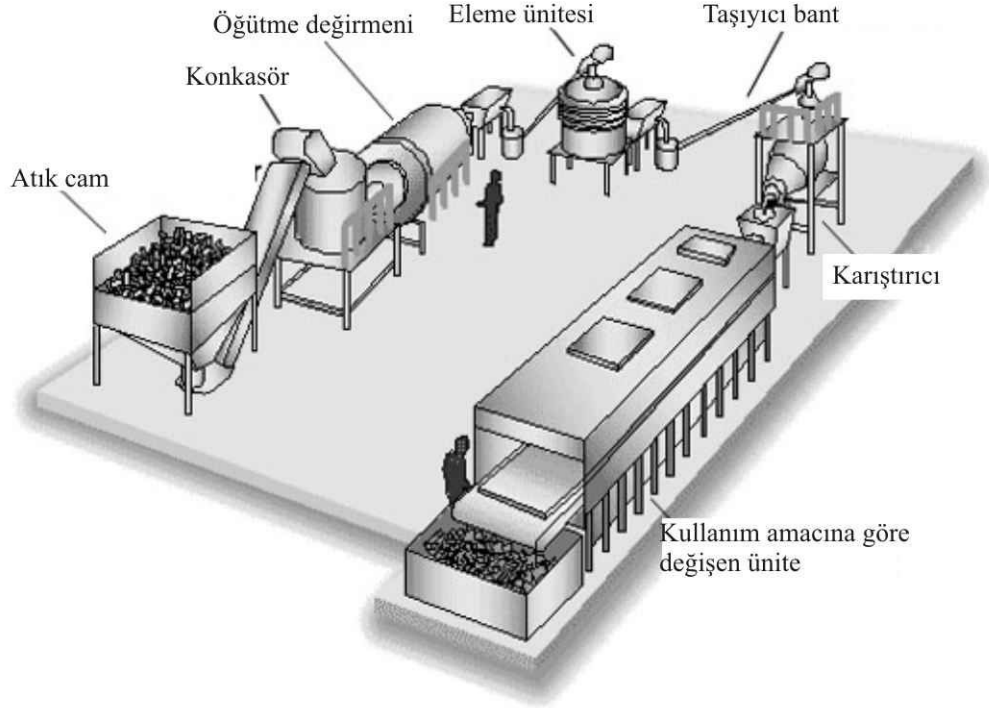


Şekil 1.1. Atık cam yığınları

Günümüzde, kaliteli ve ekonomik yapı malzemelerine olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bu nedenle, bazı endüstriyel atıkların yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi gerek ekonomiklik gerekse çevre sorunlarını çözme bakımından büyük önem kazanmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, toplanan bazı atıkların iyi kontrol edilememesi, çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir.

Bazı atıkların yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi, çevre problemlerinin çözümüne ve yapıların ekonomik tasarımına yardımcı olacaktır. Atık maddelerin yapı endüstrisinde uygun bir şekilde kullanılabilmesi için, bu atık maddelerden üretilen yapı malzemeleri, ilgili standartlardaki koşulları sağlamalıdır. Ülkemizde yıllık olarak 120.000 ton civarında atık cam birikmektedir (Topçu ve Canbaz, 2004). Dolayısıyla, atık bir malzeme olan camın uygun alanlarda kullanılması büyük önem taşımaktadır.

Atık camlar beton içerisinde direk olarak kullanılamamaktadır. Beton içerisinde kullanılmadan önce, bazı işlemlerin yapılması zorunludur. Atık camlar beton içerisinde genellikle toz şeklinde kullanılmaktadır. Atık camları toz haline getirmek için, Şekil 1.2 de gösterilen tesis kullanılmaktadır. Şekil 1.2 de görüldüğü gibi, atık camlar önce bir silo içerisinde toplanmakta ve buradan kırıcı konkasöre gönderilmektedir. Konkasör içerisinde yapılan ön parçalama işleminden sonra, kırık camlar öğütme değirmenine gönderilmektedir. Öğütme işleminde, yatay dönen içi boş bir çelik silindir ve bu silindir içerisinde bulunan belirli sayıda çelik bilya yardımıyla yapılmaktadır. Öğütme işlemi tamamlandıktan sonra, öğütülmüş cam eleme ünitesine gönderilmekte ve burada tane çapları büyük olan camlar tekrar değirmene geri gönderilmektedir. Eleme işlemi bittikten sonra, atık cam tozları tekrara karıştırılmakta ve kullanılacağı yere gönderilmektedir.



Şekil 1.2. Atık cam işleme ünitesi

2. KURAMSAL TEMELLER

Atık camların beton içerisinde kullanılmasıyla ilgili olarak daha önce birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Shao ve ark. (2000), 38 μm 'den daha küçük tane çaplı cam tozunun beton içerisinde puzzolanik etki yaptığını bulmuşlardır. Shayan ve Xu (2004) atık cam tozunun beton durabilitesinde iyileşmeler sağladığını göstermiştir. Topçu ve Canbaz (2004), atık camların betonda iri agrega olarak kullanılması durumunda, betonun işlenebilirliğini ve basınç dayanımını bir miktar düşürdüğünü belirtmişlerdir. Shi ve ark. (2005), atık cam tozu kullanılarak üretilmiş harçlar üzerinde yapmış oldukları çalışmada, alkali-silika reaksiyonunun azaldığını ileri sürmüşlerdir. Corinaldesi ve ark. (2005) ise, 100 μm 'den daha küçük tane çaplı cam tozu ile yapılan harç ve betonlarda alkali-silika reaksiyonunun hiç görülmediğini göstermişlerdir.

Yukarıda belirtildiği gibi, atık camların beton içerisindeki kullanımıyla ilgili çalışmalar genellikle dayanım testleri ve alkali-silika reaksiyonları ile sınırlı kalmıştır. Donma-çözülme, aşınma ve yangın dirençleriyle ilgili herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Ayrıca yapılan çalışmalarda, atık camın hangi beton ürünlerde kullanılabileceğine ilişkin bir tavsiye bulunmamaktadır.

Bu tez çalışmasında, atık cam tozu parke taşı yapımında kullanılmıştır. Parke taşında kullanılan kum ile atık cam tozu ağırlıkça %10, 20 ve 30 oranında yer değiştirilerek parke taşlarının, donma-çözülme, aşınma ve yangın dirençleri incelenmiştir.

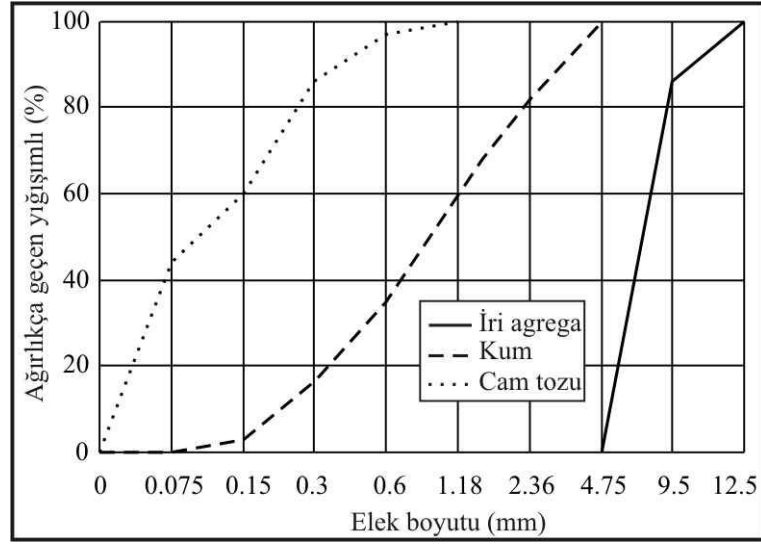
3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada, atık cam tozu içeren parke taşlarının donma-çözülme, aşınma ve yangına karşı gösterdikleri dirençler bulunmuştur.

Atık cam tozunun çapı 0 ile 1.18 mm arasında değişmektedir. Cam tozu, dış cephe cam kaplaması yapan bir firmadan temin edilmiştir. Portland çimentosunun cinsi PÇ-42,5 olup, Adıyaman Çimento Fabrikası'ndan getirildi. Karışımlarda kullanılan çimento ve cam tozunun kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.1'de verilmektedir. Karışımda kullanılan agreganın maksimum tane çapı 12.5 mm dir. İri ve ince agregalar Adıyaman ilinin Göksu nehrinden getirilmiştir. İri agreganın doygun yüzey kurusu birim ağırlığı sırasıyla 2.68 gr/cm³ ve ince agreganın ise, 2.65 gr/m³ tür. İri agreganın sıkışık kuru birim ağırlığı 1.60 gr/cm³ tür. Beton karışımında kullanılan cam tozu, iri ve ince agreganın elek analizi eğrileri Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Kullanılan iri ve ince agregalar TS 706'da verilen sınır değerlerini sağlamaktadır. Cam tozu ve agregalar üzerinde yapılan elek analizi, Şekil 3.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Cam tozu ve çimento özellikleri

Özellikler	Cam tozu	Çimento
SiO ₂ (%)	70.22	23.71
CaO (%)	11.13	57.27
MgO (%)	-	3.85
Al ₂ O ₃ (%)	1.64	4.61
Fe ₂ O ₃ (%)	0.52	4.83
SO ₃ (%)	-	2.73
Na ₂ O (%)	15.69	-
K ₂ O (%)	-	0.37
Cl (%)	-	0.0068
Kızdırma kaybı (%)	0.80	1.69
Çözünmeyen kalıntı	-	7.24
Tayin edilemeyen	-	0.94
Serbest CaO	-	0.64
Yoğunluk	2.42	3.03
Özgül yüzey (m ² /kg)	133	437.6



Şekil 3.1. Karışımında kullanılan agregalar ve cam tozunun elek analizleri



Şekil 3.2. Cam tozu, iri ve ince agregaların elek analizinin yapılması

Hazırlanan karışımlarda, ağırlıkça %10, 20 ve 30 cam tozu ile kum yer değiştirmektedir. Kontrol numunesinde ise, cam tozu bulunmamaktadır. Parke taşı karışımlarında kullanılan malzemelerin miktarları Çizelge 3.2’de verilmektedir.

Çizelge 3.2 Parketaşı karışım oranları

Karışım No.	Çimento (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	Agrega (kg/m ³)		Cam tozu (kg/m ³)	Sıkıştırma basıncı (MPa)
			Kum (0-4.75mm)	İri (4.75-12.5 mm)		
Kontrol	350	121	1100	900	0	17
CT-10	350	121	990	900	110	17
CT-20	350	121	880	900	220	17
CT-30	350	121	770	900	330	17

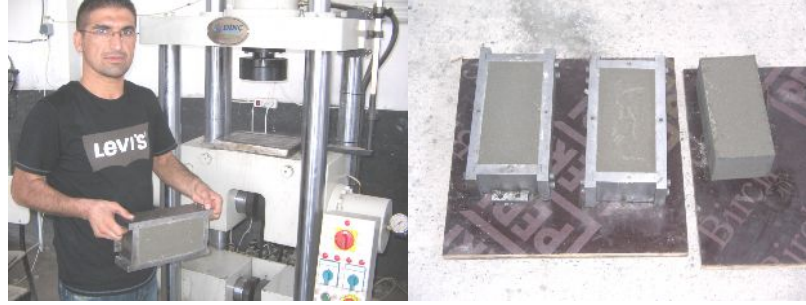
Donma-çözülme ve yangın direncinin bulunması için, 105×75×225 mm boyutlarında her bir karışım için 3 adet numune hazırlanmıştır. Bu şekilde hazırlanan numunelerin toplam sayısı 12 adettir. Aşınma direncinin bulunması için ise, her bir karışım için 2 adet 105×75×225 mm boyutunda numune hazırlanmıştır. Aşınma direncinin bulunması için hazırlanan 105×75×225 mm boyutundaki numunelerin toplam sayısı 8 adettir. Parke taşı karışımlarında, 50 dm³’lük beton mikseri kullanılmıştır. Şekil 3.3’te gösterilen mikser içerisine konulan malzemeler yaklaşık olarak 5 dakika karıştırılmıştır. Şekil 3.4’te gösterildiği gibi, karışımı yapılan taze parke taşı karışımı, kalıplar içerisine yerleştirilmiş ve kapasitesi 800 kN olan preste, 17 MPa basınç altında sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma işleminden sonra, numunelerin durumu Şekil 3.5’te gösterilmektedir. Numuneler kalıplar içerisinde 24 saat oda sıcaklığında bekletildi. Numuneler yağmurlama hortumu vasıtasıyla, 7 gün boyunca Şekil 3.6 da gösterildiği gibi su kürüne maruz bırakılmıştır. Dökümden 8 gün sonra ise, numuneler laboratuvar ortamında küre bırakılmıştır.



