

## UÇUCU KÜLLERİN BETON KİLİTLİ PARKE TAŞI ÜRETİMİNDE KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Gökhan DURMUŞ<sup>1\*</sup>, Osman ŞİMŞEK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü 06500 / Ankara

### Özet

Beton kilitle parke taşları, son zamanlarda oldukça yaygın kullanılmaktadır. Özellikle şehir içi yol ve kaldırımlarda, araç park alanlarında, ticari merkezlerde, fabrika çevreleri ve benzeri yerlerde yoğun çalışmalara maruz kalan bölgelerde görülmektedir. Parke taşı üretimi, Uçucu Kül (UK) kullanımı için geniş hacimli bir alandır. UK'ün parke taşı üretiminde kullanılması, daha iyi parke taşı üretimi, ekonomiklik ve çevre açısından iyi bir yaklaşım olacaktır. Çalışmada %10-20-30-40 oranlarında uçucu kül çimento yerine ikame edilerek parke taşı hazırlanmıştır. Üretilen parke taşlarının standart ve tuzlu su kürü uygulaması yapılmıştır. Kilitli parke taşlarına yarmada çekme, su emme ve aşınma özellikleri incelenmiştir. Sonuçta, tuzlu su küründe, erken yaşlarda, yarmada çekme dayanımını artırırken, ileriki yaşlarda düşürmüştür. Ayrıca, kilitli parke taşında UK ikame oranı artıkça aşınma kaybı değeri artmakta su emme oranı ise azalmaktadır

**Anahtar Kelimeler:** Parke taşı, uçucu kül, yarmada çekme dayanımı, aşınma kaybı, su emme

## RESEARCH IN USAGE OF FLY ASHES IN THE PRODUCTION OF INTERLOCKING CONCRETE PAVE

### Abstract

The usage of the interlocking concrete pave has been increased recently. It is used in the areas in local roads and pavements, parking sites, commercial centers and industrial areas, which are exposed to intensive usage. Production of the concrete pave is a wide area for the consumption of the fly ash (FA). The usage of the FA in the production of concrete pave is a more high quality production, more economical and a more environmentally friendly approach. In this study, fly ash gathered from three different thermal power stations has been used as a substitute to cement in 10-20-30-40 % ratios. Half of the produced paves have been used as control example. The other half has been exposed to salt cure. The splitting tensile strength and water absorption characteristics of the pave have been determined. As a salt while tensile strength increased early ages due to salt cure, it was decreased in older ages. In addition to this finding, it was also determined that; as the FA addition increased, abrasion loss amount increased and water absorption amount decreased.

**Keywords:** Concrete pave, Fly ash, Tensile strength, Abrasion loss, Water absorption

---

\* E-posta: gdurmus@gazi.edu.tr

## 1. Giriş

Yapı üretiminde kaynaklara dayalı malzemelerin kullanım oranlarının artması, mevcut kaynakların akılcı kullanımının yanında ekonomik ve nitelikli malzeme üretimine gidilmesini gerektirmektedir [1, 2] Bu kapsamda, mevcut kaynakların ve enerjinin kullanımını azaltmaya yönelik alternatif malzeme kullanımı ile ilgili araştırmalar devam etmektedir [3]. Çimento üretim sürecinde harcanan enerjinin en az %40'ının öğütme ve pişirmede azaltıldığı düşünülecek olursa çimentonun çevre ve ekonomiye verdiği zarar küçümsenmeyecek kadar önemli olmaktadır [4]. Günümüzde çimento çeşitli puzolanik malzemelerle yer değiştirilerek daha ekonomik ve kaliteli beton üretilmesi mümkün olmaktadır [5, 6]. Bu çalışmada bu durum göz önünde bulundurularak yapay puzolanlardan Uçucu Kül (UK) tercih edilmiştir.

UK'ler pulverize kömür ile çalışan tesislerde, bacalardan sürüklenen ve elektro filtreler yardımı toz tutma ünitelerinden temin edilmektedir [7]. UK'ler küresel biçimde olup  $\text{Ca(OH)}_2$  ile tepkimelerinde hidrolik bağlayıcı özellikleri bulunmaktadır [8]. Bacalarda tutulan UK'lerin önemli çevre ve hava kirliliği de kısmen önlenmiş olacaktır. Ancak UK'lerin kullanım alanını artırarak ülke ekonomisine kazandırılması ile mümkün olmaktadır. UK'lerin değerlendirildiği sektörlerin başında ağırlıklı olarak inşaat sektörü gelmekle beraber kullanım oranı gelişmiş ülkelere göre azdır [3,7].

