

## Asidik ve bazik karakterli tüflerin puzolanik özelliklerinin araştırılması: Elazığ ve Gümüşhane yörelerinden örnek bir çalışma

*Investigation of pozzolanic properties of acidic and basic tuffs: A case study from Elazığ and Gümüşhane regions*

Yasemin ASLAN TOPÇUOĞLU\*<sup>1,a</sup>, Zülfü GÜROCAK<sup>1,b</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ/TURKEY

• Geliş tarihi / Received: 10.05.2022

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 14.07.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 01.08.2022

### Öz

Puzolanlar killi zeminlerin stabilize edilmesinde katkı malzemesi olarak ve çimento üretiminde tras olarak kullanılmaktadırlar. Stabilizasyon işleminde zemine eklenen doğal ve yapay puzolanlar, zeminin taşıma gücünü ve dayanımını arttırmakta, oturmaları, gerilmeler sonucunda meydana gelecek olan deformasyonları, şişme potansiyelini, sıvılaşma potansiyelini ve geçirgenliği azaltmaktadır. Çimentoda kullanılan ve tras adı verilen puzolanlar ise hidrasyon ısısını azaltmakta, betonun çatlamaya karşı direncini arttırmakta, betonun su geçirmezliğini arttırmakta ve alkali-agrega reaksiyonu nedeni ile oluşan genleşmeyi önlemektedir. Bu nedenle, doğal puzolanik özelliğe sahip malzemelerin araştırılması ve puzolanik özelliklerinin incelenmesi ülke ekonomisi açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada asidik ve bazik karakterli iki tüfün puzolanik özelliklerini belirlemek amacıyla kimyasal ve mineralojik incelemeler yapılmış ve tüflerde puzolanik aktivite deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda Kızılkaya Formasyon'una ait asidik karakterli tüfler standartlarda önerilen stabilizasyonda ve çimento üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılabilme şartlarını sağlamasına karşın, yapılan puzolanik aktivite deneyinde yeterli basınç dayanımı sağlayamamaktadır. Bu durum, CaO oranının azlığından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle asidik tüflerin kullanımında kireç katkısı ile CaO oranının artırılması gereklidir. Karabakır Formasyon'una ait bazik karakterli tüflerin kimyasal özelliklerinin standartlarda verilen limit değerlere uygun olmadığı, yeterince puzolanik reaksiyon oluşturmayacağı ve katkı malzemesi olarak kullanılamayacağı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Kil, Puzolan, Stabilizasyon, Tras, Tüf

### Abstract

Pozzolans are used as additives in stabilizing clayey soils and as trass in cement production. Natural and unnatural pozzolans added to the ground in the stabilization process increase the bearing strength and strength of the soil, reduce the deformations that will occur as a result of stresses, settlements, swelling potential, liquefaction potential and permeability. It Pozzolans, which are used in cement and called trass, reduce the heat of hydration, increase the resistance of concrete against cracking, increase the waterproofing of the concrete and prevent the expansion caused by the alkali-aggregate reaction. For this reason, researching materials with natural pozzolanic properties and examining their pozzolanic properties are important for the country's economy.

In this study, chemical and mineralogical studies were carried out to determine the pozzolanic properties of acidic and basic tuffs, and pozzolanic activity tests were carried out on the tuffs. As a result of the studies, although the acidic character tuffs belonging to the Kızılkaya Formation meet the conditions for use as an additive in the stabilization and cement production recommended in the standards, they cannot provide sufficient compressive strength in the pozzolanic activity test. This is due to the low CaO ratio. For this reason, it is necessary to increase the CaO ratio with lime additives in the use of acidic tuffs. It has been concluded that the chemical properties of the basic character tuffs of the Karabakır Formation are not in accordance with the limit values given in the standards, they will not create sufficient pozzolanic reaction and cannot be used as an additive material.

**Keywords:** Clay, Pozzolan, Stabilization, Trass, Tuff

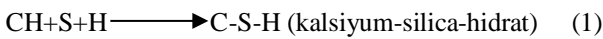
\*a Yasemin ASLAN TOPÇUOĞLU; yaslan@firat.edu.tr, Tel: (0553) 6281910, orcid.org/0000-0002-3135-5926

<sup>b</sup> orcid.org/0000-0002-1049-8346

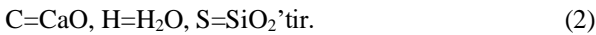
## 1. Giriş

### 1. Introduction

Puzolan, [ASTM C 618 \(2012\)](#) tarafından yapılan tanıma göre, kendi kendine bağlayıcılık özelliği çok az olan ya da hiç olmayan, ancak uygun nem şartlarında ve normal ortam sıcaklığında kireç ile reaksiyona girerek bağlayıcı özelliğe sahip ürünler ortaya çıkararak, ince toz halindeki silisli veya silisli ve alüminli maddelerdir. Puzolanlar doğal ve yapay puzolanlar olmak üzere iki grupta incelenirler ve başlangıcından sonra değişikliğe uğramış volkanik kökenli veya sedimanter kayalar doğal puzolanları oluşturur. Bunların kökeni çoğunlukla volkanik camlar, tüfler ve volkanik kül gibi piroklastik kayalardır. Ayrıca ısı işlem görmüş doğal puzolanlar da vardır ki bunlar killer, şeyller ve diatomitlerdir. Silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi endüstriyel yan ürünler ise yapay puzolanlara örnek olarak verilebilir ([Ün, 2007](#)). Bu katkı malzemelerinin en önemli özelliği puzolanik reaksiyon oluşturmalarıdır. Puzolanik reaksiyon; öğütülerek ince daneler haline getirilen (dane boyu tercihen 0.0075 mm'den daha küçük) puzolanların, sönmüş kireç ve suyla birleştiğinde oluşan kimyasal reaksiyonlardır. Portland çimentosunun hidrasyonundaki gibi hidrolik bağlayıcılık özelliğine sahip kalsiyum-silika-hidrat (C-S-H) jellerinin oluşmasına kalsiyum hidroksit, silis ve su arasındaki reaksiyonlar sebep olmaktadır. Nemli ortamda, ince öğütülmüş puzolanın silikası ile kalsiyum hidroksit arasında meydana gelen kimyasal reaksiyon basitçe aşağıdaki gibi gösterilebilir ([Erdoğan, 2003](#)).



Bu reaksiyon oldukça yavaş bir reaksiyondur ve burada;



[ASTM C 618 \(2012\)](#) standardına göre puzolanik reaksiyonun en iyi şekilde gelişebilmesi için puzolandaki  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$  miktarının %70,  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  miktarının %5, ateşte kaybının maksimum %8,  $\text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$  miktarının maksimum %8 ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  miktarı ise maksimum %6 olmalıdır. Diğer önemli bir özellik ise mineralojik bileşimdir. Ayrıca, katkı malzemesindeki camsı faz miktarı %8'den fazla, oligoklas sanidin, albit, ortoklas gibi alkali feldspatların miktarı fazla, montmorillonit, kaolinit, halosit gibi kil minerallerinin miktarı ise düşük miktarda olmalıdır ([Mazsazza, 1989](#)).