Şekil 3.3. Karışımların yapıldığı mikser



Şekil 3.4. Taze karışımın çelik kalıp içerisinde sıkıştırılması



Şekil 3.5. Sıkıştırma işleminden sonra, parke taşlarının görünümü



Şekil 3.6. Parke taşlarının fiskiye sistemi ile kuru

Parke taşlarının yapımından 28 gün sonra ise, üretilen numuneler deney için gerekli olan uygun boyutlarda, Şekil 3.7 de gösterilen elmas testere yardımıyla kesilmiştir. $105 \times 75 \times 225$ mm'lik numuneler kesilerek, aşınma deneyinde her bir seri karışım için 3 adet $71 \times 71 \times 71$ mm boyutunda küp numuneler elde edildi. Donma-çözülme ve yangın direnci deneyi için ise, yine $105 \times 75 \times 225$ mm numuneler kesilerek $105 \times 94 \times 75$ mm boyutunda numuneler elde edildi.



Şekil 3.7. Elmas testere

Numunelerin donma-çözülme testleri ASTM C 67-03a [12] göre yapılmıştır. Donma-çözülme işleminden önce numuneler tartılarak kuru ağırlıkları bulundu. Donma-çözülme testi için kullanılan cihaz Şekil 3.8 de gösterilmektedir. Cihazın dondurma sıcaklığı 0 ile -50 °C arasında ayarlanabilmektedir. Dondurucu cihaz, sıcaklığını 25 °C’ den -9 °C ‘ye yaklaşık olarak bir saatte düşürebilmektedir. Numunelerin içine konulması için 60cmx60cmx4 cm boyutunda bir kap kullanıldı. Donma-çözülme işleminde numuneler kap içerisine yerleştirildi. Daha sonra numuneler, içerisinde 20 C su bulunan çözülme tankı içerisinde 4.5 saat bekletildi. Bu sürenin sonunda tava ile birlikte numuneler sudan çıkarıldı. Tavanın içerisine 12.5 mm yüksekliğinde su konuldu. Numuneler -9 C sıcaklığındaki donma cihazı içerisinde 20 saat bekletildi. Bu sürenin sonunda, numuneler tekrar çözülme tankı içerisine bırakıldı. Bu işlemler 50 defa tekrar edildi. 50 tekrarın sonunda, numuneler 24 saat fanlı bir fırında 120 C ‘de kurutuldu ve tartılarak ağırlıkları bulundu.



Şekil 3.8. Donma-çözülme testi düzeneği

Çizelge 3.3 Donma-çözülme işleminden önce ve sonra numune ağırlıkları

Karışım no.	İlk ağırlık gr	Son ağırlık gr	Kayıp gr	Ortalama kayıp gr	Standart sapma ±	Ortalama kayıp %
Kontrol-1	1621.3	1617.3	4.0	5.5	1.4	0.34
Kontrol-2	1621.0	1615.3	5.7			
Kontrol-3	1572.6	1565.9	6.7			
CT-10-1	1557.0	1552.8	4.2	5.2	0.9	0.33
CT-10-2	1598.8	1593.2	5.6			
CT-10-3	1584.9	1579.1	5.8			
CT-20-1	1586.1	1580.3	5.8	6.2	1.9	0.40
CT-20-2	1547.6	1539.3	8.3			
CT-20-3	1540.9	1536.3	4.6			
CT-30-1	1607.8	1603.0	4.8	5.1	0.4	0.32
CT-30-2	1603.8	1598.3	5.5			
CT-30-3	1587.0	1581.9	5.1			

Bir kenarı 71 mm olan küp numuneler üzerinde aşınma deneyleri yapıldı. Aşınma deneylerinin yapılması işleminde, EN13892-3 [14] standardı takip edildi.

Şekil 3.10 da gösterildiği gibi aşındırılacak yüzeyde 9 adet yer işaretlendi. İşaretlenen noktalar üzerinden numunelerin yükseklikleri 50–75 mikrometre cihazı ile ölçüldü. Aşınma işleminden önce mikrometre ile ölçülen numune yükseklikleri

Çizelge 3.4 de verilmektedir. Aşınma cihazının 750 mm çapında bir çelik diski bulunmaktadır. Bu disk dakikada 30 devir yapmaktadır. Numune üzerine, ağırlığı 300 N olan bir çelik kütle yardımıyla ağırlık uygulanmaktadır. Test işleminden önce, 20 gr ağırlığındaki aşındırıcı toz disk üzerine serpilmiştir. Daha sonra numune disk üzerinde bulunan muhafaza içerisine yerleştirilmektedir. Disk 22 devir olacak şekilde döndürülmektedir. Daha sonra numune, eksenine etrafında 90 derece döndürülmekte ve aynı işlemler yapılmaktadır. Bu işlemler 20 defa tekrarlanmaktadır. Yani deney süresince disk toplam olarak 440 devir yapmaktadır. Aşındırıcı toz olarak crystalline Al_2O_3 kullanılmaktadır. Aşınma testlerinin yapıldığı deney cihazı Şekil 3.9 da verilmektedir.

Aşındırma işlemi tamamlandıktan sonra, numunelerin yükseklikleri tekrar mikrometre yardımıyla ölçüldü. Aşınma işleminden sonra bulunan numune yükseklikleri ise, Çizelge 3.5 te verilmektedir.

Çizelge 3.4 Aşınmadan önce numune yükseklikleri

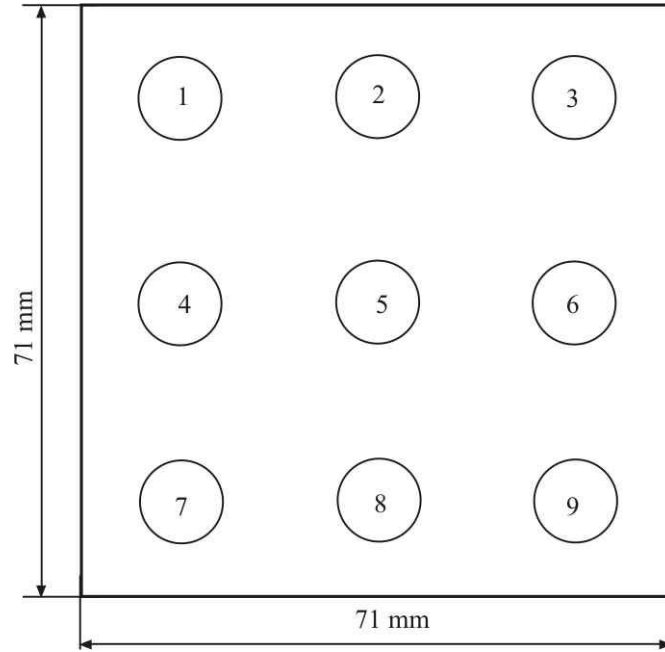
Karışım no.	Numune yükseklikleri, mm									Ortalama mm
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Kontrol-1	71.44	71.49	71.40	71.30	71.30	71.45	71.28	71.24	71.30	71.35
Kontrol-2	72.53	72.75	73.02	71.70	72.11	72.02	71.06	71.33	71.42	71.99
Kontrol-3	71.98	71.84	71.60	71.50	71.54	71.68	71.13	71.18	71.29	71.53
CT-10-1	71.03	71.05	71.12	71.00	71.12	71.09	71.86	70.81	70.55	71.07
CT-10-2	70.12	70.27	70.41	69.60	69.97	70.05	69.89	69.59	69.36	69.92
CT-10-3	70.80	71.15	71.03	70.60	70.85	70.72	70.69	70.63	70.74	70.80
CT-20-1	70.65	70.90	71.08	70.40	70.72	70.94	70.84	70.69	70.36	70.73
CT-20-2	72.32	72.33	72.25	72.10	71.90	71.75	71.60	71.74	71.91	71.99
CT-20-3	71.37	71.29	71.45	71.30	71.32	71.09	71.21	71.27	71.11	71.27
CT-30-1	71.69	71.56	71.31	71.10	71.28	71.38	70.83	70.04	71.16	71.15
CT-30-2	72.23	72.38	72.09	72.20	72.36	72.16	72.67	72.49	71.78	72.26
CT-30-3	71.74	71.26	71.10	71.30	70.99	70.61	70.38	70.72	71.12	71.03

