

# ZEOLIT KATKILI ÇİMENTOLARIN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Özlem SALLI BİDECI\*, Alper BİDECI, Sabit OYMAEL

## Özet

Doğal puzolanlar yönünden son derece zengin olan ülkemizde çok yönlü kazanımlar sağlanmaktadır. Bu kazanımların başında, çimento üretiminde enerji tasarrufu sağlanması ve bu yolla çevre kirliliğinin azaltılması gelir. Klinkerin azaltılarak yerine puzolanik katkı malzemelerinin kullanılması ile çimento üretimi sırasında ortaya çıkan CO<sub>2</sub> gazı azaltılabilmekte ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Bu çalışmada Portland çimentosuna %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında zeolit katkısının çimento harç özelliklerine etkisi incelenmiştir. Araştırmada zeolit katkı çimento harç numunelerinin, fiziksel ve kimyasal analizleri, 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları ile SEM görüntüleri incelenmiştir. Çalışmada, katkı çimento özellikleri bakımından en uygun değerler %10 zeolit katkı çimento harçlarından elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Zeolit, çimento, basınç dayanımı, fiziksel özellikler, SEM

## INVESTIGATION OF ADDED ZEOLITE CEMENT PROPERTIES

### Abstract

In our country which is extremely rich in natural puzzulanas, multiple profits are gained. Some of these profits are energy saving in the production of cement and the decrease of environmental pollution by this way. By decreasing the clinker and using puzzulana admixture material instead, the CO<sub>2</sub> gas occurring during the production of cement can be decreased and energy saving is provided. In this study, the effect of adding the zeolite admixture at %0, %5, %10, %15 and %20 rates into Portland cement on cement grout qualities has been examined. The physical and chemical analyses of cement grout samples with zeolite addition, their resistances to pressure for 2, 7 and 28 days and SEM-EDS images have been examined. The best pressure resistance is obtained from cement grouts with %10 zeolite addition.

**Keywords:** Cement, Zeolite, Pressure Resistance, Physical Properties, SEM

## 1. Giriş

Dünyadaki hızlı nüfus artışı ve bunun sonucundaki kentleşme nedeniyle daha yüksek ve daha fazla yapıya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yapılaşma daha fazla çimento üretimi gerektirmektedir. Yapı üretiminde malzemeleri birbirine bağlamak amacı ile dünyada en fazla kullanılan bağlayıcı malzeme çimentodur (Koçak, 2008). Puzolanlar ise tek başlarına bağlayıcı malzemeler değildirler. Ancak bağlayıcı bir madde (kireç, çimento vb.) ile ikame edilerek karıştırıldığında su ile reaksiyona girerek bağlayıcı özellik taşırlar (Oymael, 2002). Günümüzde uygun puzolanın uygun miktarlarda kullanılması çimento ve beton endüstrisine

\* Kırklareli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Kırklareli  
E-posta: ozlem.bideci@kirkklareli.edu.tr

ekonomik, teknik ve ekolojik faydalar getirmektedir. Bu sebeple puzolanların sektörde kullanımı her geçen gün artmaktadır (Erdoğan vd., 2007).

1756 yılında Cronstedt tarafından, ısıtıldıklarında yapılarında bulunan suyu çıkartırken köpürmelerinden dolayı “kaynayan taş” olarak isimlendirilen zeolitler, alkali ve toprak alkali kristal yapıya sahip sulu alüminyum silikatlar olarak tanımlanır (DPT, 1996).

Bilindiği üzere, çimento ve beton sistemlerine doğal puzolanların dâhil edilmesi, betonun işlenebilirlik, geçirimsizlik, geç yaşlardaki dayanım gibi özelliklerini geliştirmekte, alkali-agrega reaksiyonu ve sülfat etkisi gibi kimyasal dış etmenlere karşı dayanıklılığını artırmaktadır. Mehta, %10, %20 ve %30 oranlarında doğal puzolan katkısı ile elde edilen katkıli portland çimentolarının normal portland çimentosuna benzer veya daha yüksek basınç dayanımı gösterdiklerini belirlemiştir (Mehta, 1981). Doğal zeolit katkısı içeren betonlar üzerinde yapılan çalışmalar da, zeolit beton özelliklerini geliştirdiğini ve yüksek performanslı beton üretiminde kullanılabileceğini göstermiştir. Ayrıca, doğal zeolit katkısının betonun basınç dayanımını artırdığı ve alkali-agrega reaksiyonu kaynaklı istenmeyen genleşmeleri önlediği tespit edilmiştir (Yıldırım, 2007).

Oymael’in %0, %15, %30 oranında zeolit katılmış SP’li ve SP’siz hamur numuneleri üzerinde yaptığı çalışmada numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarını incelemiştir. Kontrol numunesi ile karşılaştırdığında, 7 günlük basınç dayanım değerlerinin düşük ve 28 günlük basınç dayanım değerlerinin ise standart değerler içinde olduğunu gözlemlemiştir. En yüksek basınç dayanım değerini ise %15 zeolit katkıli (SP’li) numunelerden (62.5MPa) elde etmiştir (Oymael, 2010).

Zeolit puzolan olarak en önemli uygulama alanı, sürekli yeraltı suyu korozyonuna maruz yerlerde hidrolik çimento olarak kullanılmalıdır. Zeolit katkı stabiliteyi sağlamaktadır. Zeolit materyalin kullanıldığı en çarpıcı örnek 1912 yılında Amerika Birleşik Devletlerinde 386 km uzunluğundaki su kanalı imalidir. Yapım için gerekli olan Portland çimento miktarının yaklaşık % 25’ini zeolit katkıli çimento sağlamıştır (Kıbaroğlu, 2007).

Zeolitik mineral katkıli yüksek dayanımlı ve akışkan betonlarda, % 10 oranında çimento yerine zeolit katılıp ve karışımın %31–35 arasında süper akışkanlaştırıcı katılırsa beton dayanımı 80 MPa ve çökmesi 18 cm olmaktadır. Bu dayanım, normal portland çimentolarının basınç mukavemetinin %10’dan % 15’e kadar çıkartmaktadır. Aynı zamanda kanama, ayrışma da olmamaktadır (Feng vd., 1990).

Bu çalışmada, CEM I 42,5 R Portland çimentosuna %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında zeolit katılarak etkileri literatür ve deneysel olarak araştırılmıştır. Deney numunelerinin fiziksel özellikleri, kimyasal analizleri ve 2, 7, ve 28 günlük basınç dayanımları incelenmiştir. Uygun zeolit katkısının bulunması durumunda, çimento endüstrisinde ve maliyetlerinde ekonomiklik sağlanması, çimentolarla üretilen betonlarda performans yükselmesi sağlanabilecektir.

## 2. Materyal ve Metot

Araştırmada kullanılan malzemeler, araç ve gereçler şunlardır:

**Çimento:** Pınarhisar Set Çimento Fabrikası'ndan temin edilen CEM I 42,5/R çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal ve fiziksel analizleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Zeolit:** İzmir ENLİ Madencilik Şti'nden temin edilmiştir. Malzemenin kimyasal analizi Tablo 1'de verilmiştir

Tablo 1. Çimento ve zeolit kimyasal ve fiziksel analizi

Kimyasal Analiz (%)			
Madde	Çimento		Zeolit
CaO	62.14	Limit	1.92
SiO <sub>2</sub>	19.65	TS-EN 197-1 C+S≥%50 [10]	65.06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.34		11.71
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.89		1.4
MgO	1.34 (Lim.≤%5)		0.5
SO <sub>3</sub>	3.05 (Lim.≤%4)		0.22
Na <sub>2</sub> O	0.35		0.37
K <sub>2</sub> O	0.70		4.98
Kızdırma Kaybı	3.75 (Lim.≤%5)		13.41
Fiziksel Analiz			
Blaine İnceliği(cm <sup>2</sup> /g)	3758		6345
Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	3.07		2.32
40 Mikron Elek	17.4		21.8
Genleşme (mm)	1.0 (Lim. %10)		1.0
Basınç Dayanımı, (gün) MPa	2	26.2 (Lim.≥ 20)	-
	7	45.0	-
	28	55.7 (Lim.≥ 42,5 - ≤62,5)	-

**Standart Kum:** Araştırmada yer alan harç karışımlarının tümünde için TS EN 196-1'e uygun olan Pınarhisar Çimento Fabrikası standart kumu kullanılmıştır.

## 3. Malzeme Karışım Dizaynı ve Numunelerin Hazırlanması

Malzeme Karışım Dizaynı

Deneyler sıcaklığın 20±2 °C ve bağıl nemin %60±5 olduğu laboratuvar ortamında hazırlanmıştır. Harç numunelerin malzeme karışım dizaynı Tablo 2'de verilmiştir. Karışımlarda flow testine göre su miktarı değişken alınmıştır ve flow değerlerinin %105–115 arasında olmasına özen gösterilmiştir.

Tablo 2. Malzeme karışım dizaynı

Malzeme (g)	Çimento Harcı				
	%0	%5	%10	%15	%20
Çimento	450	427.5	405	382.5	360
Zeolit	0	22.5	45	67.5	90
Kum	1350	1350	1350	1350	1350
Su	118	126	135	146	154

Hazırlanan standart harçlar 40x40x160mm boyutlarındaki kalıplara dökülerek, sıkıştırma aletinde dakikada 60 düşüş yapacak şekilde sarsma ve düzeltme işlemine tabi tutulmuştur. Sarsma düzeltme işleminden sonra numunelerin üzerine cam levha kapatılmış, bağıl nemin %95 olduğu rutubet dolabında 24 saat süre ile bekletilmiştir. Süre sonunda çıkarılan numuneler, basınç testine tabi tutulacakları güne kadar su küründe bekletilmiştir.

Zeolit katkılı %5, %10, %15, %20, 28 günlük harç numunelerinden alınan parçalar aseton emdirilerek hidrasyonu durdurulduktan sonra SEM analizleri için MTA'ya gönderilmiştir. Numunelerin SEM (Scanning electron microscope) görüntüleri için "FEI Quanta 400 MK2", EDS için "EDAX Genesis 4xmi" cihazı kullanılmıştır.

#### 4. Deneysel Bulgular ve Tartışma

Çalışmada, zeolit katkılı çimentolar üzerinde incelik tayini, özgül ağırlık tayini, priz başlama ve bitim süresi, hacim genişmesi, kıvam tayini deneyleri yapılmıştır. Basınç dayanım deneyleri için 40x40x160 mm'lik numuneler hazırlanmıştır. Söz konusu standart harç numuneleri, 20±2 °C'de standart su küründe 2, 7 ve 28 gün bekletildikten sonra basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Zeolit katkılı numunelerin deney sonuçları Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 3. Zeolit katkılı harç numunelerin deney sonuçları

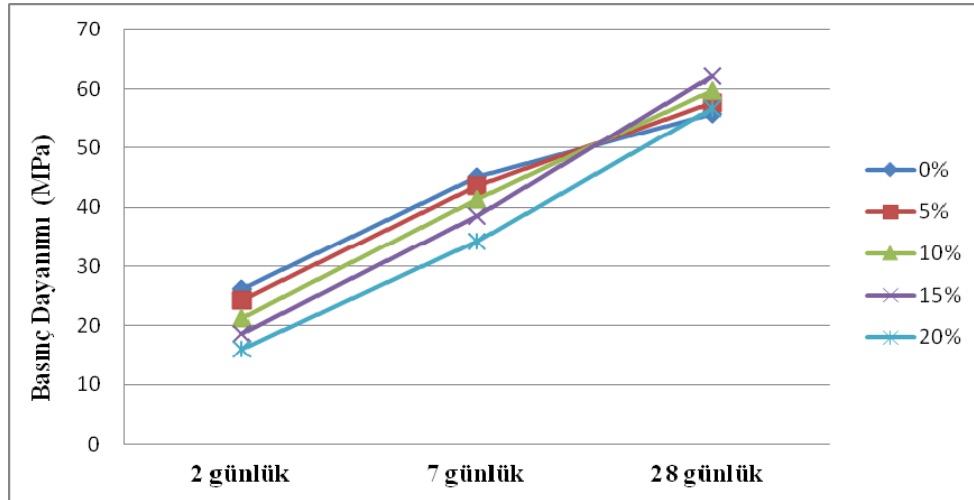
Zeolit Katkı Oranı		Zeolit	%0	%5	%10	%15	%20
Blaine İnceliği (cm <sup>2</sup> /g)		6345	3758	3970	4293	4501	4773
Özgül Ağırlık (cm <sup>2</sup> /g)		2.32	3.07	3.03	3.00	2.92	2.89
Hacim Genişmesi (mm)		1	1	1	1	1	1
Priz	Başlama (dk)	-	130	135	140	170	190
	Sona erme (dk)	-	190	195	180	230	265
40 Mikron Elek Analizi		-	17.4	18.5	19.5	19.8	19.6
Basınç Dayanımı, (MPa)	2 Gün	-	26,2	24,3	21,2	18,7	16,0
	7 Gün	-	45,0	43,5	41,3	38,5	34,2
	28 Gün	-	55,7	57,7	59,8	62,1	56,8

Elde edilen çimentoların fiziksel özellikleri incelendiğinde, zeolit katkılı çimentoların özgül ağırlıklarının, katkısız çimentoya göre daha düşük olduğu görülmektedir. CEM I 42.5 R çimentosunun özgül ağırlığı 3.07 iken, %20 zeolit katkılı çimentoda 2.89'a inmiştir. Katkılı

çimentoların blaine inceliği 3758-4773 cm<sup>2</sup>/gr değerleri arasında değişmektedir. Çimentoda katkı artışına bağlı olarak normal kıvam suyunun da arttığı gözlenmektedir. Kıvam suyu katkı miktarına bağlı olarak %6-%30 arasında değişmektedir. Katkılı ve katkısız çimentoların priz süreleri incelendiğinde; priz başlama sürelerinin zeolit katkı ve su miktarı arttıkça uzadığı görülmektedir. Sonuçlar Topçu ve Karakurt (2007) ve Bilim (2011) çalışmaları ile uyum içindedir. Ayrıca çimento priz sürelerinin ve hacim genleşme sonuçlarının TS EN 197-1 standardına uygun olduğu görülmektedir.

Farklı zeolit katkısı içeren (%0, %5, %10, %15 ve %20) çimento harçlarının numune yaşına göre basınç dayanımı grafiği Şekil 1’de gösterilmektedir.

Çimentoların TS EN 197-1’e göre normal dayanımlı çimentolarda 2 günlük basınç dayanımının en az 20 MPa olması gerektiği belirtilmektedir. Çalışmada çimento harçlarının 2 günlük basınç dayanımları incelendiğinde, %0, %5 ve %10 zeolit katkılı çimento harçlarının basınç dayanımlarının 20 MPa ‘lık sınır değerinin üzerinde, %15 ve %20 zeolit katkılı çimento harçlarının sınır değerinin altında olduğu görülmektedir. 7 günlük basınç dayanımları incelendiğinde, zeolit katkı oranının artması ile basınç dayanımı azalmıştır. Katkıdaki artışa bağlı olarak erken yaş dayanımlarının azalması puzolanik etkinin ileri yaşlarda ortaya çıkmasından kaynaklanmaktadır (Topçu ve Karakurt, 2007). 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde ise, zeolit katkı oranının basınç dayanımına olumlu etki yaptığı, çimentoda zeolit katkı oranları arttıkça % 20 zeolit katkılı harç numune hariç, basınç dayanımlarının arttığı, zeolit katkılı oranı %20 olan numunelerin yinede standartta belirtilen 42.5 MPa sınır değerinin üzerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 1. Çimento harçlarının basınç dayanım grafiği

### Mikro Yapıların İncelenmesi

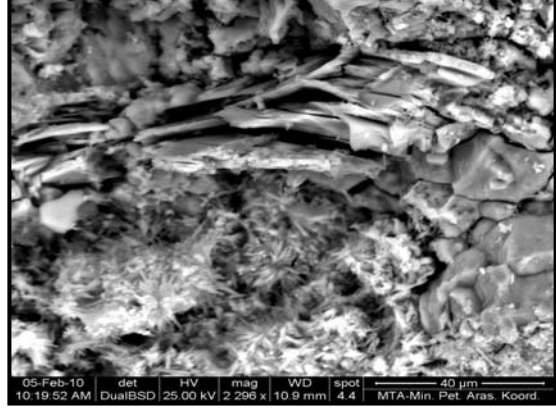
Hidratasyon sonrası elde edilen referans ve katkılı çimento harçlarının 28. gündeki mikro yapı çalışmaları farklı büyütme oranlarında FEI Quanta 400 MK2 model taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazı kullanılarak Türkiye Cumhuriyeti Maden Tetkik ve Araştırma Genel Müdürlüğü Maden Analizleri laboratuvarında yapılmıştır.

İncelenen numunelerde, çimentonun başlıca hidratasyon ürünlerinin (kalsiyum silikat hidrat (C-S-H), kalsiyum hidroksit (portlandit), kalsiyum sülfat (etrenjit) meydana geldiği görülmüştür. İnceleme sonuçları Şekil 2, 3, 4, 5 ve 6’da verilmiştir.

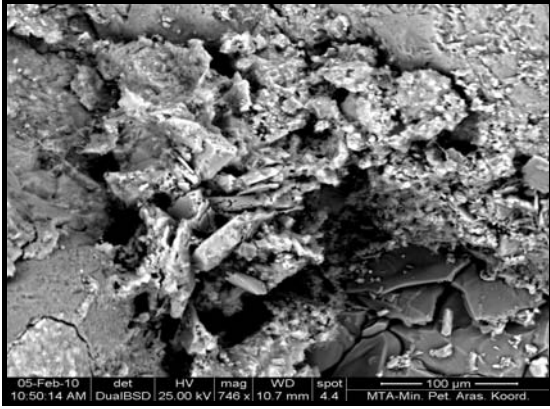
$SO_3$ , hidrasyon süresinde  $C_3A$  üzerinde büyük etki yaratmaktadır. Çimento üretiminde kullanılan alçı taşı ve diğer ilkel maddeler içinde  $SO_3$  bileşime girer.  $SO_3$ 'ün fazlalığı bileşimde iğne şeklinde etrenjit kristallerini oluşturmaktadır. Etrenjit oluşumu ise basınç dayanımına olumsuz tesir etmektedir (Sallı Bideci vd., 2011).



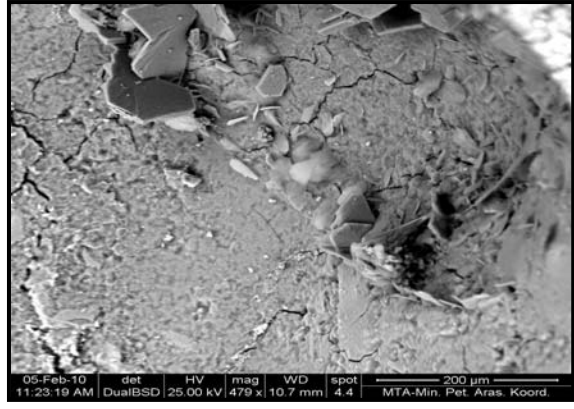
Şekil 2. 42,5 R Portland çimentosu SEM görüntüsü



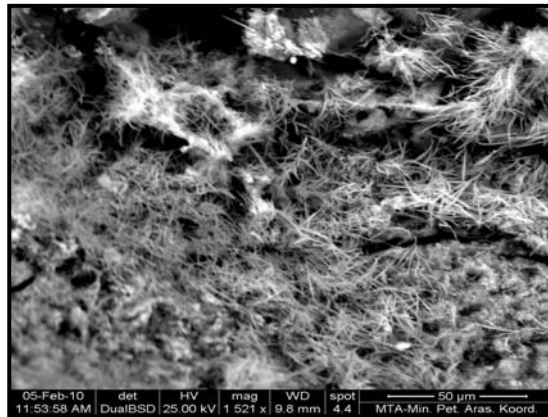
Şekil 3. %5 Zeolit katkıli çimento SEM görüntüsü



Şekil 4. %5 Zeolit katkıli çimento SEM görüntüsü



Şekil 5. %5 Zeolit katkıli çimento SEM görüntüsü



Şekil 6. %20 Zeolit katkıli çimento SEM görüntüsü

## 5. Sonuçlar

Çalışmanın temel amacı, bileşiminde zeolit bulunan CEM I 42,5 R çimentosu ile üretilen harç numuneler üzerinde katkı oranı uygunluğunun araştırılmasıdır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Zeolitin özgül ağırlığı çimentoya göre düşük olduğundan katkı miktarı arttıkça zeolit katkıli çimentoların özgül ağırlıkları düşmüştür.
2. Zeolitin özgül yüzeyi (blaine inceliği) çimentoya göre yüksek olduğundan katkı miktarı arttıkça zeolit katkıli çimentoların özgül yüzeyleri artmıştır.
3. Zeolit katkıli çimentoların, katkısız çimentoya göre, zeolit katkı miktarı arttıkça su ihtiyacı artmıştır. Bunun sebebi olarak, zeolitin gözenekli yapısının ve blaine inceliğinin yüksek oluşunun etkilediği düşünülmüştür.
4. Zeolit katkıli çimentoların priz süreleri katkısız çimentoya göre katkı ve su miktarı artışına paralel şekilde artış göstermiştir.
5. Basınç dayanım sonuçlarına göre zeolit katkısının (%5, %10, %15 ve %20 oranlarında) çimento kullanımında uygun olduğu görülmüştür.
6. CEM I 42.5 R çimentosuyla karşılaştırıldığında en uygun zeolit katkı oranının %10 olduğu bulunmuştur.

## Kaynaklar

- Bilim. C. (2011). Çimento Harçlarında İkame Malzemesi Olarak Zeolit ve Silis Dumanı Kullanımı. Erciyes Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 27(4):339-345
- DPT, 1996. Diğer Endüstri Mineralleri, VII. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Cilt 1, Ankara
- Erdoğan, K., Tokyay, M., Türker, P. (2007). Traslara ve Traslı Çimentolar. TÇMB. AR-GE. Y99-2. Ankara
- Feng, N.Q., Li, Z., G., Zang, X. W., 1990. High – strength and Flowing Concrete with a Zeolite Mineral Admixture, Cement and Aggregates, ASTM. Vol. 12, pp. 61-69
- Kibaroglu, U., (2007). <http://us.geocities.com/ukibaroglu/calismalar/zeolit.htm> # Doğal Zeolitlerin Kullanım # Doğal Zeolitlerin Kullanım
- Koçak, Y., (2008). Çimento – Puzolan Etkileşiminde Moleküler ve Elektrokinetik Davranışların Araştırılması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi. 143. Ankara
- Mehta, P. K., (1981). Studies on Blended Cements Containing Santorin Earth, Cement and Concrete Research, Vol. 11. pp. 507 – 518
- Oymael, S., (2002). Malzeme Bilgisi Ders Notları, MKÜ, ss. 50–54, Antakya
- Oymael, S., (2010). Examinations of the Internal Structure of Zeolite-Blended Cements. Trakya Univ. J. Sci. 11(1): 29 – 39.
- Sallı Bideci, Ö., Bideci, A., Oymael, S., (2011). The Effect of MgO Admixture on Cement Pastes and Mortars. XIII. International Congress on the Chemistry of Cement. 129. Madrid.
- Topçu, İ.B., Karakurt, C., (2007). Farklı Endüstriyel Atık ve Doğal Puzolanların Çimento Özelliklerine Etkileri, TÇMB 3<sup>rd</sup> International Symposium, Sustainability in Cement and Concrete, İstanbul.
- TS EN 196-1, (2002). Çimento Deney Metotları- Bölüm 1: Dayanım. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara
- TS EN 197-1, (2002). Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara