

YATAĞAN ve SOMA TERMİK SANTRALLERİ UÇUCU KÜLLERİNİN ÇİMENTO GENLEŞMESİNE VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

THE EFFECTS OF CEMENT EXPANSION AND MECHANICAL
PROPERTIES FROM FLYING ASHES PRODUCED BY YATAGAN
AND SOMA THERMIC CENTRALS

Mustafa Çullu

Hacettepe Üniversitesi Polatlı Teknik Bilimler MYO,
Ankara

Hakan Bolat

Hacettepe Üniversitesi Polatlı Teknik Bilimler MYO,
Ankara

Serkan Subaşı

Düzce Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi,
Düzce

İlker Tekin

Muğla Üniversitesi Yatağan MYO,
Muğla

Özet

Bu çalışmada, katkılı çimento üretiminde kullanılan Yatağan ve Soma termik santralleri uçucu küllerinin, çimentoya uçucu kül ikame edilmesiyle çimento örneklerinde karışım içerisinde artan CaO ve MgO miktarına bağlı olarak meydana gelebilecek genleşme miktarı ve çimento mekanik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir.

Bu amaçla, karışım içerisinde çimento ile %0, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında uçucu kül ikame edilerek. 25x25x285 mm boyutlarında genleşme örnekleri ve 40x40x160 mm boyutlarında basınç ve eğilme dayanımı örnekleri hazırlanmıştır. Çimento harç çubuklarında genleşme deneyi otoklav metodu, çimento pastasında genleşme deneyi Le Chatelier metodu ile gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak, basınç, çekme, otoklav genleşmeleri ve Le Chatelier (silindir kalıp) genleşmesi değerleri istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Abstract

In this study, the effects of flying ashes produced by Yatagan and Soma Thermic Centrals that are used to produce additive cement over the expansion amount depending on the amount of CaO and MgO increased in the mixture of the cement samples with adding flyable ash to cement and over mechanical properties of cement are examined.

For this purpose, by adding 0%, 10%, 20%, 30% and 40% flyable ash to the cement, expansion samples in the dimensions of 25x25x285mm and pressure and flexural strength samples in the dimensions of 40x40x160mm are prepared. Expansion experiment in the cement plaster rods is realized by Autoclave method and expansion experiment in the cement paste is realized by Le Chatelier method.

As a result; pressure, tension, Autoclave expansion and Le Chatelier (cylindrical mold) expansion results are statistically evaluated.

1. GİRİŞ

Büzülme çatlakları yapılarda sık sık meydana gelmektedir. Betona zarar vermesiyle sonuçlanan bu çatlaklar, zararlı maddeler veya kılcal su kanallarından dolayı oluşabilir. Bu çatlakları telafi etmek için bazı teknikler geliştirilmektedir. Bunlardan biriside beton içerisinde genleşme özelliği olan bazı maddeler kullanmaktır. Bu genleşme CaO ve MgO 'e dayanmaktadır [1, 2]. Araştırmacılar özellikle MgO dan kaynaklı genleşmeler üzerinde çalışma yapmaktadır [3].

Üretim sırasında ham maddelerin yanlış harmanlanması veya yetersiz öğütme ve pişirme gibi nedenlerle çimentoda serbest CaO kalabilir. Çimentoya MgO genellikle kalker hammaddesindeki dolamitten gelir. Bir bölümü çimento bileşenlerinin katı eriyikleri içine girerken, geri kalan bölümü kristal yapıda (periklas) olarak serbest kalır [4].

Yüksek MgO'lu Çimento pastasının hidratasyonu çimentoya uçucu kül eklendiği kadarıyla sertleşmiş çimento pastasının yapısı, boşluk boyut dağılımı ve boşluktaki büyük değişimlere yön verir. Sertleşmiş çimento pastasındaki MgO'nun hidratasyonunun $Mg(OH)_2$ 'ye dönüşmesi diğer hidrat evrelerinin oluşumu ile gelişir. $Mg(OH)_2$ den dolayı meydana gelen genişleme gerilimleri net genişlemeyi etkileyen mikro yapı değişimlerini kontrol eder [5].

MgO'in suyla reaksiyonundan %118 hacim genişmesine neden olan $Mg(OH)_2$ oluşur. MgO suyla çok yavaş reaksiyona girer, bunun sonucu olarak çimento sertleştikten sonra genişmeye neden olur [6].

Böylece, "Normal portland çimentosunun MgO içeriği %5 den az olması gerektirmektedir" şeklinde sınırlandırılmıştır. Bir çok ülkede Otoklav test standartlarını karşılaması durumunda %6 olabileceği belirtilmiştir [6].

Magnezyum içeren çimentoların kontrollü genleşmesi özellikle kütle betonlarında yararlıdır. ASTM C151 gibi otoklav genleşme testi MgO, CaO veya her ikisini içeren çimentoların dayanıklılığını tanımlamak için dizayn edilmiştir [6].

Betonun otoklav genişmesi, MgO ve uçucu kül eklenmesine ayrıca otoklav ısı ve zamanına bağlıdır, ama genişleme miktarı MgO miktarının yükselmesiyle hızla yükselir (5). Otoklav şartlarında yüksek MgO'li çimento pastasının hidratasyonu hızlı oluşum ve MgO'in kristalleşmesine ve daha geniş porların oluşmasına neden olur. Bu durum çimentonun mekanik dayanıklılığının kaybına ve daha yüksek genişleme değerine sebep olur [2].

Mehta ve Pritz (1981), yüksek MgO'li çimento ile büzülme çatlaklarını telafi etmeye çalışmışlardır. Bu düşünce Çin'de 1973 yılında Baishan barajında başarılı olmuştur. Aslında o zaman yüksek MgO'li çimento özellikle seçilmemiştir. Birkaç yıl sonra bu barajda anlam verilemeyen çatlaklar meydana gelmiştir. Bu çatlakların nedeninin araştırmak için yapılan çalışmalar sonucunda, bunun ana nedeninin yüksek MgO içerikli çimentodan kaynaklandığı belirlenmiştir [7, 1].

TS EN 197-1 standardında Portland çimentosu içerisinde MgO muhtevasının kütlece %5'ten az olması gerektiği belirtilmektedir [8]. Ancak günümüz çimento ve hazır beton sektöründe yaygın olarak kullanılan uçucu kül beton içerisine %40'a varan oranlarda katılabilmektedir. Ülkemizde çıkan kalkersi uçucu küllerin içerisinde genişlemeye neden olabilecek olan CaO ve MgO miktarları genellikle standartlarda belirtilen sınırların üzerinde değerlere sahiptir [9].

Bu araştırmada, Soma ve Yatağan termik santrallerinden temin edilen uçucu külün ikame edildiği çimento örneklerinde karışım içerisinde artan CaO ve MgO miktarına bağlı olarak meydana gelebilecek genişleme miktarı ve çimento mekanik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

2.1.1. Çimento

Araştırmada PÇ 42,5 portland çimentosu kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan çimento ait kimyasal analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çimento Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Kimyasal		Fiziksel özellikler	
SiO ₂ (%)	20,32	Priz başlangıcı (sa/dk)	01:58
Al ₂ O ₃ (%)	5,59	Priz sonu (sa/dk)	02:57
Fe ₂ O ₃ (%)	3,09	Hacim sabitliği (mm Toplam)	2
CaO (%)	62,50	Özgül yüzey (cm ² /g)	3172
MgO (%)	1,74	Mekanik özellikler	
SO ₃ (%)	3,29	Basınç dayanımı (MPa)	
Na ₂ O (%)	0,34	2. Gün	30,8
K ₂ O (%)	0,91	7. Gün	39,5
Kızdırma kaybı (%)	1,18	28.Gün	56,0
Çözünmeyen kalıntı	0,31		
S.CaO (%)	0,93		

2.1.2. Uçucu Kül

Araştırmada, Yatağan ve Soma Termik santralinden elde edilen uçucu küller kullanılmıştır. Kullanılan uçucu küllere ait kimyasal analiz sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Uçucu kül kimyasal analiz sonuçları

Kimyasal kompozisyon	Yatağan	Soma
SiO ₂ (%)	50,77	47,14
Al ₂ O ₃ (%)	21,13	20,17
Fe ₂ O ₃ (%)	6,17	3,96
CaO (%)	12,44	18,35
MgO (%)	4,53	7,05
SO ₃ (%)	1,33	0,86
Na ₂ O (%)	0,24	0,82
K ₂ O (%)	2,54	1,39

