

# YÜKSEK FIRIN CÜRUFU İKAMELİ PARKE VE BORDÜR ÜRETİMİ

İsa YÜKSEL\*, Ömer ÖZKAN\*\*, Turhan BİLİR\*\*\*

\*Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 67100/Zonguldak

\*\*Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Alaplı Meslek Yüksek Okulu, Tek. Prog. Böl., 67850-Alaplı/Zonguldak

\*\*\*Osmanlı Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 26480/Eskişehir

Geliş Tarihi : 06.12.2005

## ÖZET

Bu çalışmada granüle yüksek fırın cürufunun (GYFC) beton parke ve bordür üretiminde ince agrega olarak kısmi yer değiştirmesini (ikamesini) konu alan bir laboratuvar çalışması sunulmaktadır. GYFC, kum ile çeşitli oranlarda yer değiştirilerek beton parke ve bordür numuneleri üretilmiştir. Üretilen bu numunelere kontrol numuneleriyle birlikte dayanım ve dürabiliteyi belirlemeye yönelik bazı testler uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarına göre, GYFC bu beton elemanların basınç dayanımını bir miktar düşürmektedir. Buna karşın, başta aşınma olmak üzere bazı dayanıklılık özellikleri gelişmekte, bazılarında ise iyi veya kötü yönde bir gelişme görülmemiştir. Bu tür elemanlarda dayanıklılığa yönelik özelliklerin daha önemli olduğu dikkate alınarak GYFC' nun belirli bir orana kadar kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler :** Beton, Bordür, Parke, Yer değiştirme, Granüle yüksek fırın cürufu.

## PRODUCTION OF PAVING BLOCK AND KERB INCORPORATING BLAST-FURNACE SLAG

### ABSTRACT

This paper presents results of an experimental study about partial substitution of granulated blast-furnace slag (GBFS) as fine aggregate in production of concrete paving blocks and kerbs. GBFS is replaced sand for different GBFS/sand ratios in concrete during production of kerb and paving block specimens. Some tests orienting towards strength and durability were applied on these specimens including control specimens that are produced with normal concrete. Then, the results of tested properties of GBFS-replaced specimens and control specimens were compared. GBFS decreases the compressive strength of paving blocks and kerbs according to the results. However, some durability properties which are more important than strength for these elements are improved with GBFS replacement. The most improved property was abrasion resistance. It is concluded that it is feasible to use GBFS in paving block and kerb production with an optimum replacement ratio for these specimens.

**Key Words :** Concrete, Kerb, Paving block, Replacement, Granulated blast-furnace slag.

## 1. GİRİŞ

Dünyada, her yıl çok büyük miktarlarda çimento, agrega ve su beton üretimi için harcanmaktadır (Mehta, 2002). Bu durum dünya ekolojisini ve

insanlık geleceğini olumsuz etkilemektedir (Mehta, 2001; 2002).

Betonun çevreye zararlı etkileri ancak üretimde kullanılan kaynakların korunumu ve dayanıklı beton üretimi ile azaltılabilir. Bunun için gerekli yeni

kaynak da endüstriyel yan ürünler olabilir. Dünyada sürdürülebilir bir gelecek için geliştirilen endüstriyel ekoloji kavramına göre, bir endüstrinin yan ürünü bir başka endüstride hammadde olarak kullanılabilir. Böylece iki endüstrinin de çevreye zararları azaltılabilir (Mehta, 2001). Beton teknolojilerinin geliştirilmesinde ürünün imalat ve malzeme maliyetleri, dayanıklılığı ve çevreyle dost olma koşulu üç önemli kıstas olarak kullanılmaya başlanmıştır (Mehta, 1999). Yüksek hacimde uçucu kül ve yüksek fırın cürufu içeren beton teknolojileri; çağdaş tasarım kıstasları açısından karmaşık olmayan, malzeme ve servis maliyetleri düşük, çevreyle dost ve beton endüstrisinde etkili teknolojilerdir.