UK taneleri genellikle küresel tane şekilli katı parçacıklardır. Küresel yapısı nedeniyle kimyasal ve su geçirimsizliği üzerine büyük etkisi olan puzolanik malzemelerdir[9,10]. Ayrıca, taze betonda su kusmayı (terleme) ve betonun hidrasyon ısısını azaltmakta ve betonun etkilere karşı dayanıklılığını artırmaktadır [11].

Parke yol yapımı Romalılardan beri kullanıla gelmiş bir üst yapı tipidir. Taş parke kaplama uygulaması, dayanıklılık, temiz ve tekerlek yuvarlanmasına elverişli bir yüzey oluşturma yönleri açısından avantajlı olduğu görünmektedir [12]. Zamanla estetiğin daha fazla istenmesi sonucu, belirli bir işçilik isteyen düzgün boyutlu doğal taş malzemeli parke taşları kullanılmaya başlamıştır. Fakat doğal kaynaklardan sağlanan taş parkelerinin ekonomikliği üretimi ve kalitesi tartışılır hale gelmesi, betonun parke taşı gündeme getirmiştir. Bu yüzden hızlı ve dayanıklı betonarme parke taşı imalatı ön plana çıkmıştır [13]. Dolayısıyla, UK'lün parke taşı üretiminde kullanılmasıyla kimyasal etkilere dayanıklı, ekonomiklik ve atık malzemeyi değerlendirme açısından yararlı olacağı düşünülmüştür.

Çalışmada, Orhaneli termik santrali ait uçucu kül belirli oranlarda çimento yerine ikame edilerek iki farklı kür koşulunda bekletilen kilitli parke taşların 90 günündeki teknik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2. Malzeme ve Yöntem

### 2.1. Malzemeler

Beton karışımında, 0-4 mm tane sınıflarına uygun kırma agrega, PÇ 42.5 CEM I 42.5 R çimentosu, reaktif kireç miktarının % 10'un altında olması nedeniyle V sınıfı (silissi uçucu kül) kapsamına girmekte olan Orhaneli uçucu külü ve Ankara şebeke suyu kullanılmıştır. Agregaların fiziksel özellikleri Çizelge 1'de, UK ve Portland çimentosunun TS EN 197-1 [14] ve ASTM C 618 [15] kapsamındaki karşılaştırmalı kimyasal özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Agreganın fiziksel özellikleri

<b>Fiziksel özelliği</b>	<b>0-4 mm.</b>
Özgül ağırlık ( $\text{kg/dm}^3$ )	2,574
Su emme oranı (%)	2,2

**Çizelge 2.** UK ve PÇ çimentosunun standartlara göre kimyasal özellikleri.

<b>Kimyasal Analiz (%)</b>	<b>Uçucu kül (%)</b>	<b>PÇ 42.5 R CEM I</b>	<b>TS EN 197-1</b>	<b>ASTM C 618</b>
$\text{SiO}_2$	36,56	14,73		
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	4,2	3,61		
$\text{Al}_2\text{O}_3$	21,08	4,80		
CaO	25,72	64,29		
MgO	1,22	0,85		
$\text{Na}_2\text{O}$	0,4	0,30		

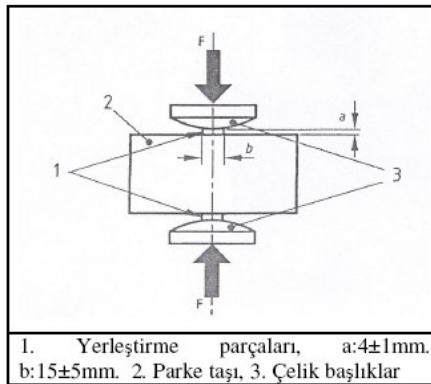
K <sub>2</sub> O	1,22	0,79		
SO <sub>3</sub>	3,53	2,40	< 3,0	< 5,00
Çözünmeyen Kalıntı	5,57	1,44		
Kızdırma Kaybı	0,40	1,30	< 5,0	< 6,00
S+F+A	80,85	-		> 70,0
Fiziksel Özellikler				
Özgül yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	2850	4108		
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	-	2,95		
Priz başlama süresi (dk.)	-	105		
Priz sona erme süresi (dk.)	-	165		

## 2.2. Yöntemler

Beton kilitli parke taşları, karışım elamanlarının depolandığı üniteler, taşıma sistemi, ölçme tertibatı ve uygun karıştırıcı bulunan bir laboratuarda üretilmiştir. Beton karışım hesabı TS 802'ye göre hazırlanmış ve su/çimento oranı 0.50 olarak belirlenmiştir (Çizelge 3) [16]. Parke taşı üretiminde kullanılan çimento ağırlıkça % 0, % 10, % 20, % 30 ve % 40 oranında azaltılarak UK ikame yapılarak kilitli parke taşı üretilmiştir. Parke taşları 20 ± 2°C sıcaklıkta standart ve % 3 tuz çözeltisi ile iki farklı küre tabii tutulmuştur. Ayrıca zaman farkları incelenmesi için 28 ve 90 gün yarmada çekme dayanımı, 90 günde ise aşınma ve su emme değerleri araştırılmıştır. Yarmada çekme deneyi TS 2824 EN 1338 [17] standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deney beton parke kilit taşının kenarlarına paralel, simetrik ve en uzun yarıлма kesiti boyunca yapılmıştır. Böylece yarıлма kesitinin herhangi noktasından yan yüzeylere olan dik mesafe, kırılma kesiti alanının en az %75'inde kilit taşı kalınlığının en az 0,5 katıdır şartı sağlanmıştır.

Çizelge 3. Kilitli parke taşı oranları

Malzemeler	Kontrol Örn.	%	%	%	%
		10 UK	20 UK	30 UK	40 UK
Agrega 0-4 mm. (kg.)	1041	1041	1041	1041	1041
Çimento (kg.)	260	234	208	182	156
UK (kg.)	0	26	52	78	104
Su (Lt.)	130	130	130	130	130



Şekil 1. Yarmada çekme deneyi

Yük saniyede (0,05 ± 0,01) MPa gerilme artışı sağlayacak hızla, düzgün ve kesintisiz arttırılarak uygulanmıştır. Deneyde uygulanan beton kilit taşlarının kırılma düzlemi alanı aşağıdaki (Eş. 1) ve yarmada çekme dayanımı (Eş. 2) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$S=L \times T \text{ dir.} \quad (1)$$

Burada;

S: Kırılma alanı, mm<sup>2</sup>

L: Üst ve altında yapılan iki ölçmenin ortalaması olarak kırılma kesitinin uzunluğu

T: Biri ortadan, diğer ikisi kenarlardan yapılan üç ölçmenin ortalaması olarak kırılma düzlemindeki kalınlığı, (mm).

$$T = 0637 \times k \times P/S \quad (2)$$

Burada;

T: Dayanım, MPa

P: Kırılma yükü, N

k: Aşağıdaki eşitlikle hesaplanan parke taşı kalınlığı için düzeltme katsayısıdır.

Aşınma dayanımı ASTM C 944 [18] standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Parke taşının üst yüzünü standart şartlar altında aşındırıcı çark ile aşındırarak yapılır. Aşındırma makinesi 200 dev/dk.'da çalışan bir aşındırıcı çarkın yatay hareketini sağlayan cihazla gerçekleştirilmiştir (Şekil 2).

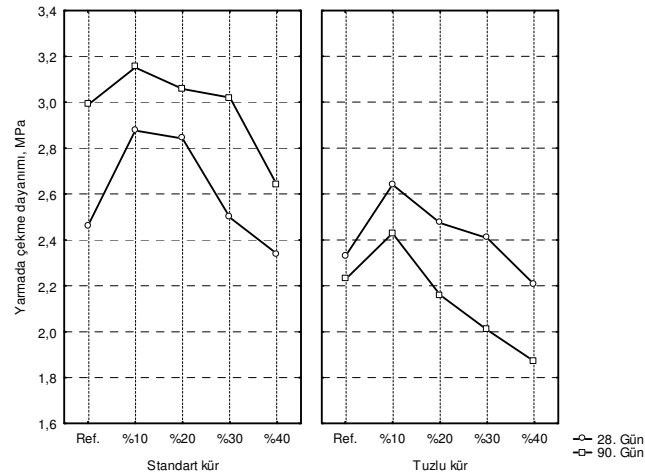


Şekil 2. Aşındırma testi

Su emme deneyi TS 3526, "Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini" standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [19].

### 3. Bulgular ve Tartışma

Orhaneli uçucu külün kimyasal analizine göre  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  yüzdesinin % 70'i geçmesi ve CaO miktarının % 10'un altında olması nedeniyle F sınıfı (düşük kireçli) UK koşulunu sağlamaktadır. Aynı zamanda ASTM C 618'de istenen S+A+F > %70 koşuluna da uymaktadır. İki farklı kür koşulundaki 28. ve 90. günlük yarmada çekme dayanımları sonuçları Şekil 3'te verilmiştir.