2.2. MetoT

2.2.1. Deney örneklerinin hazırlanması

Deney örneklerinin hazırlanmasında TS EN 196-1 standardında belirtilen CEN referans kumu kullanılmıştır. Her bir grup için karışımda kullanılacak su miktarı ASTM C230, C109 ve C1437 standartlarında belirtilen akma çapına göre Akma tablası deneyi gerçekleştirilerek belirlenmiştir [10,11]. Örneklerin hazırlanmasında kullanılan malzemelere ait karışım oranları Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Çimento örneklerine ait karışım oranları

Uçucu Kül İkame Miktarı	Çimento Miktarı (gr)	Yatağan		Soma	
		W/C	Su miktarı (ml)	W/C	Su miktarı (ml)
%0	450	0,49	220,5	0,51	229,5
%10	450	0,56	252	0,56	252
%20	450	0,58	261	0,60	270
%30	450	0,60	270	0,62	279
%40	450	0,63	283,5	0,65	292,5

Araştırmada kullanılan uçucu kül karışım içerisine %0, %10, %20, %30 ve %40’lik oranlarda çimento ile yer değiştirilerek (ikame edilerek) konulmuştur.

2.2.2. Çimento basınç ve eğilme dayanımı tayini

Çimento basınç ve eğilme dayanımı deneyinde deneyi 2., 7. ve 28. günlerde her bir grup için 40x40x160 mm boyutlarında hazırlanan 3’er adet örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Basınç ve eğilme dayanımı deneyleri TS EN 196-1 standardında belirtilen kurallara uygun olarak yapılmıştır [10].

Basınç dayanımı R_c , aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

Burada;

R_c : Basınç dayanımı (N/mm²),

F_c : Kırılmadaki en büyük yük (N),

1600 : Örnek alanı (mm²) 'dır.

Eğilme dayanımı R_f , aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$R_f = \frac{1,5xF_f \times l}{b^3}$$

Burada;

R_f : Eğilme dayanımı, (N/mm²)

b : Prizmanın kare kesitinin kenar uzunluğu (mm),

F_f : Prizmanın kırıldığı anda uygulanan kuvvet (N),

l : Mesnet silindirleri arasındaki uzaklık (mm)'dir.

2.2.3. Çimento hacim genleşme tayini

2.2.3.1. Otoklav Metodu

Deney her bir karışım grubu için 6 adet 25x25x285 mm boyutlarında hazırlanan çimento harç çubukları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Örnekler 2MPa basınçlı buhar kazanına yerleştirilerek 3 saat boyunca buhar kürüne tabi tutulmuştur. Deney örneklerinin boyları deney öncesinde ve deney sonrasında 0,001 mm hassasiyetle ölçülerek örneklerdeki boy değişimleri % olarak hesaplanmıştır. Deney ASTM C 151 ve TS 11052 standardında belirtilen kurallara uygun olarak gerçekleştirilmiştir [12,13].

2.2.3.2. Le Chatelier (Silindir kalıp) Metodu

TS EN 196-3 standardında belirtilen yöntemle kıvam tayini yapılarak yine aynı standartta belirtilen hacim genleşmesi tayini Le Chatelier cihazı ile gerçekleştirilmiştir [14].

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

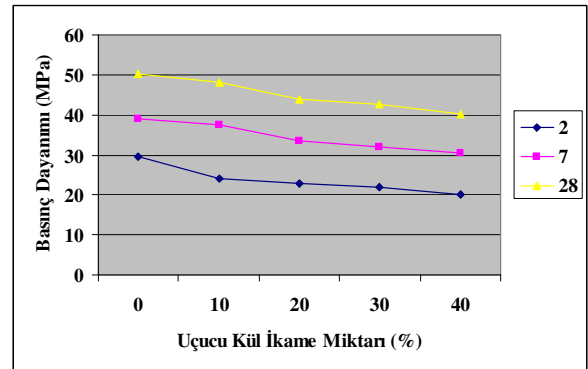
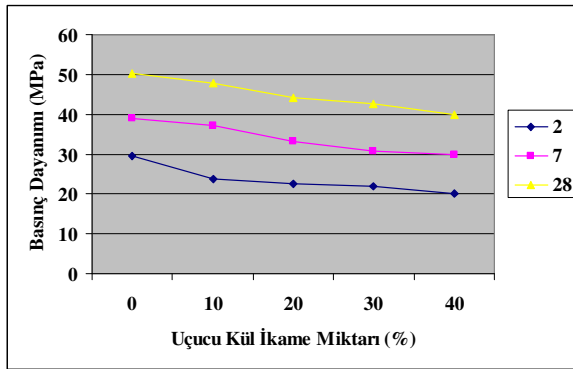
3.1. Çimento basınç ve eğilme dayanımı

