

# UÇUCU KÜL KATKI MİKTARININ BETON İŞLENEBİLİRLİĞİ VE SERTLEŞME SÜRELERİNE OLAN ETKİSİ

EFFECT OF THE AMOUNT OF FLY ASH ON SETTING TIME AND  
WORKABILITY OF THE CONCRETE

**Serkan Subaşı**

Düzce Üniversitesi,  
Düzce

**Tuncay Kap**

Düzce Üniversitesi,  
Düzce

**Ahmet Beycioğlu**

Düzce Üniversitesi,  
Düzce

**Mustafa Çullu,**

Hacettepe Üniversitesi  
Ankara

## Özet

Bu araştırmanın amacı, hazır beton sektöründe yaygın olarak kullanılan uçucu kül katkı miktarının beton işlenebilirliğine ve sertleşme sürelerine olan etkisini belirlemektir.

Bu amaçla karışım içerisinde %5, %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül ikamesi yapılan beton karışımları hazırlanmıştır. Beton işlenebilirliği Slump ve ve-be deneyleri ile belirlenmiştir. Hazırlanan her bir karışım için penetrasyon direnci yöntemiyle beton priz süresi tayini deneyi ile betonun 0,5MPa, 1MPa ve 3 MPa'lık direnç gösterdiği süreler hesaplanmıştır. Ayrıca hazırlanan karışımlardan elde edilen betonların 28 günlük basınç dayanımları belirlenmiştir. Beton üretiminde; beton bileşen miktarları, dozaj ve çökme değeri sabit seçilmiştir.

Sonuç olarak; çalışmada kullanılan uçucu kül ikame miktarına bağlı olarak beton işlenebilirliğinin önemli ölçüde değiştiği, basınç dayanım değerlerinin uçucu kül ikame miktarı artışına bağlı olarak azaldığı görülmüştür. Ayrıca karışımlarda kullanılan uçucu kül ikame miktarına bağlı olarak beton sertleşme sürelerinin de değiştiği tespit edilmiştir.

## Abstract

The aim of this project is determining the effects of the amount of the fly ash which is widely used in ready mixed concrete sector on setting time and workability of the concrete.

For this purpose, concrete mix design incorporating 5%, 10%, 20% and 30% fly ash have been prepared. Workability of the concrete has been determined by Ve-be and slump tests. Penetration times of the each concrete mix design under the 0,5 MPa, 1 MPa and 3 MPa strengths have been determined by using penetration test. Besides, twenty eight day compressive strength of the samples has been determined. Concrete components, dosage and slump values were kept constant in all mix design.

As a result, it is determined that workability of the concrete has been considerably changed with the fly ash content and compressive strength of the concrete has been decreased with the fly ash content. Furthermore, it is determined that setting time of the concrete has been changed related with the addition of fly ash content.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde çeşitli endüstriyel atıklar betonda puzolanik malzeme olarak kullanılmaktadır [1]. Puzolanlar tek başına bağlayıcılık özelliği olmayan ancak ince öğütülüp normal sıcaklıkta ve nemli ortamlarda kalsiyum hidroksitle kimyasal reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği gösteren malzeme olarak tanımlanırlar[2]. Puzolanlar betonlarda mineral katkı olarak kullanılmaktadır. Mineral katkılar betonun dayanımını arttırarak durabilitesini(dayanıklılık) ve akıcılığını geliştirmek için kullanılmaktadır [3-4]. Beton veya çimento içerisine puzolanik malzeme eklenmesinin hidrasyon ısısını düşürmesi, yüksek hedef dayanımı ve düşük permeabilite sağlaması, alkali silika reaksiyonunu ve sülfat etkisini kontrol altına alması gibi birçok yararlar sağladığı bilinmektedir[5].

Dünyada en yaygın bulunan puzolanik malzemeler silis dumanı uçucu kül ve fırın cürufudur [6]. Bugün dünyada 600 milyon ton uçucu külün bulunduğu tahmin edilmektedir fakat bunun sadece % 10 u beton teknolojisinde değerlendirilmektedir[7]. Uçucu kül, beton maliyetini düşürmesi enerji korunumu sağlaması ve çevresel problemleri azaltması nedeniyle betonlarda geniş bir kullanım alanına sahiptir [8].

Uçucu küllerin beton karışımında kullanımı; çimentonun belirli oranlarda azaltılarak yerine uçucu kül kullanılması, ince agreganın belirli oranlarda azaltılarak yerine uçucu kül kullanılması veya hem ince agreganın hem de çimentonun belirli oranlarda azaltılarak yerine uçucu kül kullanılması gibi üç ayrı yöntemle yapılmaktadır[9]. Uçucu küllerin betonlarda mekanik özelliklerine etkileri üzerine yoğun olarak çalışılmıştır.

Bu çalışmada uçucu kül katkı miktarının taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkilerine kısaca değinilmiş fakat çalışmada temel olarak uçucu kül ikame miktarı değişiminin beton işlenebilirliği ve priz süresine olan etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada; Düzce ili Melen Deresi'nden temin edilen ve üç farklı boyutta kırılmış olan agrega kullanılmıştır. Agrega karışım oranları en büyük dane boyutu 32 mm olan ve TS 706 'da verilen sınır değerler arasında kalacak şekilde %20 doğal kum, %30 0–5 mm kırma taş, %25 5–15 mm kırma taş ve %25 15–25 mm kırma taş olarak ayarlanmıştır. Kullanılan agregaların elek analizi sonuçları Çizelge 1' de verilmiştir.

Çizelge 1. Agregaların elek analizi sonuçları

Agrega Cinsi	Elek Açıklığı								Elekten Geçen (%)
	31,5	16	8	4	2	1	0,5	0,25	
Doğal Kum	100	100	100	100	74	58	44	21,6	
0-5 Kırma Taş	100	100	100	99	74	59	38	11	
5-15 Kırma Taş	100	100	86	14	0,3	0,2	0,1	0	
15-25 Kırma Taş	100	62	0,5	0,1	0	0	0	0	

Bağlayıcı olarak CEM I 42,5 N tipi çimento kullanılmıştır. Deneyleerde kullanılan uçucu kül Orhaneli Termik Santralinden temin edilmiş ve uçucu külün kimyasal bileşimi Çizelge 2' de verilmiştir.

Çizelge 2. Orhaneli uçucu külün kimyasal bileşimi ve standartlara uygunluk değerleri

STANDARTLARA UYGUNLUK SINIRLARI							
OKSİT(%)	UÇUCU KÜL	TS EN 450	TS EN 197-1		TS 639	ASTM C 618	
			V	W		F	C
SiO <sub>2</sub>	48,53						
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,61						
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,59						
S+A+F	80,73				> 70,00	> 70,00	> 50,00
CaO	9,48						
MgO	2,28				< 5,00		
SO <sub>3</sub>	2,48	< 3,00			< 5,00	< 5,00	< 5,00
K <sub>2</sub> O	2,51						
Na <sub>2</sub> O	0,35						
KK	1,69	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 10,00	< 6,00	< 6,00
Cl <sup>-</sup>	0,005	< 0,10					
Serb. CaO	0,11	< 1,00					
Reak. SiO <sub>2</sub>	34,06	> 25,00	> 25,00	> 25,00			
Reak. CaO	7,58		< 10,00	> 10,00			

Bu çalışmada C 20 sınıfı betonların üretilmesi hedeflenmiştir. Su/ Bağlayıcı (S/B) oranı üretilecek betonların 28 günlük basınç dayanımı göz önüne alınarak seçilmiştir. Ön deneyler sonucunda S/B oranının 0,60 olmasına karar verilmiştir. TS 802 ' de [15] belirtilen karışım suyu ve hava miktarları alınarak, deneyleerde kullanılan betonlardaki beton bileşenlerinin miktarları Çizelge 3' de verilmiştir.

Beton karışım hesapları yapıldıktan sonra her beton türü için 3 adet olmak üzere 15x15x15 cm boyutlarına sahip olan küp kalıplara beton dökümleri yapılmıştır. Her bir seride bağlayıcı miktarının %5, %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül çimentonun yerine ikame edilerek 4 seri beton üretilmiştir. Referans değerleri elde edebilmek için de

bir seri uçucu kül içermeyen normal beton üretilmiştir. Üretilen beton serilerinde Beton işlenebilirliği Slump ve ve-be deneyleri ile belirlenmiştir. Hazırlanan her bir karışım için penetrasyon direnci yöntemiyle beton priz süresi tayini deneyi ile betonun 0,5MPa, 1MPa ve 3 MPa'lık direnç gösterdiği süreler hesaplanmıştır. Ayrıca hazırlanan karışımlardan elde edilen betonların 28 günlük basınç dayanımları da belirlenmiştir.

Çizelge 3. 1 m<sup>3</sup> betondaki malzeme miktarları

Karışım Türü	Çimento (Kg)	K. Suyu (lt)	Uçucu Kül (kg)	Agrega (Kg)		
				Kırma taş		
				0-5	5-15	15-25
Katkısız Karışım	350	210	-	1043,55	426,225	426,225
%5 Uçucu Kül	332,5	210	17,5	1043,55	426,225	426,225
%10 Uçucu Kül	315	210	35	1043,55	426,225	426,225
% 20 Uçucu Kül	280	210	70	1043,55	426,225	426,225
%30 Uçucu Kül	245	210	105	1043,55	426,225	426,225

Taze betonun priz süresinin bulunabilmesine dair şimdiye kadar önerilmiş çok sayıda deney yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan bazıları, betonun kıvamındaki değişikliği, betona gönderilen titreşimin dalga hızını, terlemeyi, hidrasyon ısısı değişikliğini, hacim değişikliğini ve penetrasyona karşı betonun direncini ölçmeyi esas alan değişik deney yöntemleridir [4]. Betonun priz süresini bulabilmek için uygulanan değişik deney yöntemleri arasında en çok kabul gören yöntem, taze betonun penetrasyona karşı direncinin ölçülmesi yöntemidir. “Beton karışımının penetrasyona karşı direncinin ölçülmesi yoluyla priz süresinin tayini” yöntemi ile ilgili Türk ve ASTM standartları şunlardır: TS 2987 ve ASTM C 403 [11-12]. Her iki standartta anlatılan yöntem bazı küçük farklılıklara rağmen, prensip olarak aynıdır.

Üretilen beton serilerinin 0,5MPa, 1MPa ve 3 MPa 'lık dayanımına karşı oluşan sertleşme süreleri penetrasyon yöntemi ile TS 2987 deney yöntemine göre belirlenmiştir. Beton kalıplara yerleştirildikten sonra penetrasyon aleti ile beton sertleşme sürecine ilişkin ölçümler alınmıştır. Şekil 1 ve Şekil 2' de penetrasyon aleti ve deneysel uygulamada kullanılışı görülmektedir.



Şekil 1. Penetrasyon deney aleti



Şekil 2. Penetrasyon deney aletinin deneyde uygulaması

Beton serilerinde, penetrasyon yöntemi deneyi ile 0,5 MPa, 1 MPa ve 3 MPa dayanıma ulaşmaya kadar geçen süreler belirlenmiştir. Ayrıca üretilen beton serilerinin taze beton işlenebilirlik değerlerinin elde edilmesi için Hazırlanan tüm beton karışımlarında TS EN 12350-3'de [12] belirtilen şekliyle Ve-Be deneyi uygulanmıştır. Taze betonun işlenebilirliğinin saptanması amacıyla ise TS EN 12350-2'de [13] belirtilen şekliyle tüm karışımlara slump deneyi yapılmıştır.

Deneysel çalışmalarda son aşama olarak ise beton serileri üzerinde 28 günlük kür süresi sonrasında tek eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Hazırlanan numuneler kalıp içerisinde 24 saat bekletildikten sonra kalıptan çıkarılarak kür havuzuna yerleştirilmiştir. Numuneler üzerinde 28. günün sonunda beton pres aleti ile TS EN 12390-3'e [14] göre numuneler üzerinde basınç deneyleri yapılmıştır. Şekil 3'de tek eksenli basınç deneyi aleti görülmektedir.



Şekil 3. Tek eksenli basınç deney aleti

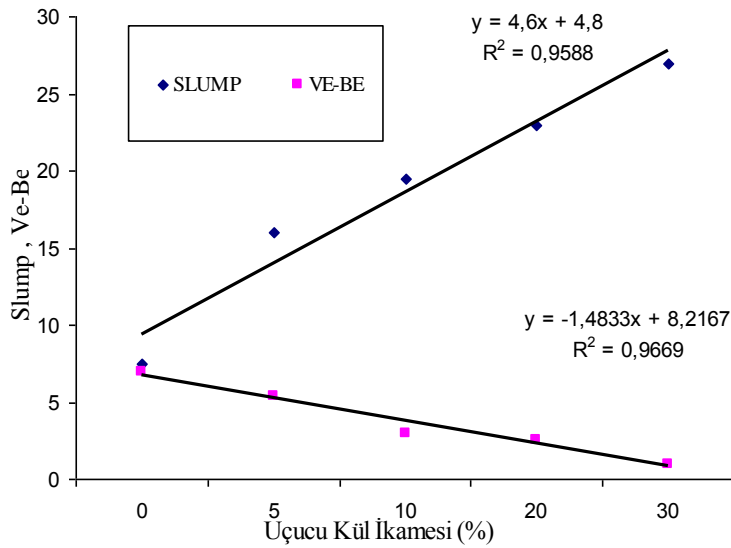
### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Slump ve Ve-Be Değerleri

Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen Slump ve Ve-Be deneyleri sonucunda elde edilen değerler Çizelge 4’de verilmiştir. Uçucu kül miktarının Slump ve Ve-Be değerleriyle olan ilişkisi Şekil 4’ de görülmektedir.

Çizelge 4. Slump ve Ve-Be deneyleri sonucunda elde edilen değerler

Karışımın Adı	Numune No	Slump ( cm )	Ve-be (sn)
Katkısız karışım	1	8	7
	2	7	6,5
	3	8,5	7,5
	Ortalama	7,83	7
% 5 Uçucu Kül Katkılı	1	16	5
	2	14,5	6
	3	16,5	5
	Ortalama	15,66	5,33
% 10 Uçucu Kül Katkılı	1	20	3
	2	19	2,5
	3	21,5	3,5
	Ortalama	20,16	3
% 20 Uçucu Kül Katkılı	1	23	3
	2	23,5	2,5
	3	23	2
	Ortalama	23,16	2,5
% 30 Uçucu Kül Katkılı	1	27	1,5
	2	26	1
	3	28	1,5
	Ortalama	27	1,33



Şekil 4. Uçucu kül miktarının Slump ve Ve-Be değerleriyle olan ilişkisi

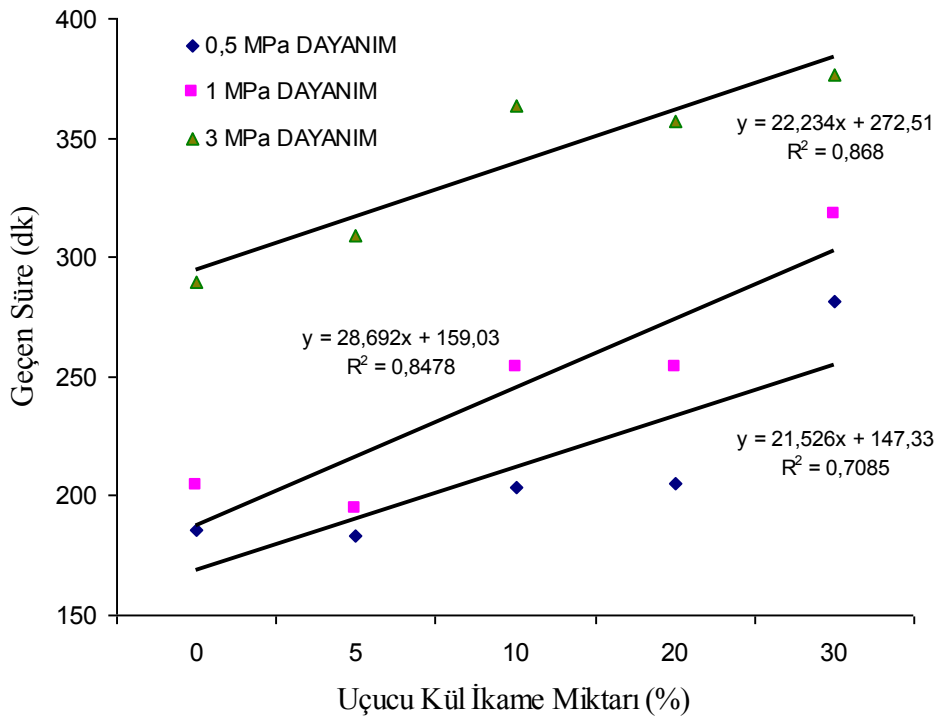
Sonuçlar incelendiğinde; Bütün eton numunelerde uçucu kül miktarı arttıkça Slump değerinin arttığı, Ve-Be sürelerin ise azaldığı görülmektedir. Uçucu küllü betonların işlenebilirliklerinde anlamlı bir artış olduğu Slump ve Ve-Be değerleri arasında ters bir bağıntı olduğu görülmektedir.

### 3.2. Priz Süresi Değerleri

Her bir seriden 3 farklı numune üzerinde yapılan penetrasyon yöntemi ile priz süresi tayini deneyi sonucu elde edilen ortalama değerler Çizelge 5’ de verilmiştir.

Çizelge 5. Penetrasyon yöntemi ile priz süresi tayini deneyi sonucu elde edilen değerler

	Dayanım (MPa)	SERTLEŞME SÜRELERİ (dk)			
		1. Numune	2. Numune	3. Numune	Ortalama
<b>REFERANS</b>	0,5	192,56	184	180	185,52
	1	205,6	209,60	203,5	204,55
	3	284,5	288,4	296,5	289,80
<b>% 5 UÇUCU KÜL</b>	0,5	183,1	180,06	185,81	182,99
	1	188,81	198,39	196,1	194,43
	3	304,84	319,7	301,75	308,76
<b>% 10 UÇUCU KÜL</b>	0,5	200,99	206,99	202,86	203,61
	1	251,17	253,9	257,56	254,21
	3	360,79	369,2	360,73	363,57
<b>% 20 UÇUCU KÜL</b>	0,5	232,86	170,49	213,15	205,50
	1	300,24	220,92	241,46	254,21
	3	355,13	356,99	359,21	357,11
<b>% 30 UÇUCU KÜL</b>	0,5	290,24	280,24	275,2	281,89
	1	323,66	316,99	313,72	318,12
	3	381,17	377,42	371,8	376,80



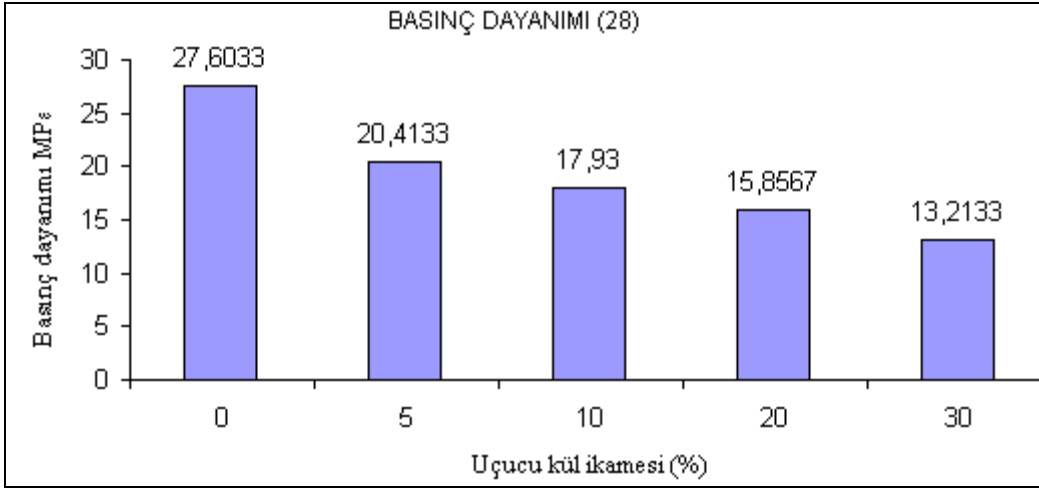
Şekil 5. Uçucu kül miktarına bağlı priz süresi değişimi ilişkisi

Çizelge 5. 'deki sonuçlar ve Şekil 5' deki korelasyon ilişkisi incelendiğinde şu yorumlar çıkarılabilir;

- ✓ 0,5 MPa, 1 MPa ve 3 MPa penetrasyon basınç dayanımında %5, %10, %20 ve %30 uçucu kül katkılı beton numunelerinde %5 uçucu kül katkılı beton numunesinin sertleşme süresinin en az, %30 uçucu kül katkılı beton numunesinin sertleşme süresinin en fazla olduğu,
- ✓ 0,5 MPa penetrasyon basınç dayanımında %10 ve %20 uçucu kül katkılı numunelerin sertleşme sürelerinin çok yakın değerlere sahip olduğu;
- ✓ 0,5 ve 1 MPa penetrasyon basınç dayanımında referans(katkısız) numuneye göre %5 uçucu kül katkılı numunenin priz süresinin azaldığı ve %10, %20 ve %30 katkılı beton numunelerinin sertleşme sürelerinin arttığı;
- ✓ 3 MPa penetrasyon basınç dayanımında referans(katkısız) numuneye göre %5 , %10, %20 ve %30 katkılı beton numunelerinin sertleşme sürelerinin arttığı görülmektedir.

### 3.3. Basınç Dayanımı Değerleri

28 gün kür koşullarında bekletilen beton numuneleri üzerinde yapılan tek eksenli basınç dayanımı deneyleri sonucunda Şekil 6' daki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 6. Tek eksenli basınç dayanımı sonuçları

Basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde uçucu kül miktarı arttıkça basınç değerlerinin düştüğü istenilen dayanımı %10 uçucu külün üstündeki karışımlarda sağlamadığı uçucu külün çimento gibi dayanım kazandırmadığı görülmektedir.

## 4. SONUÇLAR

Çalışma işlenebilirlik açısından değerlendirilirse; bütün beton numunelerde uçucu kül miktarı arttıkça Slump değeri artmış ve buna paralel olarak Ve-Be süreleri azalmıştır.

Çalışma priz alma süresine göre değerlendirilirse; bütün serilerde % 5 uçucu kül ikame edilmiş betonun sertleşme süresinin en az % 30 uçucu kül ikame edilmiş betonun en fazladır. 0,5 MPa penetrasyon basınç dayanımında %10 ve %20 uçucu kül katkılı numunelerin sertleşme süreleri çok yakın değerlere sahiptir. 0,5 ve 1 MPa penetrasyon



basınç dayanımında referans numuneye göre %5 uçucu kül katkılı numunenin priz süresi azalmış, %10, %20 ve %30 katkılı beton numunelerinin sertleşme süreleri artmıştır. 3 MPa penetrasyon basınç dayanımında referans numuneye göre uçucu kül içeren tüm serilerin sertleşme süreleri artmıştır.

Çalışma betonun mekanik özellikleri açısından değerlendirilirse; bütün beton serilerinde uçucu kül ikame miktarına bağlı olarak basınç dayanımı değerleri azalmıştır.

Sonuç olarak uçucu kül ikamesi beton işlenebilirliğini olumlu yönde etkilemektedir. Uçucu kül ikame miktarının çimentonun % 5'inden fazla olması sertleşme sürelerini arttırmaktadır. Uçucu kül çimento gibi bağlayıcılık özelliği göstermesine rağmen tam olarak çimentonun bağlayıcılık özelliğini sergileyememekte ve basınç dayanımını düşürmektedir.

## Kaynaklar

- [1] Vanchai Sata, Chai Jaturapitakkul, Kraiwood Kiattikomol, Influence Of Pozzolan From Various By-Product Materials On Mechanical Properties Of High-Strength Concrete, Construction And Building Materials. 2007. 1589-1598.
- [2] ASTM “Standart Specifications For Fly Ash And Raw Or Calcined Natural Pozzolan For Use As Mineral Admixture In Portland Cement Concrete”, ASTM Philadelphia, ASTM C 618-85, 1985.
- [3] C. K. Park, M. H. Noh, T. H. Park, Rheological Properties Of Cementitious Materials Containing Mineral Admixtures, Cement And Concrete Research. 2005. 842-849
- [4] Erdoğan, T.Y. BETON. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık Ve İletişim A.Ş. 2003 ANKARA
- [5] Moulia, M., Khelafib H., “Performance Characteristics Of Lightweight Aggregate Concrete Containing Natural Pozzolan” Building and Environment 43 (2008) 31–36
- [6] Demirboga, R., Orung, I., Gul, R., “Effects of expanded perlite aggregate and mineral admixtures on the compressive strength of low-density concretes”. Cem Conc Res 2001;31: 1627–32
- [7] Chen, B., Liu, J., “Experimental Application Of Mineral Admixtures in Lightweight Concrete With High Strength And Workability” Construction and Building Materials 22 (2008) 655–659
- [8] B. W. Langan, K. Weng, M. A. Ward, Effect Of Silica Fume And Fly Ash On Heat Of Hydration Of Portland Cement. Cement And Concrete Research. 2002. 1045-1051.
- [9] Simsek, O. 2004. Beton ve Beton Teknolojisi. Seçkin Yayıncılık, I. Baskı, Ankara,

- [10] ASTM C 403, 'Standard test method for time of setting of concrete mixtures by penetration resistance', *American Society for Testing and Materials*, Pennsylvania, (1999).
- [11] Betonda Priz Süresinin Tayini, TS 2987, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1978.
- [12] TS EN 12350-3, ‘‘Beton – Taze Beton Deneylei- Bölüm 3: Ve-Be Deneyi’’, **TSE**, Ankara, 2002.
- [13] TS EN 12350-2, ‘‘Beton – Taze Beton Deneylei- Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi’’, **TSE**, Ankara, 2002.
- [14] TS EN 12390-3 2003. Beton-Sertlesmis Beton Deneylei- Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 12s.
- [15] TS 802. 1985. Beton Karışımı Hesap Esasları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.