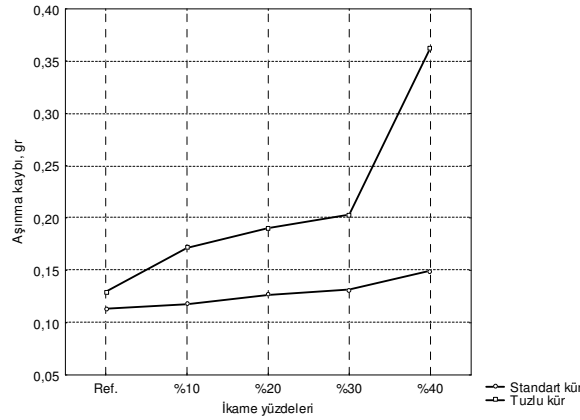


Şekil 3. Yarmada çekme deney sonuçları

Şekil 3'te standart kürde bekletilen kilitli parke taşların 28 gündeki yarmada çekme dayanımları referans betona göre %10'da %16,86 , % 20'de %15,44, %30'da %1,42 arttığı, %40'da ise 5,01 MPa azaldığı bulunmuştur. 90 gündeki %10 ikameli UK'de %5,47, %20'de %2,34, %30'da %1,06 arttığı %40'ta ise %9,54 azaldığı görülmüştür.

Tuzlu su küründe bekletilen kilitli parke taşların 28 gündeki yarmada çekme dayanımları referans betona göre %10'da %13,54 , % 20'de %6,3, %30'da %3,51 arttığı, %40'da ise %5,23 azaldığı bulunmuştur. 90 gündeki %10 ikameli UK'de %9,06 arttığı, %20'de %2,99, %30'da %9,81, %40'ta ise %16,02 azaldığı görülmüştür.

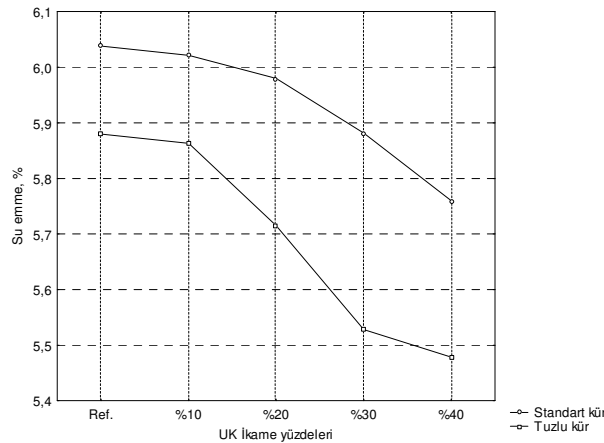
Kilitli parke taşının 90 günlük deney örnekleri üzerinde gerçekleştirilen aşınma ve su emme deneyleri sırasıyla Şekil 4 ve 5'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Aşınma kaybı sonuçları

Şekil 4'te standart küründe bekletilen kilitli parke taşların aşınma kaybı değerlerinin referans betona göre %10'da %32,3, % 20'de %46,98, %30'da %56,99 ve %40'da %180,31 arttığı bulunmuştur. Tuzlu su küründe %10'da %3,98, %20'de %11,78, %30'da %16,35, %40'ta ise %32,25 arttığı görülmüştür.

Şekil 5'te standart küründe bekletilen kilitli parke taşların aşınma kaybı değerlerinin referans betona göre %10'da %0,28, % 20'de %0,97, %30'da %2,59 ve %40'da %4,61 azaldığı bulunmuştur. Tuzlu su küründe %10'da %0,28, %20'de %2,81, %30'da %5,98, %40'ta ise %6,83 azaldığı görülmüştür.



Şekil 5. Su emme deneyi sonuçları

#### 4. Sonuçlar

Beton kilit parke taşı üretiminde UK kullanıldığında, standart ve tuzlu kürlerde beton kilit taşının yaşı arttıkça dayanımında artma görülmektedir. Tuzlu su kürü yarmada çekme dayanımı standart küre göre daha düşük dayanım

göstermiştir. Bütün UK kül oranları en iyi yarmada çekme dayanımı % 10 ikameli değerlerde görülmüştür UK oranının %10'dan fazla artması yarmada çekme dayanımını genel olarak azaltmaktadır.