Daha ekonomik ve çevreci olmaları nedeniyle tercih edilen doğal puzolanlar konusunda yapılmış birçok çalışma mevcuttur. [Akgül \(2006\)](#) Datça bölgesindeki volkanik tüflerin yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi ve yapı sektörüne kazandırılması, çimentoya göre daha az enerji gerektiren ve kolay elde edilip uygulanabilen, günümüz koşullarına uygun, ekonomik ve sağlıklı yapı malzemelerinin geliştirilmesi bakımından önemli olduğunu vurgulamıştır. Araştırmacı Datça bölgesindeki tüflerin puzolanik aktivitesinin geliştirilmesi amacıyla deney programı doğrultusunda kür koşulları (sıcaklık, süre, nem), malzeme miktarı ve su oranları değiştirilerek aralarındaki farkları ve en uygun üretim koşullarını belirlemiştir. [Alp vd. \(2004\)](#) doğal malzemelerin katkı malzemesi olarak kullanımlarının belirlenmesi konusunda Taşhane (Terme) andezitik tüflerini çalışma konusu olarak seçmişler ve bu tüflerin TS 25 (2008)' e göre çimentoda tras olarak kullanılabilecek özellikte olduğunu belirlemişlerdir. [Aydın \(2010\)](#) tarafından yapılan çalışmada Yenikent (Ankara) bölgesindeki şişme ve büzülme potansiyeline sahip sönmüş kireç ve uçucu kül kullanılarak geoteknik özelliklerindeki iyileşme incelenmiştir. Araştırmacı uçucu külün zemin iyileştirmede kullanımı halinde, daha az çimento veya diğer katkı maddeleri kullanılarak ülke ekonomisine fayda sağlanabileceğini, doğal malzemelerin daha fazla kullanılması ile daha az doğa tahribi oluşacağı ve çevre sorunlarının çözümüne katkı sağlayacağını belirtmiştir. [Bulut \(2007\)](#) yapı üretiminde yaygın olarak tüketilen çimentonun yüksek maliyeti ve çevreye olumsuz etkilerine dikkat çekerek, alternatif malzeme-bağlayıcı araştırmaları gereğinin ortaya çıktığını belirtmiş ve bu kapsamda ülkemizdeki rezervleri göz önüne alındığında, perlitin yapı malzemesi alanında kullanım olanaklarının araştırılmasının önemine vurgu yaparak perlitin kullanılabilirliğini araştırmıştır. [Ceylan \(2020\)](#) çimentonun beton üretimindeki maliyetinin %50'nin üzerinde olduğunu, Portland çimento endüstrisinin çok fazla  $\text{CO}_2$  emisyonu üreten, karbon ayak izi çok yüksek bir sektör olduğunu belirterek, çimento tüketiminin azaltılmasını sağlayacak ve çimentoya alternatif volkanik tuf gibi materyallerin betonda mineral katkı olarak kullanımının çimento tüketimini ciddi oranda azaltacağına, hem ekonomik hem de çevresel yararlar sağlayacağına vurgu yapmıştır. Araştırmacı malzeme olarak Isparta tufünü seçmiş ve bu tüflerin puzolanik özelliklerini incelemiştir. [Çavdar \(2004\)](#) yaptığı çalışmada tuf gibi doğal malzemelerin tras olarak kullanımının önemine değinerek, Trabzon yöresi tüflerinin çimentoda tras olarak kullanılabilirliğini, çimento inceliği ve tras oranının traslı çimentonun özelliklerine olan

etkilerini incelemiştir. [Ghabae \(2015\)](#) kirecin bir inşaat malzemesi olması yanı sıra, zemin stabilizasyonunda kullanılmasının hem çevresel hem de ekonomik olarak önemli olduğunu, kirecin yüksek plastisiteli bentonit ile karıştırılmasının, serbest basınç mukavemetini önemli ölçüde arttırdığını, aynı zamanda kirecin düşük maliyeti nedeniyle yüzeysel zemin stabilizasyonu uygulamalarında dayanımı arttırmak amacı ile kullanılmasının faydalı olacağını belirtmiştir. [Hossain & Mol \(2011\)](#) çevreci bir yaklaşımla doğal puzolanlar ile endüstriyel atıkları kullanarak killi zeminleri stabilize etmiş ve zeminlerin mühendislik özelliklerini incelemiştir. Böylece stabilizasyonda katkı olarak doğal malzemelerin veya uçucu kül gibi endüstriyel atık kullanımının yaygınlaşmasına katkıda bulunmuşlardır. [Kalay \(2010\)](#) köpük beton, talaş, ağaç kabuğu, çakıl taşı, endüstriyel atıklar, yonga, deniz kabuğu, atık pirinç kabuğu külü, yanmış yağ atığı, volkanik kül, mermer tozu, atık lastik gibi malzemelerin zemin iyileştirilmesinde kullanılabilirliğini ve bu tür atık maddelerin depolama için daha az alan ayrılması ve ucuz olması nedeniyle tercih edildiğini belirterek, yüksek plastisiteli bir kile mermer tozu, pomza ve kireç eklenmesi sonucunda kilin mühendislik özelliklerinde meydana gelen değişimleri incelemiştir. [Kavas & Çelik \(2001\)](#) yaptıkları çalışmada doğal bir malzeme olması nedeniyle Ayazini tüflerinin katkılı portland çimentosu üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilirliğini incelemiştir. [Liebig & Althaus \(1998\)](#) çalışmalarında doğal bir malzeme olan tüflerin puzolanik özelliklerini ve kalsinasyonun etkilerini incelemiştir. [Taban & Şimşek \(2009\)](#) çimento üretiminde enerji harcamalarının büyük bir kısmının hammadde ve klinker öğütme prosesinde harcandığını, harcanan bu enerjinin azaltılması ve klasik çimento hammaddelerine alternatif olarak değişik katkı malzemelerinin denenmesinin önemine vurgu yaparak, daha kolay öğütülebilir özelliğe sahip olan Bigadiç (Balıkesir) bölgesindeki zeolitik tüflerin puzolan olarak kullanımını incelemiştir.

Killi zeminlerin stabilizasyonu için katkı malzemesi olarak kullanılan puzolanların zemindeki elementlerle kimyasal reaksiyona girmesiyle birlikte ilk olarak zeminin su içeriğinde azalma oluşmaktadır. Su içeriğindeki azalma ile birlikte zemin daha kolay işlenebilir hale gelmektedir. Daha uzun süre uygulanan kürlemenin etkisiyle zeminin dayanımı, sıkışabilirliği ve duraylılığı önemli ölçüde iyileşmektedir ([Locat vd., 1990](#); [Wild vd., 1996](#); [Mallela vd., 2004](#); [Geiman, 2005](#)). Bu süreçte zemin daneleri topaklanma olarak tanımlanan ve

zeminin dokusunu değiştiren büyük boyutlu kümeler oluşturmaktadır. Topaklanma ile birlikte zeminin boşluk oranında ve optimum su içeriğinde artışlar oluşmakta, maksimum kuru yoğunlukta ise azalma meydana gelmektedir. ([Kinuthia vd., 1999](#)). [Mallela vd., \(2004\)](#) yaptıkları çalışmada, stabilizasyon sonucunda zeminin likit limitinde azalma, plastik limitinde artış ve plastisite indisinde ise azalma olduğunu, böylece zeminin non-plastik özellik kazanabildiğini belirtmektedirler. Aynı araştırmacılar, stabilizasyon sonrası zeminde meydana gelen dayanım artışında kür süresinin önemli olduğunu ve ayrıca, zeminin pH değeri ile birlikte, organik karbon içeriği, doğal drenaj, aşırı miktarda değiştirilebilir sodyumun, kil mineralojisi, bozunma derecesi, karbonatların varlığı, çıkarılabilir demir, silika-seskuioksit oranı ve silika-alümin oranının da önemli bir etkisi olduğunu belirtmektedirler. [Thompson & Dempsey \(1969\)](#) puzolanik reaksiyon sonucunda zeminde meydana gelen sertleşmenin, zeminin çevresel şartlarındaki değişimler sonucunda ıslanma-kuruma veya donma-çözülme gibi döngülerden kaynaklanan olumsuz etkilere karşı koyma olarak ifade edilen (duraylılık) durabileteyi artırdığını ifade etmişlerdir. [Little vd., \(1995\)](#) stabilizasyon sonucu zeminin şişme potansiyelinin ve hacimsel değişimin azaldığını, zeminin plastisite indisindeki azalmanın şişme potansiyeli ve şişme basıncını azalttığını belirtmiştir. Killi zeminlerin stabilizasyonu için katkı malzemesi olarak kullanılan puzolanlar oluşturdukları puzolanik reaksiyon sonucunda zeminin dayanımındaki artışlardan başka, zeminde meydana gelecek oturma ve deformasyonları, zeminin sıvılaşma potansiyeli ile geçirgenliği de azaltmaktadır ([Locat vd., 1990](#); [Wild vd., 1996](#); [Mallela vd., 2004](#); [Geiman, 2005](#)).