Çizelge 3.5 Aşınmadan sonra numune yükseklikleri

Karışım no.	Numune yükseklikleri, mm									Ortalama Mm
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Kontrol-1	68.53	68.95	68.82	68.53	69.1	69.19	68.68	69.04	68.42	68.81
Kontrol-2	68.84	69.54	69.84	68.78	69.79	70.02	69.96	69.5	68.59	69.43
Kontrol-3	69.26	69.4	69.13	69.69	69.91	69.44	69.39	69.64	69.33	69.47
CT-10-1	68.68	68.78	68.83	68.49	68.44	68.39	68.06	68.06	67.95	68.41
CT-10-2	67.46	68.15	68.71	67.09	67.76	68.33	67.87	67.06	66.58	67.67
CT-10-3	68.7	69.1	69.71	68.76	69.35	70.24	69.68	69.09	68.35	69.22
CT-20-1	68.52	68.87	69.05	68.95	68.92	68.61	68.99	68.76	68.35	68.78
CT-20-2	69.56	69.99	70.09	70.54	70.15	69.7	70.06	69.95	69.6	69.96
CT-20-3	68.85	69.13	69.14	69.44	69.41	69.03	69.16	69.16	68.95	69.14
CT-30-1	69.03	69.51	69.79	70.02	69.77	69.09	69.71	69.58	68.9	69.49
CT-30-2	68.83	78.98	68.91	69.26	69.59	69.58	69.02	69.56	69.74	70.39
CT-30-3	68.00	68.12	68.95	68.1	68.24	67.43	67.68	67.55	67.95	68.00



Şekil 3.9. Aşınma testi düzeneği



Şekil 3.10. Aşınma numunesi üzerinde ölçüm noktaları (üst görünüş)



Şekil 3.11. Aşınma testi için hazırlanmış numuneler

Yüksek sıcaklıkta numunelerin durumunu belirlemek için, Şekil 3.12da gösterilen fırın kullanıldı. Fırının sıcaklığı, 0 ile 1200 C arasında ayarlanabilmektedir. Bu çalışmada kullanılan sıcaklık derecesi, yaklaşık 600 C dir.



Şekil 3.12. Yüksek sıcaklık testinin yapıldığı firm

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Atık cam kullanılarak üretilen parke taşları üzerinde yapılan donma-çözülme, aşınma ve yangın testlerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1 de verilmektedir.

50 tekrarlık donma-çözülme sonucunda, parke taşının ağırlığında meydana gelen ağırlık kaybı % olarak aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\text{Ağırlık kaybı (\%)} = 100 \times (W_0 - W_1) / W_0$$

Burada,

W₀: donma-çözülme işleminden önceki numunenin kuru ağırlığı (gr)

W₁: 50 tekrarlık donma-çözülme işleminden sonra numunenin kuru ağırlığı (gr)

Çizelge 4.1 de verildiği gibi, ağırlıkça %10, 20 ve 30 oranında atık cam tozu içeren parke taşlarının, donma-çözülmeden sonra ağırlıklarındaki kayıp miktarları, kontrol numunesine kıyasla çok fazla değişmemektedir. Bu durumda, atık cam tozunun parke taşlarının donma-çözülme dirençleri üzerinde herhangi bir yan etkisinin bulunmadığı söylenebilir. ASTM C 936-01 () standardına göre, 50 tekrarlık donma-çözülme tekrarından sonra, parke taşlarındaki ağırlık kaybının % 1'den fazla olmaması istenmektedir. Çizelge 4.1 de verildiği gibi, atık cam tozu içermeyen kontrol numunesi ve atık cam tozu içeren numunelerin ağırlık kayıpları % 1'den daha küçük olmuştur.

Çizelge 4.1 de, ağırlıkça %10, 20 ve 30 oranında atık cam tozu içeren parke taşlarının ve kontrol numunesinin, aşınma testlerinden sonraki, hacim kaybı miktarları verilmektedir. Numunelerde hacimce aşınma miktarı aşağıdaki formül yardımıyla bulunmaktadır.

$$\Delta V = (D_1 - D_0) \times 50 \text{ (cm}^3/50\text{cm}^2)$$

Burada,

ΔV , hacim kaybı ($\text{cm}^3/50\text{cm}^2$)

D_1 , numunenin aşınmadan sonra 9 noktadan ölçülen yüksekliğin ortalaması (cm)

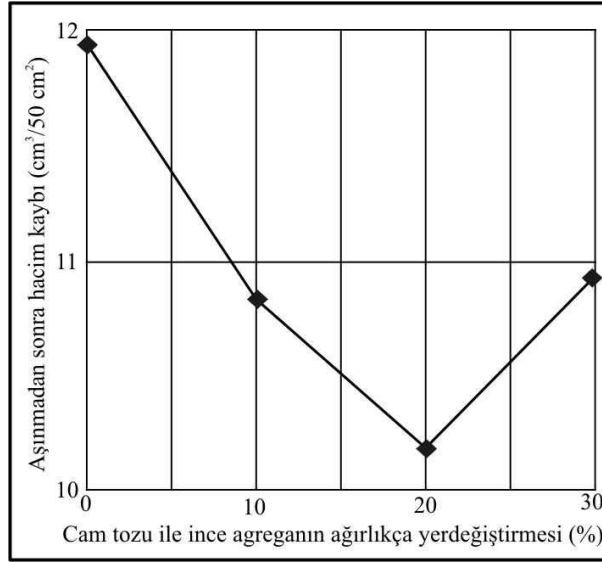
D_0 , numunenin aşınmadan önce 9 noktadan ölçülen yüksekliğin ortalaması (cm) dır.

Formülde bulunan 50cm^2 değeri ise, numunenin yüzey alanını göstermektedir.

Çizelge 4.1 de verildiği gibi, %10 ve 20 atık cam tozu içeren parke taşı numunelerinin aşınma değerleri, kontrol numunesine kıyasla daha küçük olmaktadır. Ağırlıkça %10 ve %20 kum ile atık cam tozu yer değiştirmesi durumunda, aşınma değerlerinde kontrol numunesine kıyasla sırasıyla %10 ve %15 oranında bir iyileşme gözlenmiştir. Ancak ağırlıkça %30 atık cam tozu kullanılması durumunda, aşınma değerinde, %10 ve %20 atık cam tozu içeren numunelere kıyasla tekrar bir artış olmuştur. Bu durum, atık cam tozunun fazla miktarda kullanılması durumunda, aşınan numunenin tozları içerisinde bulunan, cam tozlarının aşındırıcı bir rol oynamasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, parke taşında kullanılacak atık cam tozunun ağırlıkça oranının %20'den fazla olmaması gerekmektedir. Şekil 4.1 de, cam tozu ile ince agreganın (kumun) yer değiştirmesi sonucunda, aşınmada hacim kaybı grafiği gösterilmektedir. ASTM C 936–01 (2001) standardında, en fazla aşınma miktarının $15 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$ olması istenmektedir. Çizelge 4.1 'de verildiği gibi, tüm numuneler bu aşınma değerini sağlamaktadır.

Çizelge 4.1 Test sonuçları

Karışım no.	Donma-çözülmede ağırlık kaybı (%)	Aşınmadan sonra hacim kaybı ($\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$)
Kontrol	0.34±0.09	11.95±1.42
CT-10	0.33±0.05	10.80±2.75
CT-20	0.40±0.12	10.20±0.44
CT-30	0.32±0.02	10.95±3.68

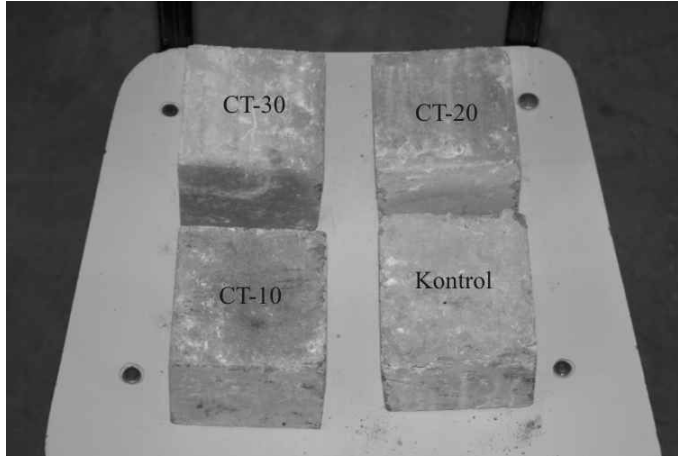


Şekil 4.1. Cam tozu ile kumun yer değiştirmesinin aşınma miktarına etkisi

Yangın deneylerinde tüm numuneler sıcaklığı 600 C olan fırın içerisinde 2 saat bekletildi. Atık cam tozu içeren parke taşları ve kontrol numunesinin 600 C sıcaklığa maruz bırakılmadan önceki durumları Şekil 4.2 de gösterilmektedir. Şekil 4.3'te ise, 2 saat boyunca 600 C sıcaklığa maruz bırakılmış parke taşlarının fırından çıkarıldıktan sonraki durumları gösterilmektedir. Şekil 4.3 te gösterildiği gibi, atık cam tozu içermeyen parke taşında dökülmeler olmasına rağmen, atık cam tozu içeren parke taşlarında gözle görülür bir çatlama veya dökülme görülmemiştir. Ayrıca, fırından çıkarılan yaklaşık 600 C sıcaklığındaki parke taşları 20 C su içerisinde bırakılmış ve kontrol numunesinde çok büyük dökülmeler ve çatlamlar olmasına rağmen, bu duruma atık cam tozu içeren parke taşlarının hiçbirinde rastlanmamıştır. 20 C su içerisinde soğutulmuş parke taşlarının genel durumları Şekil 4.4 te gösterilmektedir.



Şekil 4.2. 600 C sıcaklığa maruz kalmadan önce numune durumları



Şekil 4.3. 600 C sıcaklığa maruz kaldıktan sonra numune durumları



Şekil 4.4. 600 C sıcaklıktaki numune 20 C su ile soğutulduktan sonra

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasından aşağıda belirtilen önemi sonuçlar elde edilmiştir.

- 1) Atık cam tozu ile ince agreganın ağırlıkça %10, 20 ve 30 oranında yer değiştirmesi sonucunda, atık cam tozunun parke taşlarının donma-çözülme dirençlerine yan bir etkisi olmamıştır.
- 2) Parke taşlarında ağırlıkça %10 ve %20 oranında atık cam tozu kullanılması durumunda, kontrol numunesine kıyasla aşınma değerlerinde sırasıyla %10 ve %15 azalma gözlenmiştir. Aşınma direnci bakımından, parke taşlarında ağırlıkça %20 oranından daha fazla cam tozu kullanılmaması tavsiye edilmektedir.
- 3) 600 C sıcaklığa maruz bırakılan cam tozu içeren parke taşlarında, kontrol numunesine kıyasla herhangi bir dağılma veya çatlama gözlenmemiştir.

KAYNAKLAR

- ASTM C 67-03a, 2003. Standard test methods for sampling and testing brick and structural clay tile. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA
- ASTM C 936-01, 2001. Standart specification for solid concrete interlocking paving units. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA
- CORINALDESI, V., GNAPPI, G., MORICONI, G., and MONTENERO, 2005. A. Reuse of ground waste glass as aggregate for mortars. *Waste Management*, 2(2): 197-201.
- EN13892-3, 2004. Methods of test for screed materials. Determination of wear resistance-Bohme, Avrupa Standartı
- SHAO, Y., LEFORT, T., MORAS, S., and RODRIGUEZ, D., 2000. Studies on concrete containing ground waste glass. *Cement and Concrete Research*, 30:91-100.
- SHAYAN, A., and XU, A., 2004. Value-added utilization of waste glass in concrete. *Cement and Concrete Research*, 34: 81-89.
- SHI, C., WU, Y., RIEFLER, C., and WANG, H., 2005. Characteristic and pozzolanic reactivity of glass powders. *Cement and Concrete Research*, 35: 987-993.
- TOPÇU, I. B., ve CANBAZ, M., 2004. Properties of concrete containing waste glass. *Cement and Concrete Research*, 34: 267-274.

ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Suruç'ta doğdu. İlköğretimini Şanlıurfa'da, ortaöğretimini Gaziantep'te tamamladı. 1998 yılında Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2004 yılında Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünün açmış olduğu sınavda başarılı olup İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Yüksek Lisans öğrenimine devam ederken aynı zamanda çeşitli taahhüt işlerinin yanı sıra Harran Üniversitesi Kampus Altyapı İkmal İnşaatı işi ve Harran Üniversitesi 600 Yataklı Araştırma ve Uygulama Hastanesi İnşaatı işi gibi iki büyük projede şantiye şefi olarak görev yapmaktadır

ÖZET

Parke taşları içerisindeki atık cam tozu hem aşınma hem de yangına karşı direnci artırmıştır. 50 tekrarlık donma-çözülmede, beton parke taşı içerisinde bulunan atık cam tozunun herhangi bir zararlı etkisi olmamıştır. Donma-çözülme ve yangın testlerinden sonra, parke taşlarının dayanım durumları ileri çalışmalar olarak incelenecektir.

SUMMARY

Waste glass powder in the concrete paving stone improved both abrasion resistance and fire resistance of samples. In the 50 cycles of freezing-thawing waste glass powder was not harmful in the concrete paving stones. The strength conditions after freezing-thawing and fire tests of concrete paving stones will be investigated in the future research.