Parke şehir içi yol ve trotuar kaplamalarında, endüstriyel sahalarda, park alanlarında, meydanlarda ve benzeri yerlerde çok eskiden beri doğal taşlardan veya betondan imal edilen parkeler kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda, doğal taşların yerini gittikçe daha fazla oranda beton parkeler almaktadır. Bunun nedeni olarak, çeşitli biçim ve renklerde yapılabilmesi, kolay döşeme ve sökme imkanı olması, her mevsimde döşenebilme imkanı olması, parçalı elemanlardan oluştuğundan çatlama ve kırılma olaylarının daha az olması sayılabilir. Beton parkelerin kullanıldığı yerler genellikle yoğun yaya veya araç trafiği etkilerine maruz kalır. Ayrıca, dış ortamın her türlü etkilerine (kış koşulları, buz çözücüler, sıcaklık, ıslanma-kuruma vs.) açıktır. Bu etkilerden dolayı parkenin yüksek dayanımlı ve aynı zamanda aşınma, ıslanma-kuruma, donma-çözülme ve çeşitli kimyasal maddelere dayanıklı olması istenir. Bordürler de şehir içinde banketlerde, orta kaldırımlarda, yuvarlak ada kavşaklarda, karayolu kenarlarında, park, bahçe ve yaya kaldırımı gibi alanlarda kullanılmaktadır. Parke gibi bordür taşları da benzer etkilere (çarpma tesirleri, yağmur suyu, yıkama suyu, egzoz gazları buz, buz çözücü tuzlar vs.) maruzdur. Bütün bu etkilere maruz kalan bordür ve parke taşları normal betonla üretilmektedir. Parkelerde ilave bir üst tabaka ile dayanıklılık artırılmaya çalışılmaktadır. Bununla birlikte, bazı endüstriyel atıkların (uçucu kül, cüruf vb.) beton bileşimine girmesi ile parke ve bordür dayanıklılığı artırılabilir.

Günümüze kadar pek çok araştırmacı granüle yüksek fırın cürufu (GYFC), uçucu kül, kazan altı külü (KAK), silis dumanı, inşaat artıkları ve atık cam gibi çeşitli yan ürün veya katı atıkları beton üretiminde ya bağlayıcı veya mineral katkı ya da doğrudan agrega olarak kullanıp incelemiştirler (Kula, 2001; Basheer, 2003; Yüksel, 2003; Topçu, 2004; Arıöz, 2004; Yüksel ve ark., 2006). Atış (2002; 2003) % 70 oranına kadar çimento yerine uçucu kül kullanılmış betonların aşınma direncinin normal betona göre

yüksek olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca, basınç dayanımı arttıkça aşınma direncinin yükseldiğini, kür ve süper akışkanlaştırıcıların aşınma direnci üzerinde etkili olmadığını bildirmektedir. Poon (2002), tarafından yıkık bina artıklarının ince ve kaba agrega yerine kullanılarak uçucu kül katkılı ve katkısız olmak üzere iki kategoride beton briket üretimi yapılmıştır. Poon'a göre, % 50 yer değiştirme oranına kadar basınç dayanımının kontrol numunelerine kıyasla fazla etkilenmemekte, uçucu kül katkılı ve % 100 yer değiştirmeli numunelerde 49 MPa basınç dayanımına ulaşabilmektedir. Poon ve Chan (2006) % 25 oranına kadar tuğla kırıklarını agrega olarak kullanmışlar ve bunun parke üretimine uygun olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca % 50 oranında bile AS/NZS 4455 (1997) standardında öngörülen koşulların sağlandığını belirtmişlerdir (Anon., 1997).

Bu çalışmada, Ereğli Demir Çelik Fabrikaları'ndan temin edilen öğütülmemiş GYFC'nun beton parke ve bordür taşı üretiminde kum yerine kısmen kullanım potansiyeli incelenmiştir. Bordür ve parke betonlarında seçilen oranlarda GYFC kum yerine ikame edilerek numuneler üretilmiş ve bu numuneler üzerinde çeşitli fiziksel, mekanik ve dayanıklılığa yönelik testler yapılmıştır. Böylece, söz konusu yan ürünün sağlayacağı teknik, çevresel ve ekonomik avantajların belirlenmesine katkı sağlanması amaçlanmıştır.

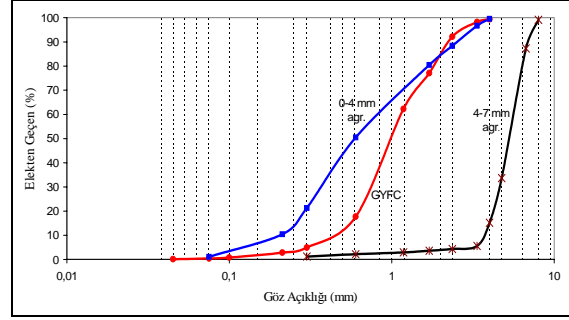
## 2. MATERYAL VE METOT

### 2. 1. Malzemeler

Bu çalışmada kullanılan iri ve ince agrega Filyos Çayı'ndan temin edilen yıkanmış elenmiş doğal agregadır. Üç tane sınıfı agrega kullanılmıştır. Bunlar, 0-4, 4-7 ve 7-15 mm tane sınıflarıdır. 0-7 mm'lik tane sınıfı agrega ocakta 4 mm'lik elekten elenmiş ve 0-4, 4-7 mm'lik iki tane sınıfına ayrılmış olmasına rağmen içinde hala % 15 oranında kum vardır. GYFC, Ereğli Demir-Çelik Tesisleri'nden temin edilmiştir. Bu malzemelerin bazı fiziksel özellikleri Tablo 1'de, granülometri eğrileri Şekil 1'de, GYFC'nun kimyasal özellikleri ERDEMİR AR-GE Laboratuvarından alınarak Tablo 2'de gösterilmiştir. Tüm karışımlarda çimento ağırlığının % 7'si oranında modifiye polimer esaslı kimyasal katkı kullanılmıştır. Çimento olarak, TS EN 197-1 (2002)'e uygun CEM-I 42.5 N tipi çimento kullanılmıştır. Tüm karışımlarda pH değeri 7.6 ve toplam sertliği 12.8 Fransız sertliği olan Zonguldak şehir şebeke suyu kullanılmıştır (Anon., 2002).

