

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI İNCELİĞE SAHİP UÇUCU KÜL, YÜKSEK FIRIN
CÜRUFU VE ÖĞÜTÜLMÜŞ OBSİDİYEN KATKILI
ÇİMENTOLARIN HİDRATASYON ISILARININ TAYİNİ

İHSAN ÖMÜR

TEZ DANIŞMANI

DOÇ.DR. İLKER USTABAŞ

II. DANIŞMAN

PROF.DR. ŞAKİR ERDOĞDU

TEZ JÜRİLERİ

PROF. DR. MUSTAFA ŞAHMARAN

DR. ÖĞR. ÜYESİ ERDEM CÜCE

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

RİZE-2019

Her Hakkı Saklıdır.

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI İNCELİĞE SAHİP UÇUCU KÜL, YÜKSEK FIRIN CÜRUFU VE
ÖĞÜTÜLMÜŞ OBSİDİYEN KATKILI ÇİMENTOLARIN
HİDRATASYON ISILARININ TAYİNİ**

Doç. Dr. İlker USTABAŞ danışmanlığında, İhsan ÖMÜR tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü yönetim kurulu kararıyla oluşturulan jüri tarafından 28/06/2019 tarihinde İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı Adı Soyadı
Başkan	: Prof. Dr. Mustafa ŞAHMARAN
Üye	: Doç. Dr. İlker USTABAŞ
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Erdem CÜCE

İmzası


Doç. Dr. Ferhat KALAYCI
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, volkanik cam olarakta bilinen obsidyenin çimentonun hidratasyon ısını, eğilme basınç dayanımını ve alkali silika reaktifliğini nasıl etkilediği tespit edildi. Obsidyenin çimento üzerine etkileri uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ile kıyaslandı.

Bu çalışma kapsamında farklı disiplinlerde çalışan araştırmacıların bir araya gelmesiyle uyumlu şekilde çalışıldı. Bu teze katkısı olan sayın danışman hocam Doç.Dr. İlker Ustabaş'a, Doç.Dr. Ayberk Kaya'ya, Dr.Öğr. Üyesi Yılmaz Demir'e, yüksek lisans arkadaşım Muammer Yanık'a teşekkür ederim. Yüksek lisans ders ve tez aşamasındaki yardımlarından dolayı sayın hocam Prof.Dr. Şakir Erdoğan'ya teşekkür ederim.

Hem arazi hemde laboratuvar çalışmaları şeklinde yürütülen bu tezin yürütülebilmesi için 214M023 nolu proje ile maddi destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hazırlanan bu Yüksek Lisans RTEÜ BAP tarafından 214M023 nolu proje ile desteklenmiştir.

İhsan ÖMÜR

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan “Farklı İnceliğe Sahip Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu ve Öğütülmüş Obsidyen Katkılı Çimentoların Hidratasyon Isılarının Tayini” başlıklı bu tezin, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırlandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemi kabul ettiğimi beyan ederim. 28/06/2019



İhsan ÖMÜR

Uyarı: Bu tezde kullanılan özgün ve/veya başka kaynaklardan sunulan içeriğin kaynak olarak kullanımı, 5856 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

FARKLI İNCELİĞE SAHİP UÇUCU KÜL, YÜKSEK FIRIN CÜRUFU VE ÖĞÜTÜLMÜŞ OBSİDİYEN KATKILI ÇİMENTOLARIN HİDRATASYON ISILARININ TAYİNİ

İhsan ÖMÜR

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışmanı: Doç. Dr. İlker USTABAŞ

Bu çalışmada obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun çimentonun alkali silika reaksiyonunu ve hidratasyon ısını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Bu çalışmada üç farklı incelikte obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu katılarak çimentolar üretilmiştir. Bu çimentolar ile TS EN 196-1 ve ASTM C1260 standardına göre harç numuneler hazırlanmıştır. Bu numuneler üzerinde obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu katkı çimentolar ile üretilen harç numunelerinin eğilme dayanımları, basınç dayanımları ve genleşme miktarları ölçülmüştür. Üç farklı incelikte obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ilaveli çimentoların hidratasyon ısıları TS EN 196-8 ve TS EN 196-9'a göre tayin edilmiştir. Obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu katkı çimentolar, harçların genleşme miktarını düşürmüştür yani alkali silika reaktifliğini azaltıcı yönde etki göstermiştir. Obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun çimentoya katılım oranı arttıkça çimentonun hidratasyon ısının düştüğü tespit edilmiştir.

2019, 73 sayfa

Anahtar Kelimeler: Obsidyen, Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu, Hidratasyon Isısı, Alkali Silika Reaktifliği

ABSTRACT

DETERMINATION OF HYDRATION TEMPERATURES OF DIFFERENT FLY ASH, BLAST FURNACE SLAG AND GRINDED OBSIDIAN ADDITIVE CEMENTS

İhsan ÖMÜR

**Recep Tayyip Erdogan University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering
Master Thesis
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İlker USTABAŞ**

In this study, effects of obsidian, fly ash and blast furnace slag on the alkali silica reaction of the cement and the hydration heat was investigated. In this study, cements have been produced by adding obsidian, fly ash and blast furnace slag with three different fineness. These cements are prepared according to TS EN 196-1 and ASTM C1260 standards. Bending strengths and expansion amount of these cement samples produced with obsidian, fly ash and blast furnace slag were measured. The hydration heat of three different types of cement with obsidian, fly ash and blast furnace slag were determined according to TS EN 196-8 and TS EN 196-9. Cements with obsidian, fly ash and blast oven slag decreased the amount of expansion of cement, so it effects the alkaline silica reactivity by reducing it. It has been found that the hydration heat of cement decreases when the addition rate of obsidian, fly ash and blast furnace slag increases.

2019, 73 pages

Keywords: Obsidian, Fly Ash, Blast Furnace Slag, Composite Cement, Pozzolanic Activity

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	II
ÖZET	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ	XI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Uçucu küller.....	2
1.3. Yüksek Fırın Cürufu	3
1.4. İkizdere Obsidyenleri.....	4
1.5. Çimentonun hidratasyon ısılarının tayini.....	6
1.6. Alkali silika reaksiyonunun oluşma ve tehlikesini önleme için uygulanan yöntemler	9
1.7. Literatür özeti.....	10
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	14
2.1. Çalışmada kullanılan bağlayıcılar	14
2.2. Çalışmada kullanılan çimento, Obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun yapısı	18
2.3. Çalışmada uygulanan deneyler	21
3. BULGULAR.....	25
3.1. Çimentoların TS EN 196-9 ve TS EN 196-8'e göre hidratasyon ısı ölçümleri ...	25
3.2. Pozolanlı çimentoların ASTM C 1260'a göre reaktif silis içeriğinin tayini.....	43

3.3. Çimentoların farklı puzolan katkı oranlarına göre eğilme ve basınç dayanımları	46
4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR.....	50
5. ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR	68
ÖZGEÇMİŞ	73



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.	Büyükyaşla ve yakın çevresinin jeoloji haritası.....	5
Şekil 2.	Farklı oranlarda Perlit katkılı çimentoların zamanla dayanım kazanma oranı (Erdoğan, 2013).....	11
Şekil 3.	Farklı oranlarda perlit katkılı çimentoların hidratasyon ısısı ve ısı akışı.....	12
Şekil 4.	Zeolit katkı oranına göre çimentodaki ısı akışı.....	13
Şekil 5.	Obsidyenin arazideki görüntüsü.....	15
Şekil 6.	Döküntü şeklinde arazide birikmiş obsidyenler.....	16
Şekil 7.	Araziden obsidyenin alınması.....	17
Şekil 8.	Çeneli kırıcılar.....	17
Şekil 9.	Obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun öğütüldüğü bilyeli Değirmen.....	18
Şekil 10.	a) XRD analizi Çimento.....	19
	b) XRD analizi Obsidyen	19
	c) XRD analizi Uçucu kül.....	19
	d) XRD analizi Yüksek fırın Cürufu.....	19
Şekil 11.	Uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve obsidyenin tane dağılımı.....	21
Şekil 12.	Alkali silika reaksiyonu harç çubukların bekletildiği ısısı ayarlanabilir tank.....	23
Şekil 13.	Alkali silika reaksiyonu harç numunenin boyunun ölçüm cihazı.....	23
Şekil 14.	Harç numune hazırlanışı ve deney düzeneği.....	24
Şekil 15.	2, 7 ve 28 günlük eğilme ve basınç deneylerinin yapıldığı cihaz.....	24
Şekil 16.	a) CEM I 42,5 R çimentosunun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları.....	26
	b) %20 Obsidyen45 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları.....	26
	c) %30 Obsidyen45 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları.....	27
	d) %50 Obsidyen45 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları.....	27
Şekil 17.	a) %20 Obsidyen60 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları.....	28
	b) %30 Obsidyen60 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları.....	28
	c) %50 Obsidyen60 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları.....	29
Şekil 18.	a) %20 Obsidyen75 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları.....	30

b) %30 Obsidyen75 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları.....	30
c) %50 Obsidyen75 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları.....	31
Şekil 19. a) %20 Yüksek fırın cürufu ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları.....	32
b) %30 Yüksek fırın cürufu ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları.....	32
c) %50 Yüksek fırın cürufu ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları.....	33
Şekil 20. a) %20 Yüksek fırın cürufu20 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları.....	34
b) %30 Yüksek fırın cürufu20 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları.....	34
c) %50 Yüksek fırın cürufu20 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları.....	35
Şekil 21. a) %20 Yüksek fırın cürufu40 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları.....	36
b) %30 Yüksek fırın cürufu40 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları.....	36
c) %50 Yüksek fırın cürufu40 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları.....	37
Şekil 22. a) %20 Uçucu kül ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları.....	38
b) %30 Uçucu kül ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları.....	38
c) %50 Uçucu kül ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları.....	39
Şekil 23. a) %20 Uçucu kül20 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları.....	40
b) %30 Uçucu kül20 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları.....	40
c) %50 Uçucu kül20 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları.....	41
Şekil 24. a) %20 Uçucu kül40 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları.....	41
b) %30 Uçucu kül40 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları.....	42
c) %50 Uçucu kül40 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları.....	42
Şekil 25. Pozolanların reaktif silis içerikleri.....	50
Şekil 26. TS EN 196-9'a göre katkısız çimentoda ve 45 dakika öğütülmüş obsidyen katkılı çimentolarda hesaplanan hidratasyon ısıları.....	51

Şekil 27.	TS EN 196-9'a göre katkısız çimentoda ve 60 dakika öğütülmüş obsidyen katkılı çimentolarda hesaplanan hidrasyon ısıları.....	52
Şekil 28.	TS EN 196-9'a göre katkısız çimentoda ve 75 dakika öğütülmüş obsidyen katkılı çimentolarda hesaplanan hidrasyon ısıları.....	53
Şekil 29.	TS EN 196-9'a göre katkısız çimentoda ve yüksek fırını cürufu katkılı çimentolarda hesaplanan hidrasyon ısıları.....	54
Şekil 30.	TS EN 196-9'a göre katkısız çimentoda ve uçucu kül katkılı çimentolarda hesaplanan hidrasyon ısıları.....	55
Şekil 31.	Obsidyen ilaveli çimentolar ile üretilen harç çubuklarının ASTM C 1260'a göre hesaplanan genleşme miktarları (%).....	57
Şekil 32.	Obsidyen ilaveli çimentolar ile üretilen harç çubuklarının ASTM C 1260'a göre hesaplanan genleşme miktarları (%).....	58
Şekil 33.	Obsidyen ilaveli çimentolar ile üretilen harç çubuklarının ASTM C 1260'a göre hesaplanan genleşme miktarları (%).....	59
Şekil 34.	Uçucu kül ilaveli çimentolar ile üretilen harç çubuklarının ASTM C 1260'a göre hesaplanan genleşme miktarları (%).....	59
Şekil 35.	Yüksek fırın cürufu ilaveli çimentolar ile üretilen harç çubuklarının ASTM C 1260'a göre hesaplanan genleşme miktarları (%).....	60
Şekil 36.	CEM I 42,5 R tipi çimento ve üç farklı incelikte % 50 oranında obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ilaveli çimentolar ile üretilen harç çubuklarının ASTM C 1260'a göre hesaplanan genleşme miktarları (%)....	61
Şekil 37.	CEM I 42,5 R tipi çimento ve bu çimentoya % 10, % 20,% 30 ve % 40 oranında 60 dakika öğütülmüş obsidyen katılmış çimento ile üretilen harçların basınç dayanımı.....	62
Şekil 38.	CEM I 42,5 R tipi çimento ve bu çimentoya %10, %20,%30 ve %40 oranında 60 dakika öğütülmüş obsidyen katılmış çimento ile üretilen harçların basınç dayanımı.....	62
Şekil 39.	CEM I 42,5 R tipi çimento ve bu çimentoya %10, %20, %30 ve %40 oranında 60 dakika öğütülmüş obsidyen katılmış çimento ile üretilen harçların basınç dayanımı.....	63
Şekil 40.	CEM I 42,5 R çimentosu ve bu çimentoya % 40 oranında obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu katılarak oluşturulan çimentolar ile TS EN 196-1'e göre hazırlanan harç numunelerinden elde edilen basınç dayanımları.....	64
Şekil 41.	Taramalı elektron mikroskobu (SEM) Çimento (a), Obsidyen (b), uçucu kül (c) ve yüksek fırın cürufu (d) (x1000).....	65

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Çalışmada kullanılan çimento, obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun kimyasal bileşimi.....	14
Tablo 2. Bağlayıcılara ait incelik değerleri.....	20
Tablo 3. ASTM C1260 e göre agrega granülometrisi.....	22
Tablo 4. TS EN 196-8'e göre hesaplanan hidratasyon ısıları.....	43
Tablo 5. Farklı çimentolarla üretilen harç çubuklarının boy uzamaları (mm) ve genleşme miktarları (%).....	43
Tablo 6. Pozolan katkılı çimentoların basınç dayanımları.....	47

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Ort	Ortalama
MY	Milyon Yıl
mmol	Milimol
UK	Uçucu Kül
OBS	Obsidyen
YFC	Yüksek Fırın Cürufu
G	Gram
cm ³	Santimetre Küp



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Puzolanlar kendi başlarına bağlayıcılığı olmayan ancak kireçle karşılaştıklarında bağlayıcılık kazanan malzemelerdir. Puzolanların kullanımı çok eski tarihlere kadar dayanmaktadır (Erdogan, 2013). Çimentoda doğru olarak seçilen, işlenen ve kullanılan puzolanlar, maliyeti düşürür, betonun kalitesini artırır, betonu dışardan gelebilecek zararlı kimyasallara ve alkali silika reaksiyonlarına karşı korur (Erdogan,2013, Mielenz 1951). Çimentonun ana hidratasyon ürünlerinden klinkerin üretimi sırasında atmosfere CO₂ salınır. Bu durum çevre açısından istenmeyen durumdur. Katkılı çimentolarda çimentoya katılan klinker miktarının daha az oranlarda kullanılmasını sağladığından katkılı çimentoların üretimi sırasında atmosfere CO₂ salınımı daha az olur. Gerek betona sağladığı faydalar gerekse karbondioksit salınım miktarındaki azaltmasından dolayı puzolanlarla ilgili bir çok bilimsel çalışma yapılmaktadır (Caputo, 2008; Erdoğan, 2013; Marjanović, 2015; Scholer, 2015; Uzal, 2010).

Suyun çimentoyla reaksiyonu sırasında tipik ekzotermik reaksiyonlar gibi açığa ısı çıkar (Baran, 2017). Beton üretiminde açığa çıkan ısı belli değerleri aşması durumunda betona zarar verir. Hidratasyon ısının betona zararlarının önlenmesi için standartlar sınırlama ve kriterler koymuştur. TS 13515 standardı boyutları 90 cm kalınlığını geçen beton yapı elemanlarında taze betonda oluşacak en yüksek ısının 65 °C'ı aşmaması gerektiği, donatılı betonlarda beton içi sıcaklıkla dış sıcaklık arasındaki farkın 25 °C, donatısız betonlarda 20 °C'yi aşmaması gerektiğini belirtmektedir (TS EN 13515, 2014). Taze betonun sıcaklığı kontrol altında tutulmaması durumunda sertleşmiş betonda çatlaklar oluşur. Bu çatlaklar beton için zararlı oluşumlardır ve betonun servis ömrünün azalmasına yol açar. Özellikle kalın boyutlara sahip betonarme yapılarda düşük hidratasyon ısıları çimentolar kullanmak betonu hidratasyon ısısından oluşacak zararlardan korumak için uygulanan yöntemlerden biridir. TS 13515 standardı kalın boyutlara sahip betonarme yapılarda 7 günlük hidratasyon ısısı 60 cal/g hidratasyon ısısından daha düşük hidratasyon ısısına sahip çimentoları kullanmayı önermektedir (TS EN 13515, 2014). Çimentoda açığa çıkan ısı miktarı klinkerin yapısına, çimentonun bileşimine, mineral katkılara bağlıdır. Mineral katkı kullanımı çimentonun hidratasyon

ısını düşürmede en yaygın olarak kullanılan yöntemler arasında yer almaktadır (Baran, 2017).

Puzolanların betondaki alkali silika reaksiyonlarına karşı betonda koruyucu etkisinin olduğu belirtilmektedir (Nayır, 2017, Dongxue,1997, Neville 1991, Shafatian *et al.*2013, Abbas *et al.*2017). Alkali silika reaksiyonunda reaktif silis, nemin bulunduğu ortamda alkalilerle alkali silika jel oluşturmakta ve ortamda nem bulunması durumunda bu jel sürekli genişerek betonun çatlamasına neden olmaktadır.

Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu çimentoda yaygın olarak kullanılan puzolanlardır. Uçucu kül termik santrallerinde kömürün yakılması sırasında, yüksek fırın cürufu demir cevherinin yüksek fırınlarda ısıtılması sonucu çıkan atığın hızlı şekilde soğutulması sonucunda oluşan atık maddelerdir. Bu çalışmada araştırılan volkanik cam diye bilinen obsidyen de puzolanik özelliği olan ancak litetaturde bununla ilgili fazla bilimsel veriye rastlanmayan doğal bir maddedir. Obsidyen Rize ili İkizdere Büyük Yayla mevkinde bolca bulunmaktadır. Bulunduğu bölgedeki obsidyen herhangi bir alanda kullanılmamaktadır. Obsidyenin camsı yapısından dolayı bulunduğu yerdeki bitki örtüsünü ve canlı yaşamını olumsuz yönde etkilemektedir.

Bu çalışmada üç farklı inceliğe sahip TS EN 197-1'e göre puzolan özelliği gösteren uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve obsidyenin çimentonun hidrasyon ısını nasıl etkilediği araştırılmıştır.Çimentoya bu puzolanlar ilave edilerek üretilmiş harç çubuklarında alkali ortamdan dolayı oluşan genleşmeler araştırılmıştır.

1.2. Uçucu Küller

Uçucu kül, termik santrallerde pulverize kömürün yanması sonucu meydana gelen baca gazlarıyla taşınarak siklon veya elektrofiltrelerde toplanan bir yan üründür. Kömürün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu meydana gelen ergimiş malzeme soğuyarak gaz akışıyla kısmen veya tamamen küresel şekilli kül taneciklerine dönüşmektedir. Bu kül tanecikleri çok ince (0,5-150 μ) olup baca gazlarıyla sürüklenmeleri nedeniyle uçucu kül olarak adlandırılmaktadır. Uçucu külde bulunan başlıca bileşenler SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO olup bunların miktarı uçucu külün tipini belirlemektedir. Ayrıca MgO , SO_3 , alkali oksitler de minör bileşen olarak

bulunmaktadır. Uçucu küldeki temel oksitlerden SiO_2 % 25-60, Al_2O_3 %10-30, Fe_2O_3 %1-15 ve CaO % 1-40 oranlarında bulunmaktadır. Bu farklı aralıktaki değerler uçucu külün tipini karakterize etmektedir. Uçucu küller ASTM C 618 standardına göre F ve C sınıflarına ayrılırlar. F sınıfı küller bitümlü kömürden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ yüzdesi %70'den fazla olan uçucu küllerdir. Aynı zamanda bu küllerde CaO miktarı %10'un altında olduğu için düşük kireçli olarak da adlandırılırlar. C sınıfı uçucu küller ise linyit veya yarı bitümlü kömürlerden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı % 50'den fazla olan küllerdir. Aynı zamanda C sınıfı uçucu küllerde CaO yüzdesi %10'dan fazla olduğu için bu küller yüksek kireçli uçucu kül olarak da adlandırılırlar (Türker vd., 2007). TS EN 197-1'e göre uçucu küller silisli (V) ve kalkersi (W) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. V sınıfı silisli uçucu küller, çoğunluğu puzolanik özelliğe sahip küresel taneciklerden meydana gelen ince bir toz olup, esas olarak reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminyum oksitten (Al_2O_3) oluşur; geri kalanı demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan az, reaktif silis miktarının %25'den fazla olması gerekmektedir. W sınıfı uçucu küller ise hidrolik ve/veya puzolanik özellikleri olan ince bir toz olup esas olarak reaktif kireç (CaO), reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminyum oksitten (Al_2O_3) oluşur; geri kalanı demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan fazla, reaktif silis miktarının da %25'den fazla olması gerekmektedir.

Uçucu kül kullanımı taze betonun terlemesini ve hidratasyon ısını azaltır. Taze betonun işlenebilmesini artırır. Sertleşmiş betonun geçirimsizliğini azaltır ve sülfatlara dayanıklılığını artırır. Betonda ekonomiklik sağlar. Uçucu kül kullanımı taze betonun priz süresini uzatır. İlk günlerdeki dayanımını düşürür. Betonun kür süresini uzatır (Topçu, 2006).

1.3. Yüksek Fırın Cürufu

Demir elde etmek için demir cevherinin yüksek fırın adı verilen fırınlarda yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılmaları ve böylece oksijen ve yabancı maddelerden arındırılmaları gerekmektedir. Kok kömürünün yakıt olarak kullanıldığı fırınlarda kalker taşı da ayırma işlemine yardımcı olması amacıyla katılmaktadır. Yüksek sıcaklık etkisiyle kok kömürünün karbonuyla demir cevherinin oksijeni birleşerek karbon monoksit veya

karbon dioksit olarak ortamı terk etmektedir. Geride eriyik durumda demir ve CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , MnO , S gibi yabancı maddeler topluluğu kalmaktadır. Demirin yoğunluğu yabancı maddelerin yoğunluğundan daha fazla olduğundan çöker. Ayrı çıkışlardan demir eriyiği ve yabancı maddeler dışarı alınır. Dışarı alınan yabancı maddelerin su ile ani soğutulmasıyla irili ufaklı kum taneleri şeklinde amorf yapıya sahip maddeler elde edilir. Büyük miktarda SiO_2 ve Al_2O_3 'e sahip amorf yapılu bu ürün öğütülerek yüksek fırın cürufu elde edilir (Erdoğan, 2003).

Yüksek fırın cürufu yavaş soğutulduğunda kristal yapıya sahip olur. Bu haliyle bazalta benzer mekanik özelliklere sahiptir ve beton agregası olarak kullanılabilir. Öte yandan hızlı soğutma uygulaması sonucunda ise camsı yapıda cüruf elde edilir. Bu tür cüruflar granüle yüksek fırın cürufu olarak adlandırılır (Tokyay ve Erdoğan, 2007). Eriyik cürufun çok hızlı soğutma işlemi çok büyük miktarda basınçlı su püskürtülerek sağlanır. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu hidrolik bağlayıcılık özelliği gösterir.

Granüle yüksek fırın cürufunun hidrolik bağlayıcılık özelliği sınır değere kadar CaO/SiO_2 oranının artmasıyla artar. Sınır değer aşılması durumunda yani çok yüksek miktarda CaO olması durumunda granülasyon güçleştiğinden hidrolik bağlayıcılık özelliğinde azalma görülür. Sabit bir CaO/SiO_2 oranı için Al_2O_3 miktarının artması cürufun aktivitesini artırır. Cüruf içerisindeki demir ve mangan oksitler dayanım özelliklerini olumsuz etkiler. % 10'a kadar MgO bulunmasının dayanıma olumsuz bir etkisi bulunmaz ancak daha yüksek MgO miktarları zararlı etkiler yaratabilir (Lea, 1970).

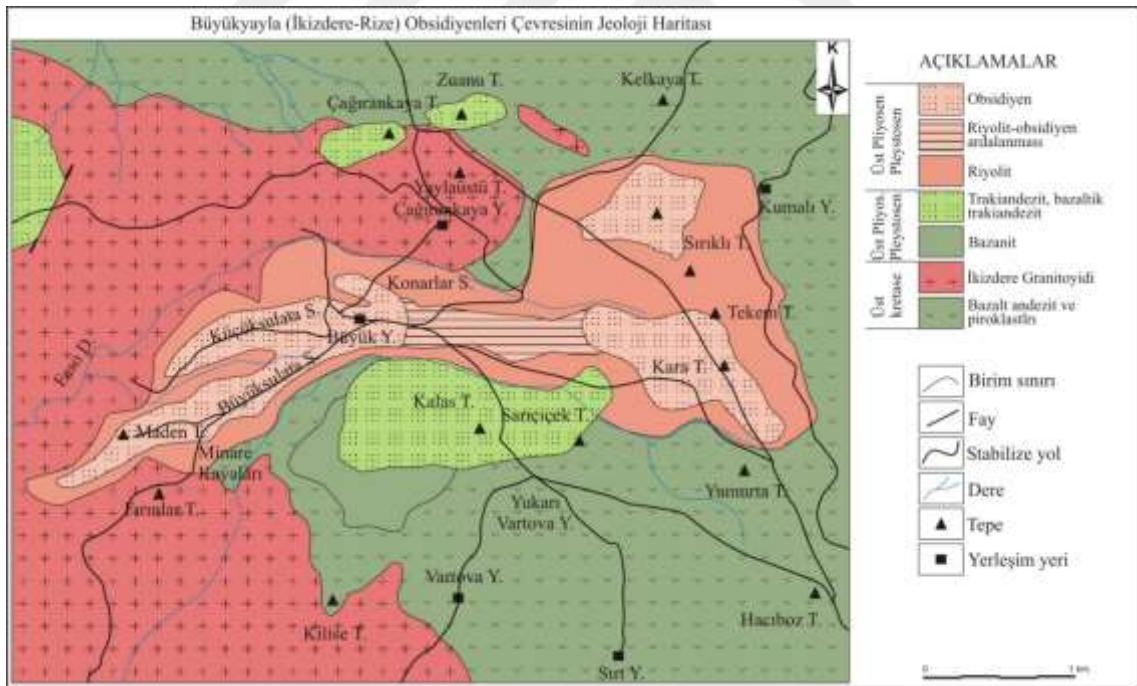
Yüksek fırın cürufu kullanımı taze betonda terlemeyi ve hidratasyon ısını azaltır. Taze betonda işlenebilmeyi ve priz süresini uzatır. Sertleşmiş betonun geçirimsizliğini azaltır ve sülfata dayanıklılığını artırır. Betonun ilk günlerdeki dayanımını azaltır. Betonun hava sürükleyici katkı maddesi gereksimini artırır (Topçu, 2006).

1.4. İkizdere Obsidyenleri

Obsidyen volkanik kökenli doğal cam türüdür. Felsik lav akıntılarının bulunduğu volkanik sahalarda, soğumanın hızlı olduğu lavın kenar kesimlerinde obsidyen oluşur. Kuvars, plajiyoklas, biyotit, piroksen, kalkopirit, pirit, manyetit, hematit, Fe-Ti oksit,

apatit, zirkon ve anhidrit İkizdere obsidyenlerinde gözlemlenen mineral türlerini oluşturmaktadır (Hanedan, 2008). Yerel ve yabancı dergilerde obsidyen taşını çalışan birçok bilimsel makale vardır (Boztuğ vd.,2005- Bilgin vd.,2012). Bu çalışmalarda obsidyenin kimyasal yapısında yaklaşık %80 oranında silis bulunduran amorf yapıdaki bir kayaç olduğu belirtilmektedir. Obsidyenin geriye kalan %20'lik kısmında da alüminyum oksit, kalsiyum oksit ve demir oksit gibi çimentonun kimyasal yapısında da bulunan oksitler mevcuttur (Bilgin vd.,2012).

İkizdere obsidyenleri Doğu Karadeniz dağlarının kuzeyinde Rize iline bağlı İkizdere ilçe merkezinin 10 km kadar kuzey-kuzeydoğusundaki bölgede bulunmaktadır. Obsidyenler, bulunduğu arazideki en genç volkanik kayaçları oluşturmakta ve Maden Tepe, Büyük Sulata Sırtı, Küçük Sulata Sırtı, Büyük Yayla çevresi Sırlıklı Tepe, Kara Tepe ve Tekem Tepe çevresini kapsayan yaklaşık 10 km²' lik bir alanda yüzeyleme vermektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Büyükayla ve yakın çevresinin jeoloji haritası

İkizdere obsidyenlerin bulunduğu arazide magmatik ve volkanik kayaçların egemen olduğu İkizdere graniti yer almaktadır. Volkanik kayaçlar bazalt, andezit ve bunların pirokastları, bazanit, trakiandezit ve bazaltik trakiandezit, riyolit ve obsidyen şeklindedir (Hanedan, 2008). Verilen bu sıralamadan anlaşılacağı üzere obsidyenler

Çalışma alanı içindeki en genç volkanik kayaçları oluşturmaktadır. İkizdere obsidyenlerinin yaşı üzerine literatürde iki farklı çalışma mevcuttur. Bunlardan ilki Yegengil vd. (2002) tarafından Fission Track yöntemine göre yapılmış ve 1.72 ± 0.1 MY ile 1.93 ± 0.15 MY olarak bulunmuştur (Yegengil vd.,2002). Hanedan (2008) tarafından $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ yöntemine göre yapılan yaşlandırmaya göre ise obsidyenlerin yaşı 1.7 ± 0.28 MY ile 2.00 ± 0.24 MY arasında değişmektedir (Hanedan, 2008). İki farklı çalışmada elde edilen, birbirine çok yakın bu değerler, bölgedeki en son volkanik etkinliğin 1.7 MY önce (Pleyistosen döneminde) meydana geldiğini göstermektedir (Hanedan, 2008- Yegengil vd.,2002).

Obsidyenler alışma alanı içinde ve çevresinde geniş alanlarda yayılım gösteren bazalt, andezit ve piroklastlarını, İkizdere granitoidini, bazanit ve trakiandezitik birimleri örtmektedir (şekil 1). Bu durum obsidyenlerin sahadaki en genç birim olduğunu destekleyen diğer bir veridir. Çalışma alanı içindeki Büyük Yayla, Kara Tepe, Sırlıklı Tepe, Maden Tepe ve çevresi ormanlık bitki örtüsü ile otlakların geçiş sınırı boyunca bulunmaktadır. Bundan dolayı obsidyenler alt kotlarda ormanlık alan içinde, üste doğru ise otlak arazi içinde mostra vermektedir. Çalışma alanındaki en genç birim olan obsidyenler, alt seviyelerde riyalitlerle birlikte ardalanmalı olarak tabakalı yapıda (bantlı) oluşum göstermektedirler. Tabakalı obsidyenlerin üzerine yine riyalitler içinde mercekler şeklinde breşik obsidyenler gelmektedir. En üst seviyelerde ise yer yer riyalitler içinde yığın-stok şeklinde, yer yer de riyalitlerin üzerini örtecek şekilde (masif-som yapıda) yayılım gösterirler. Buna göre başlangıçta riyalitlerle birlikte oluşmaya başlayan obsidyenler, oluşumlarını riyalitten sonra tamamlayarak yer yer riyalitlerin üzerini örtmektedir.

1.5. Çimentonun Hidratasyon Isılarının Tayini

Literatürde imentonun hidratasyon ısısının tayini için çözelti yöntemi ve yarı adyabatik yöntem kullanılmaktadır. Hidratasyon ısısının tayininde kullanılan TS EN 196-8 özelti yöntemiyle çimentonun hidratasyon ısısının tayin edildiği yöntemdir.

TS EN 196-8 standardına göre çimentoların hidratasyon ısısının tayini $2 \pm 0,01$ mol/litre'lik her 100 gram nitrik asit çözeltisine, % 40'lık 2,760 gram hidroflorik asit çözeltisi katılarak hazırlanan çözelti içerisinde kuru çimentonun ve hidrate çimentonun

çözünmesi ile hesaplanmaktadır. Toplam asit karışımı kütlesi/kuru çimento kütlesi oranının 140 ± 2 gram olacak miktardaki kuru çimento asit çözeltisi içerisinde çözünerek çözeltideki ısı artışı Beckmann termometresinden $0.002 \text{ }^{\circ}\text{C}$ hassasiyetinde ölçülmektedir. 40 gram suya 100 gram çimento katılarak hazırlanan yedi günlük sertleşmiş çimento hamuru öğütülüp elendikten sonra kuru çimentonun kütlesinden % 40 fazla olacak miktarda alınan hidrate çimentoda asit içerisinde çözünmesiyle açığa çıkan sıcaklık Beckmann termometresiyle ölçülmektedir. Elde edilen sıcaklık farklarından aşağıdaki bağıntılar kullanılarak çimentonun hidratasyon ısısı hesaplanmaktadır.

Çimentonun hidratasyon ısısı aşağıdaki bağıntıyla bulunmaktadır.

$$H_i = Q_a - Q_i \quad (\text{TS EN 196-8})$$

Bağıntıdaki Q_a kuru çimentonun çözelti içerisinde erime ısısını göstermektedir. Q_a aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmaktadır.

$$Q_a = (C \cdot \Delta T_c / P) + 0,8(T_f - T_a) + 0,8(T_f - 20) \quad (\text{Birimi : J/g}) \quad (\text{TS EN 196-8})$$

Bağıntıdaki ΔT_c düzeltilmiş sıcaklık artışını, Kelvin(K), C kalorimetrenin termal kapasitesini, (J/K), P kuru çimento numunesinin miktarını (gram), T_f kuru çimentonun çözünme periyodu sonundaki sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$), T_a kuru çimentonun kalorimetreye ilave edildiği anki ortam sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$), 0,8: kuru çimentonun özgül ısısını (J/g.K), -0,8 kuru çimentonun erime ısısının sıcaklık katsayısını (J/g.K) göstermektedir.

ΔT_c ise tüm çimentolar için

$$\Delta T_c = (T_{30} - T_0) - 2((T_0 - T_{-15}) - K(T_{30} - T_0)) \quad (\text{TS EN 196-8})$$

$$\text{Portland çimentosu için } \Delta T_c = (T_{30} - T_0) - 2(T_{45} - T_{30}) \quad (\text{TS EN 196-8})$$

bağıntılarından hesaplanmaktadır. T altındaki sayılar belirtilen dakikada Beckmann termometresinden okunan sıcaklıkları göstermektedir.

Q_i ise hidrate çimentonun çözelti içerisinde erime ısısını göstermektedir. Q_i aşağıdaki bağıntıdan bulunur.

$$Q_i = (C \cdot \Delta T_c / P \cdot F) + 1,7(T_f - T_a) + 1,3(T_f - 20) \quad (\text{Birimi: J/g}) \quad (\text{TS EN 196-8})$$

Bağıntıdaki P hidrate çimento numunesinin miktarını (gram), T_f hidrate çimentonun çözünme periyodu sonundaki sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$), T_a hidrate çimentonun kalorimetreye ilave edildiği anki ortam sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$), F bağlı su için düzeltme faktörünü, 1,7 hidrate çimentonun özgül ısısını (J/g.K^{-1}), -1,3 hidrate çimentonun erime ısısının sıcaklık katsayısını (J/g.K^{-1}) göstermektedir. Bağlı su için düzeltme faktörünü (F) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$F = (100 - m_h) / (100 - m_a) \quad (\text{TS EN 196-8})$$

Bağıntıdaki m_h hidrate numunenin kızdırma sonrası kütle değişimini (%), m_a kuru numunenin kızdırma sonrası kütle değişimini (%) göstermektedir.

TS EN 196-9 ise yarı adyabatik yöntemle çimentonun hidratasyon ısısının hesaplandığı diğer bir yöntemdir. TS EN 196-9'a göre 360 gram çimento, 180 gram su ve CEN standart kumu karıştırılarak numune hazırlanmaktadır. Toplam malzeme miktarı 1575 gram olmakta ve kalorimetrede biri referans, diğeri ölçüm numunesi olmak üzere iki numune üzerinden hidratasyon ısısı tayin edilmektedir. Her sıcaklık okumasında numunenin sıcaklık artışı (θ_t), numunenin sıcaklığı (T_s) ve referans kalorimetredeki numunenin sıcaklığı (T_r) arasındaki farktan hesaplanmaktadır. Hidratasyon ısısı(Q) aşağıdaki bağıntıdan bulunur.

$$Q = \frac{c}{m_c} \theta_t + \frac{1}{m_c} \sum_{i=1}^{n} \bar{\alpha}_i \bar{x}_i \Delta t_i \quad (\text{TS EN 196-9})$$

Bağıntıdaki m_c deney numunesinin içerdiği çimento kütlesini (gram), t hidratasyon süresini (saat), c kalorimetrenin ısı kapasitesini (J.K^{-1}) ve α kalorimetrenin ısı kaybı katsayısını ($\text{J.h}^{-1}.\text{K}^{-1}$) göstermektedir.

TS EN 196-8' e göre 7 günlük hidratasyonlu çimentoda hesaplanan hidratasyon ısıları ile TS EN 196-9'a göre 41. saatteki hidratasyon ısıları arasında çok iyi bir korelasyonun olduğu belirtilmektedir (TS EN 196-8, 2011).

1.6. Alkali Silika Reaksiyonunun Oluşma ve Tehlikesini Önleme İçin Uygulanan Yöntemler

TS 706 EN 12620 standardı betonda kullanılacak agregaların özelliklerini belirlemektedir. TS 706 EN 12620 standardında alkali silika reaksiyonu açısından kullanılması gereken agrega ile bir değerlendirme bulunmamaktadır (TS13515, 2014). Türkiye coğrafi, iklimsel ve jeolojik açıdan oldukça değişken bir ülkedir ve beton santrallerinin kullandıkları agrega, dere, deniz veya taş ocakları gibi çok değişik kaynaktan temin edilmektedir. Bu durum betonda kullanılacak agregalarda alkali silika reaksiyonuna girecek reaktif silis içeriğinin bulunma olasılığını artırmaktadır. Alkali silika reaktifliğinin belirlenmesi için petografik, ASTM C 289 standardındaki gibi kimyasal analiz yöntemiyle çözünen silika içeriğinin tayini veya ASTM C 1260 standardındaki gibi harç çubuklarının boy uzama oranları tayin edilmesiyle agregaların alkali silika reaktifliklerinin tayin edilen yöntemler mevcuttur. TS 13515 standardı betonda kullanılacak agregaların alkali silika reaksiyonuna karşı önlemler için önerilerde bulunmaktadır. Bu öneriler işlem sırasına göre, ilk EN 932-3'göre petrografik muayeneyi önermektedir. Petrografik muayenede, agreganın mineral bileşiminde alkali silika reaksiyonuna neden olabilecek zararlı bir minerale rastlanılmamışsa, TS 13515 standardı herhangi bir önlem almadan bu agregayı betonda kullanılabileceğini belirtmektedir. Şayet agregada, az miktarda da olsa zararlı mineraller içerdiği tespit edildiğinde, varsa agreganın daha önceki deneysel verilerinden veya arazi tecrübelerinden yararlanılmalıdır. Bu tür veriler yok ise agrega, öncelikle TS 2517'ye göre deneye tabi tutulmalıdır. Bu deney sonucuna göre zararsız bölgede çıkan agregalar büyük olasılıkla betonda zararlı reaksiyona neden olmaz ve zararsız kabul edilir (TS13515, 2014). Agregada, TS 2517'ye göre zararlı bölgede bulunduğu, betonda alkali silika reaksiyonuna sebep olacağı kabul edilir veya aşağıda verilen işlemler uygulanır veya herhangi bir ilave önlem alınmadan önce TS 13516 ve TS 13517'ye uygun olarak hızlandırılmış harç çubukları ve diğer beton deneylerine başvurularak deney sonuçları, alkali silika reaksiyonu bakımından değerlendirilir.

TS 13515'e göre Zararlı reaktif mineral içerdği belirlenen agregalar ile normal beton yapılması durumunda, tüm bileşenlerden gelen toplam alkali içeriği $3,0 \text{ kg/m}^3$ değerini aşmamalıdır. Alkali silika reaksiyonu bakımından yapılan inceleme sonucuna göre zararlı agregalar içerdği belirlenen özel beton yapılar için, kabul edilebilecek etki düzeyi belirlendikten sonra bu düzeydeki estetik görüntü hususu da dikkate alınmalıdır. Yukarıda elde edilen bilgilerden yararlanarak özel beton yapıları için ASR'ye karşı alınabilecek önlem derecesi belirlenmelidir. ASR bakımından zararlı olabilecek agregalar içerdği belirlenen özel beton yapılar için uygulanacak işlemlere, öncelikle beton yapının, ASR'yi tetikleme ihtimali olan, rutubetli ortama (XWO, XWF, XWA ve XWS) veya diğer zararlı bir ortama maruz kalıp kalmayacağına göre karar verilmelidir. Normal ve özel beton yapıları için ASR'yi en aza indirmek üzere, ilgili standartlara uygun bir puzolanik malzeme seçilmelidir. Hangi oranda puzolanik malzemenin ASR'yi en aza indirdiği veya önleyeceği TS 13517'ye göre harç ve/veya TS 13519'a göre beton deneyleri ile belirlenmelidir. Beton imalatında, kalkersi uçucu kül (W) içeren katkılı çimentoların kullanımından kaçınılmalıdır. Normal ve özel beton yapılarda, bir puzolanik malzeme, ASR'nin önlenmesinden farklı bir amaç için kullanılacaksa ve agregalar reaktif ise, ASR'nin gerekli oranda önlenmediği, harç veya beton deneyleri ile ispatlanmalıdır. Belirlenen oran tavsiye edilen en az orandan daha düşük ise puzolanik malzeme içindeki reaktif alkali miktarı tahmin edilmeli ve toplam alkaliye ilave edilmelidir. Normal ve özel beton yapılar için, beton yapı suya veya yüksek oranda rutubete maruz kalacaksa kullanılan agregalar karışımı içinde ortama alkali verebilecek tanelerin betona ne miktarda alkali salabileceği belirlenmelidir (TS 13515, 2014).

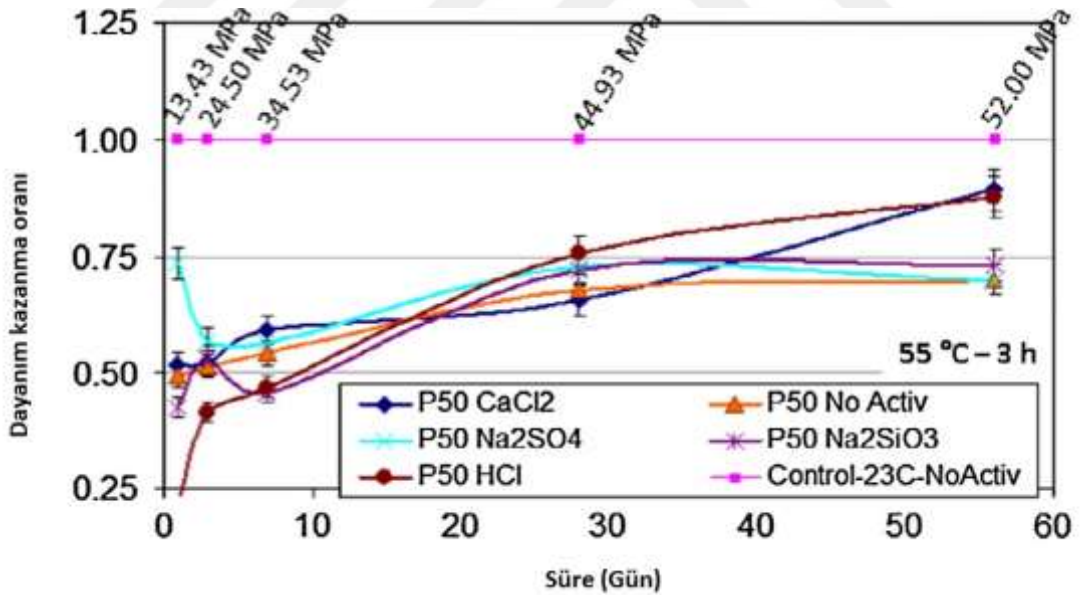
1.7. Literatür Özeti

Betondaki çimentonun hidratasyon ısısından kaynaklanan sorunların çözümünde başlıca kullanılan yöntem puzolan katkılı çimento ile hidratasyon ısısının düşürülmesidir. Çimentoda hidratasyon ısısı düşürmek taze betonun hidratasyon reaksiyonları sonucunda sertleşirken çatlak oluşumunu önlemekte kullanılan bir yöntemdir ancak bu yönteminde çimentodan dolayı betonda fazla miktarda dayanım kaybına neden olmaması gerekmektedir. Baran ve Pichniarczyk, Polonya' da farklı fabrikalarda üretilen CEM I, CEM III, CEM IV ve CEM V tipi çimentoları almış ve yarı adyabatik yöntemle 72 saate kadar bu çimentoların hidratasyon ısılarını ölçmüştür. Baran ve Pichniarczyk, basınç dayanımı ile hidratasyon ısısı arasında bir korelasyonun

olduğu, dayanımı yüksek olan çimentonun daha fazla hidrasyon ısısına sahip olduğunu belirtmiştir (Baran, 2017). Baran ve Pichniarczyk, 41 saatlik CEM I tipi çimentolarda hidrasyon ısılarını 291 J/g ile 349 J/g arasındaki değerlerde bulmuştur (Baran, 2017).

Han ve vd. yapmış oldukları çalışmada farklı oranlarda CEM I Portland çimentosuna uçucu kül ve kuvars tozu katarak ürettikleri çimentolarda 25, 45 ve 60 °C’de ki ortam sıcaklığında hidrasyon ısılarının nasıl etkilendiğini çalışmıştır. Ortam ısısının artmasının çimentonun toplam hidrasyon ısısını artırdığını belirtmiştir. Uçucu külün kısa sürelerde hidrasyon reaksiyonlarını yavaşlattığından çimentonun hidrasyon ısısını düşürdüğünü belirtmiştir (Han, 2017).

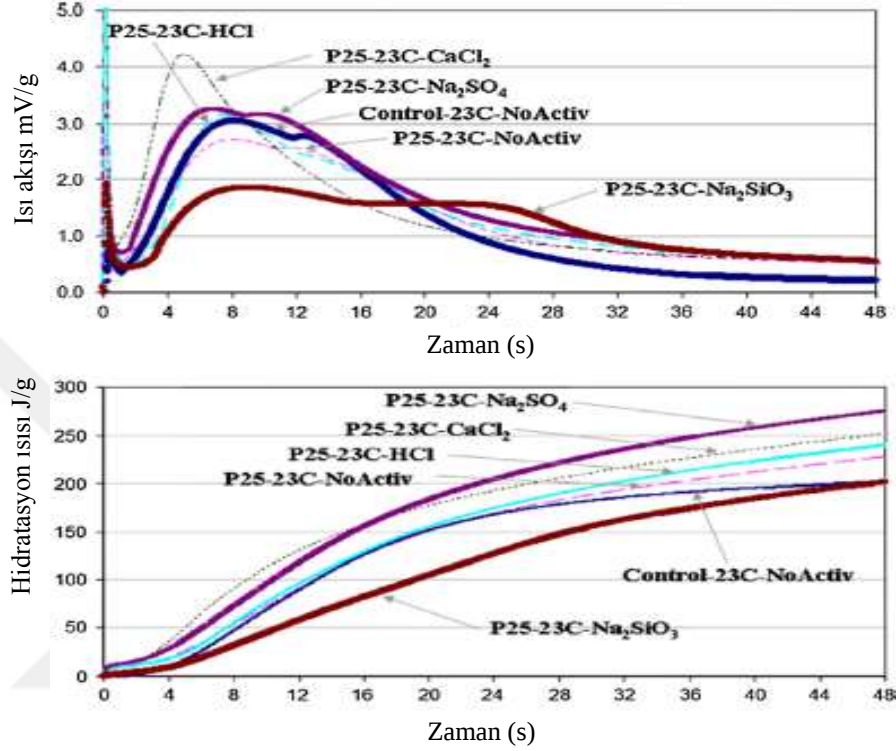
Erdoğan ve Sağlık (2013) ise perlit katkılı çimentoların ilk yaşlardaki çimento hamurunun aktivasyonuna etkisini ve perlitin çimentonun hidrasyon ısısını nasıl etkilediğini araştırmıştır (Erdoğan ve Sağlık 2013).



Şekil 2. Farklı oranlarda Perlit katkılı çimentoların zamanla dayanım kazanma oranı (Erdoğan, 2013)

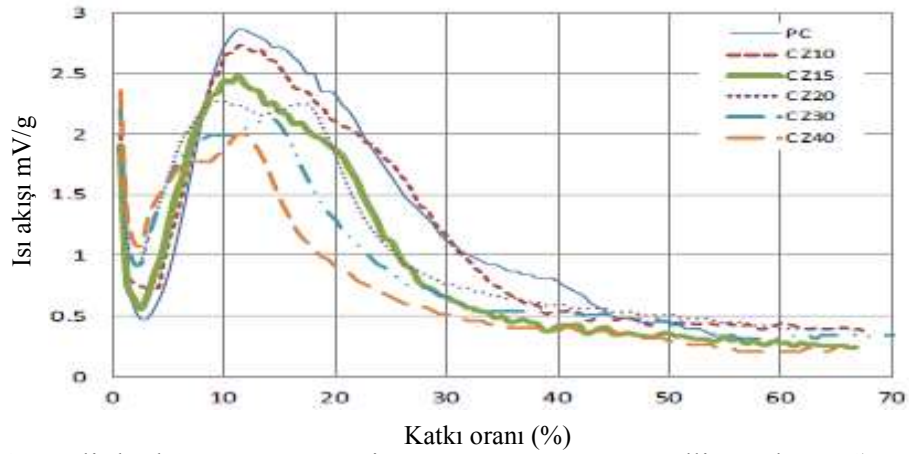
Puzolanların çimento üzerindeki olumsuz etkilerinden başlıcaları çimentonun dayanımını azaltması ve priz alma süresini uzatmasıdır. Bu amaçla puzolanın inceliğinin ve reaktifliğinin artırılması için çalışmalar yapılmaktadır (Erdoğan, 2013). Şekil 2’deki grafik puzolan içermeyen çimentonun %50 puzolanlarla ikame edilmiş

çimento ile dayanım oranları ve değişik aktivasyon maddeleri kullanılarak puzolanlı çimentonun katkısız çimentoya göre basınç dayanım oranındaki günlere göre değişimleri görülmektedir (Erdoğan, 2013). Bu çalışmalarla puzolanların çimentodaki dayanım azalması önlenmek istenmektedir.



Şekil 3. Farklı oranlarda perlit katkılı çimentoların hidratasyon ısı ve ısı akışı (Erdoğan ve Sağlık, 2013)

Şekil 3’de Erdoğan ve Sağlık (2013), belli oranlarda perlit ikamesinin çimento hidratasyon ısını nasıl etkilediğini grafik üzerinde gösterdi. Şekil 3’de çimentonun 40 saatlik hidratasyon ısını 200 J/g, %25 oranında perlit ikameli çimentonun 40 saatlik hidratasyon ısını yaklaşık 180 J/g’değerlerinde bulduğu görülmektedir. Thongsanitgarn vd. (2014) uçucu kül ve kireç taşı tozunun katkılı çimentolarda izotermal kalorimetriyle yapmış olduğu hidratasyon ısı tayinlerinde kireçtaşı tozu inceliğinin artmasının katkılı çimentonun hidratasyon ısını artırdığını belirtmektedir (Thongsanitgarn vd.,2014). Böylelikle puzolan inceliği ile hidratasyon ısı arasında ilişki bulunduğunu belirtmektedir. Tydlitat vd. (2014) zeolitin izotermal kalorimetre ile hidratasyon ısını araştırdılar ve çimentoya zeolit katkısının hangi oranda hidratasyon ısını azalttığını tespit etmişlerdir. Zeolit katkı oranına göre zamanla hidratasyon ısısındaki değişmeyi Şekil 4’teki gibi saptamışlardır (Tydlitát vd.,2014).



Şekil 4. Zeolit katkı oranına göre çimentodaki ısı akışı (Tydlitát vd.,2014).

Bu konu ile ilgili yukarıda verilen çalışmalardan da görüldüğü üzere puzolanların hidrasyon ısısı sürekli çalışılmakta olan güncel konular arasındadır .(Erdoğan, 2013- Tydlitát vd.,2014). Çimentonun hidrasyon ısını düşürmek özellikle kütle betonları ve kalın boyutlu yapı elemanları betonlarında çok önem arz etmektedir. Konuyla ilgili literatür araştırıldığında uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı, perlit, zeolit ve birçok puzolanın hidrasyon ısısı araştırılmıştır. Fakat obsidyen taşının hidrasyon ısısı ve inceliğine bağlı olarak puzolanik aktivitesine dair literatürde çalışmaya rastlanmamaktadır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada deneysel araştırma yöntemi kullanılmıştır. Deneysel araştırma kapmasında üç farklı inceliğe sahip uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve Obsidyen ilaveli çimentolarda TS EN 196-8 ve TS EN 196-9'a göre hidratasyon ısıları ölçülmüştür. Uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve obsidyen ilaveli çimentolarla üretilen harç numunelerde eğilme ve basınç dayanımları ile ASTM C 1260 standartına göre harç çubukların genleşme miktarları tespit edilmiştir.

2.1. Çalışmada Kullanılan Bağlayıcılar

Çalışmada, Ünye Çimento Fabrikası'nın CEM I 42,5 R tipi 50 kg paketlenmiş torba halindeki çimentosu kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan uçucu kül, Tunçbilek Termik Santrali'nden, yüksek fırın cürufu ise Karabük Demir Çelik Fabrikası'nın cürufu olup Akçansa Çimento Fabrikası'ndan temin edilmiştir. Bağlayıcılara ait kimyasal bileşim ve puzolanlara ait reaktif silis içerikleri Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan çimento, obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun kimyasal bileşimi

	Çimento	Obsidyen (Kırmızı)	Obsidyen (Siyah)	Uçucu kül	Yüksek fırın cürufu
CaO	64,60	0,88	0,87	4,5	35,30
SiO ₂	19,30	73,80	74,10	52,70	38,60
Al ₂ O ₃	5,17	13,80	13,80	18,00	11,40
Fe ₂ O ₃	3,55	1,57	1,43	12,60	0,58
MgO	1,05	0,16	0,14	4,79	7,92
K ₂ O	1,16	4,86	4,88	1,87	1,45
Na ₂ O	0,46	4,11	4,08	0,74	0,29
P ₂ O ₅	0,077	0,017	0,015	0,126	0,003
SO ₃	2,860	0,006	0,005	1,64	3,43
TiO ₂	0,14	0,15	0,14	0,76	0,44
Sr	0,009	0,015	0,014	0,026	0,058
Cr ₂ O ₃	-	0,09	0,07	0,10	-
MnO	0,23	0,06	0,06	0,15	1,40
LOI	2,81	0,21	0,03	1,47	1,08
Reaktif silika içeriği		40,18	40,13	49,48	40,74
TOPLAM	101,45	99,4	99,55	99,56	100,77

Tablo 1’de çalışmada kullanılan çimento, obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun kimyasal bileşimi görülmektedir. Arazideki obsidyenler kırmızı, siyah ve kırmızı-siyah renkli olduklarından kırmızı ve siyah renkli obsidyenlere ayrı ayrı kimyasal analiz yapılmıştır. Böylelikle farklı renkli obsidyenin çimentoda farklı etkiye sahip olup olmadığı kontrol edilmiştir. Tablo 1’de kırmızı ve siyah renkli obsidyenlerin kimyasal bileşiminin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 5. Obsidyenin arazideki görüntüsü

Şekil 5’te görülen yol şevi obsidyenden oluşmaktadır. Şekil 5’te görülen obsidyenden oluşmuş şev insan boyu ile karşılaştırıldığında yaklaşık altı metre kalınlığa kadar ulaşmaktadır. Obsidyen bulunan yüzeylerde herhangi bitki türünün yetişmediği Şekil 5’te görülmektedir.



Şekil 6. Döküntü şeklinde arazide birikmiş obsidyenler

Şekil 6’te Rize İkizdere mevkisindeki yığıntı şeklinde bulunan obsidyenler görülmektedir. İncelemenin yapıldığı bu arazide oldukça kalın ve geniş araziye yayılmış masif ve döküntü şeklinde obsidyenler mevcuttur. Şekil 6’te görülen obsidyen yapısı tıpkı kırık cam gibi oldukça keskin özellikte olup insan ve hayvanın bu bölgede dolaşması tehlike arz etmektedir.



Şekil 7. Araziden obsidyenin alınması

Şekil 7’de görülen obsidyen araziden toplanıp laboratuvara götürüldü.



Şekil 8. Çeneli kırıcılar

Araziden toplanan obsidyenlerde Şekil 8’deki çeneli kırıcıda kırılmıştır.



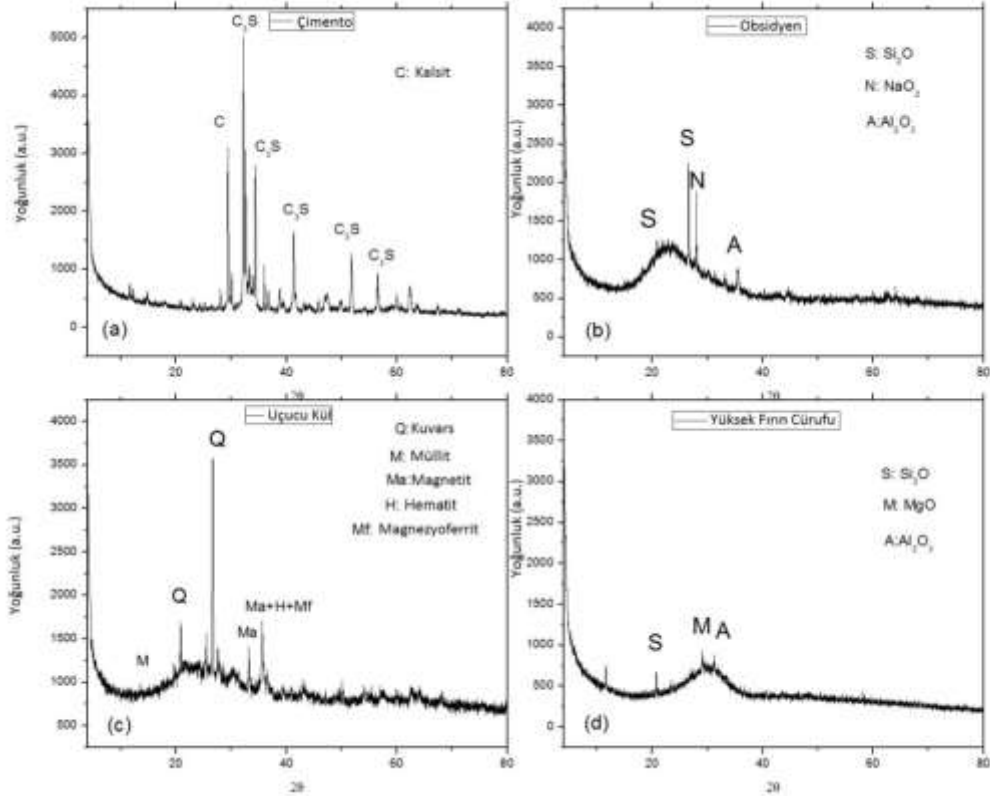
Şekil 9. Obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun öğütüldüğü bilyeli değirmen

Şekil 9'daki bilyeli değirmende intenilen inceliğe kadar obsidyen öğütüldü. Yapılan ön çalışma sonucu 45, 60 ve 75 dakika bilyeli değirmende öğütülmüş obsidyenler hidrasyon ısısı tayinlerinde kullanıldı. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufunda da 20 ve 40 dakika öğütülerek üç farklı incelikte çimento ile ikame edilerek hidrasyon ısı ölçümlerinde uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ilaveli çimentolar kullanıldı.

2.2. Çalışmada Kullanılan Çimento, Obsidyen, Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufunun Yapısı

Şekil 10'de çimento, obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun XRD analizi görülmektedir. Şekil 10 (a)'da çimentonun XRD analizinde diğer fazlara oranla daha çok Alit'e (C_3S) rastlanmıştır. Şekil 10 (a) XRD deseni tipik bir Portland çimentosuna uygun kristallenmiş yapıdadır. Safsızlık fazında alkaliler, sülfat ve Tablo 1'de belirtilen diğer bileşiklerin kristal yapılarına ait izlere raslanmaktadır. Şekil 10 (b)'nin XRD deseninden tipik amorf yapıya ait bir malzeme olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanında obsidyende amorf matrise gömülü olarak silis, alümin ve sodyum oksit en belirgin minerallerdir. Şekil 10 (c)'de uçucu külde kuvars pikinin en belirgin ana faz olduğu ve safsızlık fazları ise mullit, magnetit, hematit ve magnezyum ferrit fazlarıdır.

Şekil 10 (d)'de yüksek fırın cürufunun XRD analizinde en belirgin peaklerin silis, magnezyum oksit ve alüminyum oksit olduğu görülmektedir. Şekil 10'de XRD analizinde Tablo 1'deki kimyasal bileşime uygun oksit ve bileşiklere rastlanmıştır. Obsidyenin XRD'si uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi çimentoda puzolan olmaya müsait amorf yapıya sahip bir madde olduğu görülmektedir.



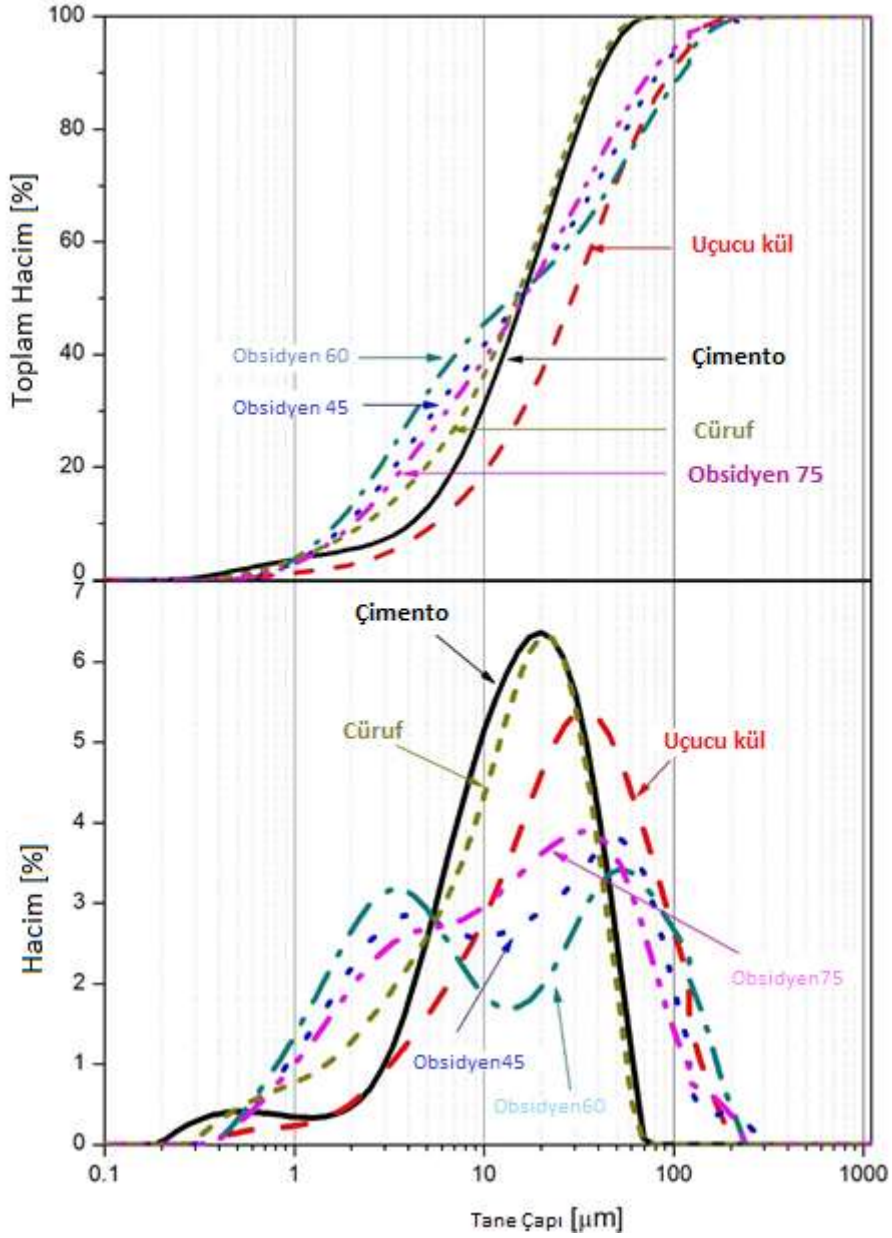
Şekil 10. XRD analizi (a) Çimento (b) Obsidyen (c) Uçucu kül (d) Yüksek fırın cürufu

Obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu bilyeli değirmende öğütülerek istenilen inceliğe getirildi. İncelik ölçümleri elek analizi ve otomatik Blaine cihazıyla yapılmıştır.

Tablo 2'de bağlayıcıların incelikleri görülmektedir. Tablo 2'de obsidyen45 şeklindeki gösterimde 45 rakamı dakika cinsinden obsidyenin bilyeli değirmende öğütülme süresini göstermektedir.

Tablo 2. Bağlayıcılara ait incelik değerleri

Malzeme	Elek üstünde kalan (%)			Blaine İnceliği (cm ² /gr)
	200 mikron	90 mikron	45 mikron	
Obsidyen45	0	6	42	4746
Obsidyen60	0	3	33	5497
Obsidyen75	0	2	27	6122
Obsidyen 45(red)	0	6	41	4764
Uçucu kül	0	0	9	4254
Uçucu kül20	0	0	8	5272
Uçucu kül40	0	0	7	6667
Yüksek fırın cürufu	0	0	10	4666
Yüksek fırın cürufu20	0	0	8	5561
Yüksek fırın cürufu40	0	0	7	6014
Çimento	0	0	20	4424



Şekil 11. Uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve obsidyenin tane dağılımı

Şekil 11’de uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve obsidyenin tane dağılım eğrileri lazer difraksiyon metoduyla yapılmıştır.

2.3. Çalışmada Uygulanan Deneyler

CEM I 42,5 R tipi çimento ve bu çimentoya belirlenen oranlarda 45 dakika öğütülmüş (Obsidyen45), 60 dakika öğütülmüş (Obsidyen60), 75 dakıda öğütülmüş (Obsidyen75) obsidyen, uçucu kül, 20 dakika öğütülmüş (Uçucu kül20), 40 dakika öğütülmüş (Uçucu kül40), yüksek fırın cürufu, 20 dakika öğütülmüş (Yfc20), 40 dakika

öğütülmüş (Yfc40) yüksek fırın cürufu %20, %30 ve %50 oranında katılarak üretilen çimentoların hidratasyon ısıları TS EN 196-8 ve TS EN 196-9'a göre ölçülmüştür.

Obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırını ilaveli çimentoların agreganın alkali silika reaktifliğini nasıl etkilediğini belirlemek için ASTM C 1260'a göre deney yapılmıştır. ASTM C 1260 standardı agreganın reaktif silis içerip içermediğinin tayininde kullanılan hızlandırılmış alkali silika reaksiyonu deneyidir. Bu çalışmada TS EN 196-1'e harç numune üretiminde kullanılan standart kum elenerek yeni agregaya üretilmiştir. Tablo 3'deki değerler ASTM C 1260'e göre uygun olan agregaya granülometrisidir.

Tablo 3. ASTM C1260 e göre agregaya granülometrisi

Elekt ebadı	Elektlerde kalan agregaya yüzdesi %
4,75mm-2,36mm	%10
2,36mm-1,18 mm	%25
1,18mm-600µm	%25
600µm-300 µm	%25
300 µm-150 µm	%15

Tablo 3'de granülometrisi verilen 990 gram agregaya, 440 gram çimento ve 206,8 gram su (0,47 Su/Çimento oranında) ile karıştırılıp 25x25x285 mm ebadına sahip harç çubuklar üretilmiştir. Bu numuneler ilk 24 saat uygun nem ve sıcaklıktaki iklimlendirme kabiniinde bekletildikten sonra 1 günde 80 °C'de bekletilip Şekil 12'deki sıcaklığı 80 °C'a ayarlı 1 litreye 40 gram NaOH katılmış çözeltiye konulmuştur. 3 gün, 7 gün ve 14 günlük harç numunelerinin boyları Şekil 13'deki cihazla ölçülmüştür. İlk numune hazırlanması ve ölçümler toplam 16 gün olmaktadır.



Şekil 12. Alkali silika reaksiyonu harç çubukların bekletildiği ısısı ayarlanabilir tank



Şekil 13. Alkali silika reaksiyonu harç numunenin boyunun ölçüm cihazı

Bu çalışma kapsamında TS EN 196-1'e göre eğilme ve basınç dayanımları ölçüldü.



Şekil 14. Harç numune hazırlanışı ve deney düzeneği



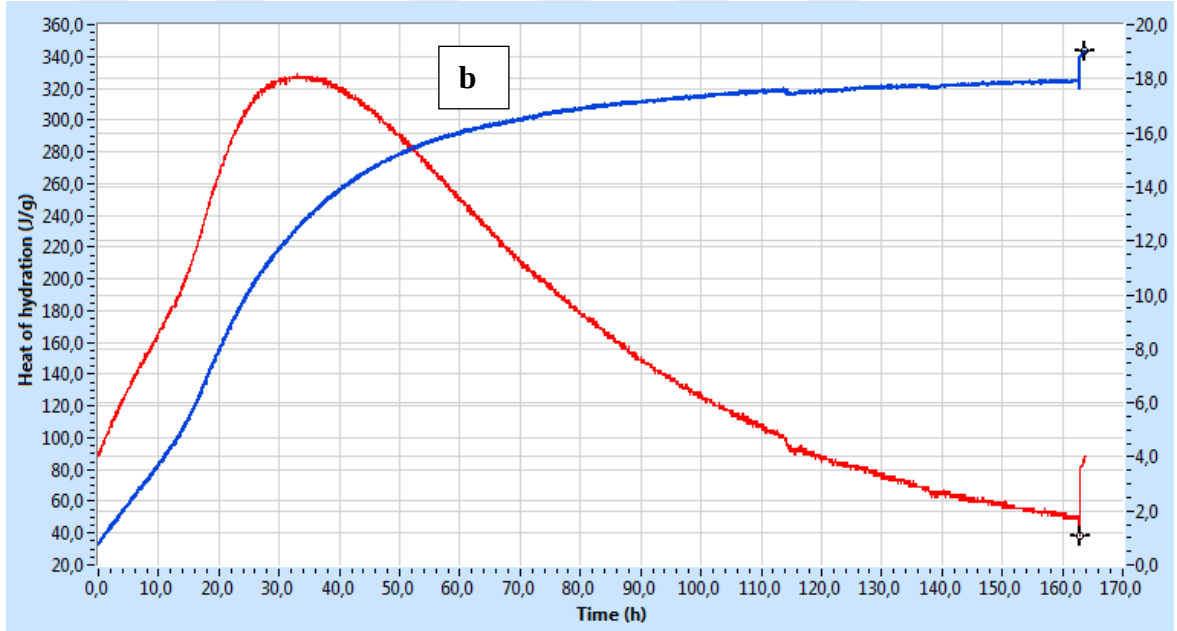
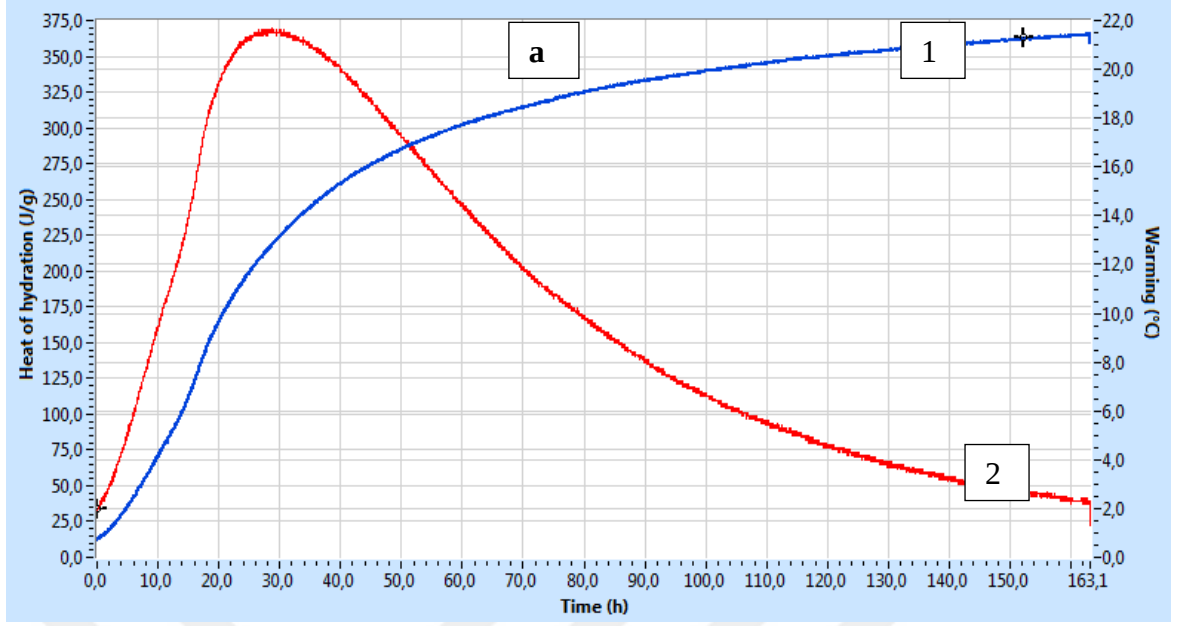
Şekil 15. 2, 7 ve 28 günlük eğilme ve basınç deneylerinin yapıldığı cihaz

3. BULGULAR

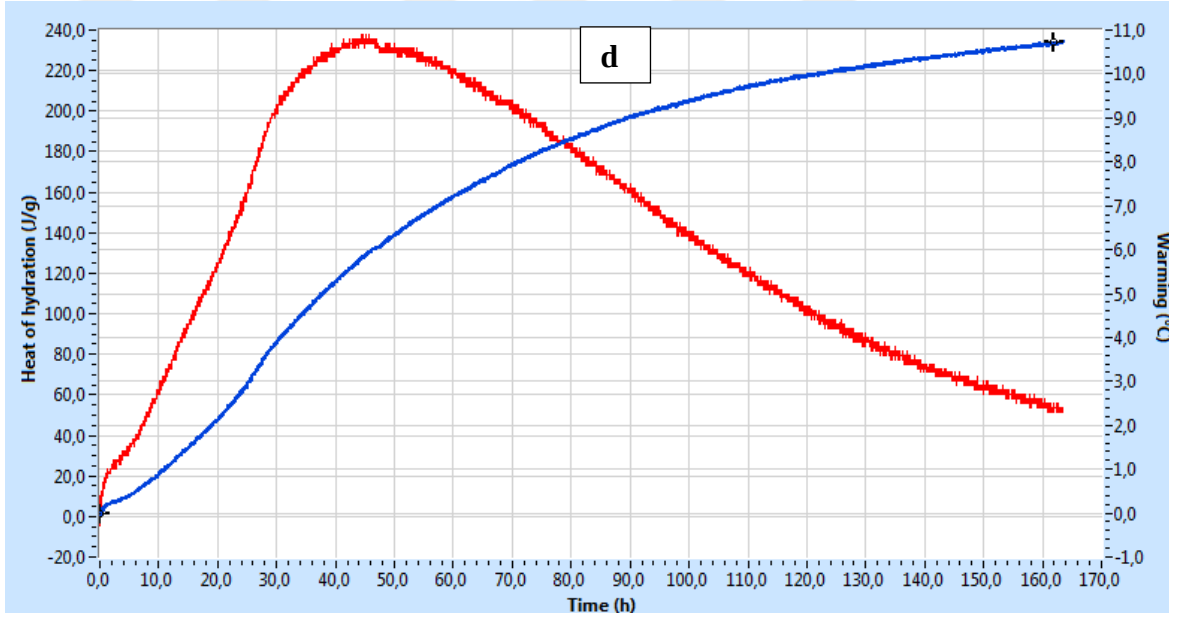
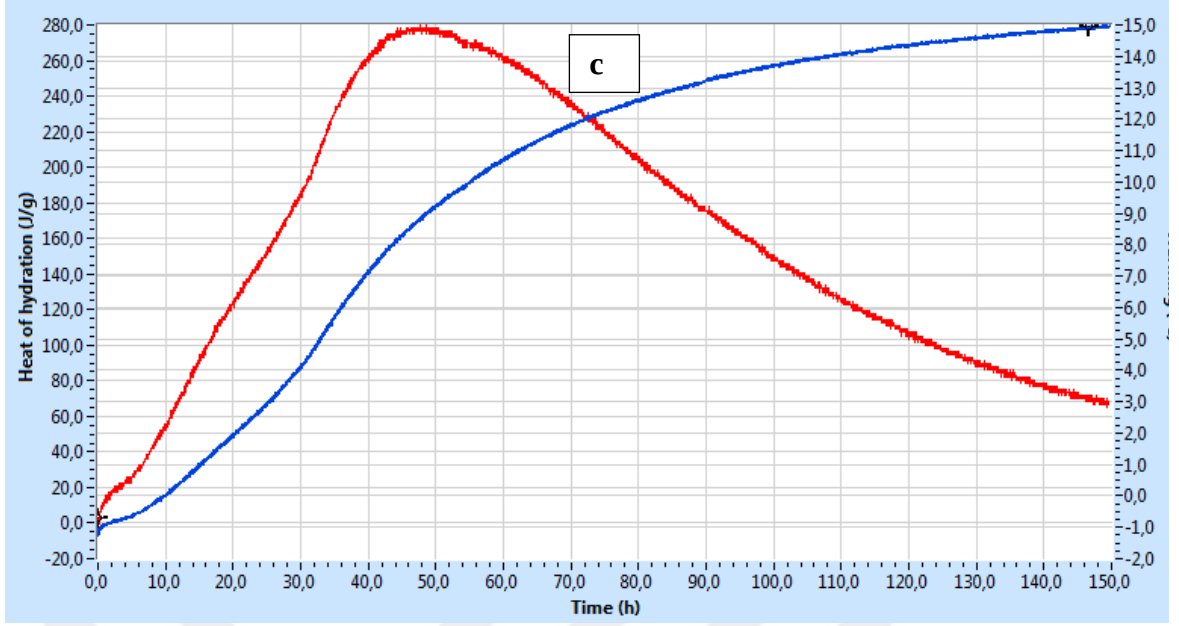
Bu deneysel araştırma çalışmasında obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırını ilaveli çimentolar ile katkı içermeyen çimentolarda hidratasyon ısısı, bu çimentolarla üretilen harç numunelerinde eğilme ve basınç deneyleri, genleşme miktarları ölçülmüştür.

3.1. Çimentoların TS EN 196-9 ve TS EN 196-8'e Göre Hidratasyon Isısı Ölçümleri

Şekil 22'de TS EN 196-9'a göre CEM I 42,5 R çimentosunda ve bu çimentoya %20, %30 ve %50 oranında 45 dakika öğütülmüş obsidyen ilave edilerek hazırlanmış çimentolarda hesaplanan hidratasyon ısıları ve ısı artışları görülmektedir. Şekil 16'deki yatay eksen süreyi, sol düşey eksen hidratasyon ısını ve sağ düşey eksen sıcaklık artışını göstermektedir. Şekil 16 (a)'da 1 rakamı ile gösterilen eğriden sol düşey eksenden hidratasyon ısısı değeri okunmaktadır. Şekil 16 (a)'da 2 ile gösterilen eğriden ölçüm yapıldığı süredeki sıcaklık değişimini sağdaki düşey eksenden okunmaktadır. Şekil 16 (a)'da puzolan içermeyen CEM I 42,5 R tipi çimentonun hidratasyon ısısı görülmektedir. Şekil 16 (b)'de % 20 obsidyen45, Şekil 16 (c) %30 obsidyen45 ve Şekil 16 (d) %50 obsidyen45 ilaveli çimentolardaki 163. saatlık hidratasyon ısısı ve ısı değişimleri görülmektedir. Şekil 16'da obsidyen katkı oranı arttıkça çimentonun hidratasyon ısısı düşmektedir. Şekil 16'da 45 dakika öğütülmüş obsidyen ilaveli çimentoda obsidyen oranı arttıkça harçtaki en yüksek ısı miktarı 30 saatten 40 saate doğru kaymıştır.

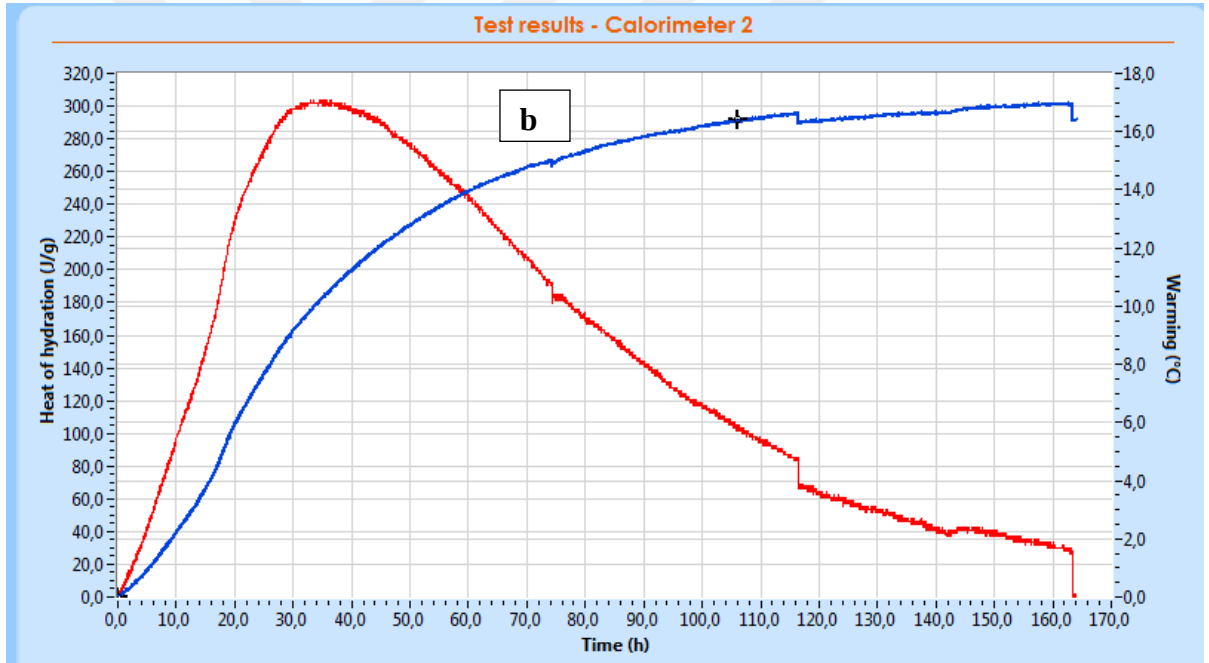
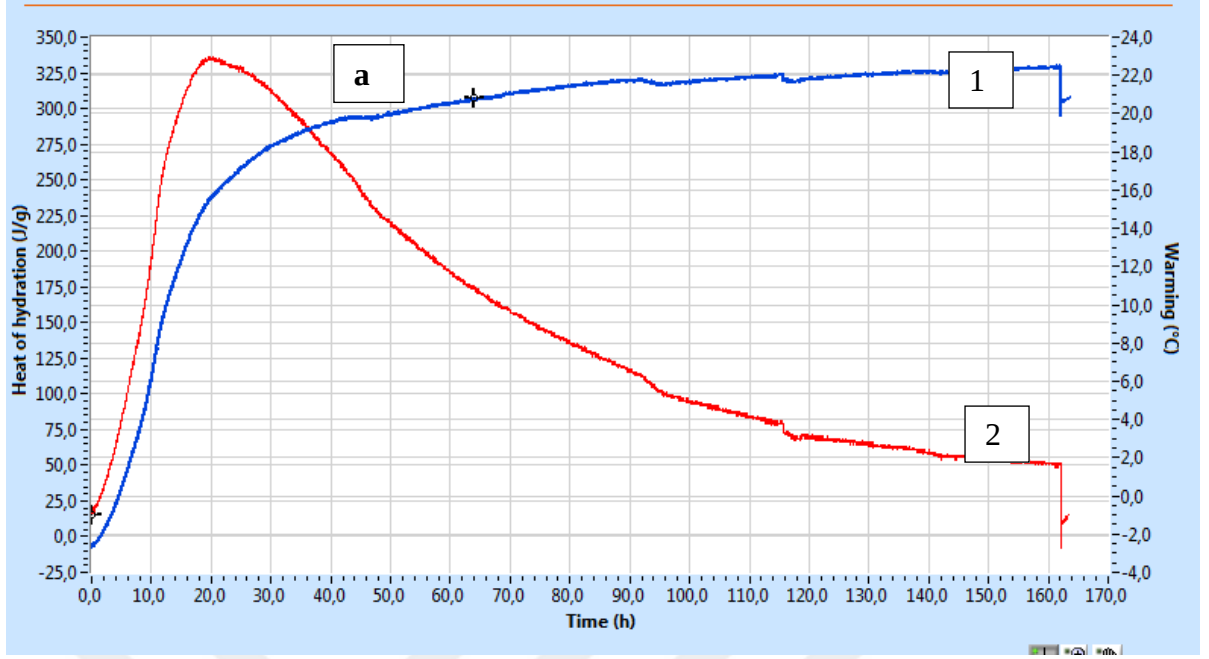


Şekil 16. a) CEM I 42,5 R çimentosunun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları
b) %20 Obsidyen45 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları

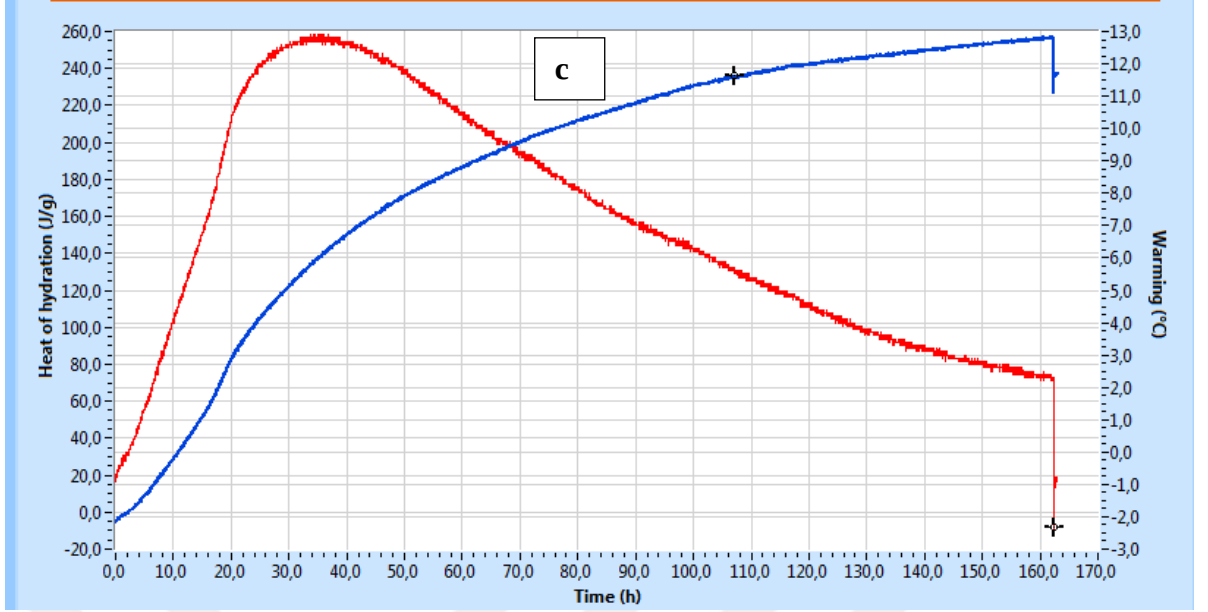


Şekil 16 (devam). c) %30 Obsidyen45 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları
d) %50 Obsidyen45 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları

Şekil 17'de TS EN 196-9'a göre CEM I 42,5 R çimentosunda ve bu çimentoya %20, %30 ve %50 oranında 60 dakika öğütülmüş obsidyen ilave edilerek hazırlanmış çimentolarda hesaplanan hidratasyon ısıları ve ısı artışları görülmektedir. Şekil 17'de obsidyen katkı oranı arttıkça çimentonun hidratasyon ısısı düşmüştür. Şekil 17'de inceliği fazla olan obsidyen Şekil 16'daki inceliği az obsidyene göre hidratasyon ısısında artış meydana getirmiştir.

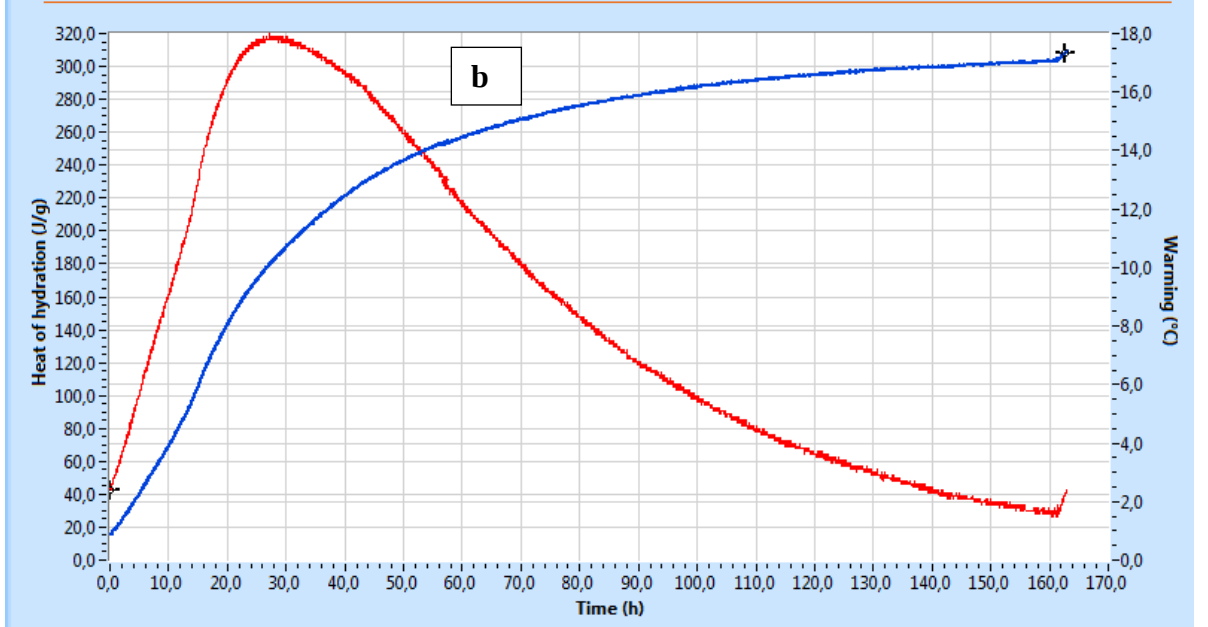
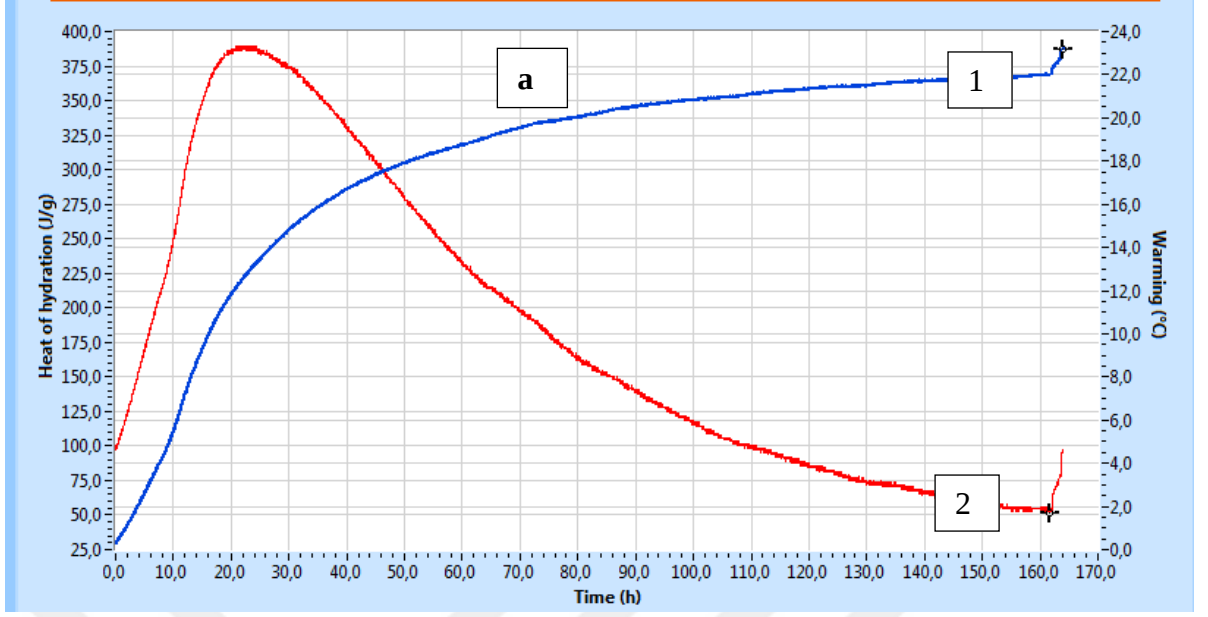


Şekil 17. a) %20 Obsidyen60 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidrasyon ısıları
b) %30 Obsidyen60 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidrasyon ısıları

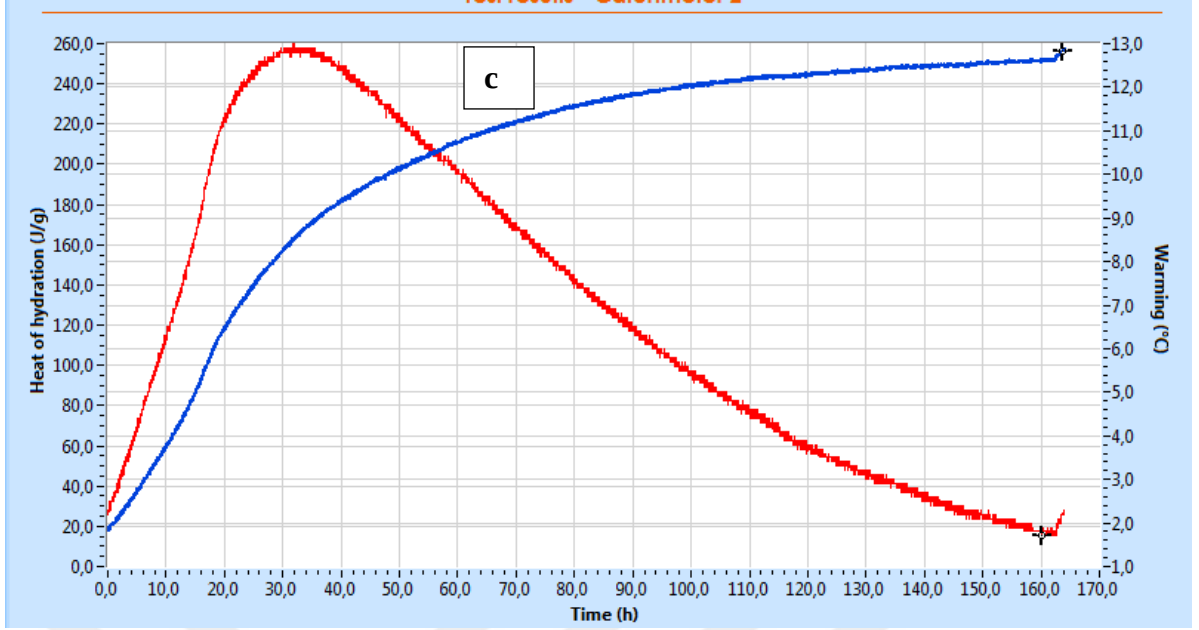


Şekil 17 (devam). c) %50 Obsidyen60 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları

Şekil 18'de TS EN 196-9'a göre CEM I 42,5 R çimentosunda ve bu çimentoya %20, %30 ve %50 oranında 75 dakika öğütülmüş obsidyen ilave edilerek hazırlanmış çimentolarda hesaplanan hidratasyon ısıları ve ısı artışları görülmektedir. Şekil 18'de sağ sütundan okunan en fazla sıcaklık artışının %20 obsidyenli numunelerde iken 22 °C, %30 obsidyen ilavelilerde 17°C ve %50 obsidyen ilavelilerde en düşük değerde 13 °C olduğu görülmektedir. Bu durum puzolan ilavesi harcın sıcaklığını net olarak düşürdüğünü göstermektedir. % 20 obsidyen75 ilaveli çimetonun hidratasyon ısısı katkısız çimento ile aynı olduğu Şekil 18 ile Şekil 16 (a) kıyaslandığında görülmektedir. Çimento heterojen bir malzeme olması nedeni ile puzolan katkı miktarı az ve inceliği fazla olduğunda 160 saat sonunda obsidyen katkılı ile katkısız çimento eşit hidratasyon ısısına sahip olabilmektedir.

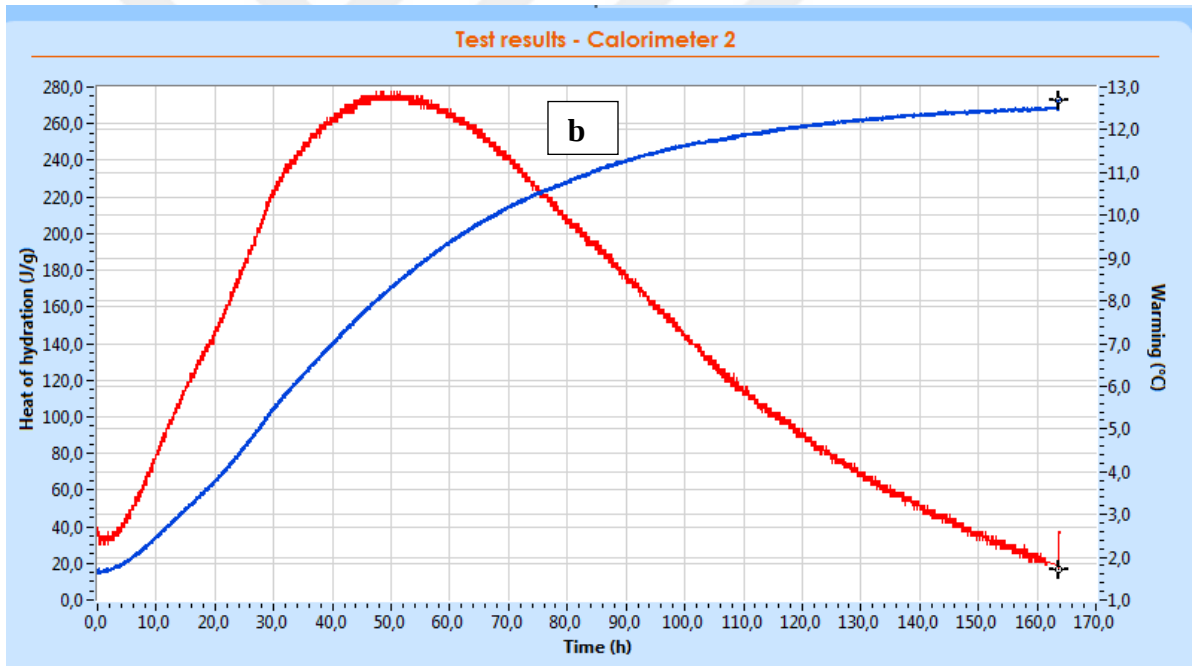
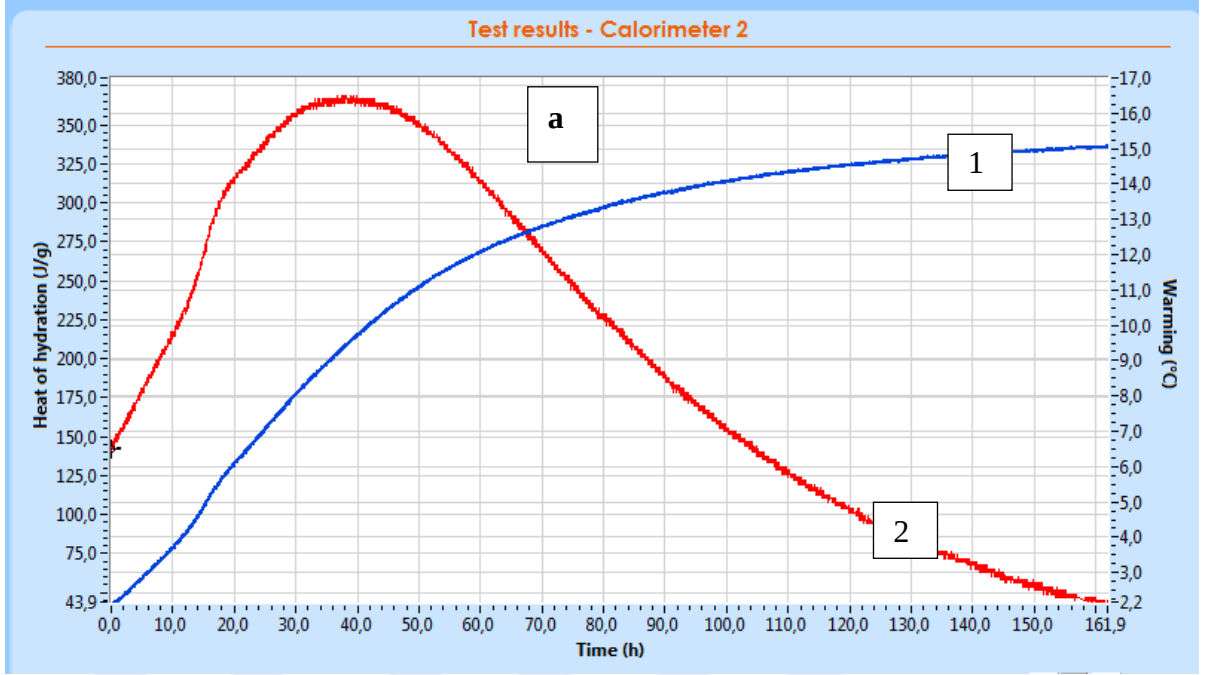


Şekil 18. a) %20 Obsidyen75 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidrasyon ısıları
b) %30 Obsidyen75 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidrasyon ısıları

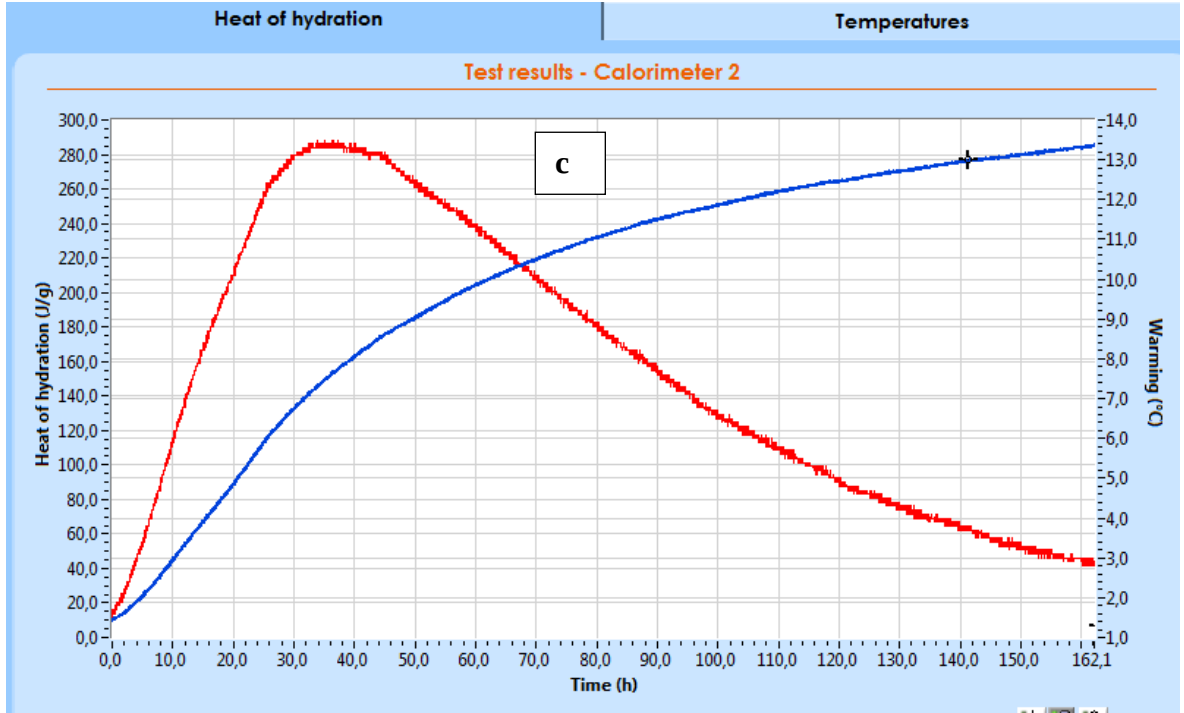


Şekil 18 (devam). c) %50 Obsidyen75 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları

Şekil 19'da TS EN 196-9'a göre CEM I 42,5 R çimentosunda ve bu çimentoya % 20, % 30 ve % 50 oranında yüksek fırın cürufu ilave edilerek hazırlanmış çimentolarda hesaplanan hidratasyon ısıları ve ısı artışları görülmektedir. Yüksek fırın cürufu ilaveli çimentoların hidratasyon ısıları obsidyen ilaveli çimentolara benzer şekilde seyretmiştir.

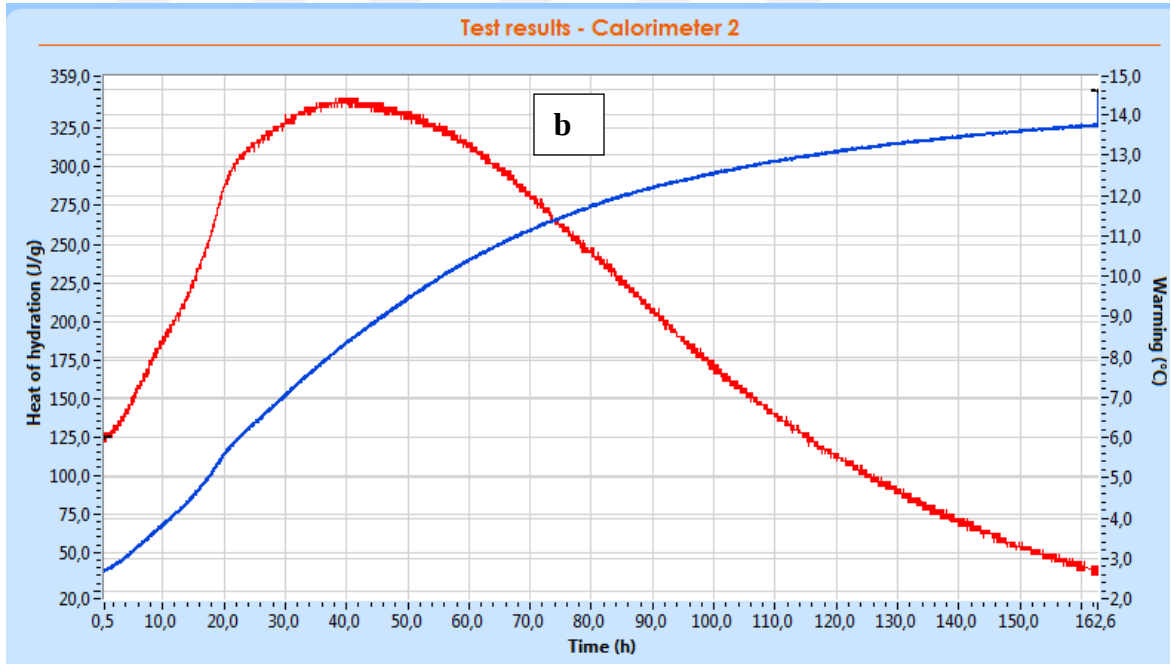
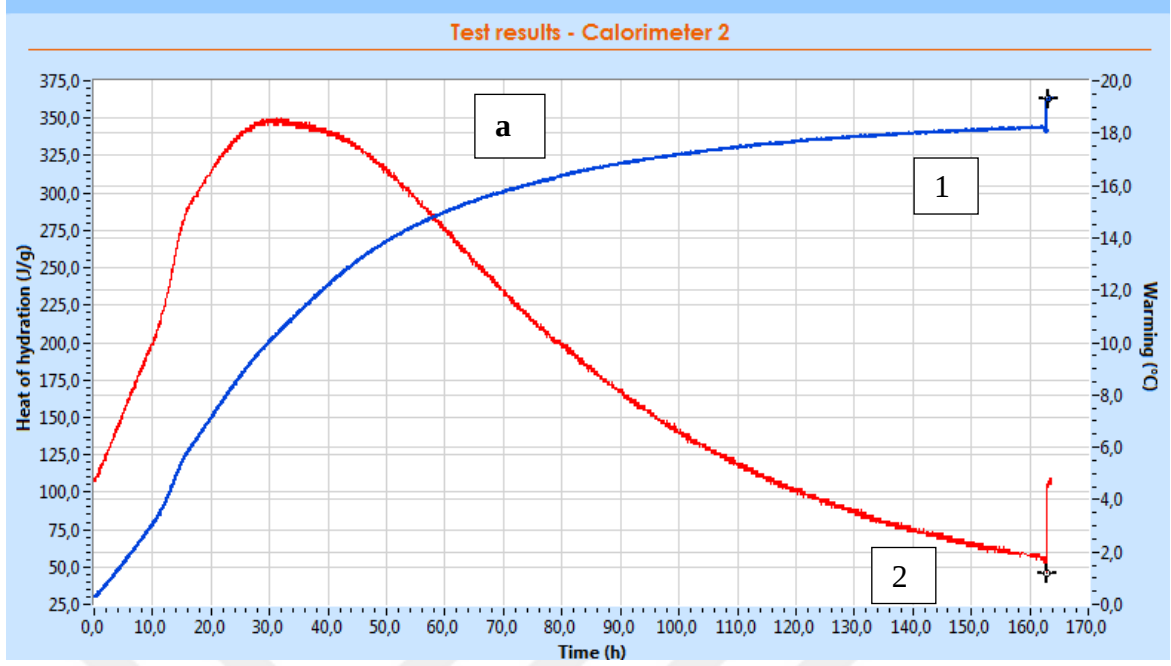


Şekil 19. a) %20 Yüksek fırın cürufu ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları
b) %30 Yüksek fırın cürufu ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları

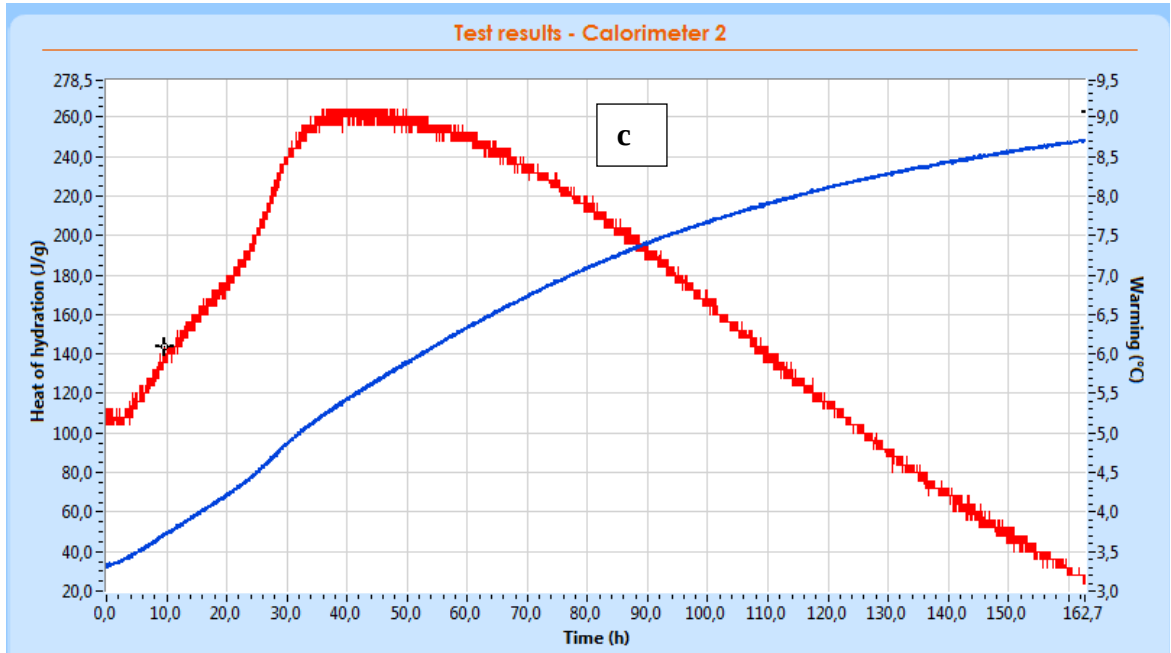


Şekil 19 (devam). c) %50 Yüksek fırın cürufu ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidrasyon ısıları

Şekil 20 (a)'da şekil 20'de kullanılan yüksek fırın cürufunun 20 dakika öğütüldükten sonra %20 yüksek fırın cürufu ilaveli, şekil 20 (b)'de %30 yüksek fırın cürufu ilaveli ve şekil 20 (c)'de %50 yüksek fırın cürufu ilaveli çimentolarda ölçülen hidrasyon ısısının ve sıcaklık artışının zamana bağlı değişimi görülmektedir.

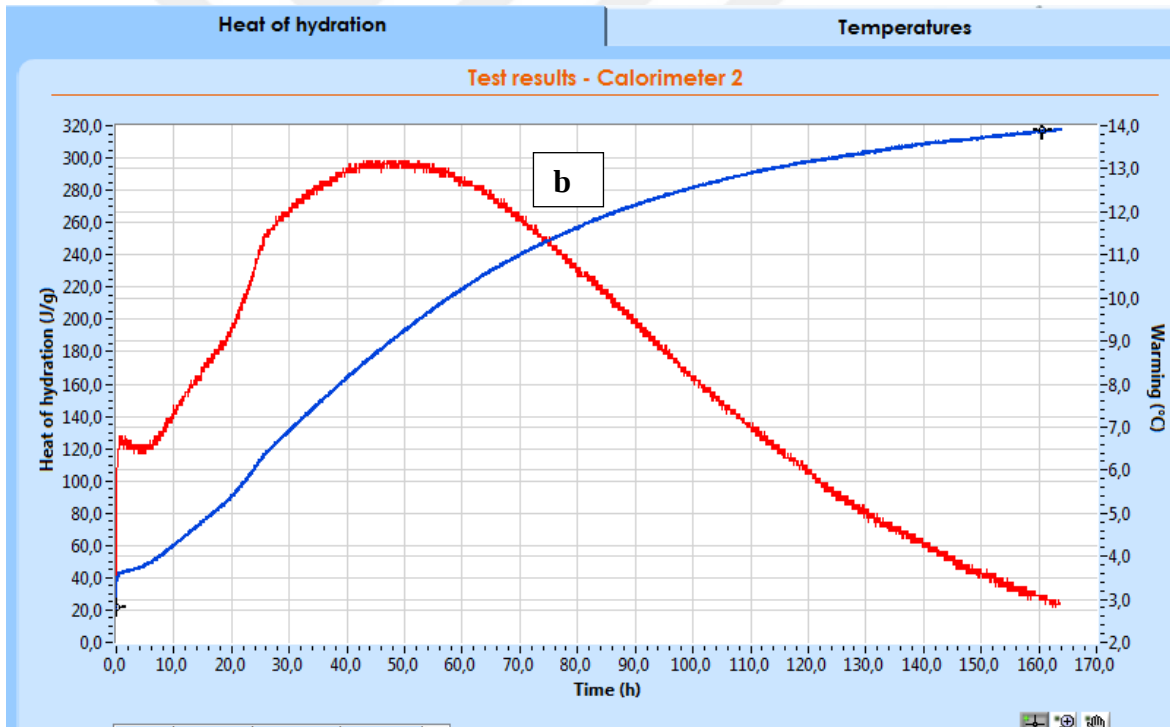
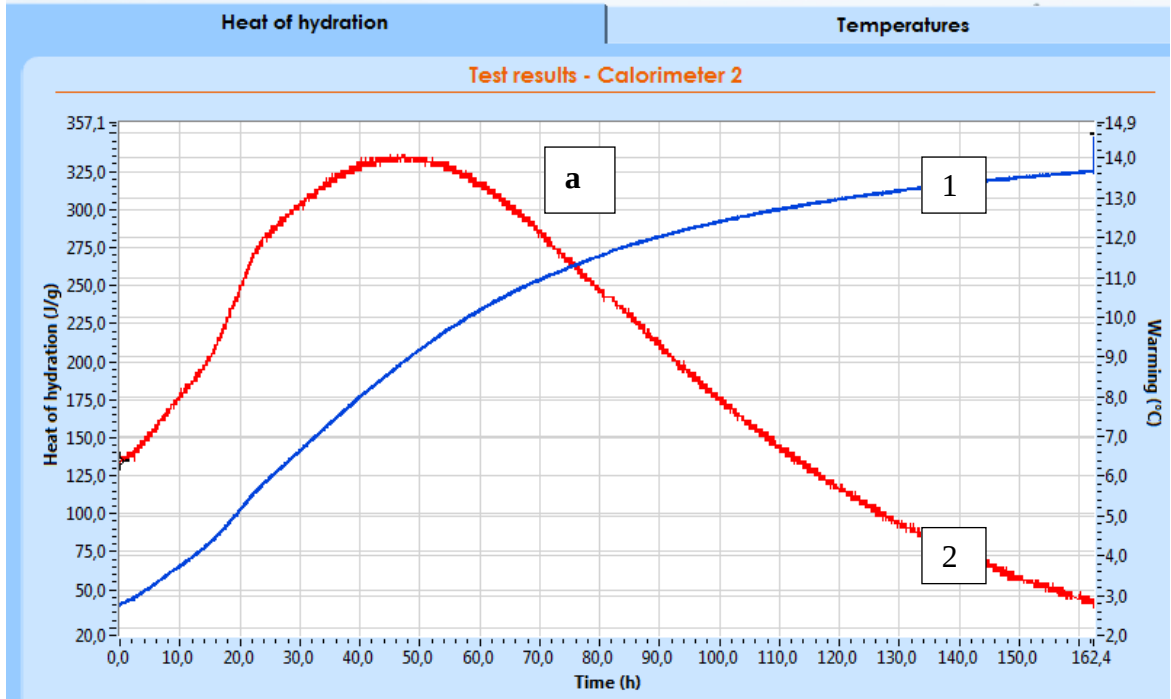


Şekil 20. a) %20 Yüksek fırın cürufu20 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidrasyon ısıları
b) %30 Yüksek fırın cürufu20 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidrasyon ısıları

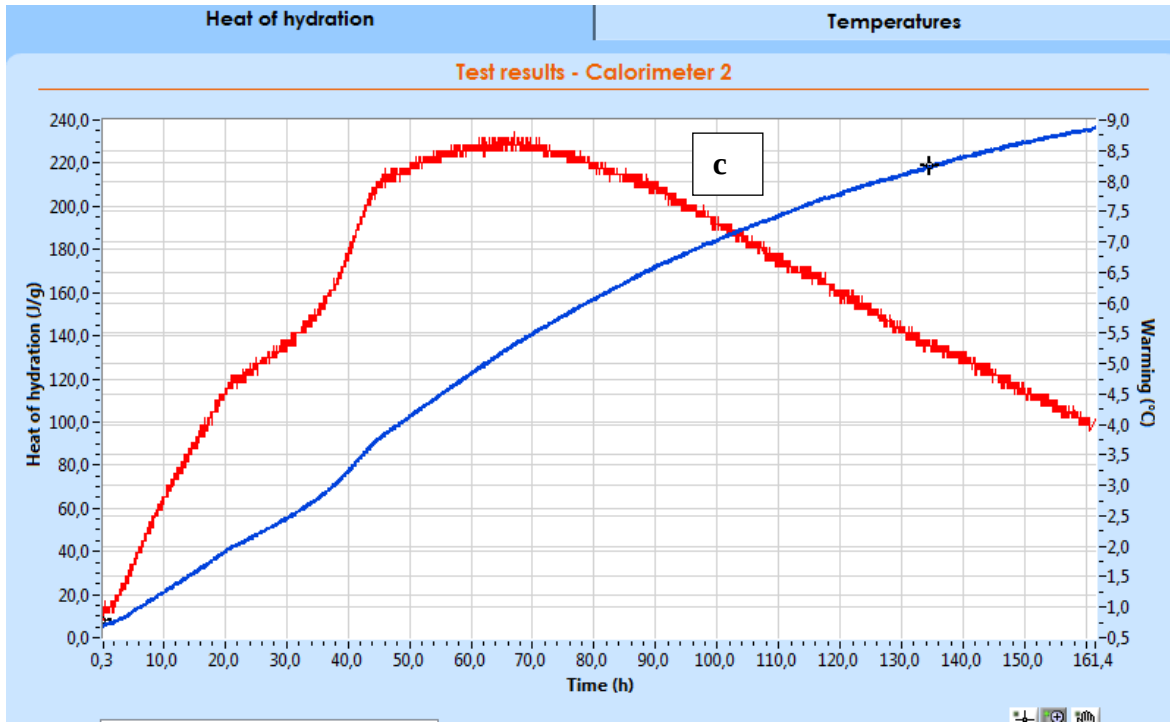


Şekil 20 (devam). c) %50 Yüksek fırın cürufu20 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları

Şekil 21 (a)'da Şekil 19'da kullanılan yüksek fırın cürufunun 40 dakika öğütüldükten sonra % 20 yüksek fırın cürufu ilaveli, Şekil 21(b)'de %30 yüksek fırın cürufu ilaveli ve Şekil 21(c)'de %50 yüksek fırın cürufu ilaveli çimentolarda ölçülen hidratasyon ısısının ve sıcaklık artışının zamana bağlı değişimi görülmektedir.

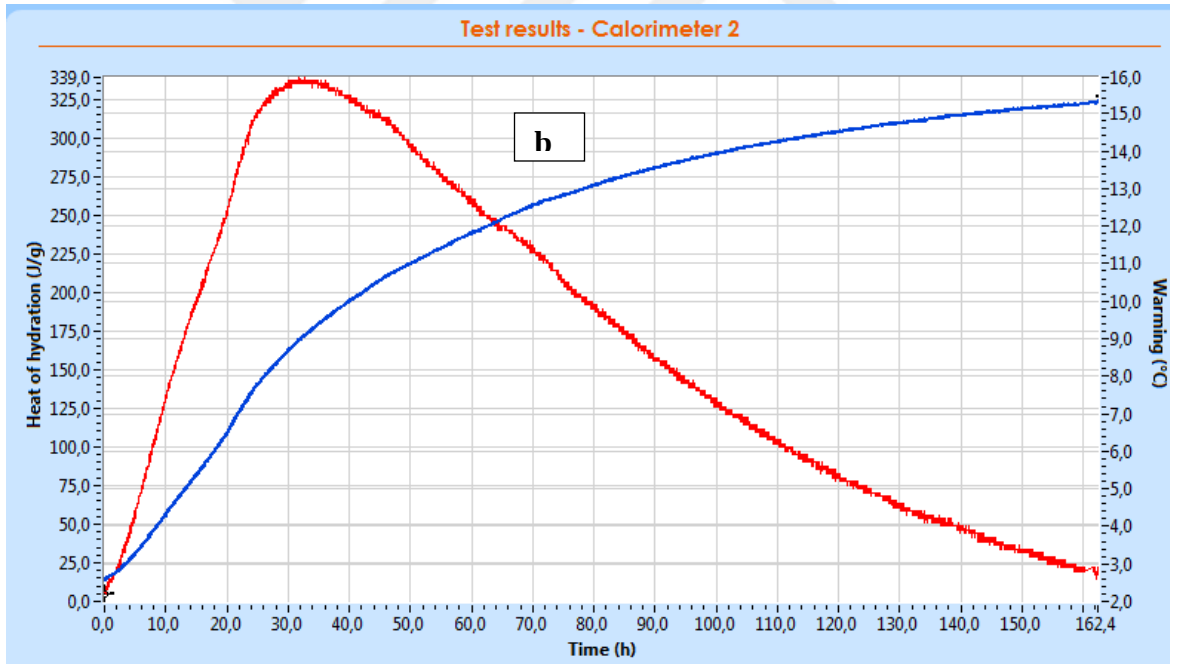
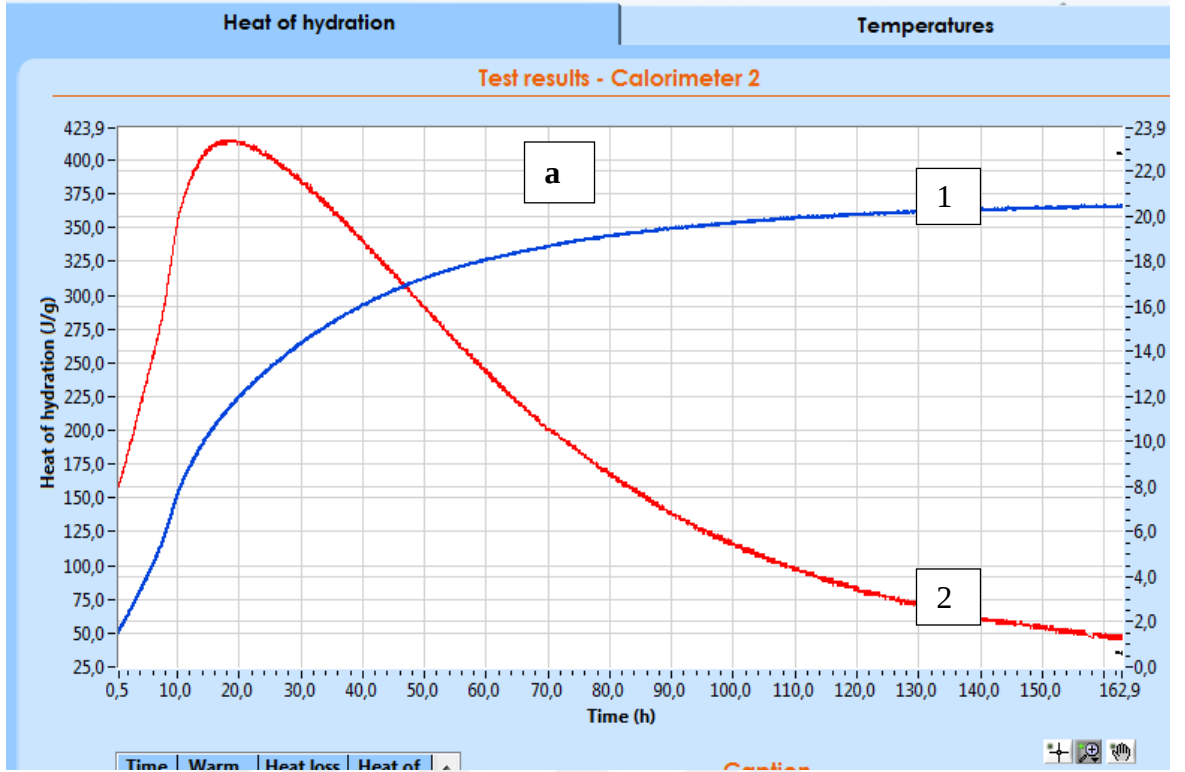


Şekil 21. a) %20 Yüksek fırın cürufu40 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidrasyon ısıları
b) %30 Yüksek fırın cürufu40 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidrasyon ısıları

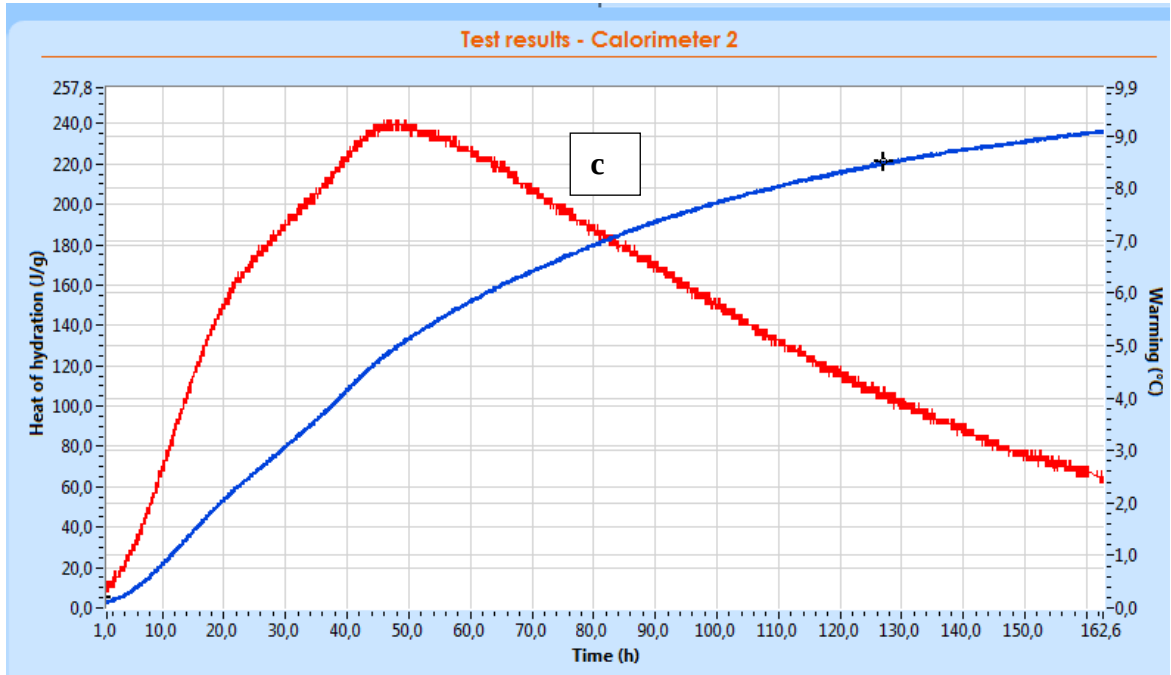


Şekil 21 (devam). c) %50 Yüksek fırın cürufu40 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları

Şekil 22'de TS EN 196-9'a göre CEM I 42,5 R çimentosunda ve bu çimentoya %20, %30 ve %50 oranında uçucu kül ilave edilerek hazırlanmış çimentolarda hesaplanan hidratasyon ısıları ve ısı artışları görülmektedir.

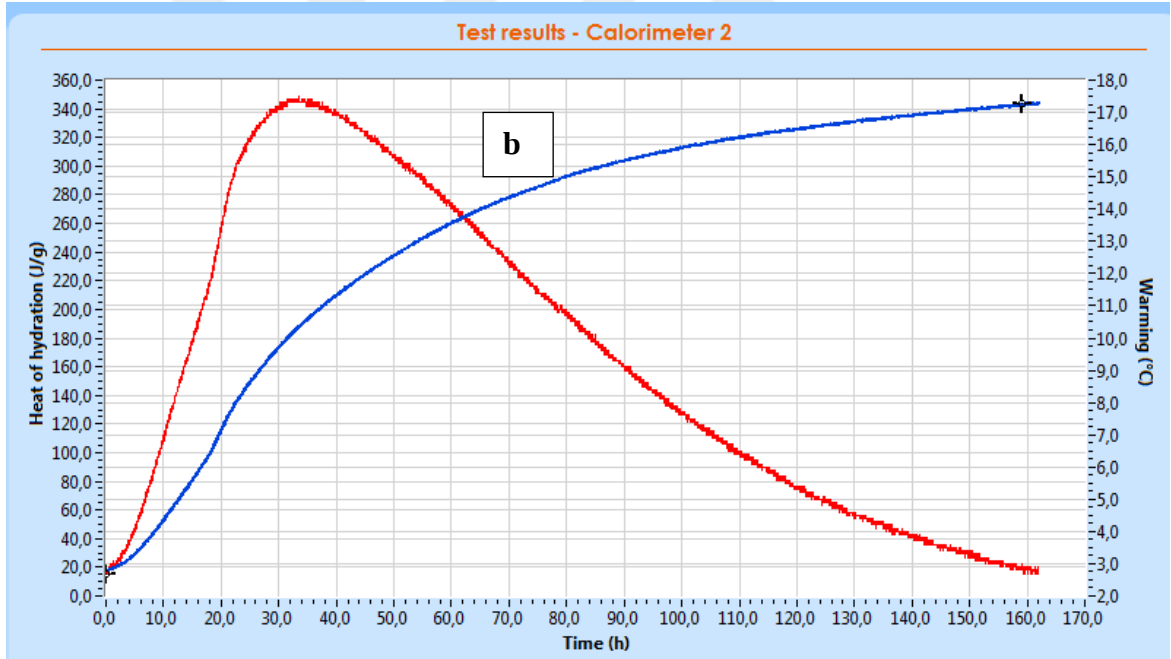
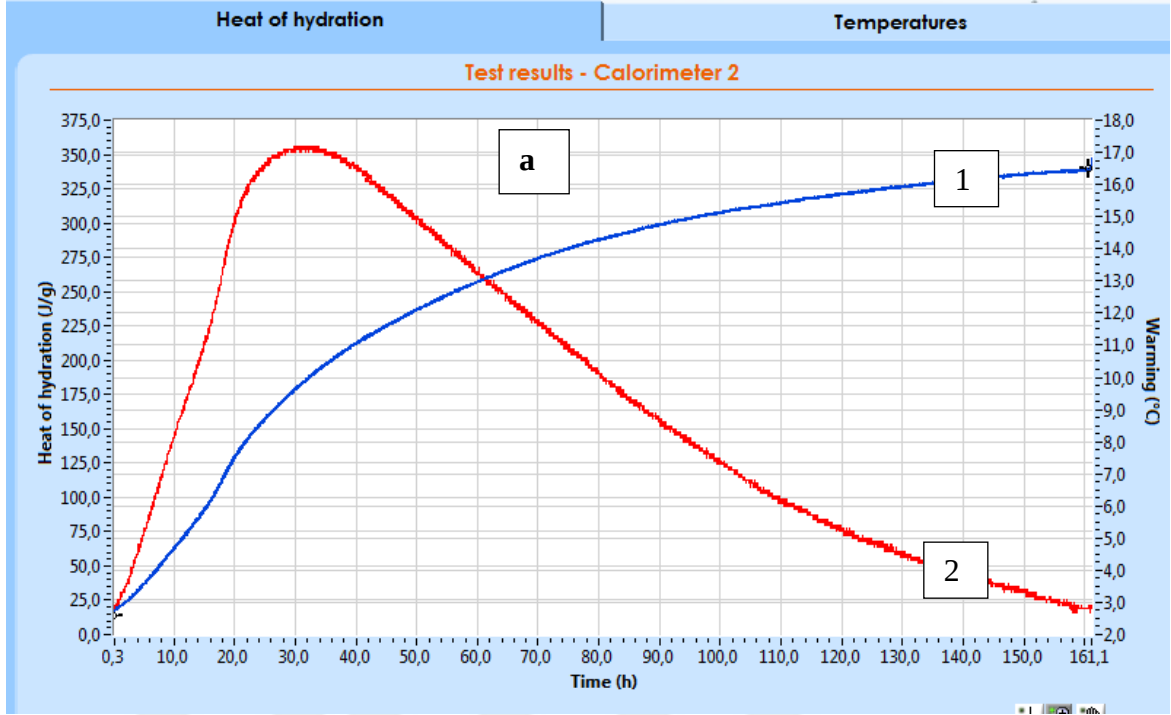


Şekil 22. a) %20 Uçucu kül ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları
b) %30 Uçucu kül ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları

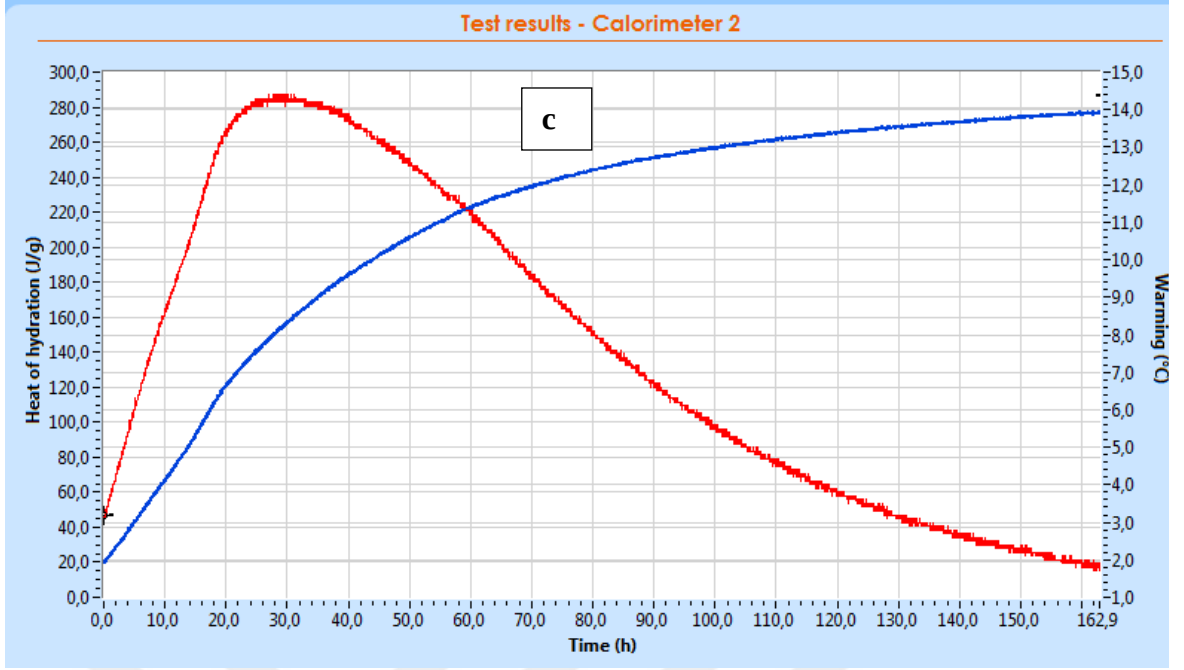


Şekil 22 (devam). c) %30 Uçucu kül ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidrasyon ısıları

Şekil 23 (a)'da Şekil 22'de kullanılan uçucu kül bilyeli değirmende 20 dakika öğütüldükten sonra % 20 Uk20 ilaveli, şekil 23(b)'de %30 Uk20ilaveli ve şekil 23(c)'de %50 Uk20 ilaveli çimentolarda ölçülen hidrasyon ısısının ve sıcaklık artışının zamana bağlı değişimi görülmektedir.

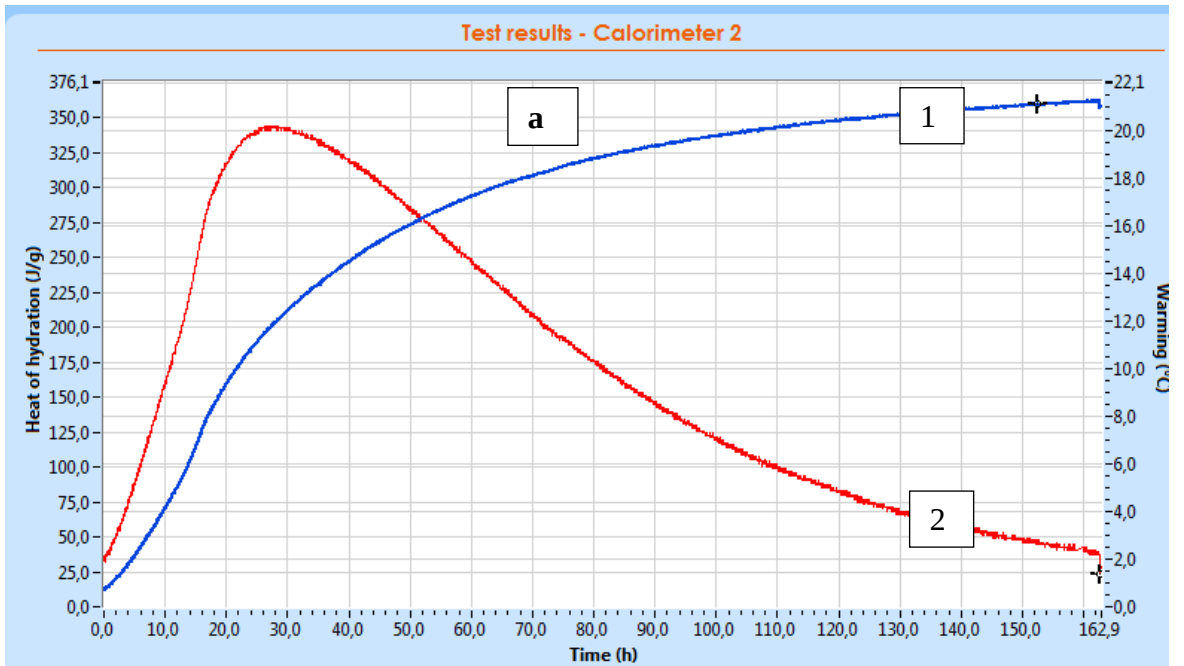


Şekil 23. a) %20 Uçucu kül20 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları
b) %30 Uçucu kül20 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidratasyon ısıları

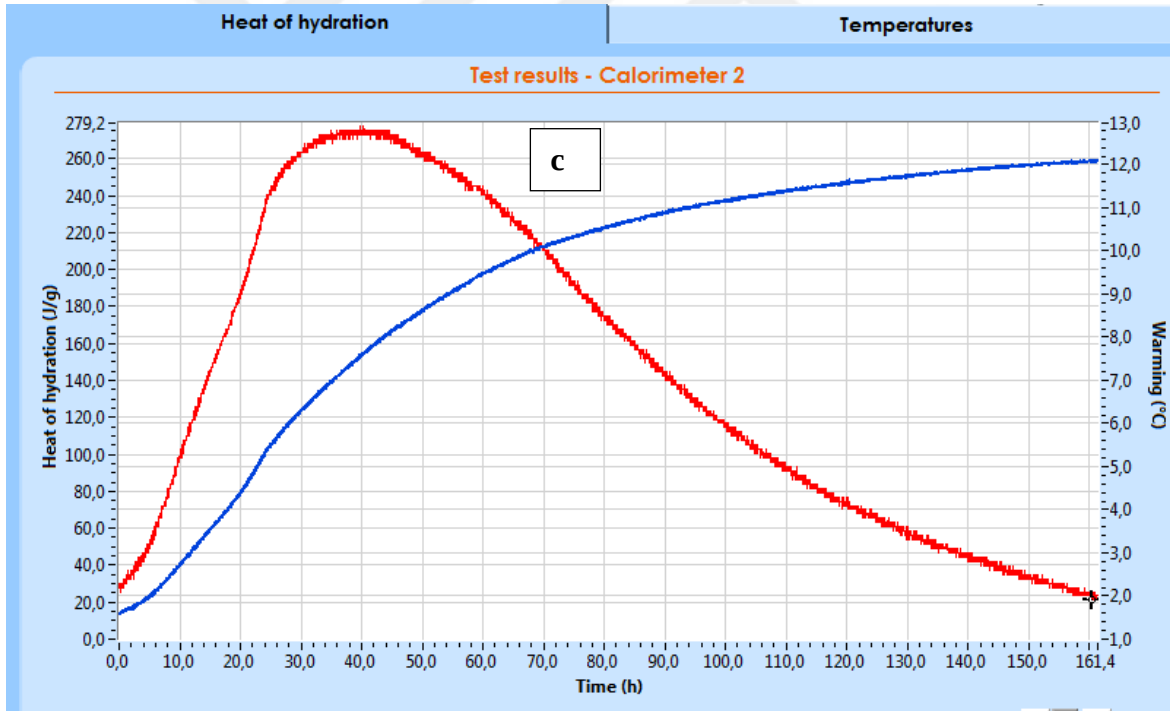
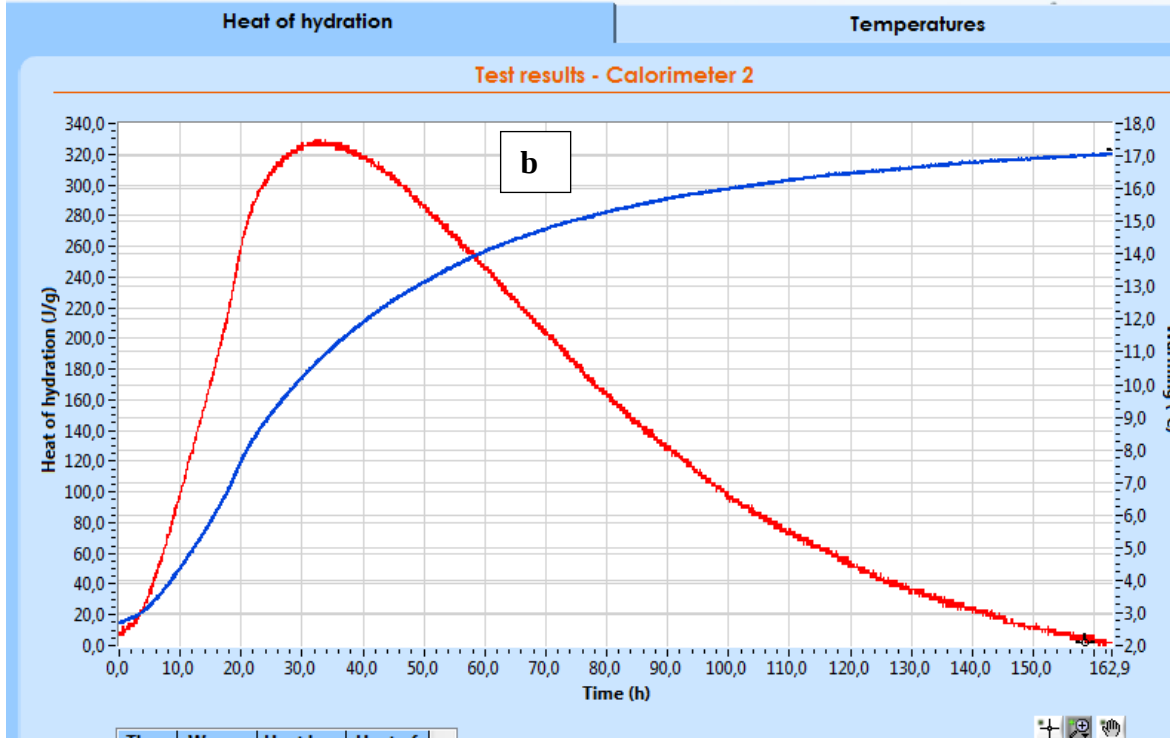


Şekil 23 (devam). c) %50 Uçucu kül20 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidrasyon ısıları

Şekil 24 (a)'da Şekil 22'de kullanılan uçucu kül bilyeli değirmende 40 dakika öğütüldükten sonra % 20 Uk40 ilaveli, Şekil 24(b)'de %30 Uk40 ilaveli ve Şekil 24 (c)'de %50 Uk40 ilaveli çimentolarda ölçülen hidrasyon ısılarının ve sıcaklık artışının zamana bağlı değişimi görülmektedir.



Şekil 24. a) %20 Uçucu kül40 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidrasyon ısıları



Şekil 24 (devam). b) %30 Uçucu kül40 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidrasyon ısıları
c) %50 Uçucu kül40 ilaveli çimentonun TS EN 196-9'a göre ölçülen hidrasyon ısıları

TS EN 196-8'e göre kimyasal yöntemle hidrasyon ısılarının tayini yukarıda görülen TS EN 196-9'a göre yapılan deneylerin kıyaslanması amacıyla yapıldı. TS EN 196-9'da 7 günlük harçlar üzerinde TS EN 196-8'e göre yapılan hidrasyon ısılarının

ayını 41. saatteki TS EN 196-9'un hidratasyon ısısına denk geldiği belirtmektedir (Tydlitát vd.,2014). Bu çalışmada Tablo 4'deki değerler TS EN 196-9'a göre yapılan 41. saatteki değerlere yaklaşık hidratasyon ısılarına rastlandı.

Tablo 4. TS EN 196-8'e göre hesaplanan hidratasyon ısıları

NUMUNE ADI	HİDRATASYON ISISI (J/g)
Çimento	328,7693
Uk-%20	269,0886
Uk-%30	249,7264
UK-%50	223,3575
Obs60-%20	317,2143
Obs60-%30	304,0773
Obs60-%50	272,3515
Yfc%20	298,4165
Yfc%30	210,8361
Yfc%50	178,0131

3.2. Puzolanlı Çimentoların ASTM C 1260'a Göre Reaktif Silis İçeriğinin Tayini

Tablo 5'te Obs45-%10, 45 dakika öğütülen %10 obsidyen katkılı çimentoyu ifade etmektedir. Tablo 5'teki boy uzama oranları harç çubuklardaki alkali ortamdan dolayı meydana gelen boy uzamalarının numunenin ilk boyuna bölünerek hesaplandı. ASTM C 1260 standardına göre hızlı harç çubuk yönteminde harç çubuklarının boy uzaması 16 gün sonunda %0,1 den küçükse agrega reaktif değildir. Harç çubukların boy uzama oranı %0,2'den büyükse agrega reaktiftir. Boy uzaması %0,1 ile %0,2 arasında ise başka yöntemlerle alkali silika reaktifliği kontrol edilmelidir.

Tablo 5. Farklı çimentolarla üretilen harç çubuklarının boy uzamaları (mm) ve genişleme miktarları (%)

Numune Adı	Numune boy okumaları (mm)				Boy uzama oranları (%)		
	Başlangıç	3 günlük	7 günlük	14 günlük	3 günlük	7 günlük	14 günlük
Obs45-%10	16.417	16.5277	16.5904	16.6675	0.0388	0.0608	0.0878
Obs45-%10	16.364	16.4894	16.6148	16.6514	0.044	0.088	0.1008
ORTObs45-%10					0.0414	0.0744	0.0943
Obs45-%20	16.47	16.6688	16.7668	16.8364	0.0697	0.1041	0.1285
Obs45-%20	16.654	16.8336	16.8732	16.942	0.0630	0.0769	0.1010
ORT-Obs45-%20					0.0663	0.0905	0.1148
Obs45-%30	17.212	17.3862	17.3868	17.4996	0.0611	0.0613	0.1009

Tablo 5 (devam). Farklı çimentolarla üretilen harç çubuklarının boy uzamaları (mm) ve genleşme miktarları (%)

Numune Adı	Numune boy okumaları (mm)				Boy uzama oranları (%)		
	Başlangıç	3 günlük	7 günlük	14 günlük	3 günlük	7 günlük	14 günlük
Obs45-%30	17.306	17.4406	17.482	17.5388	0.0472	0.0617	0.0816
Obs45-%50	17.165	17.2694	17.3218	17.4054	0.0366	0.0550	0.0843
Obs45-%50	17.194	17.3144	17.3368	17.4154	0.0422	0.0501	0.0776
ORTObs45-%50					0.0394	0.0525	0.0810
Obs60-%10	16.7465	16.9003	17.0389	17.0707	0.0539	0.1025	0.1137
Obs60-%10	16.7515	16.9027	17.0351	17.0713	0.0530	0.0995	0.1122
ORT-OBS60-%10					0.0535	0.1010	0.1129
Obs60-%20	17.024	17.1046	17.2458	17.2028	0.0282	0.0778	0.0627
Obs60-%20	17.0105	17.1399	17.2361	17.1875	0.0454	0.0791	0.0621
ORTObs60-%20					0.0368	0.0784	0.0624
Obs60-%30	17.324	17.3918	17.4718	17.4736	0.0237	0.0518	0.0524
Obs60-%30	17.218	17.3242	17.4204	17.4072	0.0372	0.0710	0.0663
ORT-Obs60-%30					0.0305	0.0614	0.0594
Obs60-%50	17.896	17.9728	18.1496	18.1502	0.0269	0.0889	0.0891
Obs60-%50	17.914	17.9948	17.9892	18.03	0.0283	0.0263	0.0407
ORTObs60-%50					0.0276	0.0576	0.0649
Obs75-%10	17.032	17.1052	17.1628	17.2984	0.0256	0.0458	0.0934
Obs75-%10	17.013	17.0422	17.1742	17.2618	0.0102	0.0565	0.0872
ORTObs75-%10					0.0179	0.0512	0.0903
Obs75-%20	16.321	16.4342	16.4708	16.4862	0.0397	0.0525	0.0579
Obs75-%20	16.325	16.4038	16.465	16.4876	0.0276	0.0491	0.0570
ORTObs75-%20					0.0336	0.0508	0.0575
Obs75-%30	16.1765	16.1987	16.3409	16.4611	0.0077	0.0576	0.0998
Obs75-%30	16.3925	16.3967	16.4455	16.5807	0.0014	0.0185	0.0660
ORTObs75-%30					0.0046	0.0381	0.0829
Obs75-%50	15.176	15.201	15.3144	15.3944	0.0087	0.0485	0.0766
Obs75-%50	15.086	15.1572	15.2484	15.3444	0.0249	0.0569	0.0906
ORTObs75-%50					0.0168	0.0527	0.0836
Uk-%10	16.2595	16.3581	16.4315	16.4701	0.0345	0.0603	0.0738
Uk-%10	16.238	16.347	16.4062	16.4596	0.0382	0.0590	0.0777
ORTUk-%10					0.0364	0.0596	0.0758
Uk-%20	16.822	16.9034	17.0128	17.0284	0.0285	0.0669	0.0724
Uk-%20	16.7745	16.9107	16.9813	16.9675	0.0477	0.0725	0.0677
ORTUk-%20					0.0381	0.0697	0.0700
Uk-%30	16.317	16.3402	16.3958	16.3946	0.0081	0.0276	0.0272
Uk-%30	16.282	16.3076	16.3668	16.3784	0.0089	0.0297	0.0338
ORTUk-%30					0.0085	0.0287	0.0305
Uk-%50	15.988	16.0132	16.1412	16.1834	0.0088	0.0537	0.0685

Tablo 5 (devam). Farklı çimentolarla üretilen harç çubuklarının boy uzamaları (mm) ve genleşme miktarları (%)

Numune Adı	Numune boy okumaları (mm)				Boy uzama oranları (%)		
	Başlangıç	3 günlük	7 günlük	14 günlük	3 günlük	7 günlük	14 günlük
Uk-%50	16.051	16.0602	16.179	16.1934	0.0032	0.0449	0.0499
Uk20-%10	16.2745	16.3465	16.3753	16.4065	0.0252	0.0353	0.0463
Uk20-%10	16.364	16.3968	16.4248	16.4732	0.0115	0.0213	0.0383
ORTUk20-%10					0.0183	0.0283	0.0423
Uk20-%20	16.343	16.4162	16.4062	16.4174	0.0256	0.0221	0.0261
Uk20-%20	16.324	16.3994	16.398	16.4112	0.0264	0.0259	0.0305
ORT-Uk20-%20					0.0260	0.0240	0.0283
Uk20-%30	17.0415	17.0669	17.1277	17.1465	0.0089	0.0302	0.0368
Uk20-%30	17.034	17.0574	17.1282	17.1232	0.0082	0.0330	0.0312
ORT-Uk20-%30					0.0085	0.0316	0.0340
Uk20-%50	15.042	15.12	15.174	15.1464	0.0273	0.0463	0.0366
Uk20-%50	15.195	15.2098	15.2554	15.2914	0.0051	0.0211	0.0338
ORTUk20-%50					0.0162	0.0337	0.0352
Uk40-%10	16.484	16.5578	16.5896	16.6674	0.0258	0.0370	0.0643
Uk40-%10	16.514	16.538	16.6004	16.687	0.0008	0.0303	0.0607
ORT-Uk40-%10					0.0124	0.0336	0.0625
Uk40-%20	16.231	16.2962	16.2926	16.3144	0.0228	0.0216	0.0292
Uk40-%20	16.101	16.1962	16.1958	16.202	0.0334	0.0332	0.0354
ORTUk40-%20					0.0281	0.0274	0.0323
Uk40-%30	16.545	16.618	16.5958	16.57	0.0256	0.0178	0.0087
Uk40-%30	16.534	16.714	16.5602	16.5884	0.0631	0.0091	0.0190
ORTUk40-%30					0.0443	0.0135	0.0139
Uk40-%50	17.096	17.1472	17.1324	17.1592	0.0179	0.0127	0.0221
Uk40-%50	17.141	17.149	17.1566	17.1698	0.0028	0.0054	0.0101
ORTUk40-%50					0.0103	0.0091	0.0161
Yfc-%10	17.65	17.7334	17.7948	17.9436	0.0292	0.0508	0.1030
Yfc-%10	17.644	17.7282	17.7944	17.965	0.0295	0.0527	0.1126
ORTYfc-%10					0.0294	0.0517	0.1078
Yfc-%20	16.948	17.0968	17.1526	17.2862	0.0522	0.0717	0.1186
Yfc-%20	17.0315	17.1425	17.1963	17.2959	0.0389	0.0578	0.0927
ORTYfc-%20					0.0455	0.0648	0.1057
Yfc-%30	16.593	16.6656	16.7014	16.7832	0.0254	0.0380	0.0667
Yfc-%30	16.57	16.646	16.6348	16.7374	0.0266	0.0227	0.0587
ORTYfc-%30					0.0260	0.0303	0.0627
Yfc-%50	16.443	16.4606	16.475	16.5074	0.0061	0.0112	0.0225
Yfc-%50	16.401	16.441	16.4598	16.4874	0.0140	0.0206	0.0303
ORTYfc-%50					0.0101	0.01593	0.0264
Yfc20-%10	16.415	16.457	16.6018	16.6394	0.01473	0.0655	0.0787
Yfc20-%10	16.383	16.4642	16.5698	16.6074	0.0284	0.0655	0.0787
ORTYfc20-%10					0.0216	0.0655	0.0787
Yfc20-%20	15.771	15.8748	15.9202	16.0116	0.0364	0.0523	0.0844

Tablo 5 (devam). Farklı çimentolarla üretilen harç çubuklarının boy uzamaları (mm) ve genleşme miktarları (%)

Numune Adı	Numune boy okumaları (mm)				Boy uzama oranları (%)		
	Başlangıç	3 günlük	7 günlük	14 günlük	3 günlük	7 günlük	14 günlük
Yfc20-%20	15.869	15.893	15.9766	16.064	0.0084	0.0377	0.0682
ORTYfc20-%20					0.0224	0.0450	0.0764
Yfc20-%30	15.697	15.7452	15.7074	15.7722	0.0169	0.0036	0.0263
Yfc20-%30	15.5635	15.6273	15.6605	15.6909	0.0223	0.0340	0.0447
ORTYfc20-%30					0.0196	0.0188	0.0355
Yfc20-%50	15.674	15.7422	15.72	15.7252	0.0239	0.0161	0.0179
Yfc20-%50	15.678	15.694	15.73	15.7498	0.0056	0.0182	0.0251
ORTYfc20-%50					0.0147	0.0171	0.0215
Yfc40-%10	14.323	14.465	14.425	14.5078	0.0498	0.0357	0.0648
Yfc40-%10	14.414	14.5004	14.4856	14.6112	0.0303	0.0251	0.0691
ORTYfc40-%10					0.0400	0.0304	0.0670
Yfc40-%20	16.376	16.4462	16.4232	16.5648	0.0246	0.0165	0.0662
Yfc40-%20	16.268	16.37	16.3664	16.5228	0.0357	0.0345	0.0894
ORTYfc40-%20					0.0302	0.0255	0.0778
Yfc40-%30	15.446	15.4688	15.5164	15.5816	0.008	0.0247	0.0475
Yfc40-%30	15.388	15.4316	15.47	15.5776	0.0152	0.0287	0.0665
ORTYfc40-%30					0.0116	0.0267	0.0570
Yfc40-%50	15.552	15.5764	15.6184	15.6556	0.0085	0.0232	0.0363
Yfc40-%50	15.477	15.685	15.5794	15.6054	0.0729	0.03593	0.04505
ORTYfc40-%50					0.0407	0.0296	0.0407
Çimento	16.344	16.4304	16.4956	16.6704	0.0303	0.0531	0.1145
Çimento	16.41	16.4692	16.5704	16.7072	0.0207	0.0562	0.1042
ORT-Çimento	16.377	16.4498	16.533	16.6888	0.0255	0.0547	0.1094

3.3. Çimentoların Farklı Puzolan Katkı Oranlarına Göre Eğilme ve Basınç Dayanımları

Tablo 6'daki değerler TS EN 196-1'e göre prizmatik harç numunelerden elde edilen eğilme ve basınç dayanımlarıdır. Tablo 6'da standart numune olarak adlandırılan harçlarda 450 gram çimento, 225 gram su ve 1350 gram standart kum kullanılarak üretilmişlerdir. Tablo 6'da Obs60-%10 isimli harç numune hazırlanırken 405 gram çimentoya 45 gram 60 dakika öğütülmüş obsidyen katılmıştır. Tablo 6'da görülen katkılı harçlara %10, %20, %30 ve %40 oranlarında ikame olarak puzolan katılmıştır.

Tablo 6. Puzolan katkılı çimentoların basınç dayanımları

Kullanılan Puzolan	Eğilme dayanımı (N/mm ²)			Basınç dayanımı (N/mm ²)		
	2 günlük	7 günlük	28 günlük	2 günlük	7 günlük	28 günlük
STANDART NUMUNE	5.35	7.01	7.67	38.26	45.73	58.44
	5.33	6.25	7.81	40.51	47.33	55.18
	5.51	6.51	8.14	38.82	44.54	59.43
				40.85	47.38	58.13
				38.57	44.67	62.42
				36.87	46.17	58.62
ORTALAMA	5.40	6.59	7.87	38.98	45.97	58.70
Obs60- %10	4.47	5.82	8.28	23.74	38.05	45.05
	4.47	5.98	8.43	22.33	34.59	48.65
	4.70	6.15	8.28	24.18	35.56	46.63
				23.94	35.69	51.91
				24.78	37.79	50.13
				21.52	36.17	47.89
ORTALAMA	4.55	5.98	8.33	23.42	36.31	48.38
Obs60-%20	4.22	5.74	7.08	20.37	31.67	44.15
	4.27	5.91	7.01	15.96	32.19	42.14
	4.30	5.73	7.59	20.04	34.37	41.06
				21.14	30.56	44.03
				19.1	33.85	45.55
				21.08	32.7	43.34
ORTALAMA	4.26	5.79	7.23	19.62	32.56	43.38
Obs60- %30	3.29	4.84	7.41	16.67	29.43	43.28
	3.94	5.26	7.02	17	29.39	43.42
	3.56	5.01	7.23	16.3	27.29	42.25
				17.14	27.78	40.77
				16.54	28.8	39.61
				16.42	29.43	40.97
ORTALAMA	3.60	5.04	7.22	16.68	28.69	41.72
Obs60- %40		4.43	6.5	13.07	22.07	35.84
	3.15	4.10	6.45	12.58	22.79	30.48
	3.25	3.94	6.54	12.73	23.63	35.69
				13.44	21.7	35.81
				13.73	22.6	36.66
				13.37	23.48	35.63
ORTALAMA	3.20	4.16	6.50	13.15	22.71	35.02
Uk-%10	5.43	7.68	8.23	25.11	32.39	48.71
	5.26	7.28	8.59	23.18	34.78	45.65
	5.03	7.07	8.87	24.85	30.4	49.11
				24.36	33.44	48.41
				26.24	32.52	50.71

Tablo 6 (devam). Puzolan katkılı çimentoların basınç dayanımları

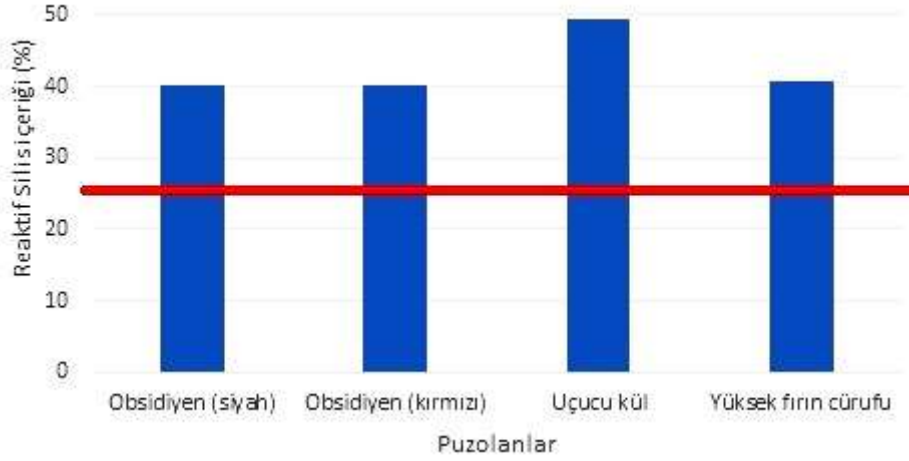
Kullanılan Puzolan	Eğilme dayanımı (N/mm ²)			Basınç dayanımı (N/mm ²)		
	2 günlük	7 günlük	28 günlük	2 günlük	7 günlük	28 günlük
				25.93	30.5	45.79
ORTALAMA	5.24	7.34	8.56	24.95	32.34	48.06
Uk-%20	4.43	5.80	7.69	21.56	29.38	46.03
	4.29	6.22	7.49	22.92	29.01	44.9
	4.28	6.08	8.82	21.7	28.07	43.06
				20.89	29.23	44.5
				21.42	27.69	45.32
				22.32	28.35	45.27
ORTALAMA	4.33	6.03	8.00	21.80	28.62	44.85
Uk-%30	3.78	5.08	7.59	16.27	28.79	41.9
	3.36	4.79	7.72	18.09	25.7	42.6
	2.93	4.95	7.52	16.5	26.35	44.62
				16.59	26.36	43.22
				17.09	24.6	41.96
				15.99	27.46	44.89
ORTALAMA	3.36	4.94	7.61	16.76	26.54	43.20
Uk-%40	2.49	3.75	6.41	10.9	19.41	34.32
	2.49	3.61	7.04	10.08	19.44	34.59
	2.39	3.84	6.26	10.79	19.04	34.2
				11.21	18.52	33.26
				10.71	18.99	31.18
				11.31	19.26	34.89
ORTALAMA	2.46	3.73	6.57	10.83	19.11	33.74
Yfc -%10	4.71	6.08	8.45	24.71	37.58	52.38
	4.50	6.52	8.59	24.71	37.87	48.02
	4.47	6.13	7.99	24.74	38.11	49.71
				24.72	34.83	49.23
				24.37	39.82	51.99
				24.5	36.16	51.18
ORTALAMA	4.56	6.24	8.34	24.63	37.40	50.42
Yfc-%20	4.38	6.10	7.66	22.35	34.82	52.18
	4.15	6.12	7.78	21.46	34.1	49.08
	4.69	6.40	7.94	20.29	38.57	50.89
				21.03	33.2	49.98
				21	33.67	48
				20.8	36.91	45.97
ORTALAMA	4.41	6.21	7.79	21.16	35.21	49.35
Yfc-%30	3.98	5.19	7.1	17.24	28.29	45.36
	3.48	5.16	7.26	18.03	27.86	45.66
	3.56	5.43	7.01	16.26	28.33	44.94
				17.74	27.71	43.09
				16.87	27.42	44.29

Tablo 6 (devam). Pozolan katkılı çimentoların basınç dayanımları

Kullanılan Pozolan	Eğilme dayanımı (N/mm ²)			Basınç dayanımı (N/mm ²)		
	2 günlük	7 günlük	28 günlük	2 günlük	7 günlük	28 günlük
ORTALAMA Yfc-%40				17.14	25.68	46.83
	3.67	5.26	7.12	17.21	27.55	45.03
	3.67	5.91	7.95	14.58	23.42	42.82
	3.62	5.31	8.17	14.86	27.32	41.06
	3.61	5.22	8.37	15.71	26.9	46.49
				14.94	26.23	40.57
				14.99	29.22	44.22
				14.77	26.08	41.01
ORTALAMA	3.63	5.48	8.16	14.98	26.53	42.70

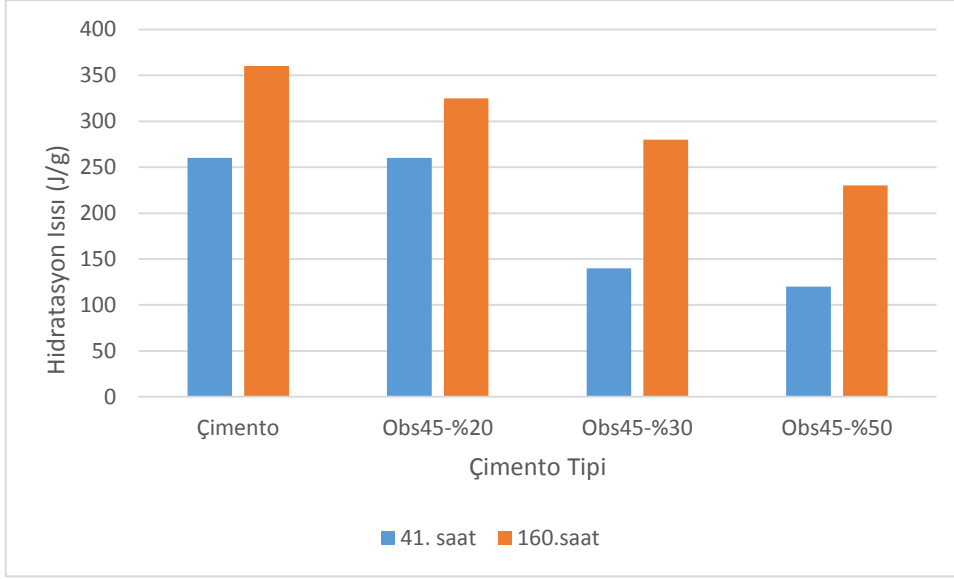
4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bu çalışmada obsidyenin minerolojik açıdan incelenmesinde ve kimyasal analizinde çimentoya zarar verecek bir unsura rastlanmamıştır. Obsidyenin minerolojik ve kimyasal bileşim açısından çimento ile uyumlu bir madde olduğu anlaşılmıştır.



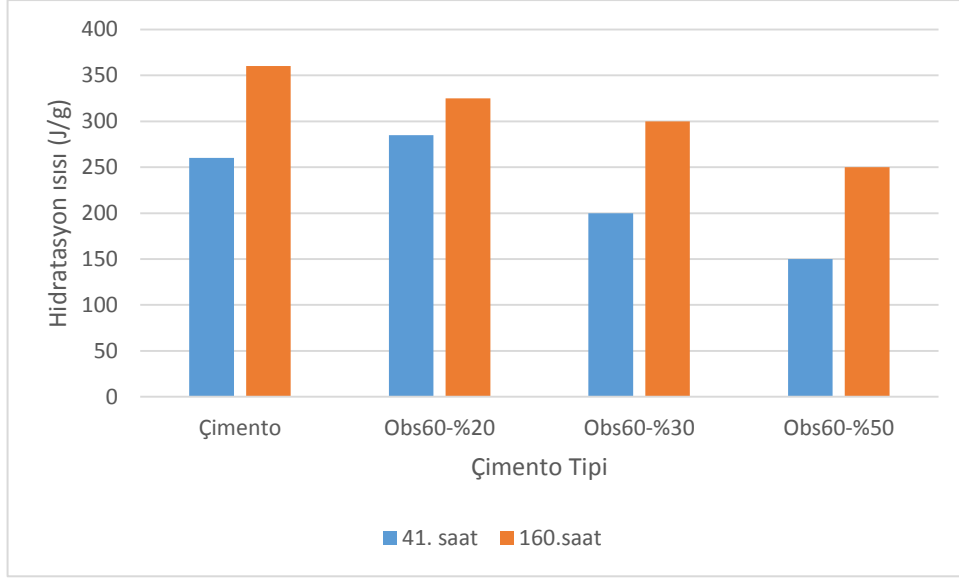
Şekil 25. Puzolanların reaktif silis içerikleri

Şekil 25’de görüldüğü üzere bu çalışmada kullanılan uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve obsidyenin reaktif silis içeriği %25’ten fazladır. TS EN 197-1’e göre çimentoda puzolan olarak kullanılacak malzemenin TS EN 196-2’e göre hesaplanan reaktif silis içeriğinin %25’ten fazla olması istenmektedir. Bu çalışmada kullanılan tüm puzolanlar standardın belirttiği değeri sağlamaktadır.



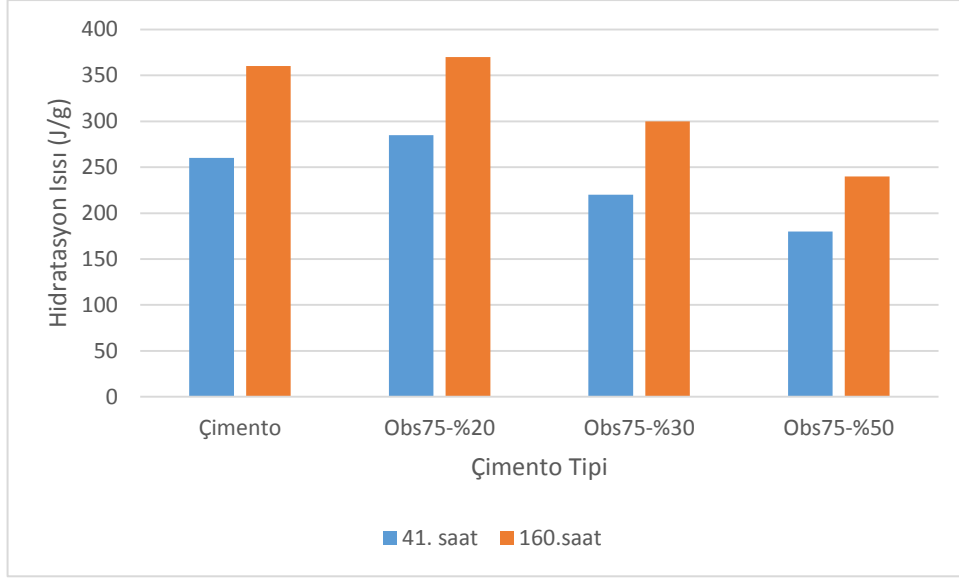
Şekil 26. TS EN 196-9’a göre katkısız çimentoda ve 45 dakika öğütülmüş obsidyen katkılı çimentolarda hesaplanan hidrasyon ısıları

Şekil 26’da Şekil 16’daki grafiklerden elde edilen çimento ve 45 dakika öğütülmüş obsidyenin %20, %30 ve %50 oranında ilaveli çimentolarda TS EN 196-9’a göre 41. ve 160. saatlerde hesaplanan hidrasyon ısıları görülmektedir. Şekil 26’da katkısız çimentonun 41. saatteki hidrasyon ısısı 260 J/g ve 160. saatteki hidrasyon ısısının 360J/g olarak görülmektedir. Şekil 26’de % 20 oranında 45 dakika öğütülmüş obsidyen ilaveli çimentoda 41. saatteki hidrasyon ısısı 260 J/g ve 160. saatteki hidrasyon ısısının 325 J/g, %30 oranında 45 dakika öğütülmüş obsidyen ilaveli çimentoda 41. saatteki hidrasyon ısısı 140 J/g ve 160. saatteki hidrasyon ısısının 280J/g, % 50 oranında 45 dakika öğütülmüş obsidyen ilaveli çimentoda 41. saatteki hidrasyon ısısı 120 J/g ve 160. saatteki hidrasyon ısısının 230 J/g’dür. Şekil 26’da TS EN 196-9’a göre yapılan ölçümde obsidyen katkı oranı arttıkça hidrasyon ısıları azaldığı görülmektedir.



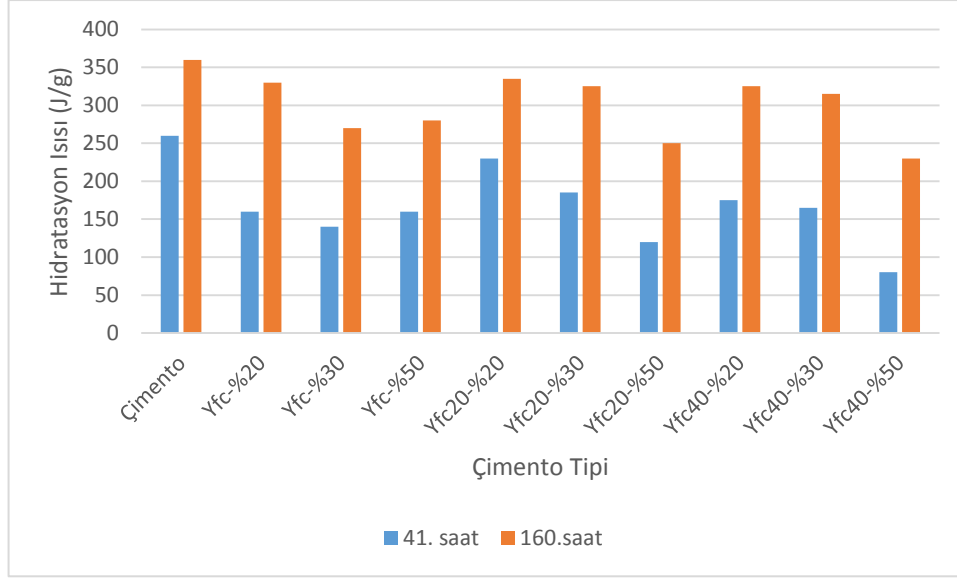
Şekil 27. TS EN 196-9’a göre katkısız çimentoda ve 60 dakika öğütülmüş obsidyen katkılı çimentolarda hesaplanan hidratasyon ısıları

Şekil 27’de Şekil 17’deki grafiklerden elde edilen çimento ve 60 dakika öğütülmüş obsidyenin %20, %30 ve %50 oranında ilaveli çimentolarda TS EN 196-9’a göre 41. ve 160. saatlerde hesaplanan hidratasyon ısıları görülmektedir. Şekil 27’de %20 oranında 60 dakika öğütülmüş obsidyen ilaveli çimentoda 41. saatteki hidratasyon ısısı 285 J/g ve 160. saatteki hidratasyon ısısının 325 J/g, %30 oranında 60 dakika öğütülmüş obsidyen ilaveli çimentoda 41. saatteki hidratasyon ısısı 200 J/g ve 160. saatteki hidratasyon ısısının 300 J/g, %50 oranında 60 dakika öğütülmüş obsidyen ilaveli çimentoda 41. saatteki hidratasyon ısısı 150 J/g ve 160. saatteki hidratasyon ısısının 250 J/g olarak ölçüldüğü görülmektedir.



Şekil 28. TS EN 196-9’a göre katkısız çimentoda ve 75 dakika öğütülmüş obsidyen katkılı çimentolarda hesaplanan hidratasyon ısıları

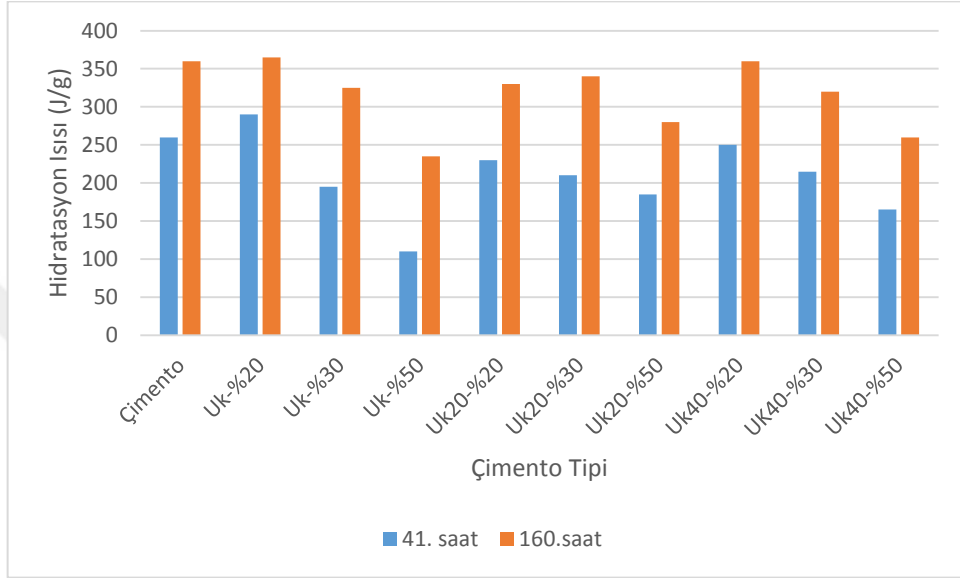
Şekil 28’de Şekil 18’deki grafiklerden elde edilen çimento ve 75 dakika öğütülmüş obsidyenin %20, %30 ve %50 oranında ilaveli çimentolarda TS EN 196-9’a göre 41. ve 160. saatlerde hesaplanan hidratasyon ısıları görülmektedir. Şekil 28’de %20 oranında 75 dakika öğütülmüş obsidyen ilaveli çimentoda 41. saatteki hidratasyon ısısı 285 J/g ve 160. saatteki hidratasyon ısısının 370 J/g, %30 oranında 75 dakika öğütülmüş obsidyen ilaveli çimentoda 41. saatteki hidratasyon ısısı 220 J/ ve 160. saatteki hidratasyon ısısının 300 J/g, Şekil 18 (c)’de %50 oranında 75 dakika öğütülmüş obsidyen ilaveli çimentoda 41. saatteki hidratasyon ısısı 180 J/g ve 160. saatteki hidratasyon ısısının 240J/g olarak ölçüldüğü görülmektedir. Obsidyen ilaveli çimentolarda obsidyen ilave oranı arttıkça çimentonun hidratasyon ısısı düşmüştür. Öğütme süresi fazla olan çimentoların 41. saatteki hidratasyon ısısında artış meydana gelmiştir. Ancak öğütme süresi fazla olan obsidyenli çimentoların 41. saatte tespit edilen belirgin artış 160. Saatteki hidratasyon ısılarında belirgin olarak tespit edilememiştir. Thongsanitgarn vd. (2014) yaptıkları puzolanlı çimentolarla ilgili çalışmalarında incelik artışıyla hidratasyon ısısı arttığını belirtmektedirler. Bu çalışmada da Thongsanitgarn vd. (2014) çalışmasına benzer bulguya rastlandı. Çimentonun heterojen bileşime sahip olduğundan bazı hidratasyon ısıları bu kuraldan farklı davranış gösterebilir. genellikle obsidyen katkı miktarının artması hidratasyon ısısının azalmasına, obsidyenin inceliğinin artması kısa süredeki hidratasyon ısısının artmasına neden olmuştur.



Şekil 29. TS EN 196-9'a göre katkısız çimentoda ve yüksek fırını cürufu katkılı çimentolarda hesaplanan hidrasyon ısıları

Şekil 29'da Şekil 19, Şekil 20 ve Şekil 21'deki grafiklerden elde edilen çimento ve yüksek fırın cürufu ilaveli çimentolarda TS EN 196-9'a göre 41. ve 160. saatlerde hesaplanan hidrasyon ısıları görülmektedir. Şekil 29'da % 20 oranında yüksek fırın cürufu ilaveli çimentoda 41. saatteki hidrasyon ısı 160 J/g ve 160. saatteki hidrasyon ısı 330 J/g, % 30 oranında yüksek fırın cürufu ilaveli çimentoda 41. saatteki hidrasyon ısı 140 J/g ve 160. saatteki hidrasyon ısı 270 J/g, % 50 oranında yüksek fırın cürufu ilaveli çimentoda 41. saatteki hidrasyon ısı 160 J/g ve 160. saatteki hidrasyon ısı 280 J/g olarak ölçüldüğü görülmektedir. Şekil 29'da 20 dakika daha öğütülmüş %20 oranında yüksek fırın cürufu ilaveli çimentoda 41. saatteki hidrasyon ısı 230 J/g ve 160. saatteki hidrasyon ısı 335 J/g, % 30 oranında yüksek fırın cürufu ilaveli çimentoda 41. saatteki hidrasyon ısı 185 J/g ve 160. saatteki hidrasyon ısı 325 J/g, % 50 oranında yüksek fırın cürufu ilaveli çimentoda 41. saatteki hidrasyon ısı 120 J/g ve 160. saatteki hidrasyon ısı 250 J/g olarak ölçüldüğü görülmektedir. Şekil 29'da 40 dakika daha öğütülmüş % 20 oranında yüksek fırın cürufu ilaveli çimentoda 41. saatteki hidrasyon ısı 175 J/g ve 160. saatteki hidrasyon ısı 325 J/g, % 30 oranında yüksek fırın cürufu ilaveli çimentoda 41. saatteki hidrasyon ısı 165 J/g ve 160. saatteki hidrasyon ısı 315 J/g, % 50 oranında yüksek fırın cürufu ilaveli çimentoda 41. saatteki hidrasyon ısı 80 J/g ve 160. saatteki hidrasyon ısı 230 J/g'dur. Şekil 26, Şekil 27 ve Şekil 28'te obsidyen ilaveli çimentolarda belirgin olarak görülen puzolan oranı arttıkça

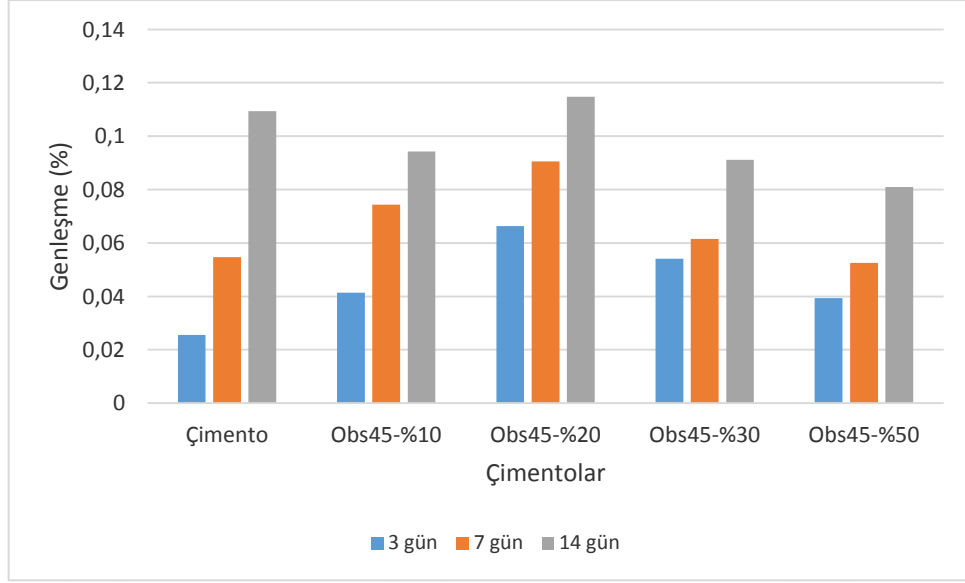
hidratasyon ısısının azaldığı, incelik arttıkça hidratasyon ısısındaki artış yüksek fırın cürufu ilaveli çimentolarda belirgin olarak görülmedi. Yüksek fırın cürufu ilaveli çimentolarda puzolan katkı oranı arttıkça hidratasyon ısısında azalma tespit edilmesine rağmen incelik artışı durumunda hidratasyon ısısında belirgin bir değişim tespit edilemedi.



Şekil 30. TS EN 196-9'a göre katkısız çimentoda ve uçucu kül katkılı çimentolarda hesaplanan hidratasyon ısıları

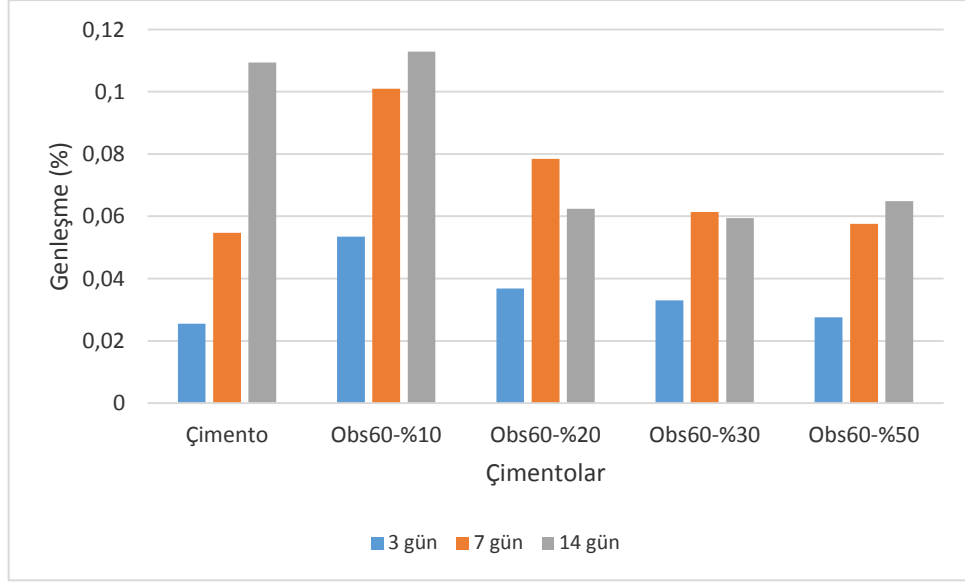
Şekil 30'da Şekil 22, Şekil 23 ve Şekil 24'deki grafiklerden elde edilen çimento ve uçucu kül ilaveli çimentolarda TS EN 196-9'a göre 41. ve 160. saatlerde hesaplanan hidratasyon ısıları görülmektedir. Şekil 30'da % 20 oranında uçucu kül ilaveli çimentoda 41. saatteki hidratasyon ısısı 290 J/g ve 160. saatteki hidratasyon ısısının 365 J/g, % 30 oranında uçucu kül ilaveli çimentoda 41. saatteki hidratasyon ısısı 195 J/g ve 160. saatteki hidratasyon ısısının 325 J/g, % 50 oranında uçucu kül ilaveli çimentoda 41. saatteki hidratasyon ısısı 110 J/g ve 160. saatteki hidratasyon ısısının 235 J/g olarak ölçüldüğü görülmektedir. Şekil 30'da 20 dakika daha %20 oranında uçucu kül ilaveli çimentoda 41. saatteki hidratasyon ısısı 230 J/g ve 160. saatteki hidratasyon ısısının 330 J/g, %30 oranında uçucu kül ilaveli çimentoda 41. saatteki hidratasyon ısısı 210 J/g ve 160. saatteki hidratasyon ısısının 340 J/g, %50 oranında uçucu kül ilaveli çimentoda 41. saatteki hidratasyon ısısı 185 J/g ve 160. saatteki hidratasyon ısısının 280 J/g'dır. Şekil 30'da 40 dakika daha % 20 oranında uçucu kül ilaveli çimentoda 41. saatteki hidratasyon ısısı 250 J/g ve 160. saatteki hidratasyon ısısının 360 J/g, %30

oranında uçucu kül ilaveli çimentoda 40. saatteki hidratasyon ısısı 215 J/g ve 160. saatteki hidratasyon ısısının 320 J/g, % 50 oranında uçucu kül ilaveli çimentoda 41. saatteki hidratasyon ısısı 165 J/g ve 160. saatteki hidratasyon ısısının 260 J/g olarak ölçüldüğü görülmektedir. Han vd. (2017) yapmış olduğu çalışmada 41. saatteki hidratasyon ısısı 200 J/g hidratasyon ısısına sahip çimentoya % 30 yüksek fırın cürufu ilave dedince hidratasyon ısısını 175 J/g, %70 yüksek fırın cürufu ilave edince 125 j/g, %35 uçucu kül ilave edince 150 j/g ve %65 uçucu kül ilave edince 85 j/g olarak ölçtü (Han vd.,2017). Han vd. (2017) ölçtükleri yüksek fırın cürufu ve uçucu küllü çimentoların hidratasyon ısıları bu çalışmaya benzer olduğu görülmektedir. Çimentoya puzolan ilavesi yakın zamandaki hidratasyon ısısında azalmalara neden olmaktadır. Demir'in çalışmasında belirttiği gibi puzolan inceliği hidratasyon ısısı üzerinde etkili olmaktadır (Demir vd.,2002). Tablo 4'deki TS EN 196-8'a göre kimyasal yöntemle yapılan hidratasyon ısı tayinleride TS EN 196-9 standardına göre 41. saatteki değerleriyle uyumlu olduğu görülmektedir. Han vd. (2017) yaptığı çalışmada kullandığı Portland çimentosundaki 80 saatlik hidratasyon ısısını 300 J/g, %30 yüksek fırın cürufu katkılı çimentoda yaklaşık 285 J/g ve %35 uçucu kül katkılı çimentoda 180 j/g civarında hidratasyon ısılarını hesapladı. Baran ve Pichniarczyk (2017) CEM I 42,5 R çimentosunda 374 ile 404 j/g arasında değerler hesapladı. Bu çalışmada hesaplanan hidratasyon ısılarıda Baran (2017) çalışmasıyla benzer bulundu. Merzouki vd. (2013) 140 saatten sonraki hidratasyon ısılarında cürufun hidratasyon ısısını düşürdüğünü belirtti. Bu çalışmada %20 uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve obsidyen ilavesi hidratasyon ısısı üzerinde belirgin bir değişime neden olmadı. Bu durum puzolan katkı oranı ve hidratasyon süresinde hidratasyon ısısı üzerinde önemli olduğunu göstermektedir. Çimentodaki puzolan oranı arttıkça hidratasyonun gecikmesi hidratasyon ısısında düşmesine neden olabilir. Bu çalışmada %20 oranında çimentoya katılan obsidyenin hidratasyon ısısı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufuyla kıyaslandığında benzer davranış göstermiştir.



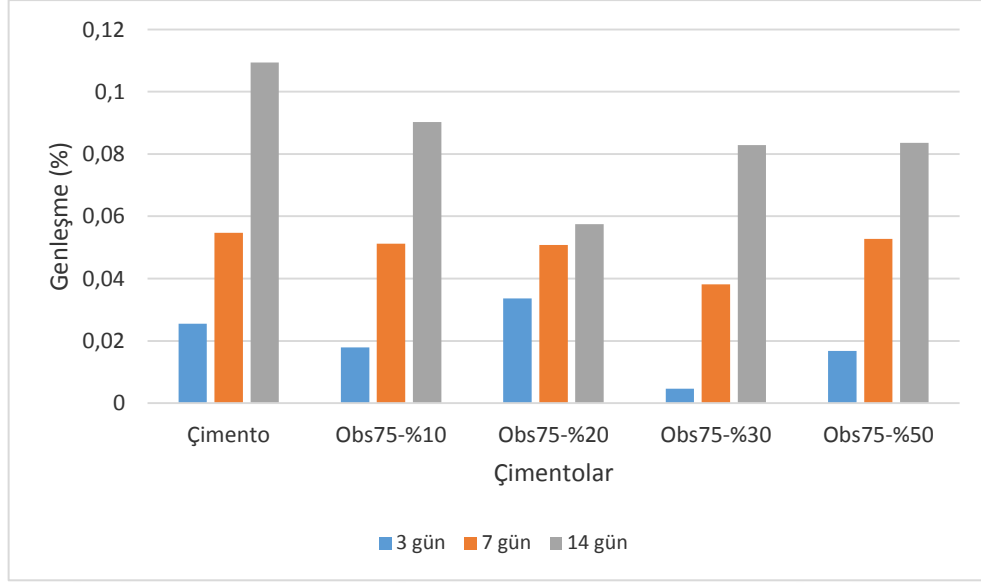
Şekil 31. Obsidyen ilaveli çimentolar ile üretilen harç çubuklarının ASTM C 1260’a göre hesaplanan genleşme miktarları (%)

Şekil 31’de %10, %20, %30 ve %50 oranında 45 dakika öğütülmüş obsidyenin CEM I 42,5 R tipi çimentoya katılarak üretilen çimento ile hazırlanan harç çubuklarında ASTM C 1260 standardına göre 3 .gün, 7. gün ve 14. günde ölçülen genleşme oranları görülmektedir. Şekil 31’de katkı içermeyen çimento ile üretilen harçların 3. gündeki boy uzama oranının obsidyenli çimentolardan daha azdır. Ancak Şekil 31’de katkısı içermeyen çimentolar ile üretilen harç çubukların genleşme oranları obsidyen ileveli çimentolardan daha fazla olduğu görülmektedir. Şekil 31’de harç çubukların hacim artışlarına göre obsidyenin alkali ortamdaki harçların genleşme oranı artırmadığı, obsidyen ilave oranının artması harç çucukların 14. gündeki genleşme miktarını azalttığı görülmektedir.



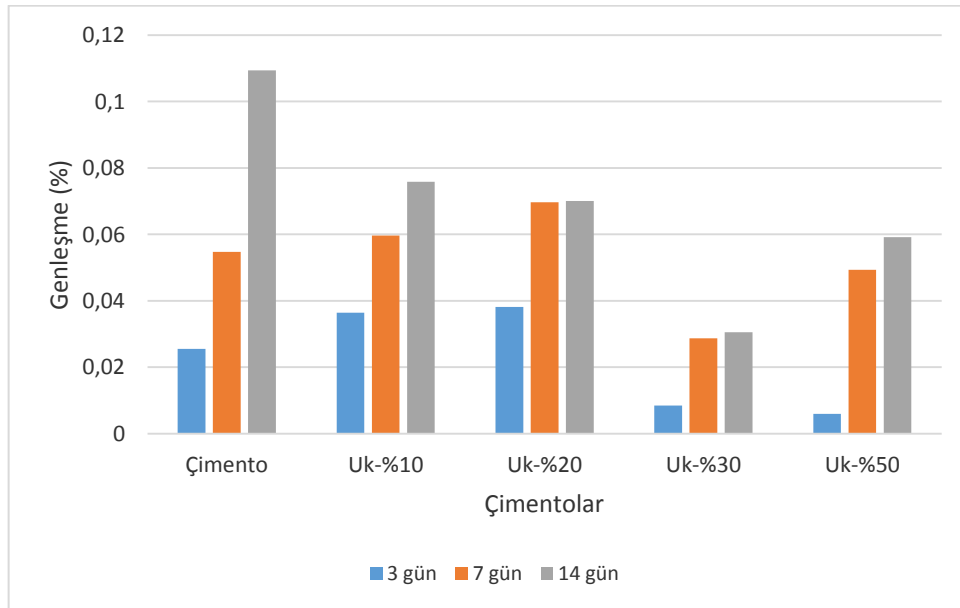
Şekil 32. Obsidyen ilaveli çimentolar ile üretilen harç çubuklarının ASTM C 1260'a göre hesaplanan genleşme miktarları (%)

Şekil 32'de %10, %20, %30 ve %50 oranında 60 dakika öğütülmüş obsidyenin CEM I 42,5 R tipi çimentoya katılarak üretilen çimento ile hazırlanan harç çubuklarında ASTM C 1260 standardına göre ölçülen genleşme oranları görülmektedir. Şekil 32'deki 60 dakika öğütülmüş obsidyen ilaveli çimentolarda Şekil 36'da tespit edilen benzer bulgulara rastlandı. Çimentoya puzolan olarak katılan obsidyenin alkali silika reaksiyonuna etkisi açısından obsidyenin çimentoya katılma miktarı arttıkça harç çubukların genleşme miktarında azalma meydana gelmektedir. Şekil 32'de %30, %40 ve %50 oranında 60 dakika öğütülmüş obsidyende ölçülen harç çubukların genleşme oranları 45 dakika öğütülmüş çimentolu harçlardan ölçülen genleşme oranlarından daha azdır. Puzolan olarak çimentoya katılan obsidyen agregaların alkali silika reaksiyonu açısından genleşme miktarını artırmamaktır bilakis azaltıcı yönde davranış göstermektedir.



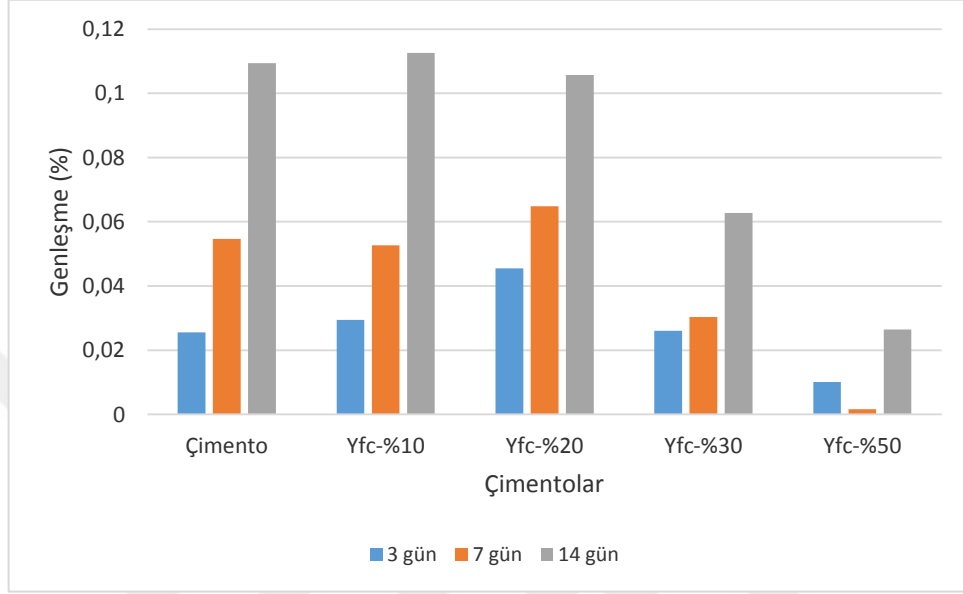
Şekil 33. Obsidyen ilaveli çimentolar ile üretilen harç çubuklarının ASTM C 1260'a göre hesaplanan genleşme miktarları (%)

Şekil 33'te %10, %20, %30 ve %50 oranında 75 dakika öğütülmüş obsidyen ilaveli harç çubuklarda ASTM C 1260 standardına göre yapılan deneyde harç çubuklarda hesaplanan genleşme miktarları görülmektedir. Şekil 33'te obsidyen ilave oranı artan çimentolarla üretilen harçların alkali ortamda genleşme oranlarının arttığı tespit edilmiştir. Ancak obsidyenin inceliğinin artmasıyla harç çubuklarının genleşme oranlarının değişimi arasında belirgin bir artış yada azalmaya rastlanamamıştır.



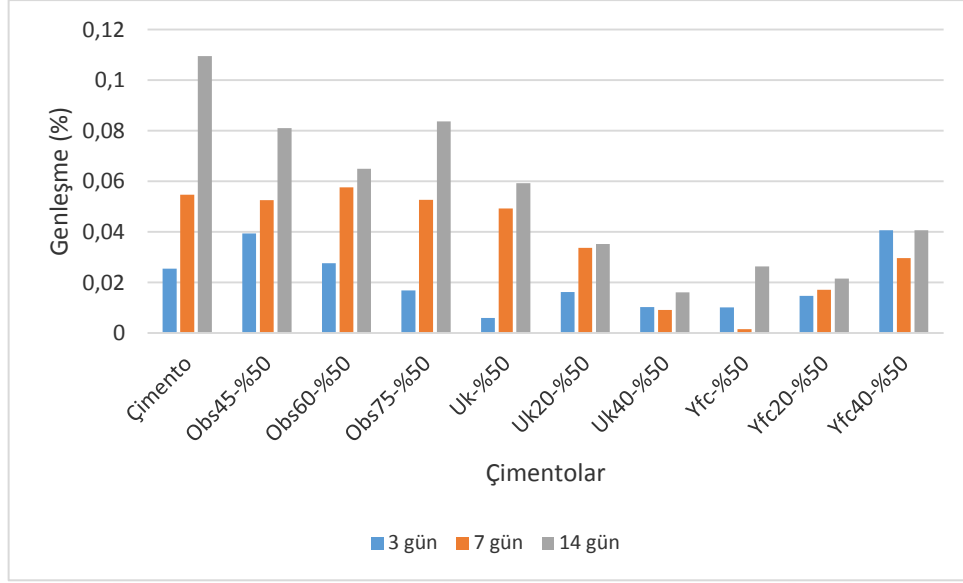
Şekil 34. Uçucu kül ilaveli çimentolar ile üretilen harç çubuklarının ASTM C 1260'a göre hesaplanan genleşme miktarları (%)

Şekil 34'te %10, %20, %30 ve %50 oranında uçucu külün CEM I 42,5 R tipi çimentoya katılarak üretilen çimento ile hazırlanan harç çubuklarında ASTM C 1260 standardına göre ölçülen genleşme oranları görülmektedir. Şekil 34'te çimentoya katılan uçucu kül miktarı artıkça harç çubukların genleşme miktarında azalma olmuştur.



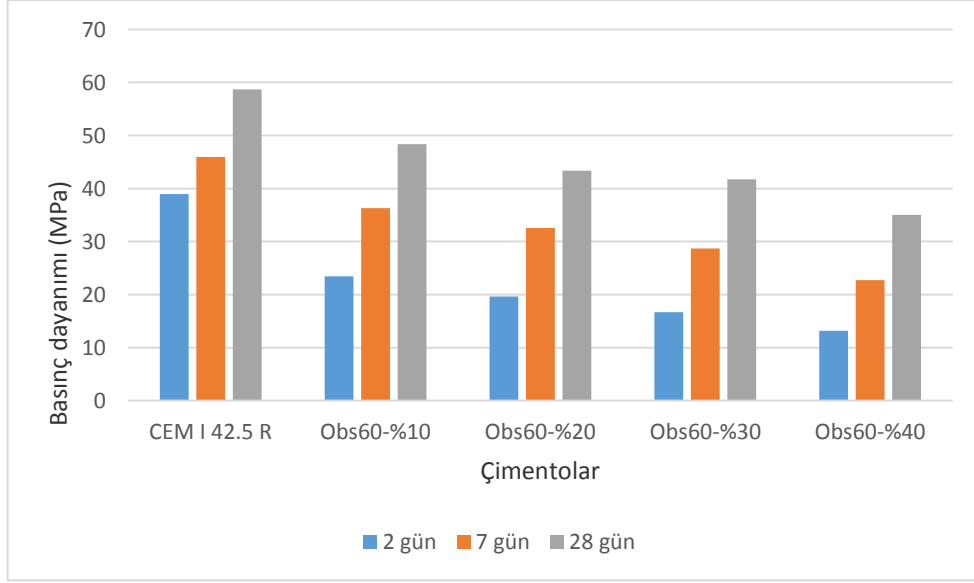
Şekil 35. Yüksek fırın cürufu ilaveli çimentolar ile üretilen harç çubuklarının ASTM C 1260'a göre hesaplanan genleşme miktarları (%)

Şekil 35'de %10, %20, %30 ve %50 oranında yüksek fırın cürufunun CEM I 42,5 R tipi çimentoya katılarak üretilen çimento ile hazırlanan harç çubuklarında ASTM C 1260 standardına göre ölçülen genleşme oranları görülmektedir. Şekil 35'de çimentoya katılan yüksek fırın cürufu miktarı artıkça harç çubukların genleşme miktarında azalma olmuştur.



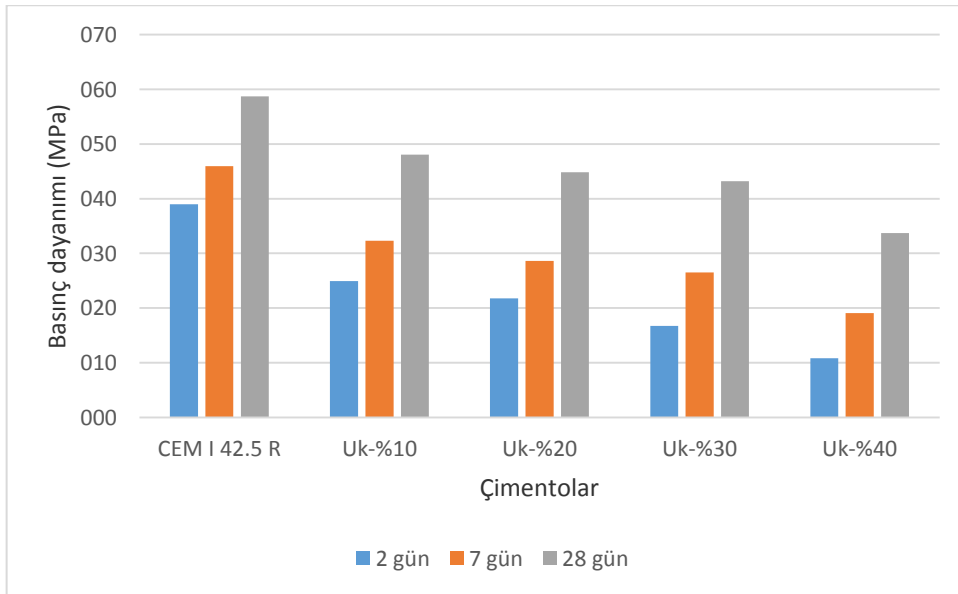
Şekil 36. CEM I 42,5 R tipi çimento ve üç farklı incelikte % 50 oranında obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ilaveli çimentolar ile üretilen harç çubuklarının ASTM C 1260'a göre hesaplanan genleşme miktarları (%)

Şekil 36'da CEM I 42,5 R tipi çimento ve üç farklı incelikte %50 oranında obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ilaveli çimentolar ile üretilen harç çubuklarının ASTM C 1260'a göre hesaplanan genleşme miktarları (%) görülmektedir. Şekil 36'da obsidyenli çimento ile üretilen harç çubuklarındaki genleşme oranları katkısız çimento ile üretilen harç çubuklarından az miktarda olduğu görülmektedir. Uçucu kül ve yüksek fırını katkılı çimentolar ile üretilen harçların genleşme miktarının obsidyenli numunelerden daha az tespit edildi. ASTM C 1260 standardına göre yapılan alkali silika reaktifliğinin belirlenmesinde obsidyenin zararlı bir etkisinin olmadığı, hatta bir miktar genleşme oranını düşürdüğü, puzolan katkı oranı arttıkça çimentonun alkali silika reaktifliğini azalttığı tespit edildi. Nayır vd. (2017) yaptıkları çalışmada bu çalışmaya benzer uçucu kül katkı oranı arttıkça agreganın alkali silika reaktifliğinin azalttığını belirtmektedir.



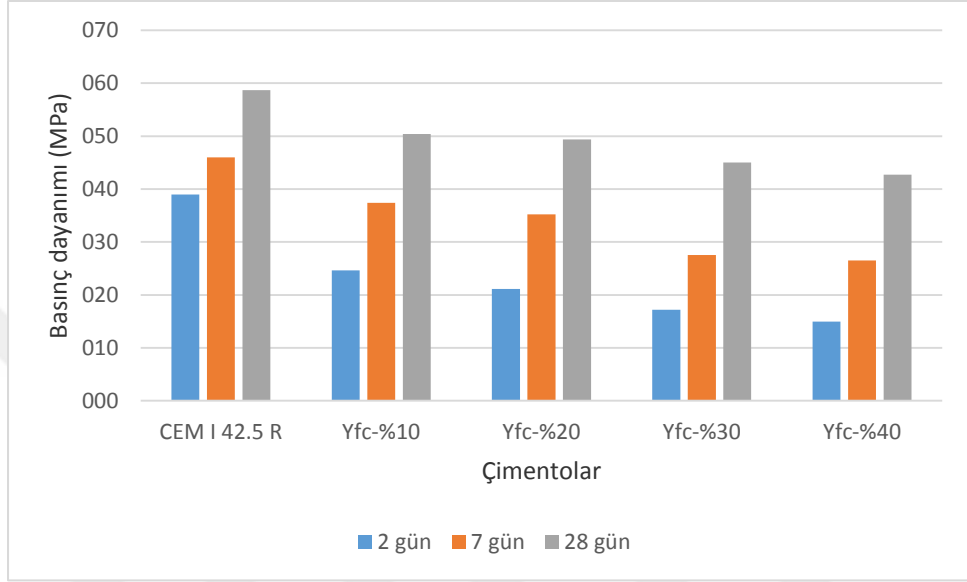
Şekil 37. CEM I 42,5 R tipi çimento ve bu çimentoya % 10, % 20,% 30 ve % 40 oranında 60 dakika öğütülmüş obsidyen katılmış çimento ile üretilen harçların basınç dayanımı

Şekil 37’de CEM I 42,5 R tipi çimento ve bu çimentoya %10, %20,%30 ve %40 oranında 60 dakika öğütülmüş obsidyen katılmış çimento ile TS EN 196-1’e göre hazırlanan harç numunelerden elde edilen basınç dayanımları görülmektedir. Şekil 37’de çimentoya obsidyen katkı oranı arttıkça basınç dayanımlarında azalma olmuştur.



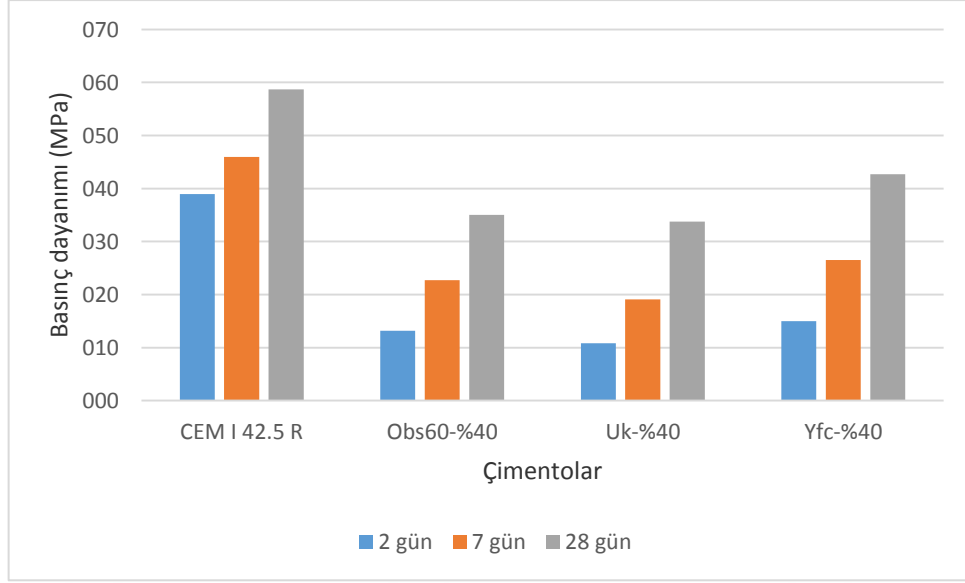
Şekil 38. CEM I 42,5 R tipi çimento ve bu çimentoya %10, %20,%30 ve %40 oranında uçucu kül katılmış çimento ile üretilen harçların basınç dayanımı

Şekil 38’de CEM I 42,5 R tipi çimento ve bu çimentoya %10, %20, %30 ve %40 oranında uçucu kül katılmış çimento ile TS EN 196-1’e göre hazırlanan harç numunelerden elde edilen basınç dayanımları görülmektedir. Şekil 37’deki obsidyenli çimento harçlarının dayanımlarının Şekil 38’teki uçucu küllü çimentolardan bir miktar daha fazladır.



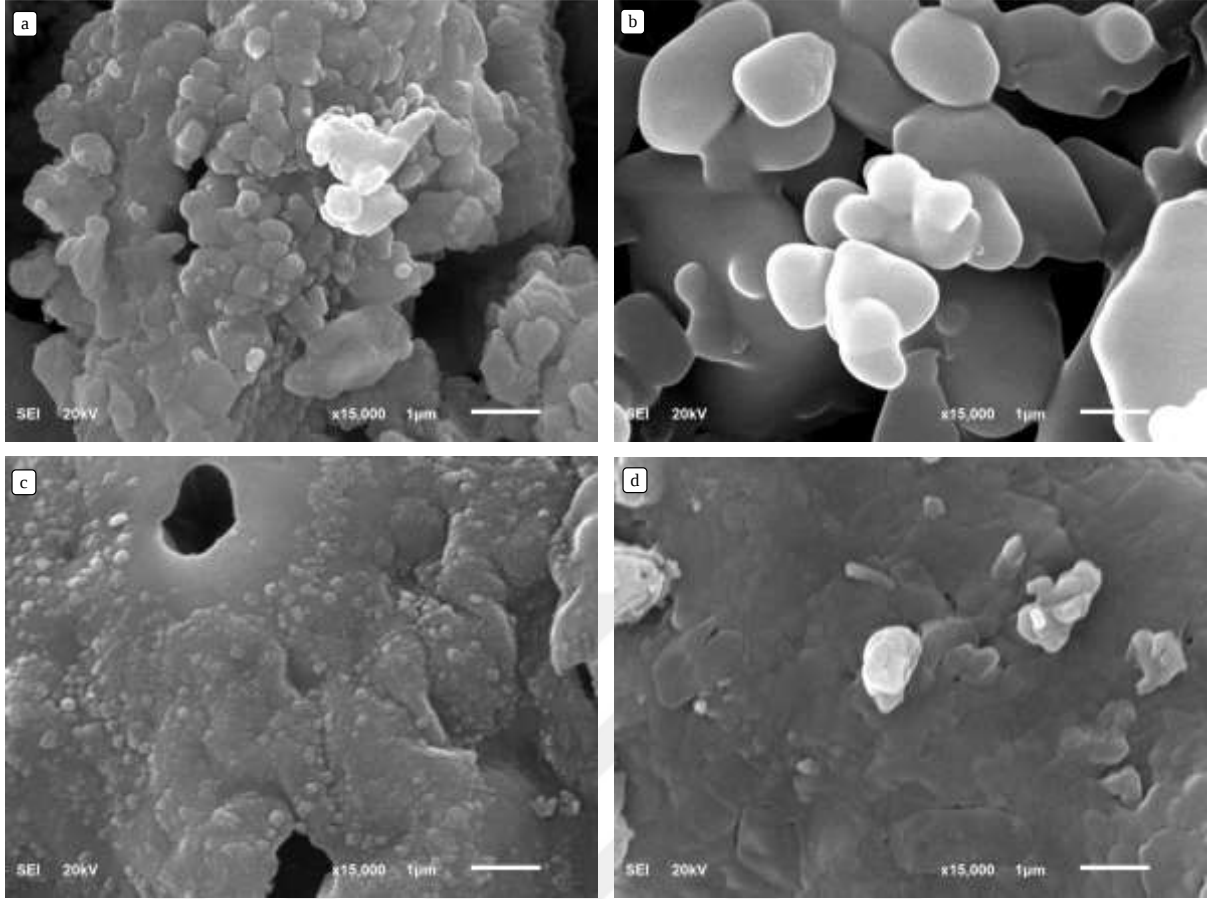
Şekil 39. CEM I 42,5 R tipi çimento ve bu çimentoya %10, %20, %30 ve %40 oranında yüksek fırın cürufu katılmış çimento ile üretilen harçların basınç dayanımı

Şekil 39’te CEM I 42,5 R tipi çimento ve bu çimentoya %10, %20, %30 ve %40 oranında yüksek fırın cürufu katılmış çimento ile TS EN 196-1’e göre hazırlanan harç numunelerden elde edilen basınç dayanımları görülmektedir. Çimentodaki yüksek fırın cürufu ilavesi arttıkça katkısız çimentoya göre basınç dayanımlarında azalma meydana gelmiştir.



Şekil 40. CEM I 42,5 R çimentosu ve bu çimentoya % 40 oranında obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu katılarak oluşturulan çimentolar ile TS EN 196-1'e göre hazırlanan harç numunelerinden elde edilen basınç dayanımları

Şekil 40'te CEM I 42,5 R çimentosu ve bu çimentoya %40 oranında obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu katılarak oluşturulan çimentolar ile TS EN 196-1'e göre hazırlanan harç numunelerinden elde edilen basınç dayanımları görülmektedir. Şekil 40'da en yüksek basınç dayanımı CEM I 42,5R çimentosunda olduğu bunu sırasıyla yüksek fırın cürufu, obsidyen ve uçucu kül ilaveli çimentolar takip etmiştir. Obsidyen katkılı çimentolar basınç dayanımı açısından puzolan katkı oranı arttıkça dayanım azalması yönünden yüksek fırın cürufu ve uçucu kül katkılı çimentolarla benzer davranış göstermiştir. Şekil 40'da %40 obsidyen ilaveli çimentoların 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları uçucu kül ilaveli çimentolardan yüksek, yüksek fırın cürufu ilaveli çimentolardan düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 41. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) Çimento (a), Obsidyen (b), uçucu kül (c) ve yüksek fırın cürufu (d) (x1000)

Şekil 41 (a, b, c, d)'de sırasıyla çimento, obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufundan 15000 kat büyütme elektron mikroskobu çekimleri görülmektedir. Şekil 41'de en küçük tane boyutu uçucu külde olduğunu açıkça görülmektedir. Bunu sırasıyla, yüksek fırın cürufu, çimento ve obsidyen örnekleri izlemektedir. Obsidyenin tane boyutunun en büyük olduğu halde Şekil 41'de görüldüğü gibi uçucu külden daha fazla yüksek fırın cürufundan daha az basınç dayanıma sahiptir. Obsidyenin tane boyutunun küçültülmesi durumunda puzolanik aktivitelerinde daha fazla artışa neden olabilecektir.

Yapılan bu çalışmada aşağıdaki hususlar tespit edildi.

- 1- Rize yöresi obsidyenin reaktif silis içeriği açısından TS EN 197-1'e göre çimentoda puzolan olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir.
- 2- Obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ilavesi çimentonun hidratasyon ısını düşürmektedir.
- 3- Obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu çimentonun alkali ortamdaki harç genişmesini katkı içermeyen çimentolu harçlara kıyasla azaltmaktadır.
- 4- Puzolan olarak çimentoya katılan obsidyen agregaların alkali silika reaksiyonu açısından genişleme miktarını artırmamaktır bilakis azaltıcı yönde davranış göstermektedir.
- 5- Obsidyen ilaveli çimentolarla üretilmiş harçların basınç dayanımı bu çalışmada kullanılan uçucu kül ve yüksek fırın cürufu harçlarla kıyaslandığında uçucu küllü numunelerden fazla yüksek fırın cürufu numunelerden az olduğu görülmüştür. Obsidyenli harçların basınç dayanım değerlerine görede obsidyen çimentoda puzolan olarak kullanılabilecek özelliktedir.

5. ÖNERİLER

- 1- Araştırmanın yapıldığı bölgedeki obsidyenin çimentoda puzolan olarak kullanılabileceği anlaşılan obsidyenin arazideki miktarının tespiti ve çimento fabrikasına taşınabilmesi için ek bir proje yapılarak durum değerlendirmesi yapılmalıdır.
- 2- Belirlenen obsidyen yataklarının çimentoda üreticileri tarafından kullanılabilmesi için girişimlerde bulunulup bilgilendirmeler yapılmalıdır.
- 3- Obsidyenin geopolimer olaraktan özellikleri tespit edilebilir ve aynı şekilde geopolimer özellikleri uçucu kül ve yüksek fırın cürufuyla kıyaslanabilir.



KAYNAKLAR

- Abbas, S., Kazmi, S.M.S. and Munir, M.J., 2017.** Potential of rice husk ash for mitigating the alkali-silica reaction in mortar bars incorporating reactive aggregates, *Constr.Build.Mater*, 132, 61-70.
- Abd-El.Aziz, M.A., Abd.El.Aleem, S., Heikal, M., 2012.** Physico-chemical and mechanical characteristics of pozzolanic cement pastes and mortars hydrated at different curing temperatures, *Construction and Building Materials*, 26, 310–316.
- Agarwal, S.K., 2006.** Pozzolanic activity of various siliceous materials, *Cement and Concrete Research*, 36, 1735–1739.
- Baran, T., Pichniarczyk, P., 2017.** Correlation factor between heat of hydration and compressive strength of common cement, *Construction and Building Materials*, 150, 321–332.
- Barnett, S.J., Soutsos, M.N., Millard, S.G., Bungey, J.H., 2006.** Strength development of mortars containing ground granulated blast-furnace slag: effect of curing temperature and determination of apparent activation energies, *Cement and Concrete Research*, 36(3), 434–40.
- Baščarević, Z., Komljenović, M.Z., Miladinović, V., Nikolić, H., Marjanović, Z., Žujović, R., Petrović, R., 2013.** Effects of the concentrated NH_4NO_3 solution on mechanical properties and structure of the fly ashbased geopolymers, *Construction and Building Materials*, 41, 570–579.
- Bilgin, A., Polat, S., Bilgin, N., Arslan, S., 2012.** Erciş obsidyenlerinin mineralojik-petrografik, jeokimyasal özellikleri ve süs taşı olarak değerlendirilmesi üzerinde ön çalışma, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2, 85-92.
- Bohac, M., Palou, M., Novotny, R., Masilko, J., Vsiansky, D., Stanek, T., 2014.** Investigation on early hydration of ternary Portland cement-blast-furnace slag-metakaolin blends, *Construction and Building Materials*, 64, 333–341.
- Boztuğ, D., Yeğingil, Z., Erçin, A.İ., Er, M., Oddone, M., Bigazzi, G., 2005.** Kırık dolgusu şeklinde yüzeylenen Çağırankaya Obsidyeninin (Rize-İkizdere) fission-track radyometrik yaş tayini: KD-GB doğrultulu faylar boyunca meydana gelen Pliyo-Kuvaterner yaşlı püskürme, *Türkiye Kuvaterner Sempozyumu*, İstanbul, 2005, 1-9.
- Caputo, D., Liguori, B., Colella, C., 2008.** Some advances in understanding the pozzolanic activity of zeolites: the effect of zeolite structure, *Cement & Concrete Composites*, 30, 455–462.

- Cordeiro, G.C., Filho, R.D.T., Tavares, L.M., Fairbairn, E.M.R., Hempel, S., 2011.** Influence of particle size and specific surface area on the pozzolanic activity of residual rice husk ash, *Cement & Concrete Composites*, 33, 529–534.
- Damtoft, J.S., Lukasik, J., Herfort, D., Sorrentino, D., Gartner, E.M., 2008.** Sustainable development and climate change initiatives, *Cement and Concrete Research*, 38(2), 115–27.
- Demir, M., Erenoglu, T., Ekim, H. and Tasdemir, M.A., 2002.** Effects of fineness and amount of fly ash on strength development of concrete, *Fifth International Congress on Advances in Civil Engineering (ACE 2002)*, İstanbul, 2, 1349-1358.
- Dongxue, L., Xinhua, F., Xuenquan, W. and Mingshu, T., 1997.** Durability study of steel slag cement, *CementConcreteRes*, 27(7), 983-987.
- Erdoğan, S.T., Sağlık, A.Ü., 2013.** Early-age activation of cement pastes and mortars containing ground perlite as a pozzolan, *Cement & Concrete Composites*, 38, 29–39.
- Felekoğlu, B., Turkel, S., Kalyoncu, H., 2009.** Optimization of fineness to maximize the strength activity of high-calcium ground fly ash – Portland cement composites, *Construction and Building Materials*, 23, 2053–2061.
- Han, F., He, X., Zhang, Z., Liu, J., 2017.** “Hydration heat of slag or fly ash in the composite binder at different temperatures”, *Thermochimica Acta*, 655, 202–210.
- Hanedan, A., 2008.** Büyükyayla obsidyenlerinde (Rize-İkizdere) Petrografik, mineralojik, minerak kimyası ve jeokimyasal özellikleri, *KTÜ FEN Bilimleri Doktora Tezi*.
- Heide, K., Sadıklar, M.B., Gerth, K., Völksch, G. ve Hartmann, E., 1996.** Obsidian from Büyüksulata and Sııklı Tepe, Eastpontides, Turkey: A Glass-Chemical Study, *Chemie der Erde*, 56, 4, 285-312.
- Jelmer W., Eerkens, K., Vaughn, J., Tim, R., Carpenter, A., Christina, A., 2008.** Conlee, Moises Linares Grados, Katharina Schreiber Obsidian hydration dating on the South Coast of Peru, *Journal of Archaeological Science*, 35, 2231-2239.
- Juenger, M.C.G., Winnefeld, F.E., Provis, J.L., Ideker, J.H., 2011.** Advancesin alternative cementitious binders, *Cement and Concrete Research*, 41, 1232–1243.
- Kastis, D., Kakali, G., Tsivilis, S., Stamatakis, M.G., 2006.** Properties and hydration of blended cements with calcareous diatomite, *Cement and Concrete Research*, 36(10), 1821–1826.

- Kayali, O., Zhu, B., 2005.** Corrosion performance of medium-strength and silica fume high-strength reinforced concrete in a chloride solution, *Cement & Concrete Composites*, 27, 117–124.
- Lemonis, N., Tsakiridis, P.E., Katsiotis, N.S., Antiohos, S., Papageorgiou, D., Katsiotis, M.S., Beazi-Katsioti, M., 2015.** Hydration study of ternary blended cements containing ferronickel slag and natural pozzolan, *Construction and Building Materials*, 81, 130–139.
- Marjanović, M., Komljenović, Z., Bašćarević, V., Nikolić, R., Petrović, N., 2015.** Physical–mechanical and microstructural properties of alkali-activated fly ash–blast furnaceslag blends, *Ceramics International*, 41, 1421–1435.
- Merzouki, T., Bouasker, M., Khalifa, N.E.H., Mounanga, P., 2013.** Contribution to the modeling of hydration and chemical shrinkage of slag-blended cement at early age, *Construction and Building Materials*, 44, 368–380.
- Monzo, J., Paya, J. and Peris-Mora, E., 1994.** A Preliminary study of fly ash granulometric influence on mortar strength, *Cement and Concrete Research*, 24, 4, 791-796.
- Nayır, S., Erdoğan, Şakir., Kurbetci, Şirin., 2017.** Effectiveness of mineral additives in mitigating alkali-silica reaction in mortar, *Computers and Concrete*, 20, 6, 705-710.
- Neville, A.M. and Brooks, J.J., 1991.** *Concrete Technology*, Longman Scientific & Technical, U.S.A.
- Özbay, E., Erdemir, M., Durmus, H.İ., 2016.** Utilization and efficiency of ground granulated blast furnace slag on concrete properties – A review, *Construction and Building Materials*, 105, 423–434.
- Panias, D., Giannopoulou, I.P., Perraki, T., 2007.** Effect of synthesis parameters on the mechanical properties of fly ash-based geopolymers, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 301, 246–254.
- Paya, J., Monzo, J., Borrachero, M.V., Peris, E. and Gonzalez-Lopez, E., 1997.** Mechanical treatments of fly ashes. Part III: Studies on strength development of ground fly ashes-cement mortars, *Cement and Concrete Research*, 27, 9, 1365-1377.
- Sadıklar, M.B., Hanedan, A. ve Heide, K., 2004.** A preliminary study of the heterogeneous alteration in the rhyolitic natural glass from Büyük Yayla (Ikizdere/Rize-NE), 5th. International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, Thessaloniki, Greece, 1232-1233.
- Schneider, M., Romer, M., Tschudin, M., Bolio, H., 2011.** Sustainable cement production at present and future, *Cement and Concrete Research*, 41(7), 642–50.

- Scholer, A., Lothenbach, B., Winnefeld, F., Zajac, M., 2015.** Hydration of quaternary Portland cement blends containing blast-furnace slag, siliceous fly ash and limestone powder, *Cement & Concrete Composites*, 55, 374–382.
- Shafaatian, S.M.H., Akhavan, A., Maraghechi, H. and Rajabiour, F., 2013.** How does fly ash mitigate alkali-silica reaction in accelerated mortar bar test?, *CementConcreteCompos*, 37, 143-153.
- Sharfuddin Ahmed, M., Kayali, O., Anderson, W., 2008.** Chloride penetration in binary and ternary blended cement concretes as measured by two different rapid methods, *Cement & Concrete Composites*, 30, 576–582.
- Siddique, R., 2012.** Properties of concrete made with volcanic ash, *Resources, Conservation and Recycling*, 66, 40–44.
- Tchakoute Kouamo, H., Mbey, J.A.A., Elimbi, B.B., KenneDiffo, D.N., 2013.** Synthesis of volcanicash-based geopolymermortarby fusion method: effect so fadding metakaolin to fused volcanic ash, *Ceramics International*, 39, 1613–1621.
- Thongsanitgarn, P., Wongkeo, W., Chaipanich, A., Poon, C.S., 2014.** Heat of hydration of Portland high-calcium fly ash cement incorporating limestone powder: Effect of limestone particle size, *Construction and Building Materials*, 66, 410–417.
- TS EN 196-8., 2011.** Çimento deney yöntemleri, bölüm 8 hidrasyon ısısı çözelti yöntemi, Türk Standardı.
- TS EN 196-9., 2004.** Çimento deney yöntemleri, bölüm 9 hidrasyon ısısı yarı adyabatik yöntem, Türk Standardı.
- TS EN 197-1., 2012.** Çimento-Bölüm 1: Genel çimentolar: bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standardı, Ankara
- TS EN 206-1., 2014.** Beton-Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk. TSE., Ankara, 1. baskı, 68 s.
- TS EN 450-1., 2013.** Uçucu Kül - Betonda kullanılan - Bölüm 1: Tarif, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standardı.
- TS EN 15167-1., 2006.** Öğütülmüş yüksek fırın cürufu, beton, harç ve şerbette kullanımı, Türk Standardı.
- TS 25., 2008.** Doğal puzolan (tras)-Çimento ve betonda kullanılan-Tarifler, gerekler ve uygunluk kriterleri, Türk Standardı.
- TS 13515., 2014.** TS-EN 206-1 in uygulamasına yönelik tamamlayıcı standart. TSE., Ankara, 1. baskı, 58 s.

- Tydlitát, V., Zákoutsk, J., Cern, R., 2014.** Early-stage hydration heat development in blended cements containing natural zeolite studied by isothermal calorimetry, *Thermochimica Acta*, 582, 53–58.
- Ul Haq, E., Padmanabhan, S.K., Licciulli, A., 2014.** Synthesis and characteristics of fly ash and bottom ash based geopolymers – a comparative study, *Ceramics International*, 40, 2965–2971.
- Uzal B., Turanlı, L., Yücel, H., Göncüoğlu, M.C., Çulfaz, A., 2010.** Pozzolanic activity of clinoptilolite: A comparative study with silica fume, fly ash and a non-zeolitic natural pozzolan, *Cement and Concrete Research*, 40, 398–404.
- Yamamoto, T., Kanazu, T., Nambu, M., Tanosaki, T., 2006.** Pozzolanic reactivity of fly ash – API method and K-value, *Fuel*, 85, 2345–2351.
- Yazıcı, H., 2008.** The effect of silica fume and high-volume Class C fly ash on mechanical properties, chloride penetration and freeze–thaw resistance of self-compacting concrete, *Construction and Building Materials*, 22, 456–462.
- Yegengil, Z., Boztuğ, D., Er, M., Oddone, M. ve Bigazzi, G., 2002.** Timing of Neotectonic fracturing by fusion track dating of obsidian in-filling faults in the İkizdere-Rize area, NE Black Sea region, Turkey, *Terra Nova*, 14, 190–174.
- Wang, M.R., Jia, D.C., He, P.G., Zhou, Y., 2011.** Microstructural and mechanical characterization of fly ash cenosphere/metakaolin-based geopolymeric composites, *Ceramics International*, 37, 1661–1666.
- Wang, X.Y., Lee, H.S., 2010.** Modeling the hydration of concrete incorporating fly ash or slag, *Cement and Concrete Research*, 40, 984–996.
- Winnefeld, F., Leemann, A., Lucuk, M., Svoboda, P., Neuroth, M., 2010.** Assessment of phase formation in alkali-activated low and high calcium fly ashes in building materials, *Construction and Building Materials*, 24, 1086–1093.

ÖZGEÇMİŞ

İhsan ÖMÜR 18.09.1990 tarihinde İSTANBUL ‘da doğdu. İlköğrenimini 2004 yılında RİZE ili Şevket Yardımcı İlkokulunda ve Ortaöğrenimini 2007 yılında Rize ilinde RİZE Lisesinde tamamladı. 2008 yılında başladığı Lisans eğitimini 28/06/2012 tarihinde Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde tamamladı. 2015 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda başladığı Yüksek Lisans öğrenimine halen devam etmektedir.

