

Karakaya (Yıldızeli) Andezitik Tüflerinin Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Abdul Vahap KORKMAZ

İstanbul Üniversitesi, Avcılar / İstanbul, av.korkmaz06@gmail.com

Özet

Ticari adı tras olarak bilinen doğal puzolanlar kompoze çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılırlar. Nitelikli tras yataklarına sahip ülkemiz özellikle dayanım konusundaki başarısından dolayı tras katkılı çimentoları yaygın şekilde üretmeye devam etmektedir. Çimento sanayiinde alternatif katkı talebinin her geçen gün artması ve mevcut katkı rezervlerinin giderek azalması araştırmacıları farklı tras yataklarının keşfi ve çimento sanayiine kazandırılması konusunda çalışmalara yöneltmiştir. Bu çalışmada Karakaya andezitik tüflerinin çimento üretiminde tras olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Örneklerin mekanik, fiziksel ve kimyasal testleri, malzemenin ana oksitlerin ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = \%82.25$) toplam içeriği ve puzolanik aktivitesi malzemenin çimento katkı malzemesi olarak çimento sanayiinde yüksek miktarlarda kullanılabileceğini göstermiştir. Karakaya andezitik tüflerinin düşük rutubet içermesi nedeniyle kış aylarında büyük kullanım kolaylığı sağlamak ve Portland çimentosu klinkerine %30-35 katılarak maliyetleri önemli ölçüde düşürmektedir.

Anahtar Kelimeler: Karakaya, Tüf, Çimento, Tras, Katkılı Çimento.

Investigation of the Usability of Karakaya (Yıldızeli) Andesitic Tuffs as Additive in Cement Production

Abstract

The natural pozzolans, known as the commercial name trass, are used as additives in the production of composite cement. Our country, which has qualified trass beds, continues to produce trass cement widely due to its success especially in the field of resistance. As an alternative additive in the cement industry has been increasing day by day and the existing contribution reserves have gradually decreased, researchers have been working on exploring different trass beds and bringing them to the cement industry. In this study, the use of Karakaya andesitic tuffs as trass in cement production was investigated. The mechanical, physical and chemical tests of the samples showed that the total content of the main oxides ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 82.25\%$) and the pozzolan activity of the materials could be used in the cement industry in high amounts as cement additive material. Karakaya andesitic tuffs provide great ease of use during the winter months due to low moisture content and considerably reduce costs by adding 30-35% to Portland cement clinker.

Keywords: Karakaya, Tuff, Cement, Trass, Blending Cement.

1. Giriş

Çimento prosesinin ara ürünü olan Portland çimentosu klinkeri üretildikten sonra, hem çimento maliyetini düşürmek suretiyle üretimi artırmak ve hem de kullanım yerine göre değişik çimento cinsleri üretmek için klinkere belirli oranlarda katkı maddeleri katılmaya

başlanmıştır. Bu katkı maddeleri puzolanik aktiviteye sahip olan tras, uçucu kül, pomza ve yüksek fırın cürufu gibi doğal veya yapay malzemelerdir. Belirli oranlarda katkı maddeleri kullanılarak, üretilen çimentolar özelliklerinden bir şey kaybetmedikleri gibi kalitesinde de en ufak bir değişiklik meydana gelmemiştir. Hatta

puzolanik katkı çimentolar kullanım yerlerine göre, bazı üstün mekanik özellikler kazanmışlardır [Postacıoğlu vd., 1960, 1987].

Doğal puzolanlar, genellikle çimento yapısına uygun kimyasal ve mineralojik bileşimli volkanik kaynaklı maddeler veya tortul kayalardır. Bunlara tras ve pomza örnek verilebilir. Tras silisli ve alüminli mineralleri içeren volkanik bir tüftür. Tras her ne kadar doğal puzolanlar sınıfına dahil maddelerden birinin adı ise de Ülkemizde 'Tras' kelimesi ticari anlamda kullanılmaktadır. Ülkemiz puzolan açısından oldukça zengin maden yataklarına sahiptir [Binici, 2002].

Volkanik küllerin bünyesinde olduğu gibi içerisinde silis ve alümin bulunduran, söndürülmüş kireç ve su ile normal sıcaklıkta birleştiğinde, bağlayıcılık özelliği kazanan bütün maddelere genel bir isim verilerek 'Puzolan' ve bu özelliği de 'Puzolanik aktivite' denilmektedir. Puzolanik aktivite (söndürülmüş kireçle reaksiyona girerek bağlayıcılık kazanabilme özelliği) tayini iki ayrı deneysel yöntemle yapılabilir:

a) Portland çimentosuyla mukayese metodu: Portland çimentosu su, kum ve puzolanik malzeme kullanılarak oluşturulan harçların 28 günlük basınç dayanımları, içerisinde puzolan olmayan harçların 28 günlük basınç dayanımlarıyla kıyaslanır. ASTM C 618'e göre doğal puzolanlı harçların 28 günlük basınç dayanımları, puzolansız harçların 28 günlük basınç dayanımlarının en az %70'i kadar olmalıdır. Puzolan olarak uçucu kül kullanıldığında bu değer en az %75 olarak verilmektedir [Massazza, 1999].

b) Kireç kullanma metodu: Bu yöntemde puzolanik malzeme, su, kum ve sönmüş kireç kullanılarak elde edilen harçların 7 günlük basınç dayanımları kullanılmaktadır. ASTM C 618'e göre bulunan değer gerek doğal puzolanlar ve gerekse uçucu küller kullanıldığında en az 5.5 N/mm² olmalıdır. Türk Standardı (TS 25), doğal puzolanlar kullanılarak elde edilecek minimum

değeri 4 N/mm² olarak vermektedir. Türk Standartlarında uçucu kül için bu yöntem belirtilmemektedir

Aynı çimento üretiminde bir çeşit katkı kullanılabildiği gibi birden fazla katkı maddesi de kullanılabilir. Çimentolar, kullanılan katkı oranlarına ve bazen de katkı isimlerine göre de adlandırılırlar. Bazı ülke standartları Cem IV/B puzolanik katkı çimentoda %36-55 arasında kalker ve puzolanik malzemelere ve toplam katkı sınırını geçmemek kaydı ile %0-5 arasında minör ilave katkıya izin vermektedir.

Doğal puzolanik maddeleri, doğada uygun bileşimdeki mineralleri içeren kayalar, yapay puzolanları da endüstride uygulanan değişik prosesler oluşturur. Farklı puzolanik yataklarda da olsa aynı puzolanik yataklarda da olsa puzolanların esasları her zaman var olan silistir. Doğal puzolanların bünyelerindeki mevcut SiO₂ içerikleri %40'tan, %90'a kadar değişebilir. Kireç (CaO) içeriği genelde çok düşük, fakat alkaliler (Na₂O, K₂O) dikkate değer miktarda bulunurlar. Tüm puzolanlar reaksiyon kapasitelerini etkileyen ve üç sınıfa ayrılan mineral grupları içermektedir.

Aktif mineral grubu: Bunlar cam fazları (volkanik veya yapay), opal, silisli toprak ve zeolitlerden oluşur.

Atıl mineral grubu: Bunlar aktif olmayıp dolgu görevini gören kristal fazlardır.

Zararlı (istenmeyen) mineral grubu: Organik ve karbon maddeleri örnek verilebilir.

Genel olarak puzolanların mikroskobik yapıları incelendiğinde hepsinin ortak özellikleri, yüksek porozite (gözenekli) bir yapı göstermeleri ve kirece karşı aktif olmalarıdır.

1.1. Puzolanik malzemelerde fiziksel ve kimyasal özellikler

Puzolanik malzemelerin aktivitesi fiziksel özellikleri (incelik, blaine, genleşme vs.) ile çok yakından ilgilidir. Puzolanik malzemenin ince

öğütülmesi puzolanik özelliği yani aktiviteyi ve çimentonun dayanımını arttırmaktadır. Puzolanik maddeler oldukça yüksek gözenekli, sivri köşeli ve oldukça da ince tanecik yapısına sahip olup fazla miktarda su tutma yeteneğine sahiptirler. Tanecik inceliğindeki artış traslı çimentoların pris süresini önemli ölçüde düşürmektedir. Traslı çimentoların hacim genişmesi değeri aynı inceliğe sahip portland çimentosunun hacim genişmesine göre daha küçüktür. Tane inceliği arttığında hacim genişmeside az da olsa artmaktadır. Puzolanik maddelerin özgül ağırlıkları 2.3-2.8 g/cm³ arasında değişir. Portland çimentosunda ise özgül ağırlık 3.1-3.2 g/cm³ arasındadır [Heikal vd., 2000].

1.2. Puzolan katkılı çimento ve betonların genel özellikleri

Katkılı çimentolar, ince öğütüldükleri oranda kullanımları verimli hale gelmektedir. Katkılı çimentolarla hazırlanan pasta ve betonlarda mekanik sağlamlık isteniyorsa, çabuk ve zamanından önce kurumalarını önlemek gerekmektedir [Korkmaz, 2001].

1.2.1. Hidratasyon ısıtı:

Katkılı çimentoların hidratasyon ısıları, tekabül ettikleri Portland çimentoların hidratasyon ısılarından daha düşüktür. Katkı oranı %30-40 olduğunda, hidratasyon ısıtı %20 oranlarına kadar düşmektedir. Katkılı çimentolar bu özelliklerinden dolayı, büyük kütle betonlarında çok başarılı olarak kullanılmaktadır. Böylece hidratasyon ısıtılarından kaynaklanan genleşmeler oluşmadığından, kütle betonlarındaki çatlamlar da meydana gelmemektedir [Erdoğan vd., 1999].

1.2.2. Alkali-agrega reaksiyonu:

Çimentolarda bulunan alkali ile beton yapımında kullanılan agregalarda bulunabilen aktif silikatlar arasında meydana gelen alkali-agrega reaksiyonu sonucu betonda görülen çatlama ve

parçalanmalar katkılı çimentolar kullanılarak nispeten giderilebilmektedir [Erdoğan vd., 1999].

1.2.3. Prizlenme (katılaşma) süresi:

Katkılı çimentoların prizlenme süresi, tekabül eden Portland çimentosuna göre biraz daha uzundur. Bunun pratik uygulamada avantaj ve dezavantajları vardır [Hewlett, 1998].

1.2.4. Dayanım:

Katkılı çimentolarla yapılan betonların kısa ve orta vadeli dayanımları, tekabül eden Portland çimentoları ile yapılan betonların dayanımlarına göre daha düşük, uzun vadeli dayanımları ise kullanılan puzolanın da cinsine bağlı olarak, Portland çimentosu betonunun dayanımına göre daha yüksektir [Erdoğan vd., 1999].

1.2.5. Büzülme:

Sertleşmenin hızlı olması büzülme ve çekmeyi artırdığından, katkılı çimentolarla yapılan betonlarda büzülme ve buna bağlı olarak oluşan çatlamlar daha az olmaktadır. Pratikte buna rötre, neden olduğu çatlaklara da rötre çatlakları denilmektedir. Kuruma esnasında oluşan hacim küçülmesinden kaynaklanan bu durum, katkılı çimento kullanılarak hemen hemen tamamen ortadan kalkmaktadır [Erdoğan vd., 1999].

1.2.6. İşlenebilirlik:

Katkılı çimentolarla yapılan harç ve betonların işlenebilirliği, tekabül eden Portland çimento ile yapılan harç ve betonlara göre daha azdır. İşlenebilirliği arttırmak için su/çimento oranını birazcık arttırmak gerekir ki bu da bilindiği gibi dayanımı düşürmektedir [Erdoğan vd., 1999].

1.2.7. Porozite ve geçirgenlik:

Bilindiği gibi porozite ve geçirgenlik her zaman birbirine bağlı değildir. Katkılı çimentolarla

yapılan harç ve betonların porozite, geçirgenlik ve sızdırmazlıkları tekabül eden Portland çimentolarıyla yapılan betonlara göre daha düşüktür. Bu da pratikte çok büyük avantajlar sağlamaktadır. Geçirimsiz beton, her şeyden önce içinde koruduğu demir donatıyı kimyasal çözeltilere karşı rahatlıkla korur. Ayrıca dış etkenlerden kaynaklanan sıvı, gaz ve kimyasal madde sızmalarına karşı dayanıklılığı artar [Erdoğan vd., 1999].

1.2.8. Elastikiyet:

Katkılı çimentolarla üretilen betonlar, tekabül eden Portland çimentolarıyla üretilen betonlara göre daha elastiktir. Bu da betonu titreşim ve darbelere karşı daha dayanıklı hale getirir.

Kimyasal maddelere dayanıklılık: katkılı çimentolu betonlar, tekabül ettikleri Portland çimentolu betonlara göre, kimyasal maddelere karşı daha dayanıklıdır. Çünkü katkılı çimentolu betonların porozite ve geçirgenlikleri daha az yani daha sıkı betonlardır. Ayrıca betonun içinde kimyasal madde ile reaksiyona girecek metal oksidi hemen hemen kalmamıştır, kalanlar ise katkının aktif silikatlarıyla bileşik oluşturmuştur. Bu da yerine göre betonun ömrünü artırmaktadır [Hewlett, 1998].

1.2.9. Donma ve çözülme karşı dayanıklılık:

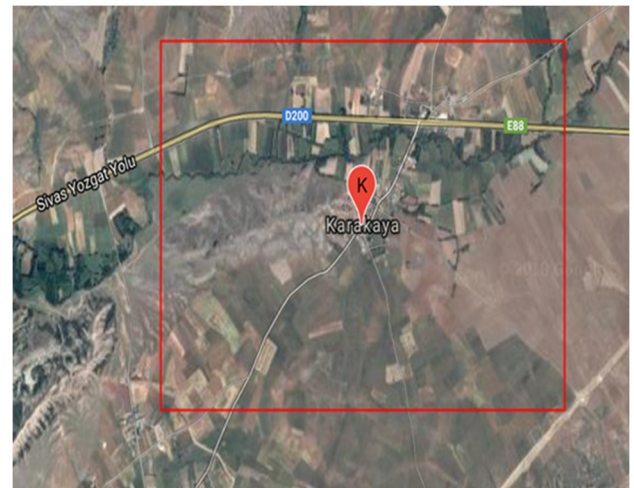
Katkılı çimentolu betonlar, tekabül eden Portland çimentolu betonlara göre, donma ve çözülme karşı daha dayanıklıdır. Çünkü beton az boşluklu ve geçirimsiz olduğundan, bünyesinde donacak ve sonra tekrar çözülecek yeterli suyu bulundurmaz.

Katkılı çimentolarla, su altı inşaatlarında başarılı betonlar dökülebilir. Serbest kireci (S.CaO) yüksek (%2'den fazla) olan klinkerlerden üretilen çimentolarda hacim genişmesi (büzülme), dolayısıyla beton çatlamalarını önlemek için, bu tür klinkerlere katkı ilave edilerek öğütülür. Bu şekilde S.CaO'in hepsi, katkıda bulunan aktif silis tarafından bağlanmış olacaktır. Aksi takdirde

betonda bulunan S.CaO suyla birleşerek kalsiyum hidroksit oluşturacak, bu da suda çok çözüldüğü için yıkanarak betondan uzaklaşacak ve sonuçta geçirimli ve boşluklu bir beton oluşacaktır. Buna benzer olarak, ne kadar ince öğütülürse öğütülün kireç standardı yüksek çimentolar, altı aylık sertleşmeden sonra ağırlığının %14'ü nispetinde serbest kireç içerirler. Serbest kirecin betona yapacağı tahribatı önlemek için, beton harcına uygun katkı ilavesi yapılmalıdır [Massazza, 1999].

2. Materyal ve Metot

Doğal puzolan örnekleri, Yıldızeli-Yozgat kara yolu üzerindeki Karakaya köyü yol kavşağından yaklaşık 5.8 km güneydeki yamaç mevkiinden alınmıştır. Çalışma yapılan bölgede; yeşilimsi gