

**T.C.**  
**RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI İNCELİKTE ÖĞÜTÜLMÜŞ OBSİDYEN KATKILI**  
**ÇİMENTOLARIN PUZOLANİK ÖZELLİKLERİNİN TAYİNİ**

**MUAMMER YANIK**

**TEZ DANIŞMANI**

**DOÇ. DR. İLKER USTABAŞ**

**II. DANIŞMAN**

**PROF. DR. ŞAKİR ERDOĞDU**

**TEZ JÜRİLERİ**

**PROF. DR. ŞÜKRÜ YETGİN**

**DOÇ. DR. MURAT YAYLACI**

**DOÇ. DR. AYBERK KAYA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**RİZE-2019**

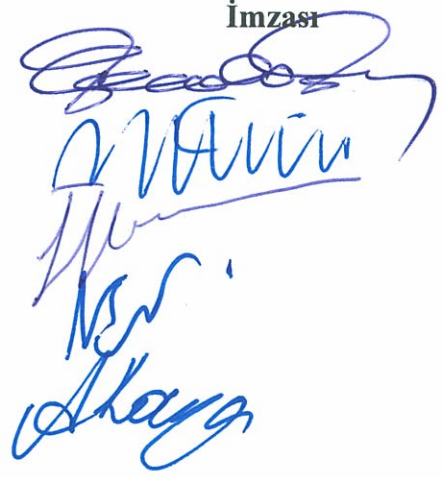
**Her Hakkı Saklıdır**

T.C.  
RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI İNCELİKTE ÖĞÜTÜLMÜŞ OBSİDYEN KATKILI  
ÇİMENTOLARIN PUZOLANİK ÖZELLİKLERİNİN TAYİNİ**

Doç. Dr. İlker USTABAŞ danışmanlığında, Muammer YANIK tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü yönetim kurulu kararıyla oluşturulan jüri tarafından 23/01/2019 tarihinde İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı Adı Soyadı
Başkan	: Prof.Dr. Şakir ERDOĞDU
Üye	: Prof.Dr. Şükrü YETGİN
Üye	: Doç.Dr. İlker USTABAŞ
Üye	: Doç.Dr. Murat YAYLACI
Üye	: Doç.Dr. Ayberk KAYA

İmzası  


  
  
Doç. Dr. Ferhat KALAYCI  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

## ÖNSÖZ

Bu çalışma, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans çalışması olarak hazırlanmıştır.

Bu yüksek lisans çalışması 214M023 nolu TÜBİTAK projesinden elde edilen verilerle hazırlanmıştır. Bir proje ile desteklenen bu tez çalışması ile farklı disiplinlerde bilim insanlarının bir arada çalışması sağlanmıştır.

Yüksek lisans çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen başta sayın danışmanlarım Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU ve Doç. Dr. İlker USTABAŞ'a, obsidyen bulunan bölgenin ve çalışmanın jeolojik kısmının hazırlanmasında katkılarını sağlayan Doç. Dr. Ayberk KAYA ve Dr. Öğr. Üyesi Yılmaz DEMİR'e, laboratuvar çalışmalarımda bana yardımcı olan Arş. Gör. Alperen Vahittin Baki ve İnş. Müh. İhsan ÖMÜR'e teşekkür ederim.


Bu yüksek lisans tezi, 214M023 numaralı, "Farklı İnceliğe Sahip Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu ve Öğütülmüş Obsidyen Katkılı Çimentoların Puzolanik Aktivitesi, Hidratasyon Isısının Tayini ve Yapay Sinir Ağlarıyla Optimum Puzolan Katkı Oranının Belirlenmesi" başlıklı bursiyer olarak görev aldığım TÜBİTAK projesinden üretilmiştir. Bu teze her türlü desteğinden ve bana maddi katkılarından dolayı TÜBİTAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hazırlanan bu Yüksek Lisans tezi TÜBİTAK tarafından 214M023 nolu proje ile desteklenmiştir.

**Muammer YANIK**

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan “Farklı incelikte öğütölmüş obsidyen katkılı çimentoların puzolanik özelliklerinin tayini” başlıklı bu tezin, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiđi Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırlandığıı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemleri kabul ettiğimi beyan ederim.  
23/01/2019

  
Muammer YANIK

*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 İNCELİKTE ÖĞÜTÜLMÜŞ OBSİDYEN KATKILI ÇİMENTOLARIN PUZOLANİK ÖZELLİKLERİNİN TAYİNİ

**Muammer YANIK**

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

Bu çalışmada üç farklı inceliğe sahip obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ilaveli çimentoların puzolanik aktiviteleri incelenerek Rize yöresi obsidyeninin çimentoda puzolan olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Obsidyen ikameli çimentolarla üretilen harçların puzolanik aktivitesi, puzolanik aktivite indeksi ve basınç dayanımları uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ikameli harçlarındaki ile kıyaslanmıştır. Obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun çimentonun standart kıvam, priz başlama, priz bitiş sürelerine ve hacim sabitliğine etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda Rize yöresi obsidyeninin çimentoda puzolan olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir. Obsidyen ikameli çimentolarla üretilen harçların, uçucu kül ikameli çimento ile üretilen harçlara kıyasla puzolanik aktivite değerinin ve basınç dayanımının daha yüksek olduğu, yüksek fırın cürufu ikameli çimento ile üretilen harçlardan ise daha düşük olduğu görülmüştür.

**2019, 55 sayfa**

**Anahtar kelimeler:** Obsidyen, Uçucu kül, Yüksek Fırın Cürufu, Katkılı Çimento, Puzolanik Aktivite.

## **ABSTRACT**

### **DETERMINATION OF POZZOLANIC PROPERTIES OF DIFFERENT GRINDED OBSIDIAN ADDITIVE CEMENTS**

**Muammer YANIK**

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

In this study, pozzolanic activities of obsidian, fly ash and blast furnace slag with different fineness were investigated. The use of obsidian as a pozzolan in cement was investigated. The pozzolanic activity, pozzolanic activity index and compressive strength of the mortars produced by the obsidian substitutes were compared with that of mortars produced by fly ash and blast furnace slag substitute. Effects of obsidian, fly ash and blast furnace slag on the standard consistency, setting time and volume stability were investigated. As a result of the study, it was determined that obsidian of Rize region could be used as pozzolan in cement. The mortars produced with obsidian substitutes are higher in the aspect of pozzolanic activity and compressive strength compared to the mortars produced by fly ash substitute while It was found that It is lower than the cement produced with blast furnace slag substitute.

**2019, 55 pages**

**Key word:** Obsidian, Fly ash, Blast Furnace Slag, Blended Cement, Pozzolanic Activity

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ .....	II
ÖZET .....	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER .....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	VI
TABLolar DİZİNİ.....	VII
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	VIII
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Çimentoda Kullanılan Puzolanlar .....	2
1.3. Çimentoda kullanılacak puzolanların belirlenmesi için kullanılan yöntemler ve şartlar.....	5
1.4. Literatür Özeti.....	6
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	11
2.1. Çalışmada kullanılan malzemeler, özellikleri ve temin edildiği yer bilgisi .....	11
2.2. Çalışmada kullanılan çimento, obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun minerolojik yapısı.....	13
2.3. Çalışmada uygulanan deneyler .....	15
2.3.1. Reaktif silis, Puzolanik aktivite ve puzolanik özellik tayinleri .....	15
2.3.2. Puzolanik aktivite indeksinin tayini.....	17
2.3.3. Puzolanik özellik tayini .....	18
2.3.4. Çalışmada uygulanan diğer deneyler .....	18
3. BULGULAR.....	24
3.1. İkizdere Obsidyenleri.....	24
3.1.1. Tabakalı obsidyenler.....	24
3.1.2. Breşik obsidyenler .....	26
3.1.3. Masif obsidyenler .....	27
3.2. Obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırını cürufu ilaveli çimentoların puzolanik aktiviteleri .....	28
3.3. Puzolanik aktivite indeksleri.....	29
3.4. Puzolanlı çimentoların standart kıvam, priz başlama ve bitiş süreleri .....	33

3.5. imentolarda puzolanik özellik tayini .....	35
4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR.....	37
5. ÖNERİLER.....	49
KAYNAKLAR .....	50
ÖZGEÇMİŞ .....	55





## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b>Şekil 1.</b>	Farklı oranlarda perlit katkılı çimentoların zamanla dayanım kazanma oranı (Erdoğan ve Sağlık, 2013)] .....	9
<b>Şekil 2.</b>	Büyükyaıla ve yakın çevresinin jeoloji haritası.....	12
<b>Şekil 3.</b>	XRD analizi (a) Çimento (b) Obsidyen (c) Uçucu kül (d) Yüksek fırın cürufu .....	14
<b>Şekil 4.</b>	Malzeme öğütülmesinde kullanılan bilyeli değirmen .....	15
<b>Şekil 5.</b>	Harç numunesinin mikserde karıştırma görüntüsü.....	18
<b>Şekil 6.</b>	Sarsma tablası ile harcın prizmatik numune kalıbına yerleştirme görüntüsü. 19	
<b>Şekil 7.</b>	Harç numunelerinin hazırlanışından itibaren 24 saat bekletildiği Etüv gösterilmektedir .....	20
<b>Şekil 8.</b>	Harç numunelerin bekletildiği kür havuzu görüntüsü.....	21
<b>Şekil 9.</b>	Numunelerin 2, 7 ve 28 günlük eğilme ve basınç deneylerinin yapıldığı cihazın görüntüsü.....	22
<b>Şekil 10.</b>	Vicatt iğnesi deneyinin yapıldığı düzenek gösterilmektedir .....	22
<b>Şekil 11.</b>	Hacim sabitliği ölçümünde kullanılan ısıtma kabı ve hacim sabitliğinin ölçüldüğü Le Chatelier halkaları.....	23
<b>Şekil 12.</b>	(a, b) Karatepenin batısında yüzeyleme veren tabakalı obsidyenler, (c) Tabakalı obsidyenlerde mm kalınlığında batlaşmalar, (d) Katman yüzeyleri arasında açık renkli alterasyon seviyeleri .....	26
<b>Şekil 13.</b>	(a) Breşik obsidyen mostrası, (b) breşik seviyelerde masif siyah renkli obsidyen, (c) breşik seviyelerde bantlı katmanlı obsidyen, (d) breşik seviyelerde kırmızı ve siyah renkli obsidyen.....	27
<b>Şekil 14.</b>	(a, b) masif siyah renkli obsidyenlerin arazideki görünümü, (c, d) kırmızı ve siyah bantlı masif obsidyenlerin arazideki görünümü .....	28
<b>Şekil 15.</b>	TS 25'e göre farklı inceliğe sahip puzolanların puzolanik aktivite değerleri .	37
<b>Şekil 16.</b>	%25 puzolan ilaveli çimentoların puzolanik aktivite indeksleri .....	39
<b>Şekil 17.</b>	%50 puzolan ilaveli çimentoların puzolanik aktivite inkdeksleri .....	41
<b>Şekil 18.</b>	Çimentoların TS EN 196-3'e göre standart kıvam değerleri .....	42
<b>Şekil 19.</b>	Puzolan katkı oranına göre çimentoların priz başlama süreleri .....	43
<b>Şekil 20.</b>	Obsidyen ilaveli çimentoların TS EN 196-5'e göre puzolanik özellikleri.....	44
<b>Şekil 21.</b>	Uçucu kül ilaveli çimentoların TS EN 196-5'e göre puzolanik özellikleri.....	45
<b>Şekil 22.</b>	Yüksek fırın cürufu ilaveli çimentoların TS EN 196-5'e göre puzolanik özellikleri .....	46
<b>Şekil 23.</b>	Taramalı elektron mikroskobu (SEM) Çimento (a), obsidyen (b), uçucu kül (c) ve yüksek fırın cürufu (d) (x1000) .....	47

## TABLolar DİZİNİ

<b>Tablo 1.</b> Çalışmada kullanılan çimento, obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun kimyasal bileşimi.....	13
<b>Tablo 2.</b> Bağlayıcılara ait incelik değerleri .....	15
<b>Tablo 3.</b> TS 25 standardındaki puzolanik aktivite deneyi için kullanılacak malzeme miktarları .....	16
<b>Tablo 4.</b> Obsidyenin puzolanik aktivite deneyinde kullanılan malzeme miktarları ve özellikleri .....	16
<b>Tablo 5.</b> Uçucu külün puzolanik aktivite deneyinde kullanılan malzeme miktarları ve özellikleri .....	16
<b>Tablo 6.</b> Yüksek fırın cürufunun puzolanik aktivite deneyinde kullanılan malzeme miktarları ve özellikleri.....	17
<b>Tablo 7.</b> Puzolanik Aktivite İndeksinin tayinini için hazırlanan harç numunelerde kullanılan malzemeler ve miktarları .....	17
<b>Tablo 8.</b> Puzolanik aktivite değerleri .....	29
<b>Tablo 9.</b> %25 puzolan oranına göre hesaplanan puzolanik aktivite indeksleri .....	30
<b>Tablo 10.</b> %50 oranında obsidyen ve yüksek fırın cürufu ilaveli çimentolardan ölçülen puzolanik aktivite indeksleri .....	32
<b>Tablo 11.</b> Obsidyen45, obsidyen60 ve obsidyen75 ilaveli çimentoların standart kıvam, priz başlama ve priz bitiş süreleri .....	34
<b>Tablo 12.</b> Uçucu kül, Uçucu kül20 ve uçucu kül40 ilaveli çimentoların standart kıvam, priz başlama ve priz bitiş süreleri .....	34
<b>Tablo 13.</b> Yüksek fırın cürufu (Yfc), yüksek fırın cürufu20, yüksek fırın cürufu40 ilaveli çimentoların standart kıvam, priz başlama ve priz bitiş süreleri .....	35
<b>Tablo 14.</b> TS EN 196-5'e göre puzolanik özellik için x ve y değerleri .....	36

## SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

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

# 1. GENEL BİLGİLER

## 1.1. Giriş

Çimento, yapı sektörü tarafından yaygın olarak kullanılan bir malzemedir. Çimentonun bağlayıcılık sağlayan ana ürünlerinden biri klinkerdir. Klinker, kireçtaşı ve kil karışımının döner fırınlarda yüksek sıcaklıklarda pişirilmesiyle üretilen bir maddedir. Klinker toz haline getirilip su ile karıştığı zaman bağlayıcılık kazanmaktadır. %95 oranında klinkere sahip çimentolara Portland çimentosu denilmektedir ve bu çimentodan katkısız çimento olarak bahsedilmektedir. Puzolan denilen maddelerle klinkerin karışımından katkılı çimentolar üretilmektedir. Puzolanlar, çimentonun hidratasyon ısını düşüren, çimentoya ekonomiklik sağlayan, çimento sektörü tarafından yaygın olarak kullanılan maddelerdir. Puzolanların çimentoya sağlamış olduğu faydalardan dolayı puzolanik özellik gösteren her tür maddeye çimento sektörü yakın ilgi göstermektedir.

Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu çimentoda yaygın olarak kullanılan puzolanlardır. Uçucu kül termik santrallerinde kömürün yakılması sırasında, yüksek fırın cürufu demir cehverinin 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 loretatürde bununla ilgili fazla bilimsel veriye rastlanmayan bir puzolandır. Obsidyen kimyasal yapısında yaklaşık %80 oranında silis bulunduran, amorf yapıya sahip, volkanik kökenli cam türüdür. Obsidyen taşı süs eşyalarının yapımında kullanılabileceği belirtilmekte ancak içerisindeki farklı mineraller işlenebilirliğini zorlaştırmaktadır. Bu yüzden obsidyen herhangi bir alanda kullanılmayan, ekonomik değeri olmayan bir taş türüdür. Rize İlinde zengin obsidyen yatakları mevcuttur. Özellikle İkizdere Büyükyayla civarlarında bolca obsidyen bulunmaktadır.

Çimentonun hidratasyon ısı kütlesi betonları ve geniş boyutlu yapı betonlarında sorunlara neden olmaktadır. Bu sorunu çözmekte kullanılan yöntemlerin başında çimentoda puzolan kullanımı gelmektedir. Obsidyen ve yüksek fırın cürufunun çimentoda puzolan olarak kullanılabilmesi için belli inceliğe kadar öğütülmesi

gerekmektedir. Puzolanların inceliği çimentonun puzolanik aktivitesini ve hidratasyon ısısını etkilemektedir.