Tablo 1. Malzeme Fiziksel Özellikleri.

| Özellik               | Birim             | Kaba Agrega | İnce Agrega | GYFC      |
|-----------------------|-------------------|-------------|-------------|-----------|
| Gevşek birim ağırlık  | kg/m <sup>3</sup> | 1850        | 1930        | 1052      |
| Sıkışık birim ağırlık | kg/m <sup>3</sup> | 1910        | 1950        | 1236      |
| Özgül ağırlık         |                   | 2.64        | 2.68        | 2.08      |
| Su emme oranı         | %                 | 2.80        | 11.30       | 10.00     |
| Aşınma                | %                 | 26.00       | -           | -         |
| Ufalanma              | %                 | 9.10        | -           | -         |
| Kil miktarı           | %                 | 0.24        | 7.00        | 1.00      |
| Yanıcı madde          | %                 | 5.20        | 5.00        | -         |
| İnce madde            | %                 | 2.00        | 4.00        | 3.00      |
| Organik madde         | Renk              | -           | Açık Sarı   | Açık Sarı |



Şekil 1. Agrega ve GYFC'nun granülometri eğrileri

Tablo 2. GYFC'nun Kimyasal Analizi (%).

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 35.09 |
| CaO                            | 37.79 |
| MgO                            | 5.50  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 17.54 |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.30  |
| S                              | 0.66  |
| MnO                            | 0.83  |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.68  |
| Fe                             | 0.70  |
| P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 0.37  |

## 2. 2. Yöntem

Deneyel çalışmalarda, öncelikle TS-802 (1985)'ye göre bordür betonu için C-30 ve parke betonu için C-50 sınıfı beton üretilmesi hedeflenmiş ve Tablo 3'te uygulanan karışım oranları gösterilmiştir (Anon., 1985). Su/çimento oranı GYFC ikamesiz kontrol grupları esas alınarak tespit edilmiştir. Parkede su/çimento oranı laboratuvarında ön denemeler yapılmak suretiyle tespit edilmiştir. Karışımda ölçülen çökme değerleri gruba göre değişmekle birlikte 0-4 cm aralığında yer almıştır. Karışım içindeki GYFC oranı arttıkça işlenebilirlik azalmıştır.

Tablo 3. 1 m<sup>3</sup> Parke ve Bordür Betonu İçin Karışım Oranları.

| Eleman | Grup kodu | 0-4 mm (kg) | 4-7 mm (kg) | 7-15 mm (kg) | GYFC (kg) | Çimento (kg) | Su (Lt) | Kim. katkı (kg) |
|--------|-----------|-------------|-------------|--------------|-----------|--------------|---------|-----------------|
| Parke  | P00       | 912         | 244         | 480          | 0.0       | 350          | 112     | 2.08            |
|        | P20       | 728         |             |              | 143       |              |         |                 |
|        | P30       | 637         |             |              | 215       |              |         |                 |
|        | P40       | 546         |             |              | 287       |              |         |                 |
|        | P50       | 455         |             |              | 358       |              |         |                 |
| Bordür | K00       | 1045        | 291         | 548          | 0.0       | 340          | 163     | 2.04            |
|        | K20       | 836         |             |              | 165       |              |         |                 |
|        | K30       | 732         |             |              | 247       |              |         |                 |
|        | K40       | 627         |             |              | 329       |              |         |                 |
|        | K50       | 523         |             |              | 412       |              |         |                 |

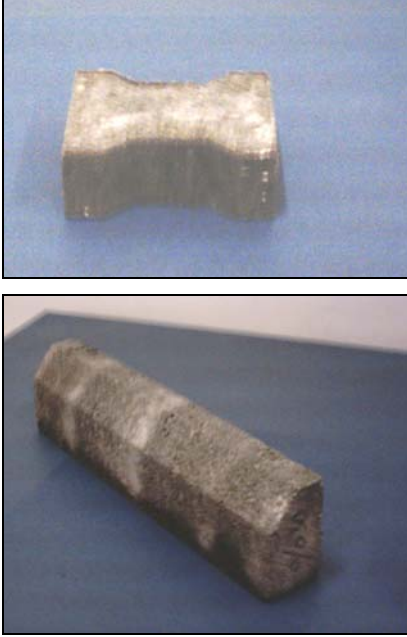
Parke betonu karışımında 0-4 mm kum hacimce % 20, 30, 40 ve 50 oranlarında GYFC ile yer değiştirilerek numune grupları oluşturulmuştur. Ancak sadece basınç dayanımı deneyi için bu oranlar %100'e kadar devam ettirilmiştir. Şahit numune grubu dahil her grupta her bir deney için 3'er adet numune üretilmiştir. Parke üretim makinesinin kalıbına doldurulan beton 3 tonluk bir kuvvet uygulanarak preslenmiştir. Her grup parke için "P", bordür için "K" harfinin ardına yüzde olarak ikame oranı yazılarak gruplar kodlanmıştır.

Tüm parke numuneleri sertleşmeleri için 28 gün açık havada bekletilmiştir. Bekleme yeri doğrudan güneş ışığı almamakta ve yağmurdan korunaklıdır. Numuneler günde iki defa sulanmış ve TS-2824 (1989)'te öngörülen su emme oranı, basınç

dayanımı, donma-çözülme ve sürtünme ile yüzey aşınması deneylerine tabi tutulmuştur. Bu deneylerin her birinde farklı boyutlarda numune kullanılacağından uygun boyutlarda numune elde etmek için taş kesme makinesi kullanılmıştır. Örneğin, yüzeyel aşınma için bir yüzü 50 cm<sup>2</sup> olan küpler gerektiğinden üretilen parke numunesi kesilerek 7 cm kenarlı küp elde edilmiştir (Anon., 1989).

Bordür numuneleri TS 436 prEN 1340 (1996) Bordür taşları-Beton standardında tanımlanmış B-tipi köşeli 70 cm uzunluğunda 1.Tip bordür şeklinde üretilmiştir (Anon., 1996). Karışımında 0-4 mm kum hacimce % 20, 30 ve 40 oranlarında GYFC ile yer değiştirilmiştir. Her bir grupta dörder adet 35 cm (70 cm'lik bordür ortadan kesilerek) uzunluğunda

bordür numunesi üretilmiştir. Aşınma deneyi için 35 cm'lik parçalardan biri kesilerek 7x7x7 cm boyutlarında küp şeklinde numuneler elde edilmiştir. TS 436 prEN 1340 (1996)'da muayene için öngörülen eğilme deneyi ve TS 436 EN 1340 (2005)'in Ek H'de yer alan (Aşınmaya karşı direncin Böhme deneyi ile ölçülmesi) aşınma deneyi uygulanmıştır (Anon., 2005). Şekil 2'de bu çalışmada üretilen birer adet parke ve bordür numunesi görülmektedir.



Şekil 2. Bu çalışmada üretilen beton eleman türlerine ait numuneler.

Bordür numunelerinde eğilme deneyi ortasından tekil yükü yüklenmiş basit kiriş şeklinde yüklenmek suretiyle yapılmıştır. Numunelerin her iki ucu da serbest mesnetlenmiştir. Yükleme 0,06 MPa/dakika hızla yapılmış ve kırılma yükü 10 N hassasiyetle tespit edilmiştir. Eğilmede çekme dayanımı kırılma anında açıklık ortasında meydana gelen moment kullanılarak Denklem 1'den hesaplanmıştır. Bu denklemde M, bordürün ortasında kırılma anında ortaya çıkan eğilme momentini; W ise, kesitin mukavemet momentini ifade etmektedir. Bordür, deney düzeneğine, kesitin ağırlık merkezinden geçen eksenlere göre atalet momenti büyük (kısa kenarı yatay, uzun kenarı dikey) olacak şekilde yerleştirilmiştir.

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad (1)$$

Parke ve bordürde yüzey aşınması deneyi Böhme aşınma cihazı ile gerçekleştirilmiş ve sürtünme ile yüzey aşınması hacim azalması cinsinden hesaplanmıştır. Hacmi önceden bulunmuş olan

deney numuneleri, 48 saat oda sıcaklığında % 40, % 60 bağıl nemli ortamda bekletildikten sonra, Böhme yüzey aşındırma cihazının deney numunesi tutucu çerçevesi içine yerleştirilmiştir. Sürtünme şeridi üzerine  $20 \text{ g} \pm 0.5 \text{ g}$  zımpara tozu serpilmiş ve deney numunesine çelik manivela aracılığıyla yük uygulanarak numunenin sürtünme şeridinde  $0.6 \text{ kgf/cm}^2$  lik bir basınç ile bastırılması sağlanmıştır. Her 22 devir sonunda yeniden toz serpilip numune düşey eksenli etrafında  $90^\circ$  çevrilmek suretiyle  $22^\circ$  şer devirlik 20 aşındırma periyodu (toplam 440 devir) uygulanmıştır. Aşınma kaybı hacim azalması ölçülerek tayin edileceğinden numunenin deneyden sonraki hacmi  $0.01 \text{ cm}^3$  hassasiyetle ölçülerek Denklem 2 yardımıyla hacimsel azalma  $\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$  cinsinden bulunmuştur.

$$\Delta V = \left( \frac{V_0 - V_1}{A} \right) * 50 \quad (2)$$

Burada,  $\Delta V$ , yüzey aşınma kaybı;  $V_0$ , numunenin deneyden önceki hacmi;  $V_1$ , deneyden sonraki hacmi; A, aşınma uygulanan yüzey alanıdır.

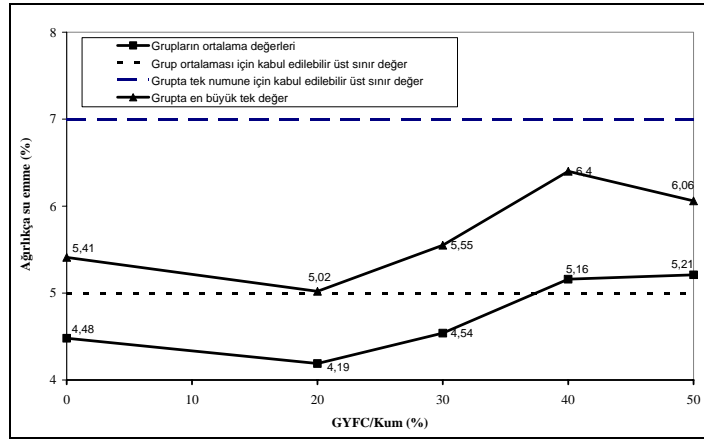
### 3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### 3. 1. Parke Deneyleri

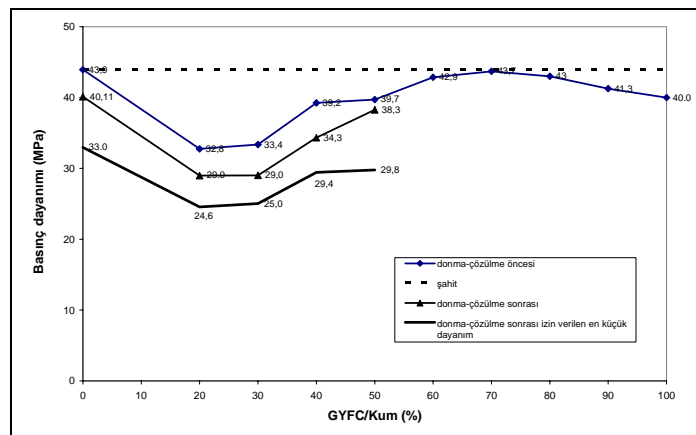
Üretilen parke numunelerine su emme oranı, basınç dayanımı, donma-çözülme ve sürtünme ile yüzey aşınması deneyleri yapılmıştır. TS-2824 (1989)'ün sınır koşulları ile karşılaştırmalı olarak Şekil 3'te parke su emme deney sonuçları görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi grup ortalama değerleri esas alındığında yaklaşık %38 ikame oranında kabul edilebilir en büyük su emme değeri aşılmaktadır. Grup içindeki en büyük tekil değer esas alındığında ise 0'dan % 50'ye kadar tüm ikame oranları için sınır değer aşılmamıştır. Bu da gösteriyor ki %38 ikame oranı ağırlıkça su emme oranı bakımından kritik değerdir. Eğer iki ölçüm değeri arasında doğrusal ilişki olduğu varsayılırsa bu değer % 37.4 olduğu görülmektedir. Parke betonunda GYFC miktarının artması göreceli olarak GYFC ve kum karışımında yüzey alanının artmasına neden olmaktadır. Bu artış nedeniyle ağırlıkça su emme oranı yükselmektedir. Parke betonunun preslenerek sıkıştırılması sırasında GYFC'nun kısmen ezilerek kırılması da karışımdaki GYFC'nun özgül yüzey alanının artmasına neden olabilir. Düşük GYFC/Kum oranlarında söz konusu ezilme nedeniyle kırılma daha azdır.

Parke basınç dayanımı deney sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. Parke üretiminde GYFC'nun basınç dayanımı üzerindeki etkisini daha iyi inceleyebilmek için yalnızca basınç deneyi numunelerinde GYFC/Kum oranı % 100'e kadar devam ettirilmiştir. Laboratuvar koşullarında yapılan denemelerde 50 MPa hedefine ulaşılmış olmakla beraber; şantiyede kontrol betonu dahil hiçbir grupta standardın öngördüğü asgari 50 MPa grup ortalama değerine ulaşamamıştır. Bunda şantiye koşullarının elverişli olmaması önemli bir etken olmuştur. Parke üretim yerinde özellikle ilk 28 günde havada kür olması, hava sıcaklığı gibi etkenler numunelerin dayanım kazanmasını engellemiştir. Üretim yapıldığı dönemde aylık ortalama hava sıcaklığı 15 °C olarak tespit edilmiştir. Söz konusu kür şartları tüm gruplar aynı dönemde birkaç gün ara ile döküldüğünden tüm gruplarda aynı düzeydedir ve gruplar kendi

aralarında karşılaştırılacaklarından yeni numune dökümleri yapılmamıştır. Şekil 4'ten görüldüğü üzere kum yerine GYFC ikamesi, basınç dayanımını şahit betonuna göre (% 20 GYFC ikamesi halinde) en fazla % 25 oranında düşürmüştür. Tüm diğer gruplarda düşüş oranı ortalama % 10 civarındadır. Ortalama % 10'luk bir dayanım kaybının kabul edilebilir olduğu veya karışım oranlarında hedeflenen dayanım tespitinde dikkate alınabileceği düşünülürse önemli bir kayıp olarak görülmemektedir. Parke gibi beton elemanlarda aşınma, donma-çözülme, ıslanma-kuruma gibi dayanıklılık özellikleri basınç dayanımından daha önemli özelliklerdir. Bu bakımdan, bu gibi beton elemanların uygunluk değerlendirmeleri yapılırken, dayanıklılık özellikleri basınç dayanımına göre daha fazla dikkat edilmesi gereken özelliklerdir.



Şekil 3. Parke numunelerinde ölçülen su emme oranları ve TS 2824 (1989) sınır değerleri



Şekil 4. Parke basınç dayanımı deney sonuçları.

Parke numuneleri üretilirken 3 tonluk bir kuvvetle preslenerek sıkıştırılmaktadır. %20 ve %30 GYFC/Kum yer değiştirme oranlarında agrega miktarı fazla olduğu için GYFC yeterince

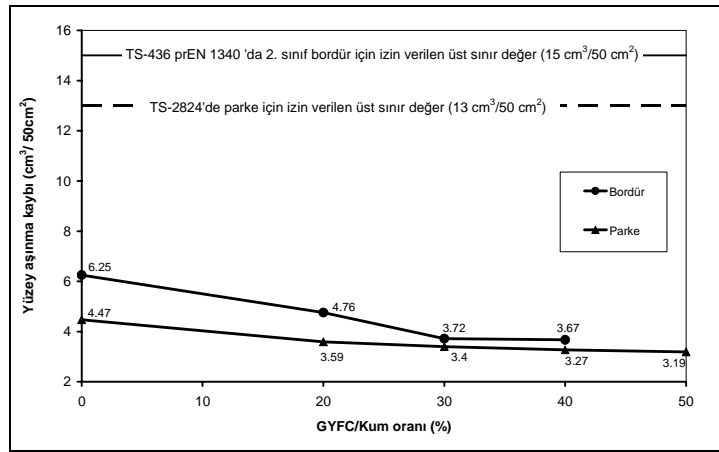
ezilmemektedir. Ancak bu orandan sonra GYFC miktarı artıp 0-4 mm ince agrega miktarı azaldıkça GYFC daha kolayca ezilebilmektedir. Bu nedenle %

30 oranından sonra, GYFC yer değiştirme oranı arttıkça boşluklar azalmaktadır.

Şekil 4'te donma-çözölmeye maruz kalmış parke numunelerin basınç dayanımlarıyla şahit numunelerin basınç dayanımları bir arada görölmektedir. Donma-çözölmeye çevrimleri (25 tekrar) sonrasında elde edilen basınç dayanımları şahit numunelerin basınç dayanımlarına paralel seyretmektedir. Bu benzerlik bir anlamda GYFC/Kum oranındaki artışın basınç dayanımına etkisini de doğrulamaktadır. Donma-çözölmeye dayanımında % 50 yer değiştirme oranına kadar sürekli bir azalma olurken bu orandan sonra artış eğilimi görölmektedir. Basınç dayanımı arttıkça donma-çözölmeye dayanıklılığı da artmaktadır. Tüm gruplarda, donma-çözölmeye sonrası izin verilen en büyük % 25 dayanım kaybının altında kayıplar

gözlenmiştir. Bu bakımdan, TS 2824 (1989) hükümleri çerçevesinde, kum yerine GYFC ikamesinin donma-çözölmeye dayanıklılığını olumsuz etkilemediği görölmektedir.

GYFC/Kum oranı arttıkça sürtünme ile yüzey aşınması azaldığından GYFC'nun beton parkede aşınma dayanıklılığını artırdığı açıktır (Şekil 5). Beton parke taşlarının yol, meydan gibi açık hava koşullarının yanında trafik yükü ve aşınma etkisinin çok olduğu yerlerde kullanılması nedeniyle bu sonuç dikkat çekici görölmektedir. Aşınma kaybı tüm gruplarda TS-2824 (1989)'de izin verilen  $13 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$  üst sınır değerinin oldukça altında kalmış ve TS-2824'e uygunluk sağlanmıştır. Genel olarak, karışımında GYFC oranı arttıkça aşınma kaybı hızı azalmaktadır.



Şekil 5. Parke ve bordürde sürtünme ile yüzey aşınması deney sonuçları

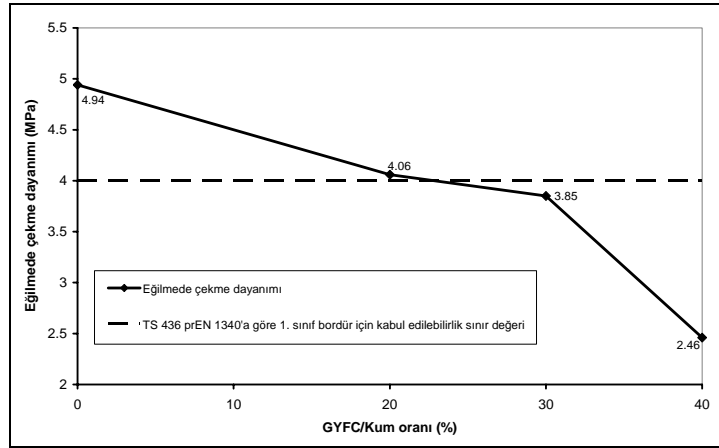
### 3. 2. Bordür Deneyleri

Üretilen bordür numunelerin TS 436 prEN 1340 (1996) standardına göre; eğilme mukavemeti ve Böhme metodu ile yüzey aşınma deneyleri yapılmıştır.

Bordür numunelerin eğilme dayanımları ölçülmüş ve Şekil 6'da ilgili standartta belirtilen sınır değerler ile birlikte verilmiştir. GYFC/Kum oranı arttıkça bordür eğilme dayanımı azalmaktadır. Buna rağmen, % 20 GYFC/Kum oranı için standarda uygunluk sağlanmıştır. % 30 içinse TS 436 prEN 1340 (1996)'ın kabul edilebilirlik sınır değeri az farkla sağlanamamıştır. % 25 ara değeri için iki nokta arasında doğrusal değişim olduğu varsayılırsa standart koşulların sağlanacağı görölmektedir. GYFC'nun gözenekli yüzey yapısından dolayı bordürde boşluklu bir yapının oluşması beklenen bir sonuçtur. % 20 GYFC/Kum oranı için eğilme dayanımında şahit numunelere göre % 17,81'lik bir düşüş meydana gelmiştir. % 30 yer değiştirme oranı

için eğilme dayanımı biraz daha azalarak, şahit numunelere göre % 22,07'lik bir kayıp gerçekleşmiştir. % 20 ve % 30 GYFC/Kum yer değiştirme oranları, bordür eğilme dayanımını birbirine yakın miktarda azaltmaktadır. En büyük oranda kayıp % 40 yer değiştirme oranı için % 50,20 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 6). Bu da, belirli bir orandan sonra GYFC/Kum oranındaki artışın eğilme dayanımını büyük oranda düşürdüğünü göstermektedir. Bu oran için uygun değerin % 20 olduğu söylenebilir.

Şekil 5'te bordür için yüzey aşınma deney sonuçları gösterilmiştir. Buna göre, GYFC/Kum yer değiştirme oranının % 0-30 aralığında aşınmada hızlı bir azalma gözlenmiştir. Buna karşın, % 30-40 aralığında büyük bir değişim olmamıştır. Aşınma kayıpları izin verilen maksimum  $13 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$  değerinin çok altında gerçekleşmiştir. Sonuç olarak, bordür betonunda ince agrega yerine GYFC'nun kullanımı sürtünme ile yüzey aşınması yönünden TS 436 prEN 1340 (1996)'a uygundur.



Şekil 6. Bordür eğilme dayanımı deneyi sonuçları

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, GYFC'nun beton parke ve bordür üretiminde ince agrega yerine değerlendirme imkanı araştırılmıştır. Varılan sonuçlar şöyle sıralanabilir.

Parke numuneleri deney sonuçlarına göre:

- GYFC/Kum oranı arttıkça grupların ortalama su emme oranları artmakta ve basınç dayanımları azalmaktadır. Basınç dayanımındaki azalış doğrusal olmayıp, % 50, % 100 ikame aralığında tolere edilebilir düzeyde kalmıştır. Fakat %50'den düşük ikame oranları için önemli kayıplar gözlenmiştir.
- GYFC/Kum oranı arttıkça donma-çözülme dayanıklılığı basınç dayanımı değişimine paralel bir seyir izlemektedir. Özellikle % 20, % 30 ikame oranları aralığındaki düşüşler dikkat çekicidir.
- GYFC/Kum oranı arttıkça aşınma direnci yükselmektedir. Parke için yüzeysel aşınma direnci çok önemli bir dayanıklılık göstergesidir.

Bordür numuneleri deney sonuçlarına göre:

- GYFC/Kum oranı arttıkça eğilme dayanımı düşmektedir. % 20 GYFC/Kum oranı için TS 436 prEN 1340 (1996)'ın 1. sınıf için eğilme dayanım koşulu sağlanmıştır.
- Aşınma direnci GYFC/Kum oranı arttıkça yükselmektedir. Bordürün dayanıklılığı için bu durum önemli bir kazançtır.

GYFC'nun kısmen ince agrega yerine kullanımı ile parke ve bordürde basınç dayanımları bir miktar azalmakla birlikte, dayanıklılığa yönelik diğer

özelliklerde ilgili Türk Standardı'na uygunluk sağlanmıştır. Kaldı ki, bu tür elemanlarda dayanıklılığın dayanımdan daha önemli bir özellik olduğu dikkate alınırsa % 20 oranında yer değiştirme ile donatısız beton eleman üretimi yapılabilir. Böylece, GYFC öğütülmeden kum yerine kullanılabilir.

#### 5. TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmanın gerçekleştirildiği 2003-45-06-03 kod numaralı araştırma projesine desteklerinden dolayı ZKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu'na teşekkür ederler. Ayrıca, deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesinde çeşitli katkılarından dolayı, Zonguldak-Kilimli Belediye Başkanlığı, ÇATES İşletme Müdürlüğü, ERDEMİR Genel Müdürlüğü, ve YTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemeleri Anabilim Dalı Başkanlığı'na da teşekkür ederler.

#### 6. KAYNAKLAR

Anonim, 1997. AS/NZS 4455. Masonry units and segmental pavers. Standards Australia/Standards New Zealand.

Anonim, 2002. TS EN 197-1, "Çimento-Bölüm 1:Genel çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk kriterleri", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.

Anonim, 1985. TS 802, "Beton karışımı hesap esasları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- Anonim, 1989. TS 2824, “Beton Parke Taşları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim, 1996. TS 436 prEN 1340, “Bordür taşları-Beton”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim, 2005. TS 436 EN 1340. “Zemin Döşemesi İçin Beton Bordür Taşları-Gerekli Şartlar ve Deney Metotları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Arıöz, Ö., Özsoy, A., Yılmaz, G. 2004. Concrete With Recycled Aggregate, Key Engineering Materials, 264-268, 2145-2148.
- Atiş, C. D. 2002. High Volume Fly Ash Abrasion Resistant Concrete, Journal of Materials in Civil Engineering, 14 (3), 274-277.
- Atiş, C. D. 2003. Abrasion-Porosity-Strength Model for Fly Ash Concrete, Journal of Materials in Civil Engineering, 15 (4), 408-410.
- Basheer, P., A., M. and Bai, Y. 2003. Influence of Furnace Bottom Ash on Properties of Concrete, Proceedings of the Institution of Civil Engineers Structures & Buildings, 156 (1), 85-92.
- Kula, I., Olgun, A., Erdoğan, Y., Sevinç, V. 2001. Effects of Colemanite Waste, Cool Bottom Ash and Fly Ash on the Properties of Cement, Cement and Concrete Research, 31 (3), 491-492.
- Mehta, P. K. 2001. Reducing the Environmental Impact of Concrete, Concrete International, 23 (10), 61-65.
- Mehta, P. K. 2002. Greening of the Concrete Industry for Sustainable Development, Concrete International. 24 (7), 23-27.
- Mehta, P. K. 1999. Advancements in Concrete Technology, Concrete International, 21 (6), 27-33.
- Poon, C. S., Chan D. 2006. Paving Blocks Made With Recycled Concrete Aggregate and Crushed Clay Brick, Construction and Building Materials. 20 (8) : 569-577.
- Poon, C. S., Kou, S. C., Lam, L. 2002. Use of Recycled Aggregates in Molded Concrete Bricks and Blocks, Construction and Building Materials. 16 (5), 281-289.
- Topçu, I., B., and Canbaz, M. 2004. Properties of Concrete Containing Waste Glass, Cement and Concrete Research, 34 (2), 267-274.
- Yüksel, İ., Özkan, Ö., Bilir, T. 2003. “Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Betonda İnce Agregata Olarak Kullanımı” **5. Ulusal Beton Kongresi**, 1-3 Ekim 2003. İstanbul, Cilt 1, 471.
- Yüksel, İ., Özkan, Ö., Bilir, T. 2006. Use of Granulated Blast Furnace Slag in Concrete as Fine Aggregate, ACI Materials Journal, 103 (3), 203-208.