Puzolanların çimentoda katkı malzemesi olarak kullanılması durumunda puzolanik reaksiyonun oluşmakta, trasın bağlayıcı özelliğe sahip olmasını ise klinkerin su ile reaksiyonuyla açığa çıkan kireç sağlamaktadır. Doğal puzolan katkılı çimentolar geçirgenliği düşük ve portland çimentosuna göre sülfat etkisi gibi kimyasal etkilere karşı dayanıklıdır. Ayrıca, hidrasyon ısısını azaltmakta, betonun çatlamaya karşı direncini artırmakta ve alkali-agrega reaksiyonu nedeni ile oluşan genleşmeyi önlemektedir ([Massazza, 1999](#)). Bu etkilerinden dolayı birçok doğal malzemenin çimentoda katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği konusunda çalışmalar yapılmıştır. [Ceylan \(2020\)](#) yaptığı çalışmada doğal puzolanların ince öğütülmesi sonucunda çimento hamurundaki mikro boşlukları kolaylıkla doldurarak, çimento

hamurunun iskelet yapısında değişiklikler oluşturduğunu ve böylece beton dayanımının arttığını belirtmektedir. Araştırmacıya göre puzolanların oluşturdukları kayganlaştırıcı etki nedeniyle taze betonun işlenebilirliği de olumlu yönde etkilenmektedir. [Demir Şahin vd. \(2019\)](#) Afşin Elbistan Termik Santralinden elde edilen uçucu külün öğütmeye bağlı olarak çimento bileşiminde mineral katkı olarak kullanımı amaçladıkları çalışmada farklı öğütme süresi ve katkı oranının betonun aşındırma ve karbonatlaşma performansına olan etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar öğütme süresinin betonun yarmada çekme dayanımı üzerinde pek fazla etkili olmadığını, ama referans numuneye göre uçucu kül katkısının dayanımı artırdığını belirlemişlerdir. [Demir Şahin vd. \(2020\)](#) yaptıkları çalışmada C tipi uçucu külün beton bileşiminde çimento katkı malzemesi olarak kullanılması ile %10, %30 ve %50 ikame oranlarında geçirimsiz beton üretilmesini amaçlamışlardır. Beton örneklerde 28 ve 90 günlük kür süreleri sonunda geçirgenliği belirlemek için kılcallık testi yapmışlardır. Araştırmada 28 günlük kür sonunda en iyi geçirimsizlik %50 uçucu kül katkılı örnekte ve 60 dakika öğütme süresi olan karışımda elde edilirken, 90 günlük kür süresi sonunda en iyi sızdırmazlık %30 uçucu kül katkısında ve 0 dakika öğütme süresi olan karışımda elde edilmiştir. Sonuç olarak, beton bileşiminde uçucu külün artan inceliği ve katkı oranı ile geçirgenliğin azaldığı görülmüştür. [Demir Şahin vd. \(2021\)](#) C sınıfı uçucu kül katkısının betonunun kısa ve uzun dönem basınç dayanımına olan etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, altı farklı Blaine incelik değerinde ve üç farklı uçucu kül katkı oranında örnekler hazırlamışlardır. Araştırmacılar hazırladıkları örnekler için deneysel sonuçlara dayalı olarak betonun basınç dayanımını simüle etmek ve tahmin etmek için bir Yapay Sinir Ağı modelini kullanmışlardır. Çalışmada 3, 7, 28, 56 ve 90 kürlenme süreleri için %99 doğrulukla basınç dayanımı değerini simüle etmek için katkı oranı, Blaine inceliği ve kür süresi (gün) girdi olarak kullanılmıştır. Tahmin edilen hedef değerler deneylere ait sonuçlar ile karşılaştırılmış ve 0.99'lük bir korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Bu modelden elde edilen sonuçların, herhangi bir çalışma koşulunda uçucu kül inceliği ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi tahmin etmede kullanılabileceği ifade edilmiştir. [Erdoğan vd. \(2003\)](#) çimentoya puzolan ilave edilmesi ile birlikte ilk etapta çimento ve beton dayanımının düştüğünü, ancak meydana gelen dayanım kaybının puzolan türü ve miktarına bağlı olarak bir süre sonunda ortadan kalktığını belirtmektedirler. [Hsu vd. \(2018\)](#) uçucu külün betonun 14, 28 ve 56

günlük basınç dayanım değerleri üzerindeki etkilerini incelemişler ve kür süresine göre inceliği daha yüksek olan uçucu kül katkılı örneklerin basınç dayanım değerlerinin daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Araştırmacılar ince uçucu kül katkısının basınç dayanımını geliştirmeye katkısını, puzolanik aktivitenin daha kolay gelişmesine, harcın boşluk yapısını ve su ihtiyacını azaltmaya, çimento hidrasyonunu geliştirmeye ve filler etkisine bağlamışlardır. [Pan vd. \(2003\)](#) çimentoda kullanılan katkı malzemesinin inceliği ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi inceledikleri araştırma sonucunda, öğütülme süresinin artmasıyla artan inceliğin çimento harçlarının basınç dayanımını artırdığını belirlemişlerdir. [Wang vd. \(2003\)](#) uçucu küllerin çimentoda katkı olarak kullanılabilirliği konusundaki çalışmalarında katkı içerisindeki çok ince partiküllerinin oranı arttıkça, çimento harçlarının basınç dayanımlarının da arttığını belirtmişlerdir.

Son zamanlarda madencilik sektöründe yaygın olarak kullanılmaya başlanılan bir yöntem çimentolu macun dolgu yöntemidir ve bu yöntemde madencilik faaliyetleri sonucu açığa çıkan ve çevre kirliliğine neden olan cevher zenginleştirme atıklarının bir miktar çimento (%2-10) ve su ile karıştırılarak yeraltı üretim boşluklarına depolanmaktadır. Bu yöntemde bağlayıcı olarak çimento kullanılmakta ve bu nedenle maliyet oldukça artmaktadır. Maliyeti düşürmek amacıyla çimento yerine daha ucuz ve çevreci olan doğal puzolanların kullanımı konusunda çalışmalar yapılmaktadır. [Başçetin vd. \(2020\)](#) çimentolu macun dolgu (ÇMD) yönteminde kullanılan çimento yerine kullanılabilecek malzemeleri belirlemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Bu yöntem son zamanlarda geliştirilen ve yaygın bir şekilde kullanılan, madencilik faaliyetleri sonucu açığa çıkan cevher zenginleştirme atıklarının bir miktar çimento (%2-10) ve su ile karıştırılarak yeraltı üretim boşluklarına depolanması işlemidir ve bağlayıcı olarak çimento kullanımı yöntemin maliyetini önemli ölçüde artırmaktadır. Bu maliyeti azaltmak amacıyla araştırmacılar Portland çimento yerine zeolit, yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve silis dumanı gibi puzolanik katkı malzemelerinin kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Araştırmadan edilen sonuçlara göre; 28 ve 90 gündeki en yüksek basınç ve eğilme dayanımları ile Puzolanik aktivite indeksi uçucu kül katkılı örneklerde elde edilmiştir. [Başçetin vd. \(2021\)](#) yaptıkları çalışmada madencilik faaliyetlerinde kullanılan çimentolu macun dolgu yönteminde çimento ve uçucu külün kullanımını incelemişlerdir. Araştırmacılar çimento kullanımının malzemeyi dış etkenlere

karşı daha dayanıklı hale getirdiğini, ancak endüstriyel uygulamalar açısından uzun süreli depolama maliyetini azaltmak için çimento yerine %50 katkı oranı ile uçucu kül kullanılabilirliğini önermişlerdir. Eker & Başçetin (2022) çimentolu macun dolgu yönteminde zeolit kullanımının etkisini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada, ilk olarak Küre (Kastamonu), bakır madeninden alınan cevher hazırlama tesisi artıklarına belli oranlarda Portland çimentosu ve su ekleyerek referans örnekler hazırlamışlardır. Daha sonra Bigadiç Bölgesi'nden alınan doğal zeoliti Portland yerine her çimento oranı için belirli oranlarda cevher artıklarına ekleyerek örnekler hazırlamış ve tüm örneklerin 3, 7, 14, 28, 56 ve 90 günlük kür süreleri sonunda tek eksenli basınç dayanımlarını belirlemişlerdir. Araştırmacılar genel olarak, zeolit katkısının erken dayanımda (28. güne kadar) daha etkili olduğunu, zeolit katkılı macun dolgu karışımlarının uzun vadeli dayanım kayıplarının, sülfat ve hidrasyon ürünlerinin reaksiyona girerek ikincil jips, etrenjit ve demir sülfat oluşturmamasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Doğal puzolanların aktivitesi konusunda yaptıkları çalışmada Camacho & Afif (2002) doğal puzolanların aktivitesinde rol oynayan en önemli faktörlerin özgül yüzey, kimyasal bileşim ve mineralojik yapı olduğunu belirtmektedirler. SiO<sub>2</sub> içeriği, aktif fazların yapısı ve miktarı, kür süresi, karışımın kireç/puzolan oranı, puzolan tarafından bağlanan kireç miktarına etki eden faktörlerdir (Hewlett, 1998; Swamy, 1986). Doğal puzolan katkılı çimentodan imal edilen betonun kısa dönem dayanımı özgül yüzey ile ilişkili iken, uzun dönemdeki dayanımı ise SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği ile ilişkilidir (Costa & Massazza, 1981).

Bu çalışmada daha önce puzolanik özellikleri incelenmemiş olan Gümüşhane ili civarında yüzeyleme veren Kızılıkaya Formasyonu'na ait tüfler ve Elazığ ili yakın çevresinde yüzeyleme

veren Karabakır Formasyonu'na ait tüfler araştırma konusu olarak seçilmiştir. Böylece, bu tüflerin puzolan olarak kullanılabilirliği ortaya konularak ekonomiye kazandırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, derlenen örneklerin kimyasal, mineralojik ve puzalonik özelliklerini belirlemek amacıyla laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar standartlarda verilen limit değerler ile karşılaştırılarak bu tüflerin stabilizasyonda ve çimento üretiminde puzolan olarak kullanılıp kullanılmayacağı belirlenmiştir.

## 2. Materyal

### 2.1. Material

Volkanizma ürünü olan tüflerin katkı maddesi olarak kullanımı çok eskilere dayanmaktadır. Yapılan çalışmalar tüflerin de puzolanik reaksiyona neden olduğunu ve bu sebeple zeminin mühendislik özelliklerini iyileştirdiklerini göstermiştir. Fakat farklı kimyasal karakterde olan (asidik ve bazik) tüflerin hepsi için bu durum söz konusu değildir. Özellikle riyolitik ve dasitik tüflerin iyi bir puzolan oldukları bilinmektedir. En iyi puzolanik özellik gösteren malzemeler dasitik tüfler, zeolitli tüfler ve riyolitik tüflerdir. Fakat bazalt, andezit ve bazalt tüfü genellikle yeterli performansa sahip değildir. Ayrıca, trasların farklı tipleri ojit, apatit, biyotit, manyetit, kristobalit, muskovit, hematit, illit, kaolinit ve homblend gibi mineraller de içermektedirler (Ün, 2007). Tras olarak asit ve nötr kökenli volkanik tüfler kullanılır. Fakat pratikte bazalt tüflerin de kullanıldığına rastlanmaktadır.

Bu çalışmada katkı malzemesi olarak kullanılan tüfler Ağın (Elazığ) ve Çemişgezek (Tunceli) bölgelerinde geniş yüzeylemeler veren Karabakır Formasyonu'ndan ve Gümüşhane ili sınırlarında yüzeyleme veren Kızılıkaya Formasyonu'ndan arazi çalışmalarıyla derlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışmada kullanılan tüflere ait örnekleme noktaları  
Figure 1. Sampling locations of the tuffs used in the study

İlk kez Güven (1993) tarafından tanımlanan, Espiye'nin (Giresun) güneyinde geniş yüzeylemeler veren, riyodasit, dasit ve bunların piroklastlarından oluşan Kızılkaya Formasyonu, Turoniyen-Santoniyen yaşlı Çatak Formasyonu'nun üzerine uyumlu olarak gelirken, Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı Çağlayan Formasyonu ile de uyumlu olarak üstlenmektedir. Çoğunlukla dasitik özellikteki piroklastik kayalardan oluşan Kızılkaya Formasyonu, az miktarda dasit de içermektedir. Formasyona ait piroklastik kayalarda yoğun bir bozunma gözlenmektedir (Merdan Tutar, 2015). Bölgede yapılan çalışmalarda (Boynukalın, 1990; Yalçınalp, 1992; Köprübaşı, 1992; Korkmaz, 1993) formasyonun yaşı Geç Kretase olarak belirlenmiştir. Güven (1993), tarafından yapılan çalışmada ise Kızılkaya Formasyonu'nun Geç Kretase yaşlı Çatak Formasyonu'nun üzerine uyumlu olarak gelmesi ve Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı Çağlayan Formasyonu tarafından uyumlu olarak örtülmesinden dolayı formasyona Santoniyen yaşlı verilmiştir.