Kilitli parke taşların üzerine yapılan aşınma dayanımında genel olarak tuzlu su kürüne maruz kalmış numunelerin aşınma kaybı değerleri daha yüksek olmaktadır. Standart kür ile tuzlu kür birbiriyle kıyaslandığında; standart kürde aşınma kaybı değerleri daha az olmaktadır. UK ikame oranı arttıkça aşınma kaybı değerlerinde artış görülmektedir.

90 günlük parke taşların üzerine yapılan su emme deneyine göre tuzlu su kürü standart kürüne göre daha az su emme yüzdesi gerçekleşmiştir. UK ikame yüzdeleri arttıkça su emme değerleri düşmektedir.

Tuzlu sulama kürü etkisi altında, erken yaşlarda UK kullanılan numuneler, daha yüksek dayanım gösterirken. 90 günlük yarmada çekme dayanımı deneyi sonuçlarına göre, düşüş görülmüştür. Tuz küründeki parke taşların zaman bağılı olarak dayanım kaybına sebep olmaktadır.

TS 2824 EN 1338'de [17] önerildiğine göre parke taşlarının yarmada çekme dayanımı: en düşük değer 2.9 MPa dan az olmaması, su emme oranı %7 den fazla olmamalı şartlarının %10 UK İkameli oran sağladığı için kilitli parke imalatında kullanılması önerilebilir.

## Kaynaklar

- [1] Ersoy, H. Y., "Alçı, Sünger Taşı ve Cam Liği Kompoziti", İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınevi, İstanbul (1985).
- [2] Yıldız S, Yalınbaş M ve Keleştemur O, "Silis dumanı katkılı yapı alçılarında eğilmede çekme dayanımının araştırılması" *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* Cilt 20, No 3, Vol. 20, No 3, 395-399 (2005).
- [3] Şimşek, O., Yaprak, H., Aruntaş, H.Y., "Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufunun Süper Akışkanlaştırıcı Katkılı Beton Özelliklerine Etkisi", *Beton 2004 Kongresi*, İstanbul, 707-715 (2004)
- [4] Sancak E., Aydın A.B. "Yapı sektörü-çevre ilişkisi bağlamında çimento ve beton üretiminin çevresel etkilerinin irdelenmesi", *4. International Advanced Technology Symposium September 28-30, Selçuk üniversitesi Konya*, 1057-1062.,(2005).
- [5] Şengül, Ö, Taşdemir, M,A, Sönmez, R, "Yüksek Oranda Uçucu Kül İçeren Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonların Klor Geçirimsizliği", *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi*, İstanbul Bülten 77: 27-32, (1999).
- [6] Şimşek, O., "Beton ve Beton Teknolojisi" *Seçkin yayıncılık A.Ş.*, Ankara, 104-108 (2004)
- [7] Aruntaş, H.Y. "Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli", *Gazi Üni. Müh. Mim. Fakültesi Dergisi*, 21 (1): 193-203,(2006)
- [8] Devlet Planlama Teşkilatı, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sanayi Hammaddeleri, "Çimento Hammaddeleri" Çalışma Grubu Raporu, *DPT*, Ankara (2001).
- [9] Malhotra, V. M. , Mehta, P. K., "Supplementary Cementing Materials For Sustainable Development Inc.", High Performance, High Volume Fly Ash Concrete 101 s. Ottawa, (2002).
- [10] Erdoğan Y.Turhan, "Beton", Ankara Syf:183 (2003).
- [11] Türker, P, Erdoğan, B, Kantaş, F, Yeğınobalı, A, Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri, *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği* Ankara 20-34 (2003).
- [12] Tunç, A, "Yol Malzemeleri ve Uygulamaları", *Atlas yayın dağıtım*, İstanbul, 466-467 (2001)
- [13] Semiz, M, "Beton Kilit Taşlarının Fiziksel Özellikleri ve Alternatif Üretim Araştırılması", Yüksek Lisans tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-20 (2006).
- [14] TS EN 197-1, "Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 33-42 (2002).
- [15] ASTM C 618, "Standard specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcite Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete", *Annual Book of ASTM Standards*, 4-16 (1998).
- [16] TS 802, "Beton Karışım Hesap Esasları", TSE, Ankara (1985).
- [17] TS 2824 EN 1338, "Zemin Döşemesi İçin Beton Kaplama Blokları-Gerekli Şartlar ve Deney Metotları", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-25 (2006).
- [18] ASTM C 944, "Standard Test Method For Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by The Rotating-Cutter Method", *American Society For Testing and Materials*, USA, 1- 4 (1999).
- [19] TS 3526, "Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-5 (1980).