Hazırlanan örnekler üzerinde 2., 7. ve 28. günlerde basınç ve eğilme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen verilere ait ortalama değerler Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Basınç ve eğilme dayanımı deney sonuçları

Örnek Yaşı (gün)	U.K. İkame Miktarı (%)	Yatağan		Soma	
		Basınç Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Basınç Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)
2	0	29,55	5,11	29,55	5,11
	10	24,05	4,35	23,89	4,44
	20	22,96	4,21	22,67	4,18
	30	22,02	4,07	21,91	3,96
	40	20,14	3,98	19,97	3,88
7	0	39,12	6,43	39,12	6,43
	10	37,58	5,54	37,11	5,43
	20	33,55	5,14	33,23	5,10
	30	32,02	4,87	30,68	4,76
	40	30,43	4,71	29,87	4,66
28	0	50,19	7,54	50,19	7,54
	10	47,99	6,67	47,70	6,71
	20	44,01	6,53	44,12	6,63
	30	42,67	6,21	42,51	6,02
	40	40,12	6,03	39,92	5,84

Yatağan ve Soma Uçucu kül ikameli örneklerin basınç dayanımı değerlerinin numune yaşına ve uçucu kül ikame miktarına göre değişimini gösteren grafik Şekil 1.a ve Şekil 1.b'de gösterilmektedir.

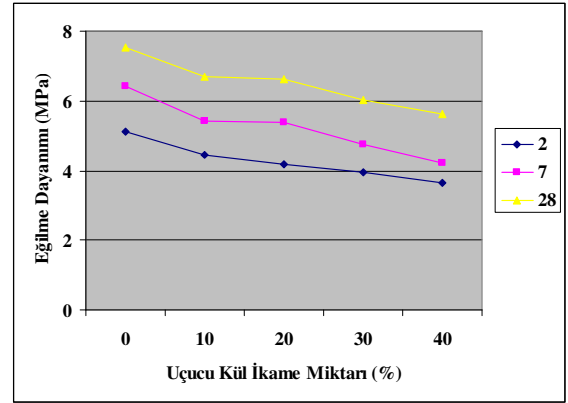
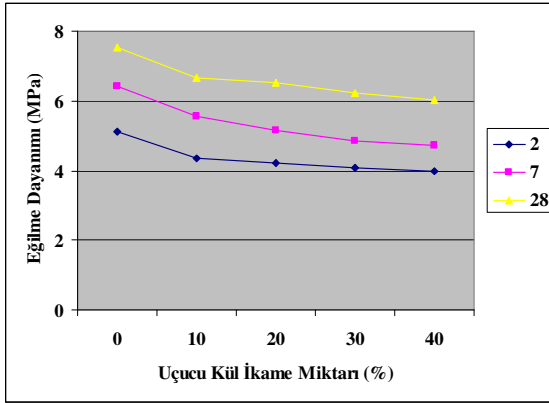


Şekil 1.a. Yatağan uçucu külü ikameli örneklerin ortalama basınç dayanımı değerlerine ait grafik

Şekil 1.b. Soma uçucu külü ikameli örneklerin ortalama basınç dayanımı değerlerine ait grafik

- ❖ Basınç dayanımlarının numune yaşına bağlı olarak bütün uçucu kül ikame oranlarında anlamlı bir şekilde arttığı,
- ❖ Bütün numune yaşlarında uçucu kül ikame oranına bağlı olarak basınç dayanımı değerlerinin azaldığı,
- ❖ Bütün numune yaşlarında uçucu kül ikamesiz olan çimento numunelerinin en yüksek basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

Yatağan ve Soma Uçucu kül ikameli örneklerin eğilme dayanımı değerlerinin numune yaşına ve uçucu kül ikame miktarına göre değişimini gösteren grafik Şekil 2.a ve Şekil 2.b' de gösterilmektedir.



Şekil 2.a. Yatağan uçucu külü ikameli örneklerin ortalama eğilme dayanımı değerlerine ait grafik

Şekil 2.b. Soma uçucu külü ikameli örneklerin ortalama eğilme dayanımı değerlerine ait grafik

- ❖ Eğilme dayanımlarının numune yaşına bağlı olarak bütün uçucu kül ikame oranlarında anlamlı bir şekilde arttığı,
- ❖ Bütün numune yaşlarında uçucu kül ikame oranına bağlı olarak eğilme dayanımı değerlerinin azaldığı,
- ❖ Bütün numune yaşlarında uçucu kül ikamesiz olan çimento numunelerinin en yüksek eğilme dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

3.2. Çimento hacim genleşme miktarı

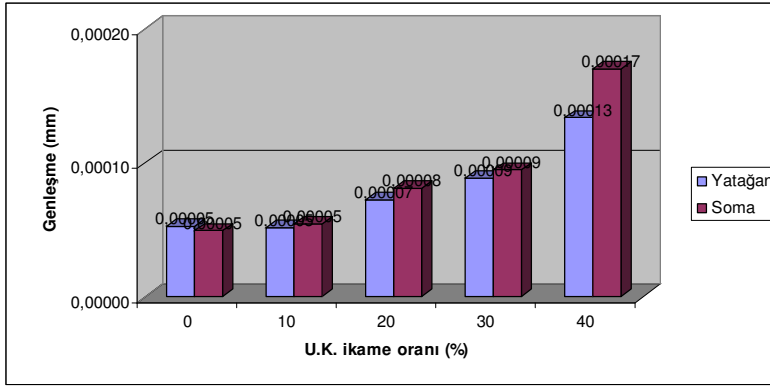
3.2.1. Otoklav Genleşme Sonuçları

Hazırlanan çimento harç çubukları üzerinde otoklav metodu ile genleşme miktarları ölçülmüştür. Deney sonucunda elde edilen verilere ait açıklayıcı istatistikler Tablo.5'te verilmiştir.

Tablo 5. Otoklav genleşme miktarı (%)

	0	10	20	30	40
Yatağan	5.10^{-4}	5.10^{-4}	7.10^{-4}	9.10^{-4}	$1,3.10^{-4}$
Soma	5.10^{-4}	5.10^{-4}	8.10^{-4}	9.10^{-4}	$1,7.10^{-4}$

Otoklav genleşme miktarlarına ait grafik Şekil 3’de gösterilmektedir.



Şekil.3. Çimento hacim genleşme miktarlarına ait grafik

Bütün örnekler ASTM C 151 “Standart test method for autoclave expansion of portland cement” standartında belirtilen maksimum genleşme değeri olan %0,01’lik genleşme değerinin altındadır.

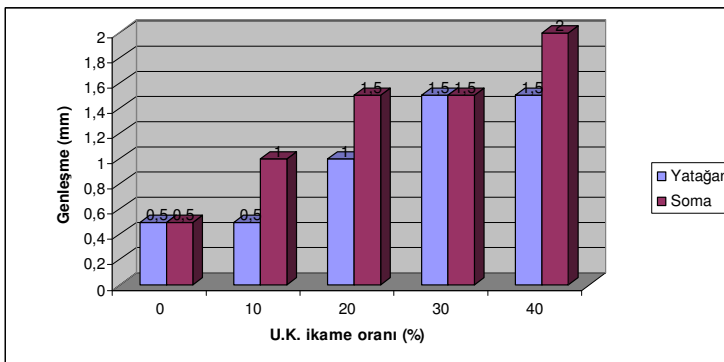
3.2.2. Le Chatelier (Silindir kalıp) Genleşme Sonuçları

Hazırlanan çimento pastasının genleşme değerleri, TS EN 196-3 standardında belirtilen yöntemle Le Chatelier cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda elde edilen verilere açıklayıcı istatistikler Tablo.6’da verilmiştir.

Tablo 6. Le Chatelier genleşme sonuçları (mm)

	Uçucu kül miktarı (%)				
	0	10	20	30	40
Yatağan	0,5	0,5	1	1,5	1,5
Soma	0,5	1	1,5	1,5	2

Le Chatelier (Silindir kalıp) genleşme miktarlarına ait grafik Şekil 4’de gösterilmektedir.



Şekil 4. Le Chatelier (Silindir kalıp) genişleme miktarlarına ait grafik
Bütün örnekler TS EN 197-1 Genel çimentolar- Birleşim özellikleri ve uygunluk kriterlerinde belirtilen maksimum genişleme değeri olan 10 mm.lik genişleme değerinin altındadır.

4. SONUÇ

Hazırlanan numuneler üzerinde basınç dayanımı, eğilme dayanımı, otoklav ve Le Chatelier (Silindir kalıp) yöntemi ile hacim genişleme miktarı tayini deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler üzerinde istatistiksel değerlendirmeler yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- ❖ Yatağan uçucu külü ikameli ve Soma uçucu külü ikameli örneklerde Basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerlerinin uçucu kül ikame oranına bağlı olarak azaldığı, %0 ikameli numunelerin en yüksek basınç ve eğilme dayanımı değerine sahip olduğu,
- ❖ Basınç dayanımlarının örnek yaşına bağlı olarak bütün uçucu kül. ikame oranlarında anlamlı bir şekilde arttığı,
- ❖ 28 günlük basınç dayanımlarında, %0 ikameli örneklerin %40 ikameli örneklere göre, Yatağan uçucu külü ikamelilerde %20, Soma uçucu külü ikamelilerde %21 daha fazla olduğu görülmüştür.

Hacim genişleme miktarına göre; Uçucu kül ikame miktarına bağlı olarak çimento numunelerinde genişleme miktarlarının arttığı,

- ❖ En fazla genişleme miktarının her iki uçucu kül türünde de %40 Uçucu kül ikameli numunelerde meydana geldiği,
- ❖ %0 ikameli örneklerin diğer bütün numunelerden daha az genişleme gösterdiği,
- ❖ %0 ikameli örneklerde %40 ikameli numunelere göre Yatağan uçucu külü ikamelilerde %62, Soma uçucu külü ikamelilerden %71 oranında daha az genişleme meydana geldiği görülmüştür.

Kaynaklar

1. Chatterji, S., “Mechanism of expansion of concrete due to the presence of dead-burnt CaO and MgO”, *Cement and Concrete Research*, V. 25, 51–56, 1995.
2. Ali, M.M., Mullick, A.K., “Volume Stabilisation of High MgO Cement: Effect of Curing Conditions and Fly Ash Addition”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 28, No. 11, pp. 1585–1594, 1998.
3. Xu Lingling, Deng Min, “Dolomite used as raw material to produce MgO-based expansive agent”, *Cement and Concrete Research*, V. 35, 1480–1485, 2005.
4. Baradan, B., Yazıcı, H, Ün, H., “Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)”, *DEÜ. Müh. Fak.*, Yayın No: 298, DEÜ., 282 sayfa, İzmir 2002.
5. Pei-wei, G, Sheng-xing, W, Xiao-lin, L, Min, D, Ping-hua, L., “Soundness evaluation of concrete with MgO”, *Construction and Building Materials*, Volume 21, Issue 1, Pages 132-138, January 2007.

6. Liu, Z., Tang, M., Cui, X., “Expansion of Cement Containing Crystalline Magnesia With and Without Fly Ash and Slag”, *Cement, Concrete & Aggregates*, Vol 20, Issue 1, 6 page, June, 1998.
7. P.K. Metha, D. Pritz, Magnesium Oxide additive for producing selfstress in mass-concrete, *Proceeding of the 7th International Congress on the Chemistry of Cement*, Paris, France, vol III, 180, pp. v6–v9, 1981.
8. TS EN 197-1, Genel çimentolar- Birleşim özellikleri ve uygunluk kriterleri, *TSE*, 2002.
9. Yazıcı, H., “Yüksek Hacimde C Sınıfı Uçucu Kül İçeren Betonların Mekanik Özellikleri ve SülfürikAsit Dayanıklılığı”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt: 11, Sayı: 3, Sayfa: 443-448, Denizli, 2005.
10. TS EN 196-1 Çimento Deney Metotları- Bölüm 1: Dayanım, *TSE*, 2002.
11. C109/C109M-99 Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens), *American Society For Testing And Materials*, 2001.
12. ASTM C 151, Standart test method for autoclave expansion of portland cement, *American Society For Testing And Materials* , 2001.
13. TS 11052, Çimentolar-Uzama Tayini-Otoklav Metodu, *TSE*, 1993.
14. TS EN 196-3 Çimento Deney Metotları- Bölüm 3: Priz süresi ve genişleme tayini, *TSE*, Mart 2002.