Bu çalışmada farklı inceliğe sahip uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve öğütülmüş obsidyenin puzolanik aktivite özellikleri araştırılmıştır. Volkanik cam diye bilinen, Rize ilinde bolca bulunan obsidyenin, çimentoda puzolan olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Rize yöresi obsidyenin, çimento özelliklerine etkisi ile uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun çimento özelliklerine etkileriyle karşılaştırılmıştır. Puzolan inceliğine, puzolanik aktivitesine, eğilme-basınç dayanımına ve priz başlama sürelerine göre çimentoya katılabilecek puzolan katkı oranları belirlenmiştir. Bu çalışma ile Rize yöresi öğütülmüş obsidyenin, çimentodaki puzolanik aktivitesi ilk kez araştırılmıştır.

## **1.2. Çimentoda Kullanılan Puzolanlar**

Puzolanlar, kendi başına bağlayıcılık değeri olmayan yada çok az bağlayıcılık gösterebilen, fakat ince taneli durumda olduklarında ve sulu ortamda kalsiyum hidroksit ile birleştiklerinde hidrolik bağlayıcılık gösteren malzemelerdir (Topçu, 2008). Puzolanlar doğal, yapay ve ısıtılmış uygulanmış olanlar olarak üç gruba ayrılabilir. Doğal puzolanlar volkanik camlar ve volkanik tüflerdir. Yapay puzolanlar uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanıdır. Isıtılmış puzolanlar ısıtılmış killer ve diatomik topraklardır (Topçu, 2008).

Puzolanik malzemeler, silisli veya alüminyum silikatlı veya bunların bileşiminden oluşan doğal malzemelerdir. Puzolanik malzemeler su ile karıştırıldığında kendi kendine sertleşmezler fakat ince öğütüldüğünde vesuyun mevcudiyetinde normal çevre sıcaklığında çözülmüş kalsiyum hidroksitle ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) reaksiyona girerek dayanımı geliştiren kalsiyum silikat ve kalsiyum alüminat bileşikler oluştururlar. Bu bileşikler, hidrolik malzemelerin sertleşmesinde oluşan bileşiklerle benzerdir. Puzolanlar esasen reaktif silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) ve alüminyum oksit ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )'den oluşmuştur. Geri kalan kısım demir oksit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ve diğer oksitleri ihtiva eder. Sertleşme için reaktif kalsiyum oksit oranı ihmal edilebilir. Çimentoda puzolan olarak kullanılacak puzolanlarda reaktif silisyum dioksit miktarı kütlece %25'den daha az olmamalıdır (TS EN 197-1,2012). Bu bakımdan puzolanın reaktif silis içeriği, içerdiği

oksitler ve oranları, nem durumu, inceliği gibi hususlar dikkate alınarak puzolanik malzemeler çimentoda kullanılması için doğru şekilde hazırlanmalıdır. TS EN 197-1’de çimentoda kullanılacak puzolanlar ve özellikleri belirtilmektedir. Granüle yüksek fırın cürufu, doğal puzolanlar, doğal kalsine edilmiş puzolanlar, uçucu kül, silis dumanı ve kalker TS EN 197-1’de çimentoda kullanılabilen puzolanlar arasında yer almaktadır.

Granüle yüksek fırın cürufu, demir cevheri yüksek fırında ergitilirken elde edilen uygun bileşimdeki ergimiş cürufun hızla soğutulması ile elde edilen, kütlece en az 2/3 oranında camsı cüruf ihtiva eden ve uygun şekilde aktifleştirildiğinde hidrolik özellikler gösteren malzemelerdir (TS EN 197-1, 2012). TS EN 197-1’e göre çimentoda granüle yüksek fırın cürufunun kullanılabilmesi için kütlece en az 2/3’ü, kalsiyum oksit (CaO), magnezyum oksit (MgO) ve silisyum dioksit (SiO<sub>2</sub>) toplamından ibaret olmalıdır. Geri kalan kısmı az miktarda diğer bileşiklerle birlikte alüminyum oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ihtiva etmelidir. Kütlece (CaO + MgO) / (SiO<sub>2</sub>) oranı 1,0’dan fazla olması TS EN 197-1’de istenen diğer bir özelliktir (TS EN 197-1, 2012).

Doğal puzolanlar, genellikle uygun kimyasal ve mineralojik bileşimli TS EN 197-1 standardının puzolan tarifine uygun volkanik orijinli malzemeler veya tortul kayalardır. Doğal kalsine edilmiş puzolanlar TS EN 197-1 standardının puzolan tarifine uygun, ısı ile aktifleştirilmiş volkanik orijinli malzemeler, killi, şistler ve tortul kayalardır (TS EN 197-1, 2012).

Uçucu kül, pulverize kömür yakılan fırınlardan atılan baca gazındaki toz taneciklerinin elektrostatik veya mekanik olarak çöktürülmesi ile elde edilir. Çimentoda kullanılacak uçucu kül ile özellikler ve şartlar TS EN 450-1 standardına verilmiştir. TS EN 450-1 standardında belirtilen yöntemin dışında elde edilen kül TS EN 197-1’e göre uygun çimentoda kullanılamaz. Uçucu küller silisi veya kalkersel yapıda olabilir. Silisi uçucu külün puzolanik özellikleri vardır. Kalkersel uçucu külün ise puzolanik özelliklerine ilaveten hidrolik özellikleri de olabilir. Uçucu külün EN 196-2’ye göre tayin edilen ve bir saat olarak belirlenen kızdırma kaybı, kütlece %0 ile %5 arasında, kütlece %2 ile %7 arasında veya %4 ile %9 arasında olmalıdır. Çimento üretiminde ana bileşen olarak kullanılacak olan uçucu külün kızdırma kaybı üst sınırı, çimento torbasının üzerinde ve/veya teslim belgesinde (sevki irsaliyesi) belirtilmelidir. Kızdırma

kayıbı için konulan gereğin amacı uçucu külden bulunan yanmamış karbonun kalıntı miktarının sınırlandırılmasıdır. Yanmamış karbon kalıntısının doğrudan ölçüm yöntemi ile bulunan değerinin yukarıda belirtilen kategoriler içerisinde bulunması yeterlidir (TS EN 197-1, 2012).

Kalkersi uçucu kül, hidrolik ve/veya puzolanik özellikleri olan ince bir toz olup, esas olarak reaktif kalsiyum oksit ( $\text{CaO}$ ), reaktif silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) ve alüminyum oksit ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )'den oluşan geri kalanı demir oksit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ve diğer bileşikleri ihtiva eden maddedir (TS EN 197-1, 2012). TS EN 197-1'e göre çimentoda puzolan olarak kullanılacak kalkersi uçucu külün reaktif kalsiyum oksit oranı kütlece %10'dan daha az olmamalıdır. %10 - %15 arasında reaktif kalsiyum oksit ihtiva eden kalkersi uçucu külün, reaktif silisyum dioksit muhtevası kütlece %25'ten daha az olmamalıdır. %15'ten fazla reaktif kalsiyum oksit ihtiva eden yeterince ince öğütülmüş kalkersi uçucu külün, EN 196-1'egöre deneye tabi tutulduğunda, 28 günlük basınç dayanımı en az 10 MPa olmalıdır. Uçucu kül, deneyden önce öğütülmeli ve inceliği 40  $\mu\text{m}$ 'lik elekten yaş eleme yapıldığında külün kütlesi cinsinden elek üzerindeki kalan kül oranı %10 ile %30 arasında yer alacak şekilde olmalıdır. Deney harcı, çimento yerine sadece öğütülmüş kalkersi uçucu küle hazırlanmalıdır. Harç numuneleri, hazırlanmalarından 48 saat sonra kalıptan çıkarılmalı ve deney anına kadar bağıl nemi en az %90 olan rutubetli ortamda küre tabi tutulmalıdır. Kalkersi uçucu külün hacim genişmesi, kütlece %30 kalkersi uçucu kül ve kütlece %70 CEM I çimentosu karışımı kullanıldığında ve EN 196-3'e göre deneye tabi tutulduğunda 10 mm'yi aşmamalıdır (TS EN 197-1, 2012). Uçucu külün sülfat ( $\text{SO}_3$  olarak ifade edilen) muhtevası, çimentonun sülfat miktarı için müsaade edilen üst sınırını aşarsa, bu durum çimento imalatçısı tarafından, kalsiyum sülfat ihtiva eden bileşenleri uygun şekilde azaltmak suretiyle hesaba katılmalıdır (TS EN 197-1, 2012).

Pişmiş şist, özellikle pişmiş yağlı şist özel bir fırında yaklaşık 800 °C sıcaklıkta üretilir. Doğal malzemenin bileşimi ve üretim işlemi nedeniyle pişmiş şist esas olarak dikalsiyum silikat ve monokalsiyum alüminat olmak üzere klinker fazlarını ihtiva eder. Aynı zamanda az miktarda serbest kalsiyum oksit ve kalsiyum sülfatın yanında, özellikle silisyum dioksit olmak üzere daha yüksek oranlarda, puzolanik reaksiyona giren oksitleri ihtiva eder. Buna göre ince öğütülmüş pişmiş şist, puzolanik özelliklere

ilave olarak, Portland çimentosu gibi belirgin hidrolik özellikler de gösterir. TS EN 197-1'e göre çimentoda puzolan olarak kullanılacak ince öğütülmüş pişmiş şist EN 196-1'e göre deneye tabi tutulduğunda, 28 günlük basınç dayanımı en az 25,0 MPa olmalıdır. Deney harcı, çimento yerine sadece ince öğütülmüş pişmiş şistle hazırlanmalıdır. Harç numuneleri, hazırlanmalarından 48 saat sonra kalıptan çıkarılmalı ve deney anına kadar bağıl nemi en az %90 olan rutubetli ortamda küre tabi tutulmalıdır. Pişmiş şistin hacim genişmesi, kütlece %30 öğütülmüş pişmiş şist ve kütlece %70 bu standarda uygun CEM I çimentosu karışımı kullanıldığında ve EN 196-3'e göre deneye tabi tutulduğunda, 10 mm'yi aşmamalıdır. Pişmiş şistin sülfat ( $SO_3$  olarak ifade edilen) muhtevası, çimentonun sülfat miktarı için müsaade edilen üst sınırını aşarsa, bu durum çimento imalatçısı tarafından, kalsiyum sülfat ihtiva eden bileşenleri uygun şekilde azaltmak suretiyle hesaba katılmalıdır (TS EN 197-1, 2012).

TS EN 197-1'e göre çimentoda puzolan olarak kullanılacak kalkerin kalsiyum oksit muhtevasından hesaplanan kalsiyum karbonat ( $CaCO_3$ ) muhtevası kütlece en az %75 olmalıdır. EN 933-9'a göre metilen mavisi deneyi ile tayin edilen kil muhtevası 1,20 g/100 g'ı geçmemelidir. Metilen mavisi deneyinde kullanılacak kalker için TS EN 196-6'ya uygun olarak tayin edilen özgül yüzeyi yaklaşık 5000  $cm^2/g$  olacak şekilde öğütülmelidir. Toplam organik karbon muhtevası (TOC), EN 13639'a göre tayin edildiğinde aşağıdakilerden birine LL sınıfı için kütlece % 0,20'yi, L sınıfı için kütlece %0,50'yi aşmamalıdır (TS EN 197-1, 2012).

Silis dumanı, silisyum ve ferrosilisyum alaşımları üretimi sırasında yüksek saflıktaki kuvarsın kömürle birlikte elektrik ark fırınlarında indirgenmesinden oluşur ve kütlece en az %85 amorf silisyum dioksit içeren çok ince küresel taneciklerden oluşan bir maddedir. TS EN 197-1'e göre çimentoda kullanılacak silis dumanında ISO 9286'ya göre tayin edilen elementel silis (Si) muhtevası, kütlece %0,4'ten fazla olmamalıdır. TS EN 196-2'ye göre, 1 saat süreyle kızdırma kaybı tayini yapıldığında, kızdırma kaybı kütlece %4,0'ı geçmemeli ve işlem görmemiş silis dumanının özgül yüzeyi (BET), ISO 9277'ye göre deneye tabi tutulduğunda, en az 15,0  $m^2/g$  olmalıdır.



### **1.3. Çimentoda Kullanılacak Puzolanların Belirlenmesi İçin Kullanılan Yöntemler ve Şartlar**

Çimentoda kullanılacak puzolanlar için en önemli şart TS EN 196-2 kimyasal yöntemle göre tayin edilecek reaktif silis içeriğinin en az % 25' olmasıdır ( TS EN 197-1, TS 25). Çimentoda kullanılacak puzolanlar için kullanılan diğer bir özellik puzolanik aktivite indeksidir. Bu yöntemde puzolan belli oranda çimento ile ikame edilerek üretilen harçlardan elde edilen basınç dayanımı hiç puzolan katılmamış sadece çimento ile üretilen çimentodan elde edilen harçların basınç dayanımına bölünerek elde edilen değerlerin puzolan türüne göre kıyaslanması ile yapılmaktadır. TS EN 450-1'de uçucu külün puzolan olarak çimentoda kullanılması için 28 günlük en az %75, 90 günlük en az %85 puzolanik aktivite indeksine sahip olması gerekmektedir ( TS EN 450-1,2013). TS EN 15167-1 standardına göre yüksek fırın cürufuda 7 günlük en az %45, 28 günlük en az %70 puzolanik aktivite indeksine sahip olmalıdır(TS EN 15167-1,2006).

Çimentonda kullanılacak puzolanın belirlenmesinde puzolanik aktivite tayinleri diğer bir yöntemdir. Puzolanik aktivite puzolanın sadece kireçle hazırlanmış harçlardan elde edilen basınç dayanımı olup puzolanın kireçle reaksiyonunu ifade etmektedir. TS 25 standardında çimentoda kullanılacak puzolanın puzolanik aktivitesi 4 MPa'dan az olmaması gerekmektedir (TS 25,2008). TS 25'e göre puzolanik aktivite, TS EN 196-1'e göre kireç, puzolan, standart kum ve su karışımının 55 °C'de bekletilen harçların 6 günlük dayanımıdır.

Puzolanik özellik puzolanların çimentoda kullanılabilirliği için kullanılan diğer bir yöntemdir. Bu yöntemde puzolanın serbest kireci bağlama kapasitesine göre puzolanın puzolanik özelliği tayin edilmektedir. TS EN 196-5 standardın belirtilen yöntemidir.

### **1.4. Literatür Özeti**

Klinker üretimi sırasında açığa çıkan CO<sub>2</sub> miktarı, insan eliyle atmosfere salınan CO<sub>2</sub> miktarının %5 ile %8'ini oluşturmaktadır (Damtoft vd., 2008;Scholer vd., 2015). Katkılı çimento kullanılarak üretilen çimento bağlayıcılı malzemeler sayesinde

atmosfere salınan CO<sub>2</sub> gazını azaltmaktadır (Scholer vd., 2015). Puzolan katkılı çimento ile üretilen beton ve harçların basınç dayanımı, permeabilitesi ve kimyasal durabilite gibi birçok özelliği etkilenmektedir (Uzal vd., 2010). Doğada puzolanik özellik gösteren malzemelere çimento sektörü yakın ilgi göstermekte ve bu maddelerle ilgili birçok araştırma yapılmıştır (Caputovd., 2008; Ul Haqvd., 2014).

Volkanik kül, tras gibi puzolanlar doğal kaynaklardan, uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu gibi puzolanlar sanayi atığından elde edilmektedir. Katkılı portland çimentoları bu tür puzolanların katılmasıyla üretilmektedir ve katkı çimentolu betonlarda düşük klorür geçirimsizliği, klorür ve sülfatlara direnç, alkali silika reaksiyonlarında azalma gibi betonun dayanıklılığını arttırmaktadır (Kastisvd., 2006; Bohac vd., 2014). Uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu gibi sanayi atığı olarak açığa çıkan bu ürünlerin çimento ve betonda kullanılması ile birlikte bu malzemelerdeki ağır metallerin yeraltı sularına ve çevreye yayılmaları önlenerek zararlı etkileri de bertaraf edilmektedir (Lemonis vd., 2015).

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). Ulusal ve Uluslararası makalelerde obsidyen taşına çalışan birçok bilimsel çalışma vardır (Boztuğvd., 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 (Bilginvd., 2012). Çimentoda puzolanın kullanılması için TS EN 197-1 standardına göre reaktif silis içeriğinin %25'in üstünde olması gerekmektedir (TS EN 197-1, 2012).

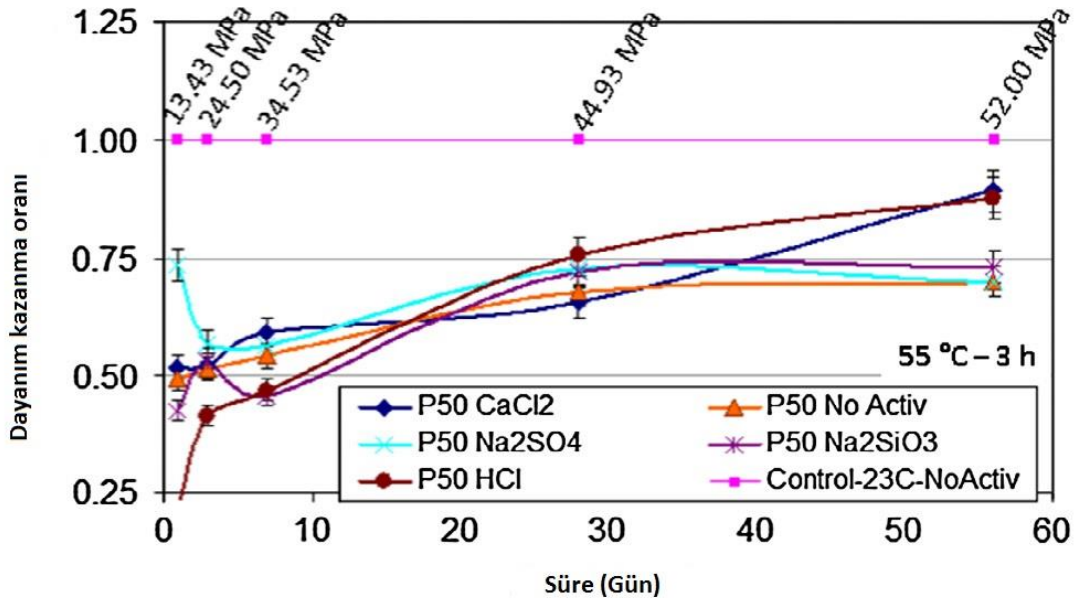
Yüksek fırın cürufu pik demirin elde edilmesinde arta kalan bir üründür. Hızlı soğutulması durumunda amorf yapıya sahip olur ve öğütüldüğü zaman Portland çimentosuyla mükemmel bağlayıcılık özelliği gösterir (Özbayvd., 2016). İnce tane dağılımına sahip uçucu kül iyi puzolanik özelliğe sahip diğer bir maddedir

(Yamamoto vd., 2006). Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu çimentoda yaygın olarak kullanılan puzolanlar arasında yer alır. Uçucu kül termik santrallerinde kömürün yakılması sonucunda açığa çıkan bir üründür. Uçucu kül doğrudan çimentoda kullanıldığı gibi aktivasyon gibi farklı işlemlerden geçirilerek çimentoda ve betonda kullanılmaktadır. Genel olarak jeopolimerlerin alkali aktivasyonu ile elde edilen bağlayıcılar, iyi bir mukavemet, agresif ortamlarda iyi dayanıklılık, düşük büzülme ve iyi bir termal özdirence sahip oldukları bilinmektedir (Marjanović vd., 2015; Panias vd., 2007; Bašćarević vd., 2013). Bununla birlikte, jeopolimer sentez için daha geniş kullanım için sınırlayıcı faktör düşük reaktivite ve sonuç olarak düşük reaksiyon hızı ve oda sıcaklığında kürlendiğinde düşük mukavemet kazandırır (Marjanović vd., 2015; Winnefeld vd., 2010).

TS EN 197-1 standardındaki çimentolarda yüksek fırın cürufu, silis dumanı, uçucu kül, doğal puzolanlar (traslar), kalsine edilmiş puzolanlar, pişmiş şist ve kalker ana bileşen olarak kullanılmaktadır (TS EN 197-1, 2012). TS EN 197-1'deki puzolanların çimento ve betonda kullanımı ile ilgili birçok literatür bilgisine rastlanmaktadır. Bu puzolanların, beton geçirimsizliğine, dayanımına, dayanıklılığına, alkali silika reaksiyonuna, gecikmiş etrenjit oluşumuna, sülfat etkisine ve diğer birçok beton özelliklerine etkisi yaygın olarak çalışılmaktadır (Sharfuddin Ahmed vd., 2008; Yazıcı, 2008). Ahmed vd. (2008) yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve silis dumanını ikiyeşerli ve üçerli olarak çimentoyla karıştırarak bu puzolanların betonların hızlı klor geçirimsizliğine, çimento ve beton özelliklerine etkisini araştırmıştır (Sharfuddin Ahmed vd., 2008). Kayalı ve Zhu (2005) silis dumanının yüksek dayanımlı betonların korozyonuna etkisini araştırmıştır (Kayalı ve Zhu, 2005). Bu araştırmacılar kullandıkları puzolanların çimento ve betonun korozyon direncini artırdığını belirtmişlerdir (Sharfuddin Ahmed vd., 2008; Kayalı ve Zhu, 2005). Wang ve Lee (2010) uçucu külün ve cürufun çimentonun hidrasyonuna etkisini oluşan hidrasyon ürünlerini ve miktarlarını araştırmıştır. Silis dumanı ve uçucu külün betonun klor geçirimsizliğine, donma çözünmeye ve mekanik özelliklerine etkisi de çalışılan konular arasında yer almaktadır (Yazıcı, 2008). Bahsedilen çalışmalardan anlaşılacağı gibi puzolanlar ve puzolanların beton ve çimento üzerine etkileri sıkça çalışılan konular arasındadır.

Uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun puzolanik aktivitesi de araştırılan konular arasındadır (Agarwal,2006;Cordeirovd., 2011). Yapılan farklı çalışmalarda uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun inceliğinin çimentonun puzolanik aktivitesini etkilediği belirtilmiştir (Felekogluvd., 2009;Demir vd., 2002). Demir vd.(2002) çalışmalarında uçucu kül tekrardan öğütülerek farklı inceliklere getirilmiş ve bu uçucu küllerle hazırlanan çimentoların puzolanik aktivitelerinin farklı olduğunu belirtmişlerdir. Puzolanik aktivitesi yüksek puzolanlar çimentonun dayanım kazanma hızını artırmakta ve çimentoya katılacak klinkerin daha az kullanılmasını sağlamaktadır. Tüm bu araştırmacılar uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı gibi puzolanların çimento özelliklerine etkilerini araştırdılar ve dayanıklılık, korozyon direnci, geçirimsizlik, hidrasyon ısı gibi özellikleri üzerinde puzolanların olumlu etkilerinden bahsetmektedirler.

Betondaki çimentonun hidrasyon ısısından kaynaklanan sorunların çözümünde başlıca kullanılan yöntem, puzolan katkı çimento ile hidrasyon ısısının düşürülmesidir. Erdoğan ve Sağlık (2013) ise perlit katkı çimentoların ilk yaşlardaki çimento hamurunun aktivasyonuna etkisini ve perlitin çimentonun hidrasyon ısısını nasıl etkilediğini araştırmıştır.



**Şekil 1.** Farklı oranlarda perlit katkı çimentoların zamanla dayanım kazanma oranı (Erdoğan ve Sağlık, 2013)

Puzolanların çimento üzerindeki olumsuz etkilerinden başlıcaları çimentonun dayanımını azaltması ve priz alma süresini uzatmasıdır. Bu amaçla puzolanın inceliği artırılarak yada değişik kimyasallarla reaktivliğinin artırılması amaçlanmaktadır (Erdoğan ve Sağlık, 2013). Şekil 1'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 ve Sağlık, 2013). Bu çalışmalarla puzolanların çimentodaki dayanım azalması önlenmek istenmektedir.

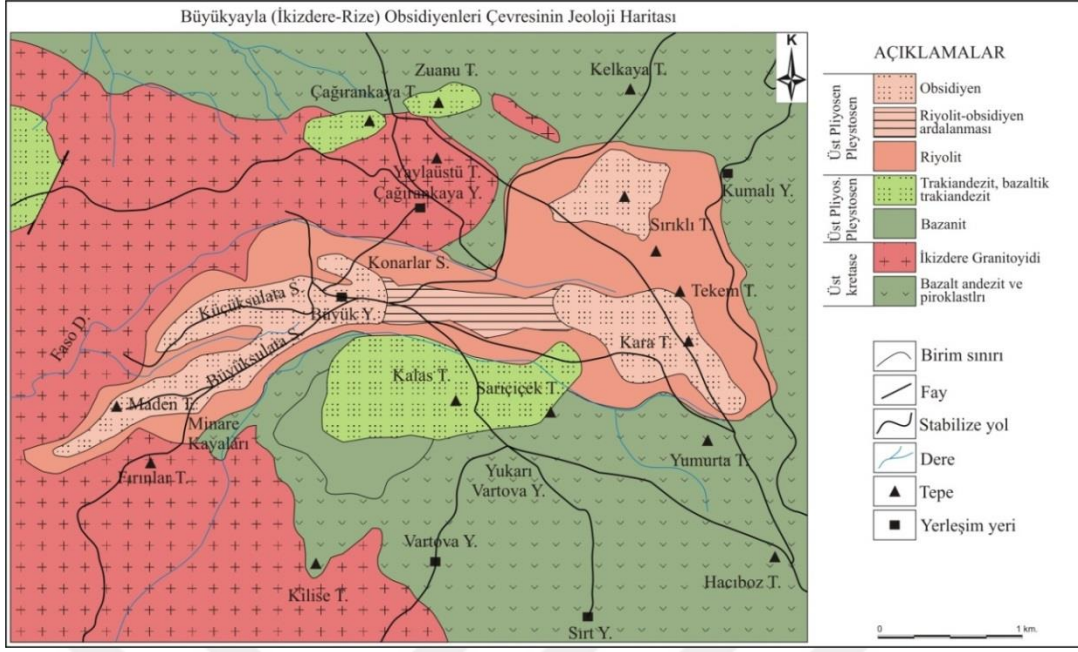


## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada üç farklı inceliğe sahip uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve obsidyenin çimentonun puzolanik aktivite, puzolanik özellik, eğilme dayanımı, basınç dayanımı, priz başlama bitiş sürelerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır.

### 2.1. Çalışmada Kullanılan Malzemeler, Özellikleri ve Temin Edildiği Yer Bilgisi

Çalışmada kullanılan yüksek fırın cürufu, Karabük Demir Çelik Fabrikası'nın cürufu olup Akçansa Çimento Fabrikası'ndan temin edilmiştir. Uçucu kül, Tunçbilek Termik Santrali'nden alınmıştır. Çalışmada kullanılan obsidyenler ise Doğu Karadeniz dağlarının kuzeyinde Rize İline bağlı İkizdere İlçe merkezinin 10 km kadar kuzey-kuzeydoğusundaki bölgeden temin edilmiştir. Obsidyenler, Şekil 2'deki çalışma alanı içindeki en genç volkanik kayalar oluşturmakta ve Maden Tepe, Büyük Sulata Sırtı, Küçük Sulata Sırtı, Büyük Yayla çevresi Sııklı Tepe, Kara Tepe ve Tekem Tepe çevresini kapsayan yaklaşık 10 km<sup>2</sup>' lik bir alanda yüzeyleme vermektedir. Şekil 2'de görülen alanların içinde ve çevresinde geniş alanlarda yayılım gösteren bazalt, andezit ve piroklastlarını, İkizdere granitoidini, bazanit ve trakiandezitik birimlerini obsidyen örtmektedir. Çalışma alanı içindeki Büyük Yayla, Kara Tepe, Sııklı 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 riolitlerle birlikte ardalanmalı olarak tabakalı yapıda (bantlı) oluşum göstermektedirler. Tabakalı obsidyenlerin üzerine yine riolitler içinde mercekler şeklinde breşik obsidyenler gelmektedir. En üst seviyelerde ise yer yer riolitler içinde yığın-stok şeklinde, yer yer de riolitlerin üzerini örtecek şekilde (masif-som yapıda) yayılım gösterirler. Buna göre başlangıçta riolitlerle birlikte oluşmaya başlayan obsidyenler, oluşumlarını riolitten sonra tamamlayarak yer yer riolitlerin üzerini örtmektedir.



**Şekil 2.** Büyükayla ve yakın çevresinin jeoloji haritası

Şekil 2’de gösterilen bölgeden alınan obsidyenler çeneli kırıcıda kırıldıktan sonra bilyeli değirmende öğütülerek CEM I 42,5 R tipi çimento ile karıştırılıp puzolan ilaveli çimentolar hazırlanmıştır. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufuda CEM I 42,5 R tipi çimento ile karıştırılarak çalışmada kullanılmıştır.

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.

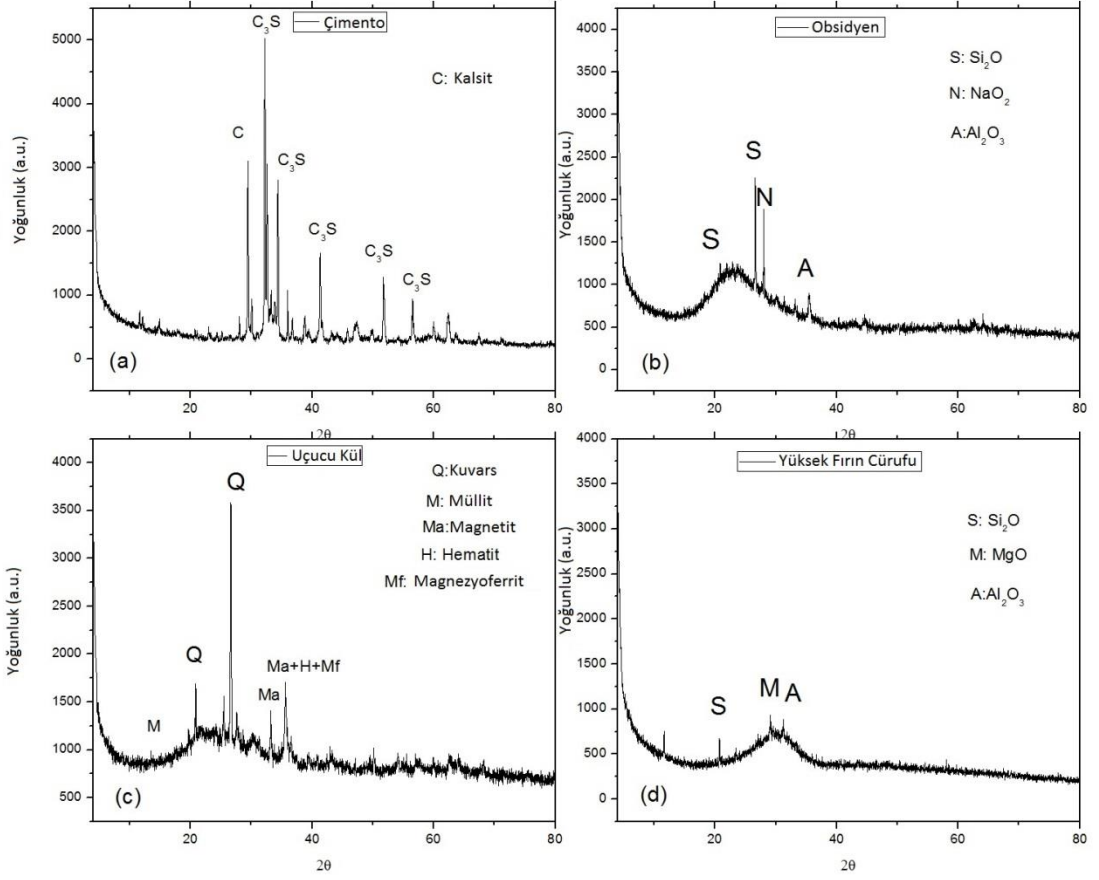
**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan çimento, obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun kimyasal bileşimi

	<b>Çimento</b>	<b>Obsidyen (Kırmızı)</b>	<b>Obsidyen (Siyah)</b>	<b>Uçucu Kül</b>	<b>Yüksek Fırın Cürufu</b>
CaO	64,60	0,88	0,87	4,5	35,30
SiO <sub>2</sub>	19,30	73,80	74,10	52,70	38,60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,17	13,80	13,80	18,00	11,40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,55	1,57	1,43	12,60	0,58
MgO	1,05	0,16	0,14	4,79	7,92
K <sub>2</sub> O	1,16	4,86	4,88	1,87	1,45
Na <sub>2</sub> O	0,46	4,11	4,08	0,74	0,29
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,077	0,017	0,015	0,126	0,003
SO <sub>3</sub>	2,860	0,006	0,005	1,64	3,43
TiO <sub>2</sub>	0,14	0,15	0,14	0,76	0,44
Sr	0,009	0,015	0,014	0,026	0,058
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	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 İçeriği(%)		40,18	40,13	49,48	40,74
<b>TOPLAM</b>	<b>101,45</b>	<b>99,4</b>	<b>99,55</b>	<b>99,56</b>	<b>100,77</b>

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

Şekil 3'te çimento, obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun XRD analizi görülmektedir. Şekil 3 (a)'da çimentonun XRD analizinde diğer fazlara oranla daha çok Alit'e (C<sub>3</sub>S) rastlanmıştır. Şekil 3 (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 rastlanmaktadır. Şekil 3 (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 3 (c)'de uçucu külde kuvars pikinin en belirgin ana faz olduğu ve safsızlık fazları ise mullit, magnetit, hematit ve magnezyum ferrit fazlarıdır. Şekil 3 (d)'de yüksek fırın cürufunun XRD analizinde en belirgin piklerin silis, magnezyum oksit ve aluminium oksit olduğu görülmektedir. Şekil 3'te XRD analizinde Tablo 1'deki kimyasal bileşime uygun oksit ve bileşiklere rastlanmıştır. Obsidyenin XRD'sinde uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi çimentoda puzolan olmaya müsait amorf yapıya sahip bir madde olduğu görülmektedir.





**Şekil 3.** XRD analizi (a) Çimento (b) Obsidyen (c) Uçucu kül (d) Yüksek fırın cürufu

Obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu Şekil 4'te görülen bilyeli değirmende öğütülerek istenilen inceliğe getirilmiştir. 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 <sup>2</sup> /gr)
	200 mikron	90 mikron	45 mikron	
OBS45	0	6	42	4746
OBS60	0	3	33	5497
OBS75	0	2	27	6122
OBS 45(red)	0	6	41	4764
Uçucu kül	0	0	9	4254
Uçucu kül20	0	0	8	5272
Uçucu kül40	0	0	7	6667
YFC	0	0	10	4666
YFC 20	0	0	8	5561
YFC 40	0	0	7	6014
Çimento	0	0	20	4424



**Şekil 4.** Malzeme öğütülmesinde kullanılan bilyeli değirmen

### 2.3. Çalışmada Uygulanan Deneyler

#### 2.3.1. Reaktif Silis, Puzolanik Aktivite ve Puzolanik Özellik Tayinleri

Çalışmada TS EN 196-2'ye göre puzolanların reaktif silis içerikleri tayin edilmiştir. Obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ilaveli çimentoların TS 25'e göre puzolanik aktivitesi, TS EN 196-5'e göre puzolanik özelliği, TS EN 450- 1, TS EN

15167-1'e belirtilen puzolan katkı oranlarına göre puzolanik aktivite indeksi tayinleri yapılmıştır.

TS 25'e göre puzolanik aktivite deneyi için aşağıdaki Tablo 3'te belirtilen oranlara göre Tablo 4, Tablo 5, Tablo 6'da belirtilen sönmüş kireç, puzolan, standart kum ve su TS EN 196-1'de belirtilen numune hazırlanma şeklinde 40x40x160 mm boyutlarında üretilmiş ve bu numunelerin basınç dayanımları ölçülmüştür.

**Tablo 3.** TS 25 standardındaki puzolanik aktivite deneyi için kullanılacak malzeme miktarları

Malzeme	Kullanılacak Miktar (gr)
Sönmüş Kireç [Ca(OH) <sub>2</sub> ]	150
Doğal Puzolan	T=2x150 (Doğal puzolan yoğunluğu/sönmüş kireç yoğunluğu)
Standart Kum (TS EN 196-1)	1350
Su	0,5(150+T)

Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'da belirtilen miktarlardaki malzemeler TS EN 196-1'e göre mikserde karıştırılıp prizmatik harç kalıplarında 23±2 °C ta 24 saat tutulduktan sonra 6 gün 55±2 °C etüvde bekletilip eğilme ve basınç deneyine tabi tutulmuştur.

**Tablo 4.** Obsidyenin puzolanik aktivite deneyinde kullanılan malzeme miktarları ve özellikleri

Malzeme	Miktarı (gr)	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )
Sönmüş Kireç [Ca(OH) <sub>2</sub> ]	150	2,29
Obsidyen	308,38	2,354
Standart Kum (TS EN 196-1)	1350	
Su	229,19	

**Tablo 5.** Uçucu külün puzolanik aktivite deneyinde kullanılan malzeme miktarları ve özellikleri

Malzeme	Miktarı (gr)	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )
Sönmüş Kireç [Ca(OH) <sub>2</sub> ]	150	2,29
Uçucu kül	222,7	1,7
Standart kum (TS EN 196-1)	1350	
Su	268+ ilave 82=350	

**Tablo 6.** Yüksek fırın cürufunun puzolanik aktivite deneyinde kullanılan malzeme miktarları ve özellikleri

<b>Malzeme</b>	<b>Miktarı (gr)</b>	<b>Yoğunluk gr/cm<sup>3</sup></b>
Sönmüş Kireç [Ca(OH) <sub>2</sub> ]	150	2,29
YFC	373,6	2,85
Standart kum (TS EN 196-1)	1350	
Su	261,6	

### 2.3.2. Puzolanik Aktivite İndeksinin Tayini

Puzolanik aktivite indeksinde uçucu kül için TS EN 450-1' standardına göre yapılmaktadır. Bu standartta puzolan ikame oranı %25'tir. Puzolanik aktivite indekslerini uçucu kül, obsidyen ve yüksek fırın cürufunu kıyaslamak için puzolan ikame oranı %25 belirlenerek TS EN 196-1'e göre Tablo 7'deki malzeme miktarları kullanılarak harç numuneler hazırlanmıştır.

**Tablo 7.** Puzolanik Aktivite İndeksinin tayini için hazırlanan harç numunelerde kullanılan malzemeler ve miktarları

<b>Malzeme</b>	<b>Miktarı (gram)</b>	
	<b>Standart Numune</b>	<b>Puzolanlı Numune</b>
Çimento	450	337,5
Puzolan	0	112,5
Su	225	225
CEN Standart kumu	1350	1350

Yüksek fırın cürufunda TS EN 15167-1 standardına göre puzolanik aktivite indeksi belirlenmektedir. Obsidyen ilaveli çimentoların puzolanik aktivite indekslerini yüksek fırın cürüflü çimentolarla kıyaslamak için bir grup numunede TS EN 15167-1 standardında belirtilen %50 puzolan oranına göre hazırlanmıştır. Puzolanik aktivite indeksleri, puzolan katkılı harçların basınç dayanımının katkı içermeyen harçların basınç dayanımına oranlanması ile bulunmuştur.

### 2.3.3. Puzolanik Özellik Tayini

TS EN 196-5'e göre puzolanik özellik tayininde 20 gram çimento 100 ml su ile karıştırılıp 40 °C'de 8 ile 15 gün arasında bekletilmektedir. Bu çalışmada çimento su karışımları 15 gün bekletildikten sonra deneye tabi tutulmuştur. Bekletilen kaptaki sudan alınan numune üzerinde hidroksil iyonu ve kalsiyum iyonu derişimleri ölçülmektedir. TS EN 196-5 standardında belirtilen grafiğe göre puzolanlı çimentonun puzolanik özellik gösterip göstermediği tayin edilmektedir.

### 2.3.4. Çalışmada Uygulanan Diğer Deneyler

Bu çalışma kapsamında TS EN 196-1'e harç numuneler hazırlanmıştır. Harç numuneleri hazırlanırken mikserde ilk önce su, sudan sonra çimento ve son aşamada kum ilave edilerek Şekil 5'de görüldüğü gibi mikserde karıştırılmıştır.



Şekil 5. Harç numunesinin mikserde karıştırma görüntüsü

Mikserde hazırlanan harç, Şekil 6'da sarsma tablasına yerleştirilmiş görülen prizmatik harç numune kalıbına iki seferde doldurulmuştur. İlk seferde prizmatik harç kalıbının yarısına kadar harç doldurulmuş ve 60 vuruşla sarsma tablası ile harç kalıba yerleştirilmiştir. İkinci seferde kalıbın tamamı harç ile doldurulup tekrar 60 vuruş yapılarak harcın kalıbına yerleştirilme işlemi tamamlanmıştır.



**Şekil 6.** Sarsma tablası ile prizmatik numune kalıbı görüntüsü

Kalıbına yerleştirme işleminden sonra prizmatik harç numune kalıbının üzerindeki fazla harç malzemesi sıyrılıp kalıbın üzerine cam konulup içi harç ile dolu kalıplar Şekil 7'de görülen iklimlendirme kabininde 24 saat  $20 \pm 1$  °C'de %90 bağıl nemde bekletilmiştir.





**Şekil 7.** Harç numunelerinin hazırlanışından itibaren 24 saat bekletildiği iklimlendirme kabini

İklimlendirme kabininden çıkarılan numuneler kalıbından çıkarılıp Şekil 8’de görülen  $20 \pm 1$  °C’de kirece doymun kür havuzunda deney gününe kadar bekletilmiştir.



**Şekil 8.** Harç numunelerin bekletildiği kür havuzu

Eğilme ve basınç deneyi uygulama süresi gelen harç numunelerin Şekil 9’da görülen deney cihazıyla TS EN 196-1’e göre eğilme ve basınç dayanımları ölçülmüştür.





**Şekil 9.** 2, 7 ve 28 günlük eğilme ve basınç deneylerinin yapıldığı cihaz



**Şekil 10.** Vicat deney cihazı ve aparatları

Çimentoların priz başlama ve priz bitiş süreleri Şekil 10’da görülen vicat aletiyle TS EN 196-3’e göre ölçülmüştür.



**Şekil 11.** Hacim sabitliği ölçümünde kullanılan Le Chatelier halkaları

Standart kıvamdaki çimento hamuru Şekil 11’de görülen Le Chatelier halkalarına doldurulup 24 saat bekletilmiştir. Halkaların ucundaki açıklık ölçüldükten sonra içi çimento hamuru dolu halkalar üç saat su içerisinde kaynatılmıştır. Halkalar soğutulduktan sonra ucundaki açıklık tekrar ölçülmüştür. Son ölçümle ilk ölçüm arasındaki fark alınarak çimentoların hacim sabitlikleri ölçülmüştür. Çimentoların hacim sabitliklerinin ölçümü TS EN 196-3’e göre yapılmıştır.

### 3. BULGULAR

#### 3.1. İkizdere Obsidyenleri

Çalışmanın yapıldığı 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  $1.72 \pm 0.1$  MY ile  $1.93 \pm 0.15$  MY olarak bulunmuştur. Hanedan (2008) tarafından  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  yöntemine göre yapılan yaşlandırmaya göre ise obsidyenlerin yaşı  $1.7 \pm 0.28$  MY ile  $2.00 \pm 0.24$  MY arasında değişmektedir. 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).

Çalışma alanı içindeki obsidyenler tabakalı, breşik ve masif obsidyenler olarak üç başlık altında incelenmiştir.

##### 3.1.1. Tabakalı Obsidyenler

Tabakalı obsidyenler çalışma alanı içinde Büyük Yayla ile Kara Tepe arasında yol güzergâhı boyunca gözlenmektedir. Riyolitik piroklastik kayaçlar içerisinde katmanlanmaya uyumlu damarlar şeklinde gözlenir. Bu damarların kalınlıkları mm. ile birkaç dm. arasında değişmektedir (Şekil 12 a, b). Damar şeklindeki obsidyenlerde siyah renk hakimdir. Bu siyah renkli kısımlar bazen masif yapıda, bazen de mm. düzeyinde katmanlar içerir (Şekil 12 c). Bunun dışında yer yer kırmızı bantlı obsidyenler de bulunmaktadır.

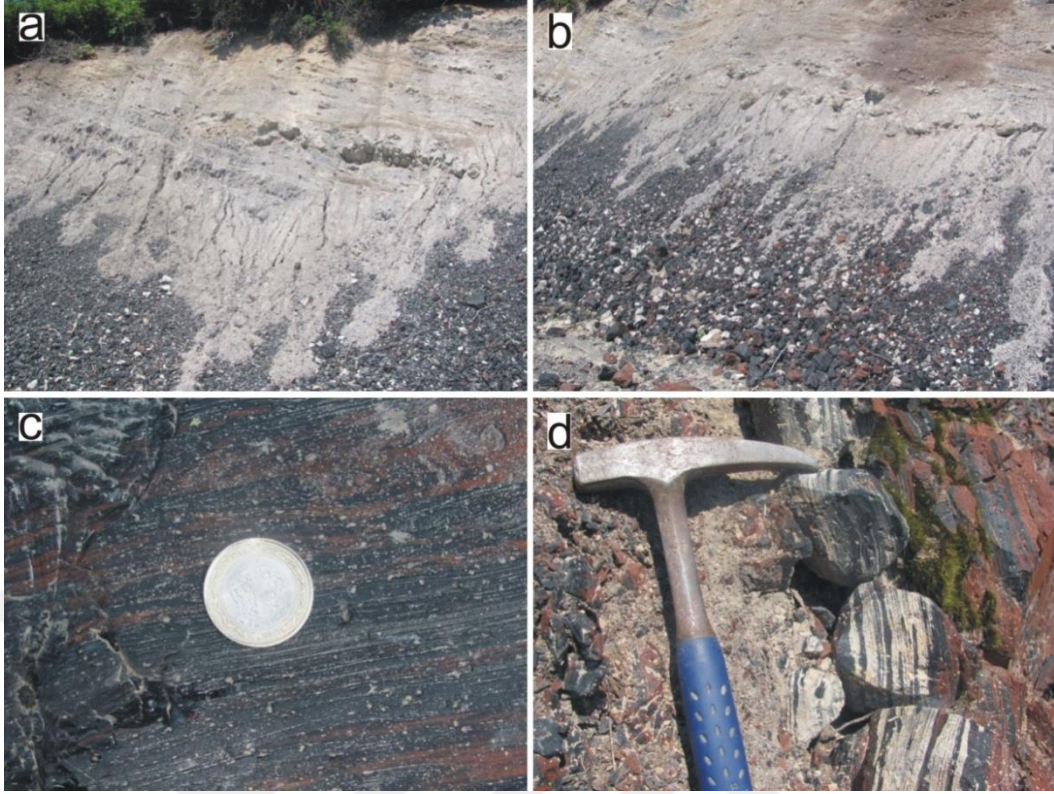
Çalışma alanı içindeki obsidyenler taban seviyelerde asitik volkanik kayaçlar olan riyolitlerle birlikte oluşmuşlardır. Riyolitler, obsidyenler gibi asidik bileşime sahip kayaçlardır. Ancak mineralojik açıdan obsidyenlerden daha fazla kristalli faz içerirler.

Magmanın kristal faz içeriğinin artması hızlı soğuma ile ilişkilendirildiğinden, obsidyen-riyolit ardalanması şeklinde gözlemlendiğimiz birim içindeki obsidyenler hızlı soğumanın, riyolitler ise daha uzun süreli soğumanın veya volkanik patlamaların ürünüdürler.

Bu katmanlı yapıdaki obsidyenlerin en iyi gözlendiği yerler vadiler boyunca ve yol yarmaları boyuncadır. Piroklastik kayalar içindeki katmanlı obsidyen parçaları, dayanımları piroklastik kayalardan daha yüksek olduğu için, ayrışan piroklastik kayalardan koparak yamaç diplerinde ve yol yarmaları şeklinde döküntü şeklinde birikmişlerdir (Şekil 12 a, b).

Tabakalı yapıdaki obsidyenler dış yüzeylerinde rahatlıkla görülebilen alterasyona sahiptir. Bu alterasyon genellikle katman yüzeyleri boyunca gelişmiştir. Kalınlıkları birkaç mm ile birkaç cm arasında değişen alterasyon bantları katmanlar arasında katman yüzeylerine paralel olarak izlenir. Bu yüzeyler kısmen boşlukludur. Siyah bantlı kırmızı ve kırmızı bantlı siyah obsidyenlerde katmanlar arası boşluklarda gelişen alterasyon yüzeylerinin bazen de tek renkli (som siyah veya kırmızı) obsidyenlerde kırık yüzeyleri boyunca düzensiz yapıda geliştiği görülmüştür. Alterasyon zonları açık ve koyu renkli yapılarla ayırt edilmektedir (Şekil 12 d). Sadıklar vd. (2004)'e göre alterasyonun gözlendiği bantlar daha fazla kristal fazı içermektedir (Sadıklar vd., 2004). Bu kristallerin ayrışması, camsı malzemeye kıyasla daha kolay olduğundan alterasyon zonları kristal fazın yoğun olduğu bantlar boyunca yoğunluk kazanmaktadır.

Piroklastik kayalar obsidyenlere kıyasla daha kolay dağılıp toprağa dönüştüğünden, bu kayalar içindeki obsidyenler aşınma dirençleri daha yüksek olduğu için korunmuş ve yamaçlarda serbest haldeki yığılımları oluşturmuştur (Şekil 12 a, b).



**Şekil 12.** (a, b) Karatepenin batısında yüzeyleme veren tabakalı obsidyenler, (c) Tabakalı obsidyenlerde mm kalınlığında batlaşmalar, (d) Katman yüzeyleri arasında açık renkli alterasyon seviyeleri

### 3.1.2. Breşik Obsidyenler

Riyolitler içindeki katmanlı yapıdaki obsidyenlerin üst seviyelerinde boyutları birkaç m.'den 10 m.'ye kadar değişen merceksi yapıda breşik obsidyen seviyeleri bulunmaktadır (Şekil 13 a). Bu seviyelerdeki obsidyenler volkanik kayalar içinde, birbirinden ayrık halde ve boyutları birkaç cm.'lik çakıldan 30-40 cm.'lik blok boyutuna kadar değişen bloklar şeklindedir.

Köşeli yapıdaki bu bloklar volkanik kayalar içerisinde gelişigüzel olarak dağılmış durumda bulunurlar. Breşik obsidyenlerin bulunduğu seviyelerde genellikle siyah renk egemendir. Masif siyah bloklarla birlikte (Şekil 13 b) daha az oranda bantlı (Şekil 13 c) ve siyah bant içeren kırmızı (Şekil 13 d) obsidyen blokları da bulunmaktadır.



Bu breşik obsidyenler masif siyah rengin egemen oluşu, bantlı obsidyen blokları içermesi ve bantlı seviyelerde olduğu gibi az oranda kırmızı obsidyen içermesi nedeniyle daha alt seviyelerdeki bantlı obsidyenlere benzerlik sunmaktadır. Ancak bantlı obsidyenlerin üzerinde gözlenmesi ve yapı olarak merceksi ve breşik yapı sunması bunların daha sonradan gerçekleşen volkanik patlamaların ürünü olduklarını düşündürmektedir. Bu volkanik patlamalar sırasında taban seviyelerde bulunan bantlı obsidyenlerden koparılan çakıl-blok boyutundaki obsidyen parçaları volkanik kayalar içinde hapsolmüştür.



**Şekil 13.** (a) Breşik obsidyen mostrası, (b) breşik seviyelerde masif siyah renkli obsidyen, (c) breşik seviyelerde bantlı katmanlı obsidyen, (d) breşik seviyelerde kırmızı ve siyah renkli obsidyen

### 3.1.3. Masif obsidyenler

Alt seviyelerde metrik kalınlıklardaki obsidyen katmanlarının üst seviyelere doğru yoğun viskozite nedeniyle fazla yayılma şansı bulamadan, riyolitler içinde dar bir alanda mantar geometrisi şeklinde yayılmasıyla oluşmuştur. Riyolitik volkanik kayalar içinde bulunan bu yığınların boyutları birkaç m ile 50 m. arasında değişmektedir.

Merceği andıran bu yığınlarda obsidyenler renkleri bakımından çeşitlilik göstermektedir. Bazen tamamen siyah renkli olan mercekler (Şekil 14 a, b), bazen de kırmızı rengin hâkim olduğu mercekler şeklindedir (Şekil 14 c, d). Bu kırmızı rengin hâkim olduğu obsidyenler içinde her zaman az ya da çok siyah bantlar bulunmaktadır. Bantlı kısımlarda bazen siyah bantların, bazen de kırmızı bantların oranı artmaktadır. Buna göre obsidyenler siyah bantlı kırmızı obsidyenler ve kırmızı bantlı siyah obsidyenler şeklinde tanımlamak mümkündür (Şekil 14).



**Şekil 14.** (a, b) masif siyah renkli obsidyenlerin arazideki görünümü, (c, d) kırmızı ve siyah bantlı masif obsidyenlerin arazideki görünümü

Hanedan (2008), obsidyenlerde görülen farklı renkler, kimyasal bileşimlerindeki farklılıkların yanında, içerdiği mineral kapanımlarının neden olabileceğini belirtmektedir. Bu çalışmada volkanik cam içindeki demiroksit kristallerinin, obsidyene koyu renkler verebileceği belirtilmekte, kırmızı, kahverengi ve yeşilin değişik tonlarındaki renklerin demirin farklı oksidasyon evrelerinin ürünü olabileceği belirtilmektedir.

### 3.2. Obsidyen, Uçucu Kül ve Yüksek Fırını Cürufu İlaveli Çimentoların Puzolanik Aktiviteleri

Tablo 8’de TS 25’e göre elde edilen puzolanik aktivite değerleri görülmektedir. Tablo 8’deki tüm basınç dayanımları TS 25’te 4 N/mm<sup>2</sup> olarak verilen sınır basınç dayanımının üstündedir.

**Tablo 8.** Puzolanik aktivite değerleri

Malzeme	Eğilme dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )				Basınç dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )						
	1.	2.	3.	Ort.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	Ort.
OBS45	2,03	2,25	1,82	2,03	7,89	7,72	7,78	7,50	7,48	7,22	7,60
OBS60	2,02	1,91	2,38	2,10	7,88	8,21	7,98	8,21	7,90	7,33	7,92
OBS75	2,67	2,08	1,95	2,23	7,91	8,14	7,19	8,41	8,37	8,45	8,08
UK	1,17	1,94	1,27	1,46	7,85	7,72	7,61	7,58	7,59	7,33	7,61
UK20	2,11	2,19	1,94	2,08	8,95	8,5	8,39	8,65	8,33	8,73	8,59
UK40	1,45	1,79	2,56	1,93	9,08	8,86	8,49	9,41	8,69	8,74	8,88
YFC	2,21	2,55	2,35	2,37	8,82	8,78	8,96	8,54	8,52	8,36	8,66
YFC20	2,41	2,81	2,56	2,59	9,11	9,15	8,94	8,65	8,78	8,91	8,92
YFC 40	2,5	2,66	1,87	2,34	9,7	9,85	10,15	9,38	9,9	9,63	9,77

### 3.3. Puzolanik Aktivite İndeksleri

Tablo 9’da üç farklı incelikte obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun %25 oranında çimento ile ikame edilerek hazırlanan çimentodan elde edilen prizmatik harç numunelerden ve sadece CEM I 42,5 R tip çimento ile üretilen harç numuneler üzerinden elde edilen basınç dayanımları ve puzolanik aktivite indeksleri görülmektedir.



**Tablo 9.** %25 Puzolan oranına göre hesaplanan puzolanik aktivite indeksleri

Numune Adı	Eğilme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )			Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )			Puzolanik aktivite indeksi (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
Standart Numune (CEM I 42,5R)	7,56	8,66	9,05	41,47	48,84	56,21			
	7,68	8,81	9,43	41,34	49,94	57,87			
	7,64	8,8	9,12	42,91	50,08	56,24			
				41,81	52,63	59,55			
				41,79	49,6	50,8			
				41,51	49,98	54,32			
Ort UK	7,62	8,76	9,20	41,80	50,18	55,83			
	4,72	8,06	8,42	29,46	43,44	54,8	67,43	87,63	89,63
	5,10	7,45	8,21	27,95	43,25	50,22			
	4,92	8,02	8,34	28,2	43,68	50,27			
				27,96	46,11	48,72			
				28,18	43,7	48,24			
				27,39	43,66	48			
Ort UK20	4,91	7,84	8,32	28,19	43,97	50,04			
	4,92	8,12	8,62	32,38	45,64	56,8	74,27	90,97	91,38
	4,86	8,56	8,56	31,56	44,96	51,2			
	5,12	7,46	8,46	31,58	43,64	52,2			
				28,46	46,98	49,12			
				30,12	48,8	48,64			
				32,2	43,86	48,16			
Ort UK40	4,97	8,05	8,55	31,05	45,65	51,02			
	4,92	7,91	8,26	29,64	46,66	56,2	77,75	94,05	94,94
	4,98	8,14	7,28	32,26	44,54	51,12			
	5,27	7,44	8,66	31,98	48,2	50,46			
				33,12	48,8	51,26			
				34,16	49,32	53,6			
				33,86	45,64	54,4			
Ort OBS45	5,06	7,83	8,07	32,50	47,19	53,01			
	5,85	6,68	7,48	30,03	40,05	46,49	72,72	80,97	85,01
	5,15	6,73	7,79	30,63	41,26	46,44			
	5,50	6,88	7,64	30,27	40,45	49,23			
				30,42	40,05	46,62			
				30,38	40,88	47,8			
				30,67	41,1	48,2			
Ort OBS60	5,50	6,71	7,64	30,4	40,63	47,46			
	6	7,16	8,03	31,49	39,74	51,36	76,84	86,40	93,21
	5,79	8,13	7,79	31,45	43,04	51,45			
	5,8	5,8	8	34,08	44,32	51,68			
				32,14	44,58	53,51			
				32,1	44,6	52,04			
				31,47	43,84	52,2			
Ort	5,89	5,9	9,20	30,12	43,35	52,04			

**Tablo 9 (devam).** % 25 Puzolan oranına göre hesaplanan puzolanik aktivite indeksleri

Numune Adı	Eğilme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )			Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )			Puzolanik aktivite indeksi (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
OBS75	6,27	7,59	8,69	32,84	42,29	54,78	77,48	90,42	95,68
	6,37	7,86	8,43	32,84	44,9	54,37			
	6,32	8,04	8,56	32,4	44,67	56,21			
				32,38	47,9	56,12			
				31,27	46,82	50,24			
				32,61	45,64	48,8			
Ort	6,32	7,73	8,56	32,39	45,37	53,42			
OBS	5,55	7,15	8,45	32,23	41,52	50,46	74,13	80,50	88,12
45(red)	5,9	7,64	8,32	30,82	39,4	49,51			
	5,7	7,48	8,45	29,97	39,7	47,92			
				31	40,14	49,17			
				30,98	41,12	49,2			
			30,94	40,48	48,92				
Ort	5,72	7,4	8,39	30,99	40,39	49,20			
YFC	6,31	8,61	9,15	33,74	50,67	54,2	77,23	99,71	100,84
	6,83	8,24	9	27,71	49,87	59,4			
	6,57	8,44	9,06	32,3	51,08	58,8			
				32,26	52,15	56,6			
				35,05	48,8	56,6			
				32,65	47,64	52,2			
Ort	6,57	8,43	9,08	32,28	50,03	56,30			
YFC 20	5,93	9,14	9,28	35,62	52,87	58,86	79,39	105,39	103,49
	7,16	9,16	9,35	29,48	52,46	60,12			
	6,45	8,86	8,77	33,1	56,74	57,78			
				34,12	51,28	55,16			
				33,14	50,16	58,64			
				33,68	53,78	56,12			
Ort	6,55	8,86	9,32	33,19	52,88	57,78			
YFC 40	7,44	9,18	9,26	34,84	54,18	60,18	82,25	107,59	105,16
	6,69	9,46	8,98	29,86	53,18	58,46			
	7,41	8,49	9,42	34,16	51,36	59,18			
				33,48	54,86	58,14			
				37,12	56,18	58,14			
				36,84	54,16	58,17			
Ort	7,07	9,32	9,12	34,38	53,99	58,71			

Tablo 10'da CEM I 42,5 R çimento ile %50 oranında üç farklı incelikte obsidyen ve yüksek fırın cürufu ilaveli çimentolardan elde edilen eğilme dayanımları, basınç dayanımları ve puzolanik aktivite indeksleri görülmektedir. %50 oranında uçucu kül ilavesi obsidyen ve yüksek fırın cürufu ilaveli çimentolarla aynı kıvam olması için aşırı su ihtiyacına gereksinim duymaktadır. Bu yüzden %50 uçucu kül ilaveli çimentonun puzolanik aktivite indeksine bakmak uygun görülmemiştir. Tablo 9 ve

Tablo 10’da puzolanın sonundaki rakam puzolanın öğütülme süresini göstermektedir. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu 20 ve 40 dakika daha öğütülerek uçucu kül20, uçucu kül40, yüksek fırın cürufu20 ve yüksek fırın cürufu40 olarak isimlendirilen puzolanlar elde edilmiştir.

**Tablo 10.** %50 oranında obsidyen ve yüksek fırın cürufuilaveli çimentolardan ölçülen puzolanik aktivite indeksleri

Numune Adı	Eğilme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )			Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )			Puzolanik Aktivite İndeksi (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
Standart Numune (CEM I 42,5R)	7,56	8,66	9,05	41,47	48,84	56,21			
	7,68	8,81	9,43	41,34	49,94	57,87			
	7,64	8,8	9,12	41,81	50,08	56,24			
				41,79	52,63	59,55			
				42,91	49,6	50,8			
				41,51	49,98	54,32			
Ort	7,63	8,76	9,20	41,81	50,18	55,83			
OBS 45	3,89	6,09	7,52	17,47	28,96	34,96			
	4,04	6,3	7,93	17,63	27,28	35,61			
	3,94	6,24	7,74	19,00	28,12	36,57			
				18,20	29,4	34,62			
				18,16	28,88	35,8			
				18,63	29,2	35,6			
Ort	3,96	6,21	7,73	18,18	28,64	35,53	43,49	57,08	63,63
OBS 60	3,84	6,52	7,77	19,82	29,42	36,04			
	3,91	7,54	7,78	18,37	28,91	38,26			
	3,90	7,12	7,8	19,49	30,69	38,38			
				19,39	32,02	39,25			
				19,87	30,8	38			
				19,84	30,46	38,04			
Ort	3,88	7,06	7,78	19,46	30,38	38,00	46,56	60,55	68,05
OBS 75	4,07	6,4	8,16	19,07	31,84	39,48			
	4,16	7,11	8,4	19,52	31,21	39,2			
	4,22	6,84	8,24	19,48	33,33	39,72			
				19,51	32,2	39,82			
				19,51	33,24	40			
				19,78	32,64	39,92			
Ort	4,15	6,78	8,27	19,48	32,41	39,69	46,59	64,59	71,09
OBS 45									
Red	3,96	6,42	7,57	19,08	30,11	33,29			
	3,53	6,09	7,45	19,14	29,3	37,16			
	3,82	6,84	7,52	18,60	30,15	35,5			
				18,54	28,62	34,91			
				18,33	30,24	35,22			
				17,72	30,12	35,68			
Ort	3,77	6,45	7,51	18,57	29,76	35,29	44,42	59,30	63,21

**Tablo 10 (devam).** %50 oranında obsidyen ve yüksek fırın cürufu ilaveli çimentolardan ölçülen puzolanik aktivite indeksleri

Numune Adı	Eğilme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )			Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )			Puzolanik Aktivite İndeksi (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
YFC	5,07	8,27	9,29	24,25	44,99	55,65			
	5,67	7,95	8,88	23,76	45,87	53,1			
	5,58	8,16	9,1	23,72	44,4	53,82			
				23,85	46,35	52,35			
				23,81	45,8	53,7			
				23,03	45,62	53,6			
Ort	5,44	8,13	9,09	23,74	45,51	53,70	56,78	90,69	96,19
YFC 20	5,17	8,71	9,38	26,38	48,18	57,34			
	6,14	8,32	9,71	25,18	47,073	57,84			
	5,77	7,99	9,33	25,87	48,86	57,16			
				24,91	46,18	57,13			
				24,26	47,14	56,69			
				25,39	46,52	58,18			
Ort	5,69	8,34	9,47	25,33	48,33	57,39	60,59	96,32	102,79
YFC 40	5,07	8,27	9,29	26,62	47,96	59,42			
	5,67	7,95	8,88	26,53	48,67	57,26			
	5,58	8,16	9,1	25,88	45,71	58,33			
				25,47	47,77	57,96			
				26,13	46,28	58,68			
				26,67	48,33	59,38			
Ort	5,44	8,13	9,09	26,22	47,45	58,51	62,71	94,57	104,79

### 3.4. Puzolanlı Çimentoların Standart Kıvam, Priz Başlama ve Bitiş Süreleri

Tablo 11’de CEM I 42,5R tipi çimento ve bu çimentoya belirtilen oranlarda puzolan ilave edilerek oluşturulan çimentoların TS EN 196-3’e göre tespit edilen standart kıvam, priz başlama ve bitiş süreleri görülmektedir. Tablo 11’deki çimentolar 500 gram çimentoya %10, %20,%30 ve %40 oranında çimento kütlesi azaltılarak bunun yerine puzolan konularak (ikame) hazırlandılar. Tablo 11’deki obsidyen45-%10 şeklindeki gösterim 45 dakika öğütülen %10 oranında obsidyen içeren çimentoyu ifade etmektedir. Uçucu kül, Uçucu kül20 ve Uçucu kül40 ilaveli çimentoların standart kıvam, priz başlama ve priz bitiş süreleri Tablo 12’de Yüksek fırın cürufu (Yfc), Yüksek fırın cürufu20, Yüksek fırın cürufu40 ilaveli çimentoların standart kıvam, priz başlama ve priz bitiş süreleri Tablo 13’te verilmiştir.

**Tablo 11.** Obsidyen45, Obsidyen60 ve Obsidyen75 ilaveli çimentoların standart kıvam, priz başlama ve priz bitiş süreleri

Numune Adı	Çimento	Puzolan	Su	Standart Kıvam (%)	Priz Başlama Süresi (Saat:Dakika)	Priz Bitiş Süresi (Saat:Dakika)
Çimento	500	0	150	30,0	2:40	3:20
OBS45-%10	450	50	149	29,8	2:50	3:25
OBS 45-%20	400	100	148	29,6	2:50	3:30
OBS45-%30	350	150	147	29,4	2:50	3:30
OBS 45-%40	350	150	145	29,0	2:55	3:40
OBS 60-%10	450	50	149	29,8	2:40	3:20
OBS 60-%20	400	100	148	29,6	2:50	3:30
OBS 60-%30	350	150	147	29,4	2:50	3:30
OBS 60-%40	300	200	147	29,4	2:55	3:35
OBS 75-%10	450	50	150	30,0	2:40	3:20
OBS 75-%20	400	100	150	30,0	2:50	3:30
OBS 75-%30	350	150	149	29,8	2:50	3:30
OBS 75-%40	300	200	148,5	29,7	2:55	3:35

**Tablo 12.** Uçucu kül, Uçucu kül 20 ve Uçucu kül40 ilaveli çimentoların standart kıvam, priz başlama ve priz bitiş süreleri

Numune Adı	Çimento (gr)	Puzolan (gr)	Su (gr)	Standart Kıvam (%)	Priz Başlama Süresi (Saat:Dakika)	Priz Bitiş Süresi (Saat:Dakika)
Çimento	500	0	150	30,00	2:40	3:20
UK-%10	450	50	163,5	32,7	2:50	3:45
UK-%20	400	100	174,6	34,92	3:00	3:50
UK-%30	350	150	192,8	38,56	3:10	4:00
UK-%40	300	200	213,1	42,62	3:40	5:20
UK 20-%10	450	50	165,6	33,12	2:45	3:40
UK 20-%20	400	100	178,8	35,76	2:55	3:45
UK 20-%30	350	150	195,7	39,14	3:00	4:00
UK 20-%40	300	200	215,3	43,06	3:30	5:00
UK 40-%10	450	50	167,2	33,44	2:45	3:40
UK 40-%20	400	100	179,9	35,98	2:50	3:45
UK 40-%30	350	150	195,4	39,08	2:55	4:00
UK 40-%40	300	200	218,9	43,78	3:25	4:50

**Tablo 13.** Yüksek fırın cürufu (YFC), yüksek fırın cürufu20, yüksek fırın cürufu40 ilaveli çimentoların standart kıvam, priz başlama ve priz bitiş süreleri

Numune Adı	Çimento (gr)	Puzolan (gr)	Su (gr)	Standart Kıvam (%)	Priz Başlama Süresi (Saat:Dakika)	Priz Bitiş Süresi (Saat: Dakika)
Çimento	500	0	150,0	30,00	2:40	3:20
YFC-%10	450	50	150,0	30,00	2:40	3:20
YFC -%20	400	100	149,7	29,94	2:55	3:25
YFC -%30	350	150	149,2	29,84	3:00	3:40
YFC -%40	300	200	149,5	29,9	3:05	3:50
YFC 20-%10	450	50	153,4	30,68	2:40	3:20
YFC 20-%20	400	100	154	30,8	2:55	3:25
YFC 20-%30	350	150	154,8	30,96	3:00	3:40
YFC 20-%40	300	200	156	31,2	3:05	3:50
YFC 40-%10	450	50	155	31	2:40	3:20
YFC 40-%20	400	100	155,8	31,16	2:55	3:25
YFC 40-%30	350	150	156,8	31,36	3:00	3:40
YFC 40-%40	300	200	158	31,6	3:05	3:50

### 3.5. Çimentolarda Puzolanik Özellik Tayini

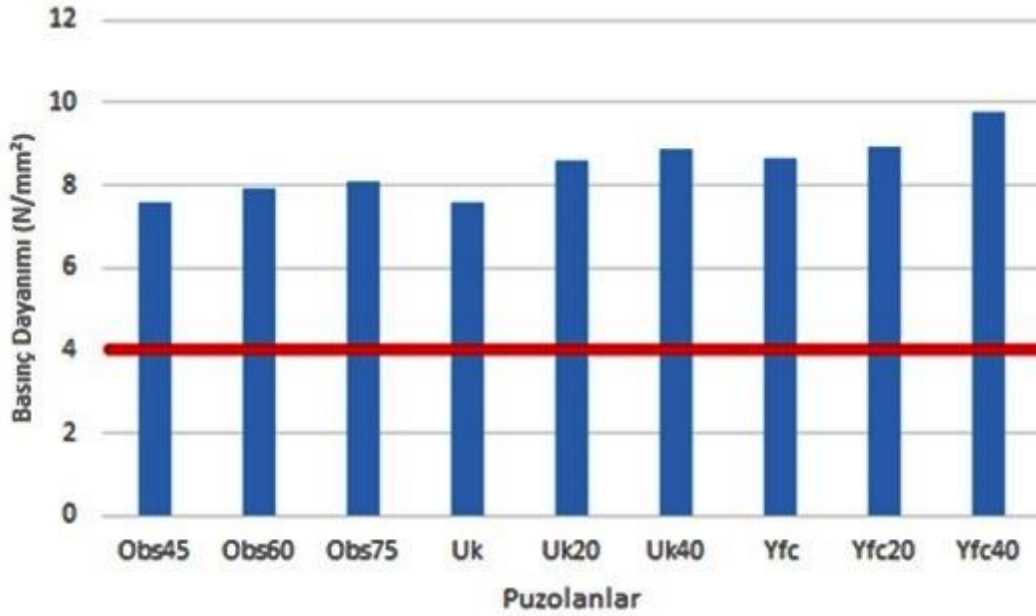
Tablo 14’te TS EN 196-5’e göre obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ilaveli çimentolarda hesaplanan hidroksil iyon derişimleri ve kalsiyum iyon derişimleri görülmektedir. Tablo 1’de OBS45-%25 olarak gösterilen ifadede 45 dakika öğütülen obsidyenin çimentoya %25 oranında katıldığını ifade etmektedir. Tablo 1’deki numune isimlendirmelerinde ilk sayı puzolanın öğütme süresini, %’den sonra gelen sayı puzolanın çimentoya katılma oranını göstermektedir.

**Tablo 14.** TS EN 196-5'e göre puzolanik özellik için x ve y değerleri

Sıra No	Numune ismi	X (Hidroksil iyon derişimi, mmol/L)	Y (Kalsiyum iyonu derişimi, mmol/L)
1	OBS45- %25	97,97	4,145
2	OBS45- %40	94,94	3,8916
3	OBS45 -%50	86,254	3,384
4	OBS60- %25	96,96	3,922
5	OBS60- %40	94,94	4,076
6	OBS60- %50	86,86	2,6226
7	OBS75 -%25	100,596	3,9836
8	OBS75- %40	94,94	3,807
9	OBS75 -%50	88,072	1,5228
10	UK- %25	77,77	1,6074
11	UK -%40	61,61	0,9306
12	UK -%50	52,722	0,7614
13	UK 20 -%25	79,79	1,7766
14	UK 20-%40	63,024	0,9306
15	UK 20-%50	52,52	0,846
16	UK 40-%25	79,79	2,3688
17	UK 40-%40	61,004	0,9306
18	UK 40-%50	48,48	0,7614
19	YFC -% 25	87,466	6,9372
20	YFC -% 40	78,78	5,922
21	YFC -% 50	72,72	5,922
22	YFC 20- %25	88,88	7,7832
23	YFC 20- %40	78,78	7,2756
24	YFC 20- %50	73,73	7,191
25	YFC 40- %25	88,88	7,7832
26	YFC 40- %40	74,74	6,0066
27	YFC 40 -%50	79,79	6,5988

#### 4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Obsidyenin minerolojik açıdan incelenmesinde çimentoya zarar verecek bir yapının bulunmadığı tespit edilmemiştir. Obsidyenin minerolojik açıdan çimento ile uyum sağlayacak bir kimyasal bileşime sahip olduğu anlaşılmıştır. Çalışma yapılan yerdeki obsidyen rezervinin çimentoda puzolan olarak kullanılmaya yeterli miktarda olduğu görülmüştür.

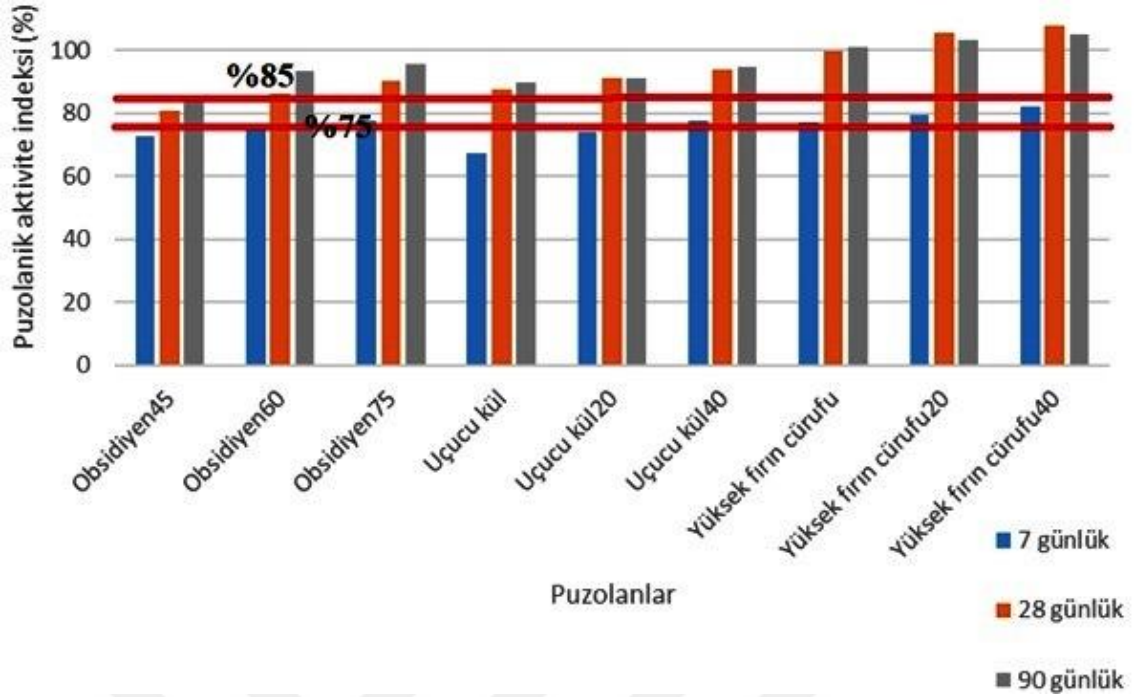


Şekil 15. TS 25'e göre farklı inceliğe sahip puzolanların puzolanik aktivite değerleri

Şekil 15'te üç farklı inceliğe sahip obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun TS 25'e göre hesaplanan puzolanik aktivite değerleri görülmektedir. TS 25'e göre puzolanın puzolanik özellik göstermesi için kireç ve puzolan karışımından üretilen harcın basınç dayanımı  $4 \text{ N/mm}^2$ 'den büyük olması gerekmektedir (TS 25. 2008). Şekil 23'te üç farklı inceliğe sahip üç puzolanında puzolanik aktivite değeri  $4 \text{ N/mm}^2$  değerinden fazla olduğu görülmektedir. Bu durum obsidyeninde, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi puzolanik aktivitesinin olduğunu göstermektedir. Şekil 15'te obsidyenlerin inceliği arttıkça puzolanik aktivite değerleri de artmaktadır. Bu çalışmada kullanılan puzolanlarda en yüksek puzolanik aktivite değerinin yüksek fırın cürufunda olduğu bunu sırasıyla Obsidyen75, Obsidyen60, Obsidyen45 ve uçucu külün izlediği tespit edilmiştir. Şekil 15'te görülen Obsidyen75 inceliğini bu çalışmada kullanılan



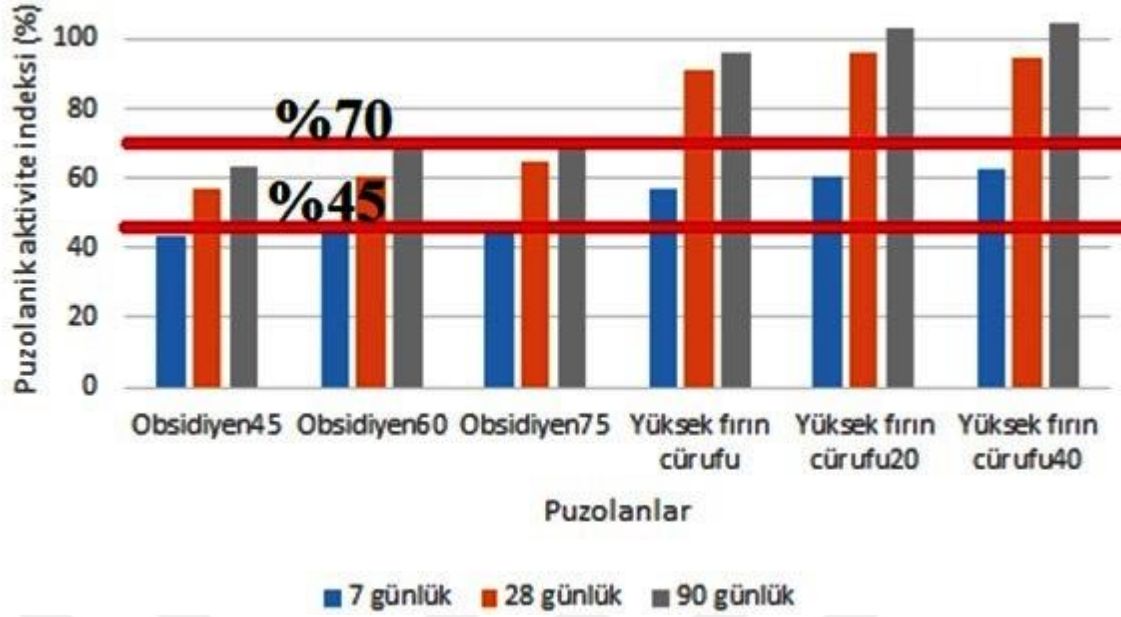
yüksek fırın cürufu inceliğine getirilmesi durumunda obsidyenin puzolanik aktivite değerinin daha da artacağı Şekil 15'teki farklı incelikteki obsidyenin puzolanik aktivite değerindeki artıştan anlaşılmaktadır. Tablo 1'de TS EN 196-2'e göre tayin edilen reaktif silis içeriklerinin obsidyende %40,43, yüksek fırın cürufunda %40,74 ve uçucu külden %49,48 olduğu görülmektedir. TS EN 197-1'e göre çimentoda kullanılacak puzolanların reaktif silis içeriğinin %25'ten fazla olması gerekmektedir. Tablo 1'de görüldüğü üzere obsidyenin reaktif silis içeriği (%40,13) puzolan olarak kullanılabilceğini göstermektedir. Bu çalışmada kireç ve uçucu küle üretilen harcın 6 günlük basınç dayanımı  $7,61 \text{ N/mm}^2$  olarak tespit edilmiştir (Şekil 15). Uzal vd. (2010) zeolitin puzolanik aktivitesini kıyaslamak için benzer çalışmayı uçucu kül ile yapmıştır. Çalışmasında kullandığı uçucu küllü harcın basınç dayanımını  $6,2 \text{ N/mm}^2$  olarak belirlemiştir (Uzal vd., 2010). Uzal vd. (2010) çalışmasında kullandığı uçucu külün reaktif silis içeriğinin %41,15 ve Blaine inceliğinin  $3880 \text{ cm}^2/\text{g}$  olduğu görülmektedir. Uzal vd. (2010) uçucu kül puzolan karışımı harçların basınç dayanımları bu çalışmada kullanılan uçucu kül ile kıyaslandığında bu çalışmadaki uçucu külün basınç dayanım değeri daha fazladır. Bu çalışmadaki uçucu külün reaktif silis içeriğinin %49,48 ve Blaine inceliğinin  $4254 \text{ cm}^2/\text{g}$  olması altı günlük kireç puzolan harç numunelerin basınç dayanımının yüksek olmasının nedenidir. Bu durum aynı tür puzolan için reaktif silis içeriği ve inceliğin fazla olması kireç ve puzolanla hazırlanan harç numunesinin dayanımının yüksek olmasına neden olduğunu göstermektedir. Uzal vd. (2010) reaksiyona giren kireç miktarıyla basınç dayanımı arasında doğrudan bir ilişkiye rastlanmamıştır. Kullanılan puzolanların amorf silis tipiyle basınç dayanımı arasında kuvvetli bir ilişkinin bulunduğu ve çalışmasında kullandığı diğer bir puzolan olan zeolitin kristal yapıya sahip olması zeolitli numunelerin basınç dayanımının düşük olmasının nedeni olduğunu belirtmektedir (Uzalvd., 2010). Puzolanik aktivite malzemenin kimyasal yapısına, amorfliğuna ve inceliğine bağlıdır. Bu çalışmada da, puzolanın kimyasal bileşimi, reaktif silis içeriği ve inceliğini kireç ile puzolanla hazırlanan harçların puzolanik aktivitesini etkileyen en önemli faktörler olduğu görülmüştür.



**Şekil 16.** %25 puzolan ilaveli çimentoların puzolanik aktivite indeksleri

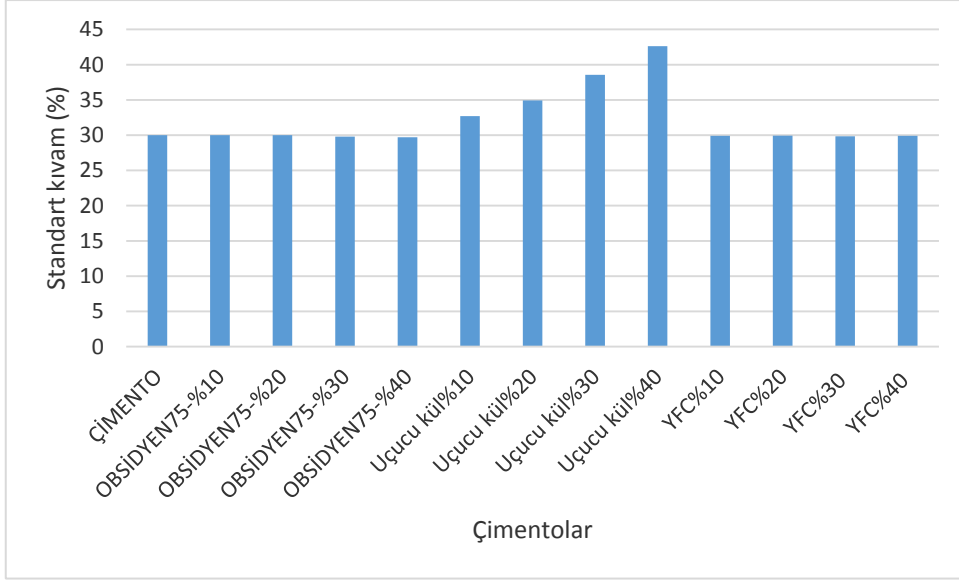
Şekil 24'te %25 oranında puzolan katılarak üretilen çimentoların puzolanik aktivite indeksleri görülmektedir. TS EN 450'e göre uçucu külün puzolanik aktivite indeksinin 28 günlük %75 ve 90 günlük %85 olması gerekmektedir (TS EN 450-1, 2013). Şekil 16'daki tüm puzolanların TS EN 450-1'de belirtilen 28 ve 90 günlük puzolanik aktivite indeksi değeri şartını sağladığı görülmektedir. Obsidiyen75'in 90 günlük puzolanik aktivite indeksinin uçucu külden fazla, yüksek fırın cürufundan az olduğu görülmektedir. Obsidiyen75'te %75 çimento ile %25 obsidyen karışımından elde edilen harç dayanımının %100 çimento ile üretilen harçların dayanımına oldukça yakın olmaktadır. Bu durum Rize yöresi obsidyenin çimentoda puzolan olarak kullanılabilirliğini göstermektedir. 90 günlük obsidyenli çimentolarla hazırlanan harçların basınç dayanımının sadece Portland çimentosu ile hazırlanan harçların basınç dayanımına oldukça yakın olmasından, obsidyenin iyi bir puzolan olduğu anlaşılmaktadır. Puzolanik aktivite indeksleri aynı zamanda puzolan katkılı çimentolu harçların normal çimentolu harçlara göre basınç dayanım kazanma hızını da göstermektedir. Bu çalışmadaki puzolanlar kıyaslandığında yüksek fırın cürufunun en fazla dayanım kazanma hızına sahip olduğu görülmektedir. Schöler vd. (2015) yapmış oldukları çalışmada yüksek fırın cürufu harçların, uçucu küllü harçlara göre dayanım kazanma hızının fazla olmasında  $Al_2O_3$  içeriği nedeniyle yüksek fırın cürufu harçlarda

C-S-H oluşumunun hızlı gerçekleşmesinden kaynaklandığını belirtmektedir (Scholer vd., 2015). Bu çalışmadaki puzolanlar kıyaslandığında en düşük  $Al_2O_3$  miktarının yüksek fırın cürufunda olduğu görülmektedir. Yüksek fırın cürufunun CaO içeriğinin diğer puzolanlara göre yüksek olduğu görülmektedir. TS EN 197-1'e göre Portland çimentosunda  $CaO/SiO_2$  oranının 2'den az olmaması, yüksek fırın cürufunda  $(CaO+MgO)/SiO_2$  oranının 1'den az olmaması gerekmektedir (Demir vd., 2002). Bu çalışmada yüksek fırın cürufunun dayanım kazanma hızının yüksek olması yüksek fırın cürufu çimentonun  $CaO/(SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3)$  oranının diğer puzolanlı çimentolardan daha yüksek olması olarak düşünülmektedir. Marjanovic vd. (2015) Ca/Si oranı arttıkça yüksek fırın cürufu harçların dayanımının arttığını belirtmektedirler (Marjanović vd., 2015). Uzal vd. (2010) yaptıkları çalışmada kullandıkları çimentoların kimyasal analizlerindeki  $Ca/(Al+Si)=0,4-0,6$  ve  $Na+Mg+K+Ti+Fe/(Al+Si)=0,6-0,7$  oranlarına göre ürettikleri betonların uzun süreli basınç dayanımlarında puzolan katkılı çimentoların dayanımlarının portland çimentolu betonların dayanımlarına göre yüksek değerler aldığını belirtmektedirler. Rafael vd. yaptıkları çalışmada  $SiO_2/Al_2O_3$  oranına göre %20 oranında doğal puzolan kullanımının çimentonun basınç dayanımını artırdığını belirtmektedir (Heide vd., 1996). Tablo 4'te obsidyenli, uçucu küllü, yüksek fırın cürufu ve katkısız portland çimentolu harçlardan elde edilen 2,7 ve 28 günlük harç numune dayanımları ile kullanılan çimentoların Tablo 1'deki kimyasal analiz değerleri arasında Backward metodu ile yapılan regresyon analiz sonuçları görülmektedir. Tablo 4'teki regresyon analizinde  $SiO_2/Al_2O_3$  oranının sadece 2 günlük çimentoların dayanımları üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Tablo 4'te çimentoda  $CaO/(SiO_2+Al_2O_3 + Fe_2O_3)$  oranının 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları üzerinde en etkili parametre olduğu görülmektedir. Çimentoya katılacak puzolan oranının tayininde katkılı çimentonun  $CaO/(SiO_2+Al_2O_3 + Fe_2O_3)$  oranı kullanılabilir.  $CaO/(SiO_2+Al_2O_3 + Fe_2O_3)$  oranı 1 ve üstü olacak şekilde tayin edilecek puzolan miktarı çimentonun dayanımını düşürmeyecektir. Bu durum ayrıca çimentonun puzolanik aktivite indeksi değerinin standartlara uygun olmasını sağlayacaktır.



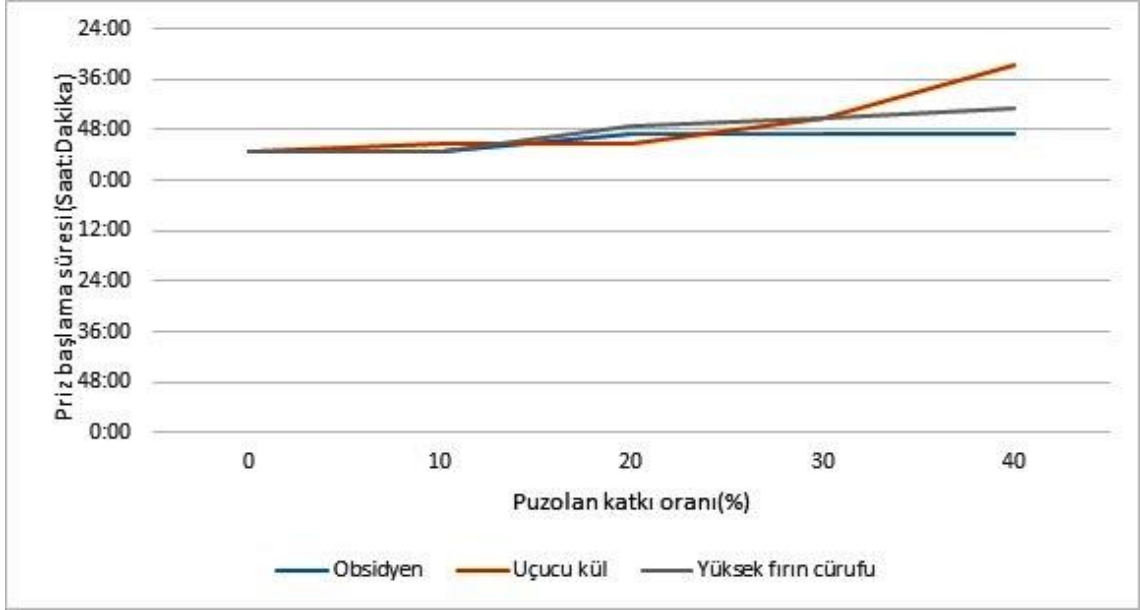
Şekil 17. %50 puzolan ilaveli çimentoların puzolanik aktivite indeksleri

Şekil 17’de %50 çimento ve %50 puzolan ile hazırlanan harçlardan elde edilen puzolanik aktivite indeksleri görülmektedir. TS EN 15197-1’e göre yüksek fırın cürufunun 7 günlük puzolanik aktivite indeksinin %45 ve 28 günlük Puzolanik aktivite indeksinin %70 olması gerekmektedir (TS EN 15167-1, 2006). Şekil 17’de yüksek fırın cürufunun TS EN 15197-1’de belirtilen 7 ve 28 günlük puzolanik aktivite indeksi değerlerini sağladığı görülmektedir. Şekil 17’de obsidyen ilaveli çimentoların 7 ve 28 günlük puzolanik aktivite indeksleri %45 ve %70 değerine ulaşmazken 90 günlük 75 dakika öğütülmüş obsidyenin puzolanik aktivite indeksinin %70’i geçtiği görülmektedir.



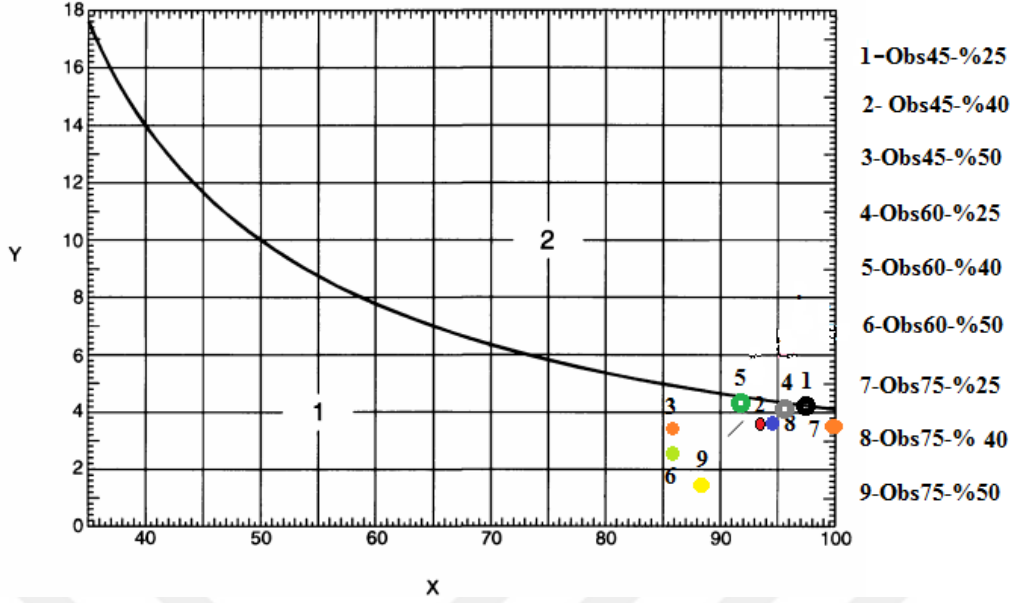
**Şekil 18.** Çimentoların TS EN 196-3'e göre standart kıvam değerleri

Şekil 18'de çimentonun standart kıvama ulaşması için gerekli su miktarının çimento kütlelerine oranlanmasıyla elde edilen standart kıvam (%) değerleri görülmektedir. Şekil 18'de çimentodaki uçucu kül miktarı arttıkça standart kıvama ulaşması için daha fazla suya ihtiyaç duyduğu görülmektedir. Yüksek fırın ilaveli çimentolarda ise çimento ile yüksek fırın cürufu ilaveli çimentoların standart kıvam değerleri birbirine oldukça yakındır. Çimentodaki yüksek fırın cürufu arttıkça çimentonun standart kıvam değerinde çok az artış olmaktadır. Obsidyen ilavesi ise çimentonun standart kıvama ulaşması için gereken su miktarını azaltmaktadır. Çimentoda kullanılan silis dumanı, uçucu kül ve metakaolin gibi puzolanlar çimentonun standart kıvam su içeriğini artırmaktadır (Sadıklar vd., 2004). Nikolic vd. çalışmalarında bu çalışmaya benzer olarak uçucu külün çimentonun su isteğini artırdığı ancak geopolimer binder yapılması uçucu külün su isteğini azalttığını belirtmektedir (Panias vd., 2007). Çimentonun standart kıvam değerinin düşük olması istenilen kıvamda beton üretilmesi için daha az su kullanılacağı anlamına gelmektedir. Çimentonun istenilen kıvama daha az su içeriği ile ulaşması istenen bir çimento özelliğidir. Bu çalışmada görüldüğü gibi obsidyen çimentonun standart kıvama ulaşması için gereken su miktarını azaltmaktadır. Bu durum çimento açısından uçucu kül ile kıyaslandığında obsidyen için avantajlı bir durumdur. Diğer incelikteki puzolanla üretilen çimentolarda puzolanın inceliği arttıkça puzolanlı çimentonun standart kıvam için gerekli su miktarında bir miktar artış olmaktadır.



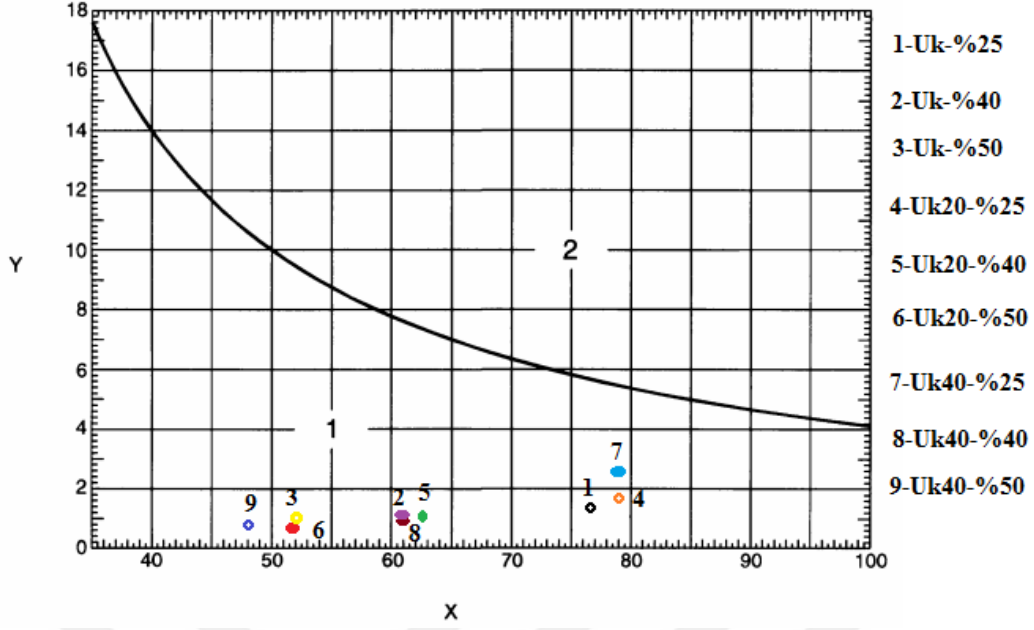
**Şekil 19.** Puzolan katkı oranına göre çimentoların priz başlama süreleri

Şekil 19’da çimentoya obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu katkı oranına göre priz başlama süreleri görülmektedir. Şekil 19’da Obsidyen75 ilavesinin çimentonun priz başlama süresini fazla uzatmadığı görülmektedir. Uçucu kül ise çimentonun priz başlama süresinde belirgin bir süre uzamasına neden olduğu %40 oranındaki uçucu kül ilavesinin çimentonun priz başlama süresini yaklaşık bir saat kadar artırmıştır. Yüksek fırın cürufu ise çimentonun priz başlama süresini obsidyenden fazla uçucu külden daha az uzatmıştır. Şekil 19’da da görüldüğü üzere iki tip çimento, obsidyen ve uçucu kül aynı CEM I 42,5 R tipi, yüksek fırın cürufu ise başka bir CEM I 42,5 R tipi çimentoya katılarak üretilen çimentolardır. Obsidyen çimentoların priz başlama süresine etkisi açısından uçucu kül ve yüksek fırın cürufundan çimento açısından daha olumlu etkiye sahip olmuştur.



**Şekil 20.** Obsidyen ilaveli çimentoların TS EN 196-5'e göre puzolanik özellikleri

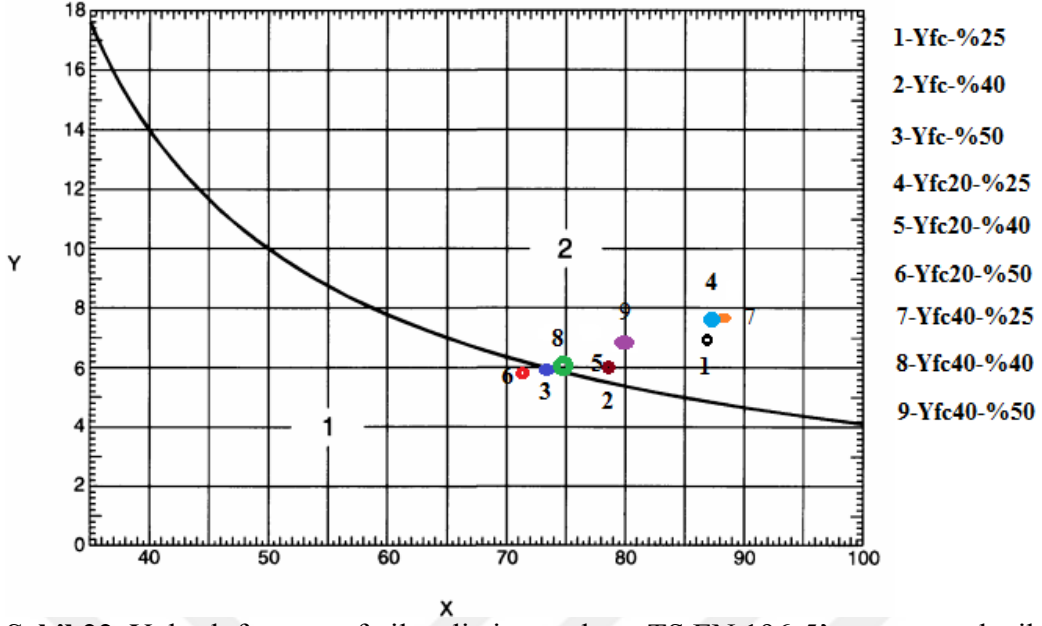
Şekil 20'de CEM I 42,5 R tipi çimentoya % 25, %40 ve %50 oranında üç farklı incelikte obsidyen katılarak üretilen çimentoların TS EN 196-5'e göre puzolanik özellikleri görülmektedir. TS EN 196-5'e göre puzolanın puzolanik özellik göstermesi için çimentoda bulunan hidroksil iyonu konsantrasyonu derişimi ile kalsiyum iyonu derişiminin kesişim yeri Şekil 20'deki grafikte 1 nolu bölgeye düşmesi gerekmektedir. Şekil 20'de sadece 45 dakika öğütülen %25 oranında obsidyen içeren çimentonun puzolanik özelliği eğri üzerinde kalmıştır. Diğer bütün obsidyenli çimentolar puzolanik özellik gösteren bölgededir. Şekil 20'de puzolanın inceliği ve çimentoya katılma oranı arttıkça grafikteki eğriden daha aşağıda ve uzakta kesişim yeri olmaktadır. Obsidyende puzolanik aktivite, puzolanik aktivite indeksinde tespit edilen hususlar puzolanik özellik tayini ilede doğrulanmıştır.



**Şekil 21.** Uçucu kül ilaveli çimentoların TS EN 196-5'e göre puzolanik özellikleri

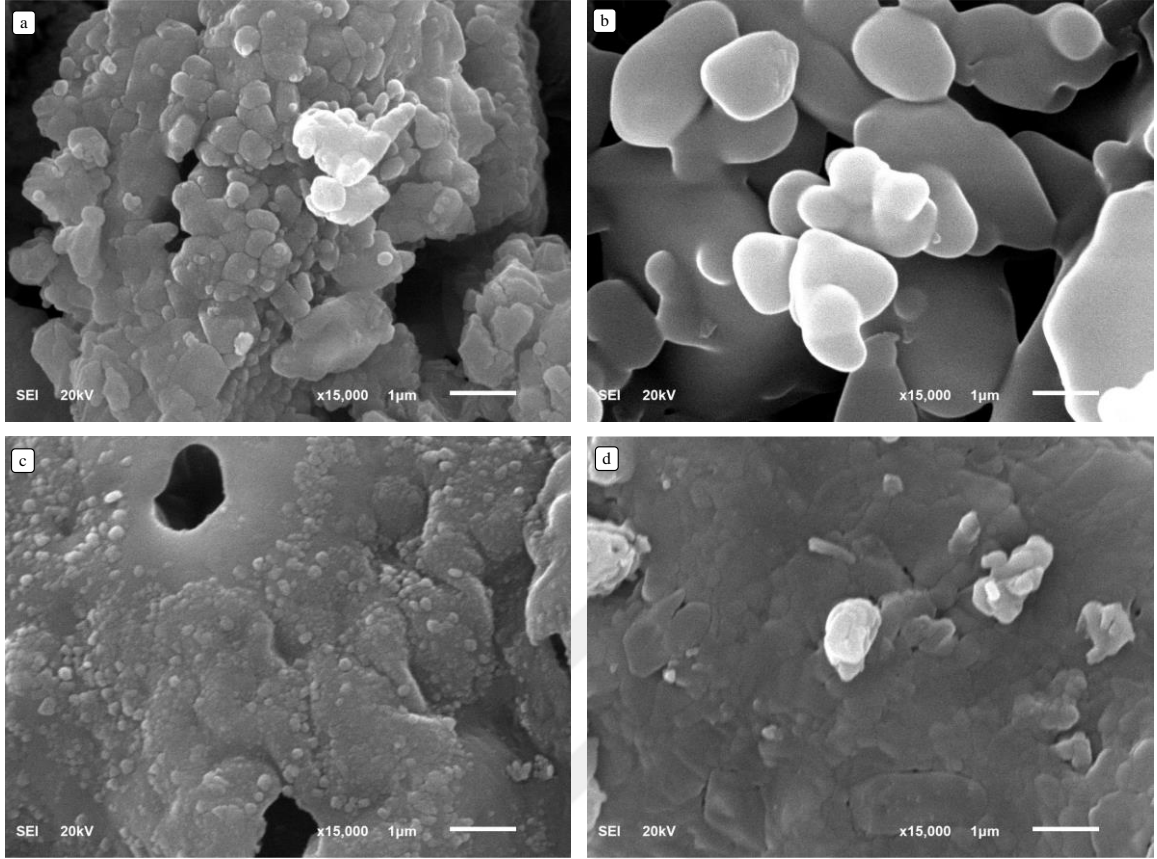
Şekil 21'de CEM I 42,5 R tipi çimentoya % 25, % 40 ve % 50 oranında üç farklı incelikte uçucu kül katılarak üretilen çimentoların TS EN 196-5'e göre puzolanik özellikleri görülmektedir. Şekil 21'de uçucu kül ilaveli çimentolar grafikteki eğrinin oldukça altında kalmıştır ve böylelikle puzolanik özellik gösterdikleri anlaşılmıştır. Şekil 21'deki değerler Şekil 21'deki değerlerle kıyaslandığında Şekil 20'deki değerler eğriye daha yakinken Şekil 21'de eğrinin oldukça altında kalmışlardır. Bu durum uçucu külün obsidyene göre kalsiyum iyonunu daha fazla bağladığını göstermektedir.





**Şekil 22.** Yüksek fırın cürufu ilaveli çimentoların TS EN 196-5'e göre puzolanik özellikleri

Şekil 22'deki yüksek fırın cürufu ilaveli çimentolarda hidroksil iyonu derişimi ile kalsiyum iyonu derişimi kesişim noktaları grafikteki eğrinin üstünde kalmıştır. Çimento standardı TS EN 197-1 puzolanik özellik tayini puzolanik çimentolar için önerilen bir yöntemdir. Puzolanik çimentolar grubuna yüksek fırın cürufu katkılı çimentolar girmemektedir. TS EN 196-5 deneyi yüksek fırın cürufu ilaveli çimentolara uygun bir deney yöntemi değildir. Bu husus Şekil 22'deki grafikten de anlaşılmaktadır.



**Şekil 23.** Taramalı elektron mikroskobu (SEM) Çimento (a), obsidyen (b), uçucu kül (c) ve yüksek fırın cürufu (d) (x1000)

Örneklerin yüzey morfolojisinin ve mikro yapılarının incelenmesi amacıyla elektron mikroskobu ölçümleri gerçekleştirildi. Şekil 23 (a,b,c,d)'de sırasıyla çimento, obsidyen, uçucu kül ve yüksek fırın cürufundan 15000 kat büyütme elektron mikroskobu çekimleri görülmektedir. Şekil 23'te en küçük tane boyutunun uçucu külde olduğu açıkça görülmektedir. Bunu sırasıyla, yüksek fırın cürufu, çimento ve obsidyen örnekleri izlemektedir. Obsidyenin tane boyutunun en büyük olduğu halde Şekil 23'te görüldüğü gibi uçucu külden daha fazla yüksek fırın cürufundan daha az basınç dayanıma sahiptir. Obsidyenin tane boyutunun küçültülmesi durumunda Şekil 15'teki puzolanik aktivitelerinde daha fazla artışa neden olabilecektir. Şekil 23(c)'de tane boyutu sayısı ve sınırları uçucu külden en fazla olması Şekil 18'deki uçucu kül oranı arttıkça çimentonun standart kıvam değerinin artmasının nedeni, bu tane sınırlarına suyun yerleşmesi sayesinde olduğu söylenebilir. Şekil 23 (b) obsidyen tane boyutunun Şekil 23 (a)'daki çimentodan küçük olması Şekil 18'deki obsidyen oranı arttıkça obsidyen katkılı çimentonun standart kıvamına katılan suyun azalmasının nedeni olabilir.

Yapılan bu çalışmada aşağıda sıralanan sonuçlara erişilmiştir.

1- TS EN 196-2 reaktif silis içeriğine, TS 25 puzolanik aktivite ve TS EN 196-5'teki puzolanik özellik değerlendirmelerine göre Rize yöresi obsidyeni çimentoda puzolan olarak kullanılmaya uygundur.

2- Bu çalışmada kullanılan üç farklı incelikteki puzolanın inceliği arttıkça puzolan ve kireç karışımından oluşan harcın basınç dayanımı artmıştır.

3- Yüksek fırın cürufu ve uçucu kül ikameli çimento ile üretilen harçlardan elde edilen puzolanik aktivite indeksleri obsidyen ikameli harçlarla kıyaslandığında obsidyen ilaveli harçların puzolanik aktivite indeksleri uçucu kül ikameli harçlardan fazla, yüksek fırın cürufu ilaveli harçlardan ise az olduğu tespit edilmiştir.

4- Obsidyen ikameli çimentoların standart kıvama ulaşması için gerekli su miktarı yüksek fırın cürufu ve uçucu kül ikameli çimentolardan daha azdır. Standart kıvama ulaşmak için gerekli su ihtiyacı ise en fazla uçucu kül ikameli çimentolarda görülmüştür. Obsidyen ilaveli çimentoların uçucu kül ve yüksek fırın cürufu çimentolara göre aynı kıvama gelmesi için daha az su gerekmektedir.

5- Çimentonun basınç dayanımı üzerinde  $\text{CaO}/(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$  oranı etkili bir parametredir. Çimentonun  $\text{CaO}/(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$  oranı çimentoya katılacak puzolan miktarının belirlenmesinde gözönünde bulundurulmalıdır.

6- TS EN 196-5'e göre puzolanik özellik tayini obsidyenli çimentolarda kullanılabilecek bir yöntem olduğu görülmüştür.

## 5. ÖNERİLER

Obsidyen ilaveli yeni tip çimentolar geliştirmek için detaylı araştırma projeleri yapılabilir.

Malzeme temin edilen bölgedeki ham maddenin çimento sektöründe kullanılması için çalışmalar yapılabilir.



## KAYNAKLAR

- Abd-El.Aziz, M.A., Abd.El.Aleem, S. ve 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. ve 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  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  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 2005*, 1-9.
- Caputo, D., Liguori, B. ve 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. ve 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.
- Erdoğan, S.T. ve Sağlık, A.Ü., 2013.** Early-age activation of cement pastes and mortars containing ground perlite as a pozzolan. *Cement & Concrete Composites*, 38, 29–39.
- Felekoglu, B., Turkel, S. ve 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. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Doktora Tezi.
- Heide, K., Sadıklar, M.B., Gerth, K., Völksch, G., Hartmann, E., 1996.** Obsidian from Büyüksulata and Sırıklı 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. ve 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., Bezi-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, Ş. ve Kurbetci, Ş., 2017.** Effectiveness of mineral additives in mitigating alkali-silica reaction in mortar. *Computers and Concrete*, 20, 6, 705-710.
- Özbay, E., Erdemir, M. ve Durmus, H.İ., 2016.** Utilization and efficiency of ground granulated blast furnace slag concrete properties – A review. *Construction and Building Materials*, 105, 423–434.
- Panias, D., Giannopoulou, I.P. ve 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., 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.
- 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 volcanic ash-based geopolymer mortar by fusion method: effect of adding 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.
- Topçu, İ.B., 2008.** Yapı malzemeleri ve Beton, Uğur Ofset yayınları, 1. Baskı, 550 s., 105-108.
- TS 25, 2008.** Doğal puzolan (tras)-Çimento ve betonda kullanılan-Tarifler, gerekler ve uygunluk kriterleri. TSE., Ankara, 1. baskı, 14 s.
- TS EN 15167-1, 2006.** Öğütülmüş yüksek fırın cürufu, beton, harç ve şerbette kullanımı. TSE., Ankara, 1. baskı, 22 s.
- TS EN 196-9, 2004.** Çimento deney yöntemleri, bölüm 9 hidratasyon ısı-yarı adyabatik yöntem. TSE., Ankara, 1. baskı, 17 s.
- TS EN 197-1, 2012.** Çimento-Bölüm 1: Genel çimentolar: bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri. TSE., Ankara, 1. baskı, 29 s.
- TS EN 450-1, 2013.** Uçucu Kül - Betonda kullanılan - Bölüm 1: Tarif, özellikler ve uygunluk kriterleri. TSE., Ankara, 1. baskı, 33 s.
- Tydlitát, V., Zákoutsk, J. ve Cern, R., 2014.** Early-stage hydration heat development in blended cementscontaining natural zeolite studied by isothermal calorimetry. *Thermochimica Acta*, 582, 53–58.
- Ul Haq, E., Padmanabhan, S.K. ve 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 anda non-zeolitic natural pozzolan. *Cement and Concrete Research*, 40, 398–404.
- 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. ve 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.** Assessmentofphase formation in alkali-activated low and highcalcium fly ashes in building materials. *Construction and Building Materials*, 24,1086–1093.
- 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., 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.



## ÖZGEÇMİŞ

Muammer YANIK, 26.12.1990 tarihinde Rize’de doğdu. İlk ve orta öğretimini 2004 yılında Rize ilinde TOBB İlkokulu’nda, Lise öğretimini 2007 yılında Rize ilinde Hasan Sağır Lisesi’nde tamamladı. 2010 yılında başladığı lisans eğitimini 2015 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde tamamladı. 2015 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda başladığı yüksek lisans öğrenimini halen devam ettirmektedir. Özel bir firmada İnşaat Mühendisi olarak görevine devam etmektedir. Orta seviyede İngilizce bilmektedir.

