



## Uçucu kül ve perlitin birlikte kullanımının portland çimentosu özelliklerine etkisi

Ahmet GÖKDEMİR<sup>1</sup>, Can DEMİREL<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, 06500 Ankara, Türkiye

<sup>2</sup> Kırklareli Üniversitesi, Pınarhisar Meslek Yüksek Okulu, 39300 Kırklareli, Türkiye

### ÖZET

**Anahtar Kelimeler:**  
Çimento, Perlit,  
Uçucu Kül,  
Eğilmede  
Çekme ve  
Basınç  
Dayanımı

Günümüz yapı üretiminde yaygın olarak kullanılan çimentonun yüksek maliyeti ve çevreye olumsuz etkileri göz önüne alındığında alternatif malzeme araştırmaları ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle çimento ve beton teknolojisinde puzolanik malzemeler kullanılmaktadır. Bu çalışmada çimento katkı maddesi olarak kullanılan uçucu kül ve perlitin birlikte CEM I 42.5 R çimentosuyla ağırlıkça %10 yer değiştirilerek üretilen çimento harç prizmalarının mekanik özellikleri değerlendirilmiştir. 28 günlük eğilmede çekme ve basınç dayanımı test sonuçları incelendiğinde; doğal rezerv olan perlitin, termik santral atığı uçucu kül ile birlikte kullanılabilceği görülmüştür.

## The effects of collaborative use of fly ash and perlite on the characteristics of portland cement

### ABSTRACT

**Key Words:**  
Cement, Perlite,  
Fly Ash, Flexural  
Strength and  
Compressive  
Strength.

As cement, which is used extensively on construction, has high costs and negative impacts on environment, research for alternative materials on construction technology are considered. Therefore, pozzolanic materials are widely used in the cement and concrete technology. In this study, fly ash and perlite which are used as addition agents are evaluated. CEM I 42.5 R type cement was substituted by fly ash and perlite %10 in weight. Then, mechanical properties of produced cement mortar prisms were evaluated. The flexural strength and compressive strength test results showed that perlite, which is a natural deposit, and fly ash, which is waste of thermal power plants, can be used.

## 1. Giriş

Çimento maliyeti ve tüketimini azaltmak için bağlayıcı özelliğe sahip malzemeler katkılı çimento üretmek için kullanılabilir. Katkılı çimento, portland çimentosuna göre çok daha az enerji tüketimi sağlaması ve bazı özelliklerinin getirdiği ilave katkılardan dolayı yapı sektöründe geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Bu malzemeler endüstriyel atıklar (yapay puzolanlar) ve doğal puzolanlardır. İnşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan endüstriyel atıkların başında; uçucu küller, silis dumanı, yüksek fırın cürufu, pirinç kabuğu külü ve mermer tozu gelmektedir. Doğal puzolanlar ise; volkanik tüfler, volkanik camlar, volkanik küller, diatomitler, ısıtım işlem görmüş kil ve şeylerdir [1, 2, 3, 4].

Volkanik tüf bakımından zengin olan Türkiye’de perlitik tüflerin çimento katkısı olarak kullanılabilme olanakları incelendiğinde, perlitik tüflerin öğütülmesindeki güçlüğüne rağmen yüksek puzolanik aktivite gösterdikleri ve çimento özelliklerini iyileştirdiği belirlenmiştir [5, 6].

UK, termik santrallerde elektrik üretimi sırasında kömürün yanması sonucu baca çıkışlarında elektro filtreler yardımıyla tutulan çok ince taneciklerden oluşmaktadır. Atık malzeme olarak ortaya çıkan, uçabilen ve çok ince taneli olan yapay puzolan sınıfındaki bu küllere, UK adı verilmektedir [7]. ASTM C 618’e göre UK’lar F ve C sınıfı olarak iki gruba ayrılmıştır. F sınıfı UK’lar, antrasit veya bitümlü kömürlerden elde edilen ve puzolanik özelliğe sahip olan  $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$  (S+A+F) toplamı %70’in üzerinde olan küllerdir. C sınıfı UK’lar genellikle linyit veya düşük bitümlü kömürlerden elde edilen ve puzolanik özelliğinin yanı sıra kendiliğinden de bir miktar bağlayıcı özelliğe sahip, S+A+F toplamı ise %50’nin üzerinde olan küllerdir. UK, %60-90 camsı bileşen içeren, çapları 1-150  $\mu m$  arasında değişiklik gösteren, yoğunluğu, 2,1-2,7  $g/cm^3$  olan küresel şekilli ve gri renkli bir yapıya sahiptir [1, 2, 8, 9].

UK’nın inşaat sektöründe yaygın olarak kullanıldığı alanlardan biri de çimento sanayisidir. UK’nın çimento yerine ikame malzemesi olarak kullanılması ile ekonomiklik [10], permabilite azaltması [11], alkali agrega gelişiminin kontrolü [12], kimyasal direnç sağlaması [13], atıkların değerlendirilmesi [14,15] ve betonun rötesini azaltması [16] gibi avantajlar sağlanmaktadır. Ayrıca çimento ile betonda priz başlama ve priz sonu süresini, katkı oranına bağlı olarak artırması gibi avantajları nedeniyle üzerinde yoğun araştırmaların yapıldığı bir malzemedir [17,18]. UK’nın hidrasyon üzerine etkileri kimyasal kompozisyonuna, yüzey alanına ve kimyasal reaktivitesine (amorfor faz içeriğine) bağlı olarak değişiklik göstermektedir [19,20]. Yeterli puzolanik aktivite gösteren UK’lar her türlü beton yapımında başarı ile kullanılmaktadır. UK’larla yapılan betonların hidrasyon ısı düşük olduğundan özellikle kütle beton üretiminde önemli bir rol oynamaktadır [21].

Perlit petrografik anlamda riyolitten dasite kadar değişebilen kimyasal bileşimde olan, %2-5 oranında uçucu bileşen içeren ve tipik soğan kabuğu dokusu gösteren, volkanik camsı kayalara denir. Ticari anlamda perlit ise 850-1100 °C arasında ani olarak ısıtıldığında ilk hacminin 10-30 katı kadar genişleyen ve çok hafif bir agrega haline gelen volkanik camdır [22,23].

Bu çalışmada doğal rezerv olan perlitin değerlendirilmesi amacıyla uçucukül ile birlikte % 7.5P-2.5UK,%5P-5UK, %7.5UK-2.5P, %10P ve %10UK oranlarında CEM I 42.5 R tipi çimentosu yerine ağırlıkça ilave edilerek çimento harç numuneleri üretilmiştir. Çimento harç numunelerinin mekanik özelliklerinden eğilmede çekme ve basınç dayanımları belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve yöntem (material and method)

### 2.1. Materyal (Material)

Bu araştırmada CEM I 42,5 R tipi çimento ve çimento katkı maddesi olarak Uçucu Kül ve Perlit ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir. Ayrıca standart kum ve karışım suyu olarak da şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

#### 2.1.1. Çimento (Cement)

Bu çalışmada, Çizelge 1’de kimyasal özellikleri verilen CEM I 42,5R çimentosu kullanılmıştır.

#### 2.1.2. CEN standart kumu (CEN Standard Sand)

Çimento harç numunelerinin hazırlanmasında TS EN 196-1 uygun Rilem-Cembureau standart kumu kullanılmıştır [24].

#### 2.1.3. Uçucu kül (Flay Ash)

Kütahya Seyitömer Termik Santralineait olan UK kullanılmıştır. Özgül ağırlığı 2,05  $g/cm^3$  ve özgül yüzeyi 4890  $cm^2/g$ ’dır.

#### 2.1.4. Perlit (Perlite)

Perlit örneği Ankara Çubuk bölgesindeki ocaktan getirilen malzemenin öğütülmesiyle elde edilmiştir. Özgül ağırlığı 2,25  $g/cm^3$  ve özgül yüzeyi 3380  $cm^2/g$ ’dır.

## 2.2. Yöntem (Method)

Bu çalışmada uçucu kül ve perlit katkısı CEM I 42.5 R çimentosuyla ağırlıkça % 0, 10 ve birlikte %7.5-2.5, %5-5, %2.5-7.5oranlarında yer değiştirilerek (ikame edilerek) TS EN 196-1’e göre 40×40×160 mm boyutlarında Çizelge 2’de verilen malzeme miktarlarına göre çimento harç prizmaları üretilmiştir. Üretilen harç numuneleri kontrol, %10P, %10UK, %7.5P-%2.5UK, %5P-%5UK, %2.5P-%7.5UK katkılı olmak üzere sırasıyla; R, P, UK, PUK1, PUK2 ve PUK3 simgesiyle adlandırılmıştır.

Üretilen çimento harçlarının mekanik özelliklerini belirlemek amacı ile 7 ve 28 günlük eğilmede çekme ve basınç dayanımları incelenmiştir.

## 3. Bulgular ve tartışma

### (findings and discussion)

Bu çalışmaya ait farklı oranlarda uçucu kül ve perlit katkıları ile üretilen çimento harçlarının 7 ve 28 günlük eğilmede çekme ve basınç dayanımı sonuçları Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3’de verilen değerlerden şekil 1-2’de görüldüğü gibi sırasıyla çimento harçlarının 7 ve 28 günlük eğilmede çekme ve basınç dayanımı diyagramları elde edilmiştir.

Çizelge 1. Çimento ve katkı maddelerinin kimyasal analiz sonuçları

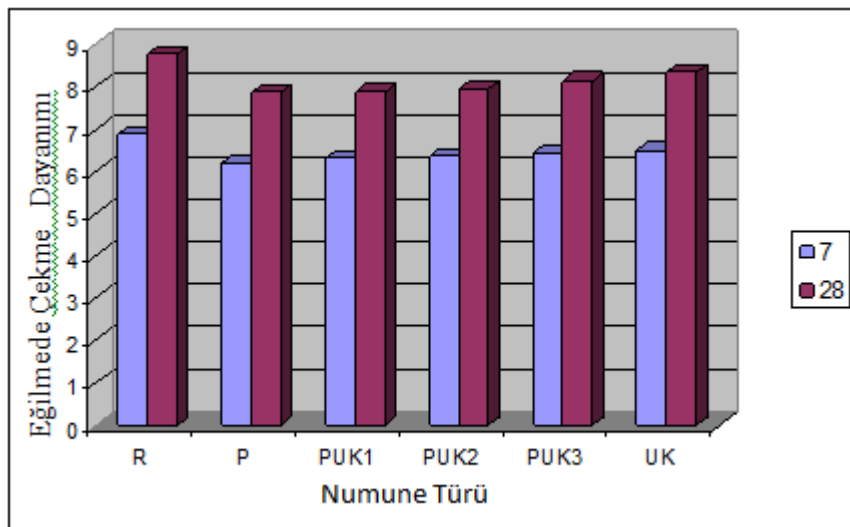
Bileşen	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	K.K. (%)
Çimento	19,20	4,76	2,98	0,00	65,12	1,50	2,47	0,64	0,56	1,42
Perlit	70,36	12,22	3,31	0,00	1,58	0,21	1,24	1,14	7,23	2,10
Uçucu Kül	53,39	16,07	13,05	0,00	6,33	5,48	1,06	1,59	1,71	1,15

Çizelge 2. Çimento harçlarının malzeme miktarları

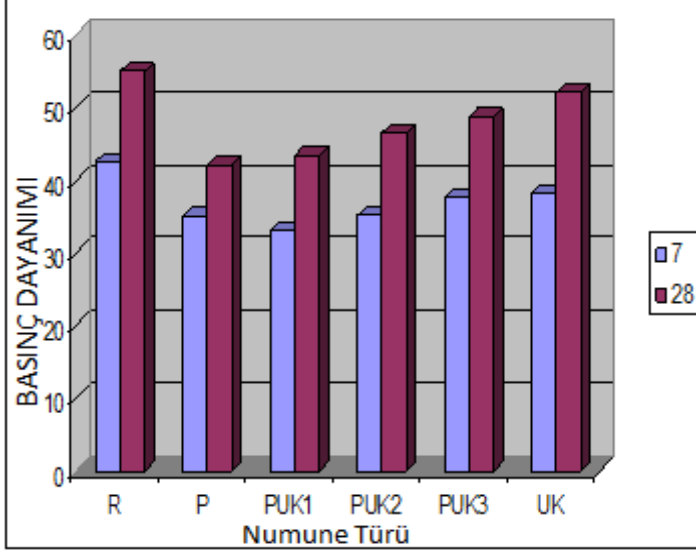
Numune türü	Katkı ikame oranı (%)		Katkı ikame miktarı (g)		Çimento miktarı (g)	Su miktarı (g)	Rilem kumu (g)
	P	UK	P	UK			
R	0	0	0	0	450	225	1350
P	100	0	45	0	405	225	1350
PUK1	75	25	33.75	11.25	405	225	1350
PUK2	50	50	22.50	22.50	405	225	1350
PUK3	25	75	11.25	33.75	405	225	1350
UK	0	100	0	45	405	225	1350

Çizelge 3. Çimento harçlarında çekme 7 ve 28 günlük eğilmede çekme ve basınç dayanım değerleri

Numune türü	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)		Basınç Dayanımı (MPa)	
	7	28	7	28
R	6.89	8.78	42.45	54.87
P	6.21	7.87	34.90	42.00
PUK1	6.32	7.90	32.85	43.31
PUK2	6.35	7.96	35.00	46.40
PUK3	6.46	8.16	37.54	48.68
UK	6.51	8.34	38.20	52.00



Şekil 1. Çimento harçlarının numune türüne göre 7 ve 28 günlük eğilmede çekme dayanım diyagramı



Şekil 2. Çimento harçlarının numune türüne göre 7 ve 28 günlük basınç dayanım diyagramı

Şekil 1-2 incelediğinde; 28 günlük eğilmede çekme ve basınç dayanımında en yüksek değeri R numunelerin, en düşük değerleri P numunelerin verdiği görülmektedir. PUK numune türlerinde uçucu kül oranı arttıkça eğilmede çekme ve basınç dayanımında artış olduğu görülmektedir. Ayrıca UK numune türünün referans numunelere yakın değerler verdiği görülmüştür.

Şekil 1 incelediğinde numunelerin eğilmede çekme dayanımlarının referans numuneye yakın değerlerde olduğu görülmektedir.

P numune türünün ise 7 ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanımı değerlerinin kontrol numunesine göre düşük değerler alması dikkat çekmektedir.

PUK1, PUK2, PUK3 numuneleri incelendiğinde uçucu kül oranı arttıkça eğilme ve basınç dayanımlarında artış görülmüştür.

UK numune türü incelendiğinde 7 günlük basınç dayanımı 38.20 MPa iken, 28 günlük basınç dayanımı 52,0 MPa' a yükselmiştir. Erken yaşta düşük değerde olup 28 günlük basınç dayanımında %36 artış göstermesi ileri yaşlarda daha da artış göstereceği sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

Puzolanlar, betonda klinkerin hidratasyonu sonucu oluşan  $Ca(OH)_2$  ile tepkimeye girmekte ve bu nedenle betona su karıştırıldıktan sonra, bir süre ortamda  $Ca(OH)_2$ 'in toplanma süresince Portland çimentosuna seyreltici bir etki yapmaktadır. Ancak zamanla ortamda  $Ca(OH)_2$  birikmesi, puzolanların da sistemin dayanımını artıran etkilerinin ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Bu nedenle, puzolan kullanımıyla betonun erken dayanımında bir düşüş olması beklenmekte, ileriki yaşlardaki dayanımlarının ise PÇ çimento harçlarının sonuçlarına ulaşması hatta bunları geçmesi beklenmektedir [25,26].

Perlitin puzolanik reaksiyonu yüksek miktarda silis ( $SiO_2$ ) bileşeni ile çimentonun hidratasyonu sonucunda oluşan kirecin  $Ca(OH)_2$  ve suyun arasında gerçekleşmektedir. Bu reaksiyonlar sonucunda C-S-H jeli benzeri ürünler ortaya çıkar, bu jelleşme sürekli devam eder, çimento harcı mikro homojenlik kazanarak boşlukları azalır ve ileriki yaşlardaki dayanımı artar. Bu etki literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde görülebilmektedir [5].

#### 4. Sonuçlar(Results)

Bu çalışmada çimento harç numunelerinin 28 günlük eğilme ve basınç dayanımı test sonuçları incelendiğinde, en yüksek değeri R numune türünün, en düşük değerleri P numune türünün verdiği

görülmektedir.

PUK numune türlerinde uçucu kül oranı arttıkça eğilmede çekme ve basınç dayanımında artış olduğu görülmektedir. Ayrıca UK numune türünün referans numunelere yakın değerler verdiği görülmüştür.

Numunelerin eğilmede çekme dayanımlarının referans numuneye yakın değerlerde olduğu görülmektedir.

P numune türünün ise 7 ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanımı değerlerinin kontrol numunesine göre düşük değerler alması dikkat çekmektedir.

PUK1, PUK2, PUK3 numuneleri incelendiğinde uçucu kül oranı arttıkça eğilme ve basınç dayanımlarında artış görülmüştür.

UK numune türü incelendiğinde 7 günlük basınç dayanımı 38.20 MPa iken, 28 günlük basınç dayanımı 52,0 MPa' a yükselmiştir. Erken yaşta düşük değerde olup 28 günlük basınç dayanımında %36 artış göstermesi ileri yaşlarda daha da artış göstereceği sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

Puzolan kullanımıyla betonun erken dayanımında bir düşüş olması beklenmekte, ileriki yaşlardaki dayanımlarının ise PÇ çimento harçlarının sonuçlarına ulaşması hatta bunları geçmesi beklenmektedir.

Sonuç olarak doğal bir rezerv olan perlitin, termik santral atığı uçucu kül ile birlikte kullanımıyla hem uçucu külün çevreye olan zararlarını engellenmiş hemde perlitin UK ile birlikte puzolan olarak kullanılabilmesi görülmüştür. Bu sonucun hem ekonomik hemde ekolojik açıdan yani sürdürülebilir yapıların üretimi açısından önemlidir.

#### 5. Teşekkür (Acknowledgments)

Yazar, bu çalışmadaki standart çimento deneylerindeki katkılarından dolayı Limak Çimento Fabrikası yetkililerine teşekkür eder.

#### Kaynaklar (References)

1. Şimşek, O., Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yayıncılık, 3. Baskı, Ankara 2009.
2. Şimşek, O., Yapı Malzemeleri 2, Seçkin Yayıncılık, Baskı, Ankara 2007.
3. Camacho. R.E.R.. Afif. R.U.. "Importance of Using the Natural Pozzolans on Concrete Durability". Cement and Concrete Research. Elsevier. 2002:32: 1851-1858.
4. Erdoğan, T.Y., Beton. Ankara, Semih Ofset Matbaacılık yayıncılık ve Ambalaj San. Tic. Ltd. Şti., ISBN 975-7064-67-X, 760 s., Ankara 2003.
5. Taban, S., "Farklı Oranlarda Zeolitik Tüf Katkısının Beton Özellikleri ve Betonarme Çeliği Korozyonuna Etkilerinin Araştırılması", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
6. Turanlı, L., Uzal, B., Bektaş, F., "Effect of Material Characteristics on The Properties of Blended Cements Containing High Volumes of Natural Pozolans", Cement and Concrete Research, 2004:34: 2277-2282.
7. Aruntaş, H.Y., "Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanım potansiyeli", Gazi Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2006:21 (1): 193-203.
8. Yalçın, H., Gürü, M., "Çimento ve beton", ISBN / ISSN: 9944-341-16-9, Palme Yayıncılık, Ankara, Türkiye, 2006.

9. Erdoğan, T. Y., "Beton", ISBN / ISSN: 975-7064-67-x, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim AŞ., Ankara, Türkiye, 2007.
10. Ernst, W., Nathan, M., Lynn, P., "Potentials for energy efficiency improvement in the US cement industry", *Energy*, 2000:25 (12): 1189-1214.
11. Shiqun, L., Della, M.R., "Investigation of relations between porosity, pore structure, and C1- diffusion of fly ash and blended cement pastes", *Cement and Concrete Research*, 1986:16 (5): 749-759.
12. Canpolat, F., Yılmaz, K., "Doğal zeolit ve uçucu kül katkılı ve katkısız harçların sülfat dayanıklılığı", *Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2: 1-15, 2002.
13. Saraswathy, V., Muralidharan, S., Thangavel, K., Srinivasan, S., "Influence of activated fly ash on corrosion-resistance and strength of concrete", *Cement and Concrete Composites*, 2003:25 (7): 673-680.
14. Fu, X., Wang, Y., Huang, S., Hou X., Hou, W., "The influences of siliceous waste on blended cement properties", *Cement and Concrete Research*, 2003:33 (6): 851- 856.
15. Fu, X., Wang, Z., Tao, W., Yang, C., Hou, W., Dong, Y., Wu, X., "Studies on blended cement with a large amount of fly ash", *Cement and Concrete Research*, 2002:32 (7): 1153- 1159.
16. Chindapasirt, P., Homwuttiwong, S., Sirivivatnanon, V., "Influence of fly ash fineness on strength, drying shrinkage and sulfate resistance of blended cement mortar", *Cement and Concrete Research*, 2004:34 (7): 1087- 1092.
17. Çelik, M.H., Aruntaş, H.Y., Baran Y., "Seyitömer ve Çayırhan uçucu küllerinin Portland çimentosu-uçucu kül pastasının priz başlama ve sonu sürelerine etkisi", *Politeknik Dergisi*, 2003, 6 (1): 397-409.
18. Dorum, A., Tekin, İ., "Uçucu kül ikameli çimento harcının basınç dayanımı ve priz zamanına destile su etkisinin araştırılması", *Politeknik Dergisi*, 2004:7 (3): 243- 250.
19. Drazan, J., Zelic, J., "The effect of fly ash on cement hydration in aqueous suspensions", *Ceramics-Silikaty*, 2006:50 (2): 98-105.
20. Roy, D.M., Arjunan, P., Silsbee, M.R., "Effect of silica fume, metakaolin, and low-calcium fly ash on chemical resistance of concrete", *Cement and Concrete Research*, 2001:31: 1809-1813.
21. Erdoğan, S.T., Erdoğan, T.Y., 'Puzolanik mineral katkıları ve tarihi geçmişleri', 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 263-275, Ankara, Türkiye, 2007.
22. Perlite, Technical Data Sheet, "Perlite in Industry", Perlite Institute Inc., New York, 1(1), 1974.
23. Friedemann, K., Krumbach, R. and Seyfarth, K., "High-Strength Concrete Durability Investigation by Using The CDF Test", *Lacer*, 1999:4: 97-112.
24. TS EN 196-1 "Çimento Deney Metotları-Bölüm 1: Dayanım". Mart. 2002.
25. Erdoğan, K., Tokyay, M., Türker, P., "Traslar ve traslı çimentolar", TÇMB/AR-GE/Y99.2, Ankara, Türkiye, 1999.
26. Yetkin, Ş., Çavdar, A., "Doğal puzolan katkı oranının çimentonun dayanım, işlenebilirlik, katılaşma ve hacim genişmesi özelliklerine etkisi", *Fırat Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2005:17 (4): 687-692.
27. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), "Çimento deney metotları-Bölüm 1: Dayanım tayini", TS EN 196-1, Ankara, Türkiye, 2002.
28. ASTM, "Standard specifications for fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as mineral admixture in Portland cement concrete", ASTM C 618-85, Philadelphia, USA, 1985.
29. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), "Çimento-Bölüm 1: Genel çimentolar-bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri", TS EN 197-1, Ankara, Türkiye, 2002.