Karabakır Formasyonu ilk defa Naz (1979), tarafından adlandırılmıştır. Formasyon piroklastikler, volkanoklastikler, epiklastikler, volkanitler ve bunlarla yanal düşey yönde geçişli olan gölsel kireçtaşı ile akarsu çökellerinden

oluşmaktadır. Birim içerisinde Pertek çevresinde geniş yüzeylemeler veren andezitik kayalar Pertek Andezit üyesi, bazaltik kayalar ise Bazalt üyesi olarak adlandırılmıştır (Herece, 2016). Karabakır Formasyonu Elazığ, Ağın ve Çemişgezek dolayında yüzeylemeler vermekte olup, Geç Miyosen-Pliyosen yaşlıdır. Formasyon karasal volkanizma ürünleriyle, karasal ortam çökelleri olan konglomera, kumtaşı, silttaşı, mam ve kireçtaşları ile temsil edilmektedir (Turan & Bingöl, 1991). Karabakır Formasyonu tabanda bölgede yüzeyleyen ve kendinden daha yaşlı Keban Metamorfitleri Elazığ Magmatitleri, Kırkgeçit ve Alibonca Formasyonları gibi birimler üzerine uyumsuz olarak gelirken, Palu Formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir (Turan & Bingöl, 1991). Pliyo-Kuvaterner'de oluşmuş örgülü nehir ve alüvyal yelpaze çökellerinden oluşan Palu Formasyonu kumtaşı, konglomera, ve silttaşlarıyla temsil olmaktadır (Aksoy vd., 1996).

Bu çalışmada kullanılan Karabakır Formasyonu'na ait tüfler genellikle sarımtırak renkli ve yüksek boşluk oranına sahip iken, Kızılkaya Formasyonu'na ait tüfler gri renkli ve boşluk oranı düşük, dolayısıyla daha yüksek birim ağırlığa sahiptir. Çalışmada kullanılan ve öğütülerek 200 nolu elekten elenen tüfler Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan öğütülmüş asidik ve bazik tüfler  
Figure 2. Basic and acidic tuffs used in the study

### 3. Laboratuvar çalışmaları

#### 3. Laboratory Studies

Katkı olarak kullanılacak malzemelerin belirlenmesinde en önemli faktörler malzemenin kimyasal ve mineralojik özellikleri ile puzolanik aktivite deneyi sonucunda elde edilen serbest basınç değerinin standartlarda önerilen limit değerlere uygunluğudur. Bu nedenle kimyasal özellikleri belirlemek için XRF (X-ışınları

Flöresans), mineralojik özellikleri belirlemek amacıyla XRD (X-Işını Difraksiyonu) analizleri yapılmaktadır. Ayrıca, malzemede puzolanik aktivite deneylerinin de yapılması gereklidir. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen XRF analizleri ACME (Kanada) Laboratuvarlarında, XRD analizleri Fırat Üniversitesi Merkez Laboratuvarı (MERLAB)'nda, puzolanik aktivite deneyleri ise TÇMB (Türkiye Çimento

Müstahsilleri Birliği) AR-GE Enstitüsü laboratuvarlarında yaptırılmıştır.

### 3.1. XRF (X-ışınları Flöresans) analizleri

#### 3.1. XRF (X-ray Fluorescence) analyzes

Hızlı ve basit örnek hazırlığıyla en iyi analitik tekniklerden biri olan XRF analizi sıvı ve katı gibi her türlü örnekte, elemental analiz yapmak için kullanılmaktadır. X-ışınları Flöresans (XRF) spektroskopisi olarak adlandırılan bu yöntem, %100 ppm seviyesinin altında yüksek kesinlik ve doğruluk oranıyla Berilyumdan (Be) Uranyuma (U) kadar olan element konsantrasyonlarını verebilen ve elementel kompozisyonu belirlemede kullanılan önemli yöntemlerden birisidir. Teknolojik ve bilimsel araştırmadaki önemi duyarlı, hızlı, kolay kullanımı ve malzemeye zarar özellikleri dikkate alındığında gün geçtikçe artmaktadır.

Foton-madde etkileşmesiyle meydana gelen karakteristik X-ışınları ve saçılma fotonlarının

nicel ve nitel değerlendirilmesine bağlı olarak uygulanana XRF cihazları temel olarak 2 farklı ölçüm prensibi kullanırlar. Analiz edilen örnekten elde edilen X ışınlarının enerjisini hesaplayarak elementleri belirlerken gelen ışınları da sayarak element miktarlarının belirlenmesini sağlayan sistem Enerji ayrımlı XRF (EDXRF)'dir. Diğer sistem ise Dalga boyu ayrımlı XRF (WDXRF) sistemi olarak adlandırılan yöntemdir ve örnekten elde edilen X ışınlarını önce özel kristallerde yansıtılmakta, sonra yansıma açıları belirlenmektedir. Böylece, elementleri ve ışınları sayarak miktarları belirlenmektedir. WDXRF sistemlerde X ışını tüpünün gücüne bağlı olarak hassasiyet değişirken, EDXRF sistemlerinin hassasiyeti ise kullanılan detektörün çözünürlüğüne göre değişmektedir.

Çalışmada kullanılan tüflerin kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan XRF analizlerine ait sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Kızılkaya ve Karabakır Formasyon'una ait tüflerin kimyasal özellikleri  
**Table 1.** Chemical properties of tuffs of Kızılkaya and Karabakır Formation

| Ana Oksitler (%)               | Kızılkaya Fm. | Karabakır Fm. |
|--------------------------------|---------------|---------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 69.10         | 31.40         |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 20.70         | 7.15          |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.47          | 3.49          |
| MgO                            | 0.19          | 2.11          |
| CaO                            | 0.76          | 28.70         |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.39          | 0.60          |
| K <sub>2</sub> O               | 1.43          | 0.87          |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.29          | 0.41          |
| MnO                            | <0.01         | 0.03          |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.06          | 0.09          |
| SO <sub>3</sub>                | 0.90          | 0.04          |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | <0.01         | 0.02          |
| Sr                             | 0.024         | 0.03          |
| Kızdırma kaybı                 | 5.50          | 24.80         |
| Toplam                         | 99.81         | 99.74         |

Tablo 1'de verilen XRF analizlerine ait sonuçlara incelendiğinde Kızılkaya Formasyonu'na ait tüflerde SiO<sub>2</sub> miktarı %69.10 iken bu değer Karabakır Formasyonu'na ait tüflerde %31.40'tır. XRF analizlerinden elde edilen SiO<sub>2</sub> miktarları dikkate alındığında, SiO<sub>2</sub> miktarı %63'ten fazla olduğu için Kızılkaya Formasyonu'na ait tüfler asidik karakterli, Karabakır Formasyonuna ait tüflerin SiO<sub>2</sub> miktarı %45'ten az olduğu için bu tüfler de bazik karakterlidir. Ayrıca, Kızılkaya Formasyonu'na ait tüfün SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarı %90.27, MgO miktarı %0.19, SO<sub>3</sub> miktarı

%0.90 iken Karabakır Formasyonu'na ait tüflerde SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarı %42.04, MgO miktarı %2.11, SO<sub>3</sub> miktarı ise %0.04 olarak bulunmuştur.

### 3.2. XRD (X-Işını Difraksiyonu) analizleri

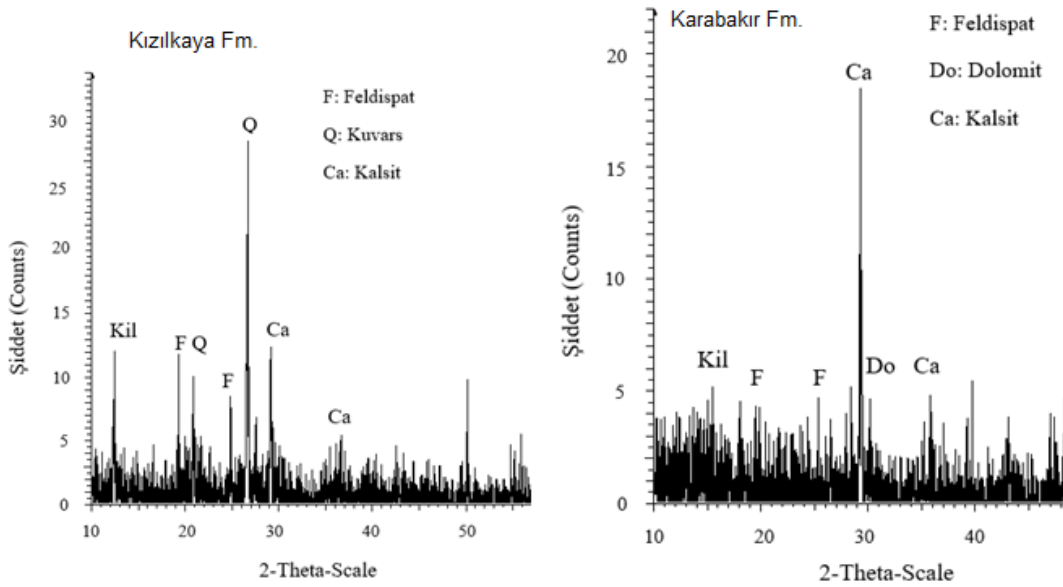
#### 3.2. XRD (X-Ray Diffraction) analyzes

Malzemelerin kristalografik özelliklerinin ve içerdikleri fazların belirlenmesini sağlayan, hasarsız bir analiz yöntemi olan XRD yönteminde belli bir kristal yapısına sahip minerallerin üç

boyutlu yapısı, bir kristal örgüdeki atomların tekrarlanan düzenli düzlemleriyle tanımlanmaktadır. Bu yöntemde, odaklanmış bir X-ışını demeti, atomların bu düzlemleriyle etkileşime girdiğinde, ışık demetinin bir kısmı yayılmakta, bir kısmı atom tarafından soğurulmakta, bir kısmı saçılmakta ve diğer bir kısmı ise kırılmaktadır. Mineralin kristal yapısına ve atomların dizilimine bağlı olarak X-ışını, her mineralden, farklı şekilde kırılır. Malzemelerin karakteristiğini belirlemek amacıyla farklı analitik teknikler kullanılmaktadır ve bunlardan bir tanesi XRD'dir. Minerallerin iyi bir şekilde tanımlanması sağlar ve özellikle ince daneli minerallerin ve karışımların belirlenmesi için oldukça yararlıdır. XRD verileri bir karışımdaki farklı minerallerin

oranını belirlemek amacıyla kullanılabilir. Minerallerin yapısal durumları, mevcut mineral veya minerallerin kristallik derecesi gibi özellikleri de ayrıca bu teknikle belirlenebilir.

Çalışmada kullanılan tüflerin mineralojik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan XRD analizlerine ait sonuçlar Şekil 3'te verilmiştir. Kızılkaya Formasyonu'na ait tüflerin XRD grafiğine göre bu tüfler esas olarak kuvars, feldspat, kalsiyum ve kil minerallerinden, bazik tüfler ise kalsit, dolomit, feldspat ve ikincil kil minerallerinden oluşmaktadır. Karabakır Formasyonu'na ait tüfler ise esas olarak feldspat, dolomit, kalsit ve ikincil kil minerallerinden oluşmaktadır.



**Şekil 3.** Kızılkaya ve Karabakır formasyonlarına ait tüflerin XRD grafikleri  
**Figure 3.** XRD graphs of tuffs of Kızılkaya and Karabakır formations

### 3.3. Puzolanik aktivite deneyi

#### 3.3. Pozzolanic activity experiment

Doğal puzolanın gerekli kaliteyi göstermesi ve katkı malzemesi olarak kullanılabilmesi açısından en önemli özellik kimyasal bileşimidir. Bazı doğal puzolanik malzemeler önemli sayılabilecek bir puzolanik aktiviteye sahip iken bazı puzolanlarda düşük bir puzolanik aktivite görülebilmektedir. Bu nedenle puzolanik aktivitelerinin belirlenmesi gerekir (Camacho & Afif, 2002). Puzolanik aktivite, puzolanik malzemelerin sönmüş kireçle ve su ile hangi oranda reaksiyona girebileceği ve hangi oranda bağlayıcılık sağlayabileceği olarak tanımlanır. TS 25 (2008)'de yapılan tarife göre de doğal puzolanın belirli bir incelikte öğütülüp su ve kalsiyum hidroksitle karıştırılması ile elde edilen harcın basınç dayanımı cinsinden belirlenen hidrolik özelliğidir. Puzolanik aktivite

belirlenirken TS 25 (2008)'de belirtilen oranlarda kullanılan malzeme miktarları ile örnekler hazırlanmaktadır ve bu örneklerde 7, 28 veya 90 gün sonrasında serbest basınç deneyleri yapılmaktadır. TS 25 (2008)'e göre hazırlanan harç çubuklarının 7 günlük serbest basınç dayanımlarının en az 4 MPa olması durumunda malzemenin puzolanik aktiviteye sahip olduğu kabul edilmektedir. Bu çalışma kapsamında asidik ve bazik tüflerin puzolanik aktiviteleri TÇMB (Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği) AR-GE Enstitüsü laboratuvarlarında yaptırılan puzolanik aktivite deneyleri ile belirlenmiştir. Bu deneylere ait sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.



**Tablo 2.** Asidik ve bazik tüflere ait puzolanik aktivite deney sonuçları  
**Table 2.** Pozzolan activity test results of acidic and basic tuffs

| Örnek      | 7 günlük serbest basınç dayanımı (MPa) | 28 günlük serbest basınç dayanımı (MPa) |
|------------|--|---|
| Asidik Tüf | 2.05                                   | 8.16                                    |
| Bazik Tüf  | 3.60                                   | 6.20                                    |

#### 4. Laboratuvar sonuçlarının değerlendirilmesi

##### 4. Evaluation of laboratory results

Bir malzemenin puzolanik özelliğine sahip olup olmadığına, o malzemeye ait deney sonuçlarının standartlarda önerilen limit değerler ile karşılaştırılması sonucunda karar verilebilmektedir. Doğal puzolanların kullanım uygunluğu konusunda farklı kuruluşlar tarafından önerilmiş standartlar bulunmaktadır. Bu

standartlardan TS 25 (2008) çimentoda kullanılacak katkı malzemeleri için, TS EN 450-1 (2013) ve ASTM C 618 (2012) ise uçucu kül ve kalsine edilmiş ya da edilmemiş doğal puzolanların kullanıma uygunluğu konusunda önerilmiş standartlardır. Bu çalışmada incelenen tüf örneklerine ait analiz ve deney sonuçları bu standartlarda verilen limit değerler ile karşılaştırılmış (Tablo 3) ve puzolan olarak kullanılabilirlikleri belirlenmiştir.

**Tablo 3.** Tüflerin doğal puzolanlar için önerilen standartlardaki limitlere göre değerlendirilmesi

**Table 3.** Evaluation of tuffs according to the limits in the standards recommended for natural pozzolans

| Özellik  |     | Asidik Tüf | Bazik Tüf | TS 25 (2008) | TS EN 450-1 (2013) | ASTM C 618 (2012) |
|--|-----|------------|-----------|--------------|--------------------|-------------------|
| SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %   | 90.27      | 42.04     | ≥ 70.00      | ≥ 70.00            | ≥ 70.00           |
| MgO  | %   | 0.19       | 2.11      | ≤ 5.00       | ≤ 4.00             |                   |
| SO <sub>3</sub>  | %   | 0.90       | 0.036     | ≤ 3.00       | ≤ 3.00             | ≤ 4.00            |
| K <sub>2</sub> O + 0.658Na <sub>2</sub> O *                                      | %   | 1.69       | 1.27      | -            | ≤ 5.00             | ≤ 1.50            |
| Serbest CaO  | %   | 0.76       | 28.70     | -            | ≤ 2.50             | -                 |
| Reaktif SiO <sub>2</sub>   | %   | 28.11      | 23.15     | ≥ 25.00      | ≥ 25.00            | -                 |
| Ateşte kayıp   | %   | 5.50       | 24.80     | -            | ≤ 5.00-9.00        | ≤ 10.00           |
| 7 Günlük Basınç Dayanımı   | MPa | 2.05       | 3.60      | ≥ 4 MPa      | -                  | -                 |

\* Eşdeğer alkali madde içeriği

Yapılan değerlendirmelere göre; Kızılkaya Formasyonu'na ait asidik tüflerin puzolanik aktivite deneyi ile belirlenen 7 günlük basınç dayanımı değeri hariç tüm özellikleri TS 25 (2008)'de verilen limit değerlere uygundur. Bu tüflerin 7 günlük basınç dayanımı 2.05 MPa iken, TS 25 (2008) standardında bu değerin en az 4 MPa olması koşulu bulunmaktadır. Asidik tüfler, uçucu küllerin puzolan olarak kullanılabilirliği için önerilen TS EN 450-1 (2013) standardında önerilen tüm limit değerlere uygunluk göstermektedir. ASTM C 618 (2012) standartlarında verilen limitlere göre değerlendirildiğinde ise asidik tüflerin eşdeğer alkali madde içeriği hariç diğer özellikleri kalsine edilmiş veya edilmemiş doğal puzolanlar için önerilen limitlere uygundur. Asidik tüflerde eşdeğer alkali madde içeriği değeri %1.69 dur ve limit değerin çok az üstünde bir değerdir. Karabakır Formasyonu'nun bazik karakterli tüflerinin puzolan olabilirliği TS 25 (2008), TS EN

450-1 (2013) ve ASTM C 618 (2012) standartlarına göre değerlendirildiğinde ise bu tüflerin hemen hemen tüm değerlerinin limit değerlere uygun olmadığı belirlenmiştir.

#### 5. Sonuçlar ve Öneriler

##### 5. Results and Recommendations

Farklı bölgelerden derlenmiş ve farklı mineralojik ve kimyasal özelliklere sahip tüflerin puzolanik özelliklerinin araştırıldığı bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Santoniyen yaşlı Kızılkaya Formasyonuna ait tüfler esas olarak kuvars, kalsit, feldspat ve ikincil kil minerallerinden oluşmaktadır ve asidik karakterli bir tüftür. Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı Karabakır Formasyonu'na ait tüfler ise bazik karakterlidir ve mineralojik

olarak feldspat, dolomit, kalsit ve ikincil kil minerallerinden oluşmaktadır.

2. Asidik tüflere ait sonuçlar **TS 25 (2008)** standardında çimentoda tras olarak kullanılabilirlik için verilen limit değerler ile karşılaştırıldığında, bu tüflerin 7 günlük basınç dayanımı 2.05 MPa'dır ve limit değer olan 4.00 MPa değerinden daha düşüktür. Diğer değerler ise limit değerlere uygundur. 28 günlük basınç dayanımı değeri 8.16 MPa olarak belirlenmiştir. Asidik tüflerde diğer tüm özellikler gereken değerlere sahip iken basınç dayanımı değerlerinin düşük çıkmasının, bu tüflerde serbest CaO yüzdesinin çok düşük olmasından kaynaklandığı söylenebilir.
3. Asidik tüfler, uçucu kül için **TS EN 450-1 (2013)** ve **ASTM C 618 (2012)** standartlarına göre değerlendirildiğinde, hemen bütün özelliklerinin bu standartlarda verilen limit değerlere uygun olduğu ve bu tüflerin puzolan olarak kullanılabilirliğini göstermektedir. Ancak, asidik tüflerde gerçekleştirilen puzolanik aktivite deneyinden elde edilen sonuçlara göre bu tüfler CaO miktarının az olması nedeniyle yeterli puzolanik aktivite göstermemektedir. Bu nedenle asidik tüflerin puzolan olarak kullanılabilmesi için CaO eksikliğinin giderilerek puzolanik aktivitenin geliştirilmesi gereklidir.
4. Bazik tüflere ait laboratuvar sonuçlarının **TS 25 (2008)**, **TS EN 450-1 (2013)** ve **ASTM C 618 (2012)** standartlarında önerilen limit değerlere göre değerlendirilmesi sonucunda, bu tüflere ait değerlerin birçoğunun standartlarda verilen limitler dışında olduğu ve bu tüflerin tek başına puzolanik özellik göstermediği belirlenmiştir.
5. Bu çalışma kapsamında incelenen Karabakır Formasyonu'na ait bazik tüfler puzolanik özellik göstermediği için hem killerin stabilizasyonunda hem de çimento üretiminde katkı malzemesi olarak kullanımı söz konusu değildir. Ancak, Kızılkaya Formasyonu'na ait asidik tüflerin tek başına killerin stabilizasyonunda ve çimentoda katkı olarak kullanılması durumunda yeterli basınç dayanımı sağlamadığı, serbest CaO yüzdesinin azlığından kaynaklandığı düşünülen bu olumsuzluğun giderilmesi için sönmüş kireçle birlikte kullanılması gerektiği önerilmektedir.

## **Teşekkür**

### *Acknowledgement*

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (FÜBAP) tarafından MF.16.64 numaralı proje ile maddi olarak desteklenmiştir.

## **Yazar katkısı**

### *Author contribution*

Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir

## **Etik beyanı**

### *Declaration of ethical code*

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir

## **Çıkar çatışması beyanı**

### *Conflicts of interest*

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder

## **Kaynaklar**

### *References*

- Akgül, E. (2006). *Datça bölgesindeki volkanik tüflerin yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Aksoy, E., Turan, M., Türkmen, İ., & Özkul, M. (1996). Elazığ havzasının Tersiyerdeki Evrimi. *KTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü 30. Yıl Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*, 293-310.
- Alp, İ., Deveci, H., Yılmaz, A.O., Kesimal, A., & Yılmaz, E. (2004). Taşhane (Terme) andezitik tüflerinin çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir.
- ASTM C 618-12, (2012). *Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in Concrete*. West Conshohocken, ASTM International. PA.
- Aydın, S. (2010). *Yenikent (Ankara) yerleşim alanı killerinin kireç ve uçucu külle geoteknik özelliklerinin iyileştirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Başçetin, A., Eker, H., Adıgüzel, D., & Tüylü, S. (2020). Çimentolu macun dolgu yönteminin uygulanmasında bazı katkı malzemelerinin puzolanik özelliklerinin araştırılması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*,

- 10 (2). 415-424.  
https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.627059
- Bascetin, A., Adiguzel, D., Eker, H., Odabas, E., & Tuylu, S. (2021). Effects of puzzolanic materials in surface paste disposal by pilot-scale tests: observation of physical changes. *Int. J. Environ. Sci. Technol*, 18, 949-964.  
https://doi.org/10.1007/s13762-020-02892-w
- Eker, H., & Başçetin, A. (2022). The study of strength behaviour of zeolite in cemented paste backfill. *Geomechanics and Engineering*, 29(4), 421-434.  
https://doi.org/10.12989/gae.2022.29.4.421
- Boynukalın, S. (1990). *Dereli (Giresun) baraj yeri ve göl alanının mühendislik jeolojisi ve çevre kayaçlarının jeomekanik özellikleri* [Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Bulut, Ü. (2007). *Perlitin puzolanik aktivitesi* [Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Camacho, R.E.R., & Afif, R.U. (2002). Importance of using the natural pozzolans on concrete durability. *Cement and Concrete Research*, 32(12), 1851-1858.  
https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00714-1
- Ceylan, H. (2020). Isparta Tüfünün Puzolanik Özelliklerinin Araştırılması. *Journal of Technical Sciences*, 10(2), 1-6.
- Costa, U., & Massazza, F. (1981). Factors affecting the reaction with lime of italian pozzolanas. *II Cemento*, 131-139.
- Çavdar, A. (2004). *Trabzon yöresi tüflerinin çimentoda tras olarak kullanılabilirliği, çimento inceliği ve tras oranının traslı çimentonun özelliklerine etkisi* [Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Demir Şahin, D., Çullu, M., & Eker, H. (2019). Betonların aşındırma ve karbonatlaşma performanslarına kireçsi uçucu küllerin farklı incelik ve ikame oranlarının etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1150-1163.  
https://doi.org/10.31590/ejosat.654733
- Demir Şahin, D., Çullu, M., & Eker, H. (2020). The effect of different fineness values of Afşin Elbistan fly ash on permeability in concrete. *Challenge Journal of Structural Mechanics*, 6(2), 73-83.  
https://doi.org/10.20528/cjsmec.2020.02.004
- Demir Şahin, D., Isik, E., Isik, I., & Cullu, M. (2021). Artificial neural network modeling for the effect of fly ash fineness on compressive strength. *Arabian Journal of Geosciences*, 14: 2705.  
https://doi.org/10.1007/s12517-021-09120-w
- Erdoğan, T.Y. (2003). *Beton*. ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş., Ankara.
- Erdoğan, K., Tokya, M., & Türker, P. (2003). *Traslar ve traslı çimentolar*. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ar-Ge, Y99-2, 32.
- Geiman, C.M. (2005). *Stabilization of soft clay subgrades in virginia phase ı laboratory study* [M.A. Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University Civil Engineering].
- Ghabae, S. (2015). *Kireç ile stabilize edilmiş bentonitin kür süresinin mukavemet üzerindeki etkisi* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Güven, İ.H. (1993). *Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 1/25.000 ölçekli jeolojisi ve komplikasyonu*. MTA, Ankara (yayınlanmamış).
- Herece, E. (2016). *Altınkuşak (Elazığ) ile Pertek (Tunceli) arasının Jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No. 11907*, Ankara (yayımlanmamış).
- Hewlett, P.C. (1998). *Lea's chemistry of cement and concrete*, John Wiley and Sons Inc. *Fourth Edition*, New York, USA.
- Hossain, K.M.A., & Mol, L. (2011). Some engineering properties of stabilized clayey soils incorporating natural pozzolans and industrial wastes. *Construction and Building Materials*, 25(8), 3495-3501.  
https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.03.042
- Hsu, S., Chi, M., & Huang, R. (2018). Effect of fineness and replacement ratio of ground fly ash on properties of blended cement mortar. *Construction and Building Materials*, 176, 250-258.  
https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.060
- Kalay, E. (2010). *Sıkıştırılmış yüksek plastisiteli kil zemin stabilizasyonunda pomza, mermer tozu ve kirecin kullanılması* [Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Kavas, T., & Çelik, M.Y. (2001). Ayazini (Afyon) Tüflerinin çimento sanayiinde tras olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi. *Madencilik*, 44(2).
- Kinuthia, J.M., Wild, S., & Jones, G.I. (1999). Effects of monovalent and divalent metal sulphates on consistency and compaction of lime-stabilised kaolinite. *Applied Clay Science*, 14(1-3), 27-45.  
https://doi.org/10.1016/S0169-1317(98)00046-5

- Korkmaz, S. (1993). Tonya-Düzköy (GB Trabzon) Yöresinin Stratigrafisi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 36(1), 151-158.
- Köprübaşı, N. (1992). *Aşağı Harşit bölgesinin mağmatik petrojenezi ve masif sülfidlerde jeokimyasal hedef saptama uygulamaları* [Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Liebig, E., & Althaus, E. (1998). Pozzolan activity of volcanic tuff and suevite: Effects of calcination. *Cement and Concrete Research*, 28(4), 567-575. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(98\)00024-6](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00024-6)
- Little, D.N., Scullion, T., Kota, P.B.V.S., & Bhuiyan, J. (1995). *Guidelines for mixture design and thickness design for stabilized bases and subgrades*. Texas A and M University.
- Locat, J., Berube, M.A., & Choquette, M. (1990). Laboratory investigations on the lime stabilization of sensitive clays: Shear strength development. *Canadian Geotechnical Journal*, 27(3), 294-304. <https://doi.org/10.1139/t90-040>
- Mallela, J., Harold Von Quintus, P., Smith, K.L., & Consultants, E. (2004). Consideration of limestabilized layers in mechanistic-empirical pavement design. *The National Lime Association*, Arlington, Virginia, USA.
- Massazza, F. (1989). *Puzolanlı çimentolar ve kullanım alanları semineri*, 11-12 Mayıs, Ankara.
- Massazza, F. (1999). *Pozzolans and durability of concrete*, *Cement World*, 3(21), 19-44.
- Merdan Tutar, Z. (2015). *Bahçecik (Torul/Gümüşhane) ve civarındaki Eosen yaşlı volkanik kayaların petrografik, jeokimyasal ve petrolojik özelliklerinin incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Naz, H. (1979). *Elazığ-Palu dolayının jeolojisi*. *TPAO Raporu*, 1360, (yayımlanmamış).
- Pan, S., Tseng, D., Lee, C., & Lee, C. (2003). Influence of the finesses of sewage sludge ash on the mortar properties. *Cement and Concrete Research*, 33(11), 1749-1754. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00165-0](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00165-0)
- Swamy, R.N. (1986). *Cement Replacement Materials*, Blackie & Son Ltd, London, England.
- Taban, S., & Şimşek, O. (2009). Zeolitik tüf katkı oranı ve deniz suyunun çimentonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 24(1), 145-153.
- Thompson, M., & Dempsey, B. (1969). Autogenous healing of lime-soil mixtures. *Highway Research Board*, 263, 1-7.
- TS 25, (2008). *Doğal puzolan (tras) - Çimento ve Betonda Kullanılan-Tarifler, Gereklere ve Uygunluk Kriterleri*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 450-1 (2013). *Uçucu Kül-Betonda Kullanılan-Bölüm 1: Tarif, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Turan, M., & Bingöl, A.F. (1991). Kovancılar-Baskil (Elazığ arası bölgenin tektonostratigrafik özellikleri. *Çukurova Üniversitesi Ahmet Acar Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 213-227.
- Ün, H. (2007). PAÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri Ders Notları, Denizli.
- Yalçınalp, B. (1992). *Güzelyayla (Maçka-TRABZON) Porfiri cu-mo cevherleşmesinin jeolojik yerleşimi ve jeokimyası* [Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Wang, A., Zhang, C., & Sun, W. (2003). Fly ash effects: I. the morphological effect of fly ash. *Cement and Concrete Research*, 33(12), 2023-2029. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00217-5](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00217-5)
- Wild, S., Kinuthia, J., Robinson, R., & Humphreys, I. (1996). Effects of ground granulated blast furnace slag (GGBS) on the strength and swelling properties of lime-stabilized kaolinite in the presence of sulphates. *Clay Minerals*, 31(3), 423-433. <https://doi.org/10.1180/claymin.1996.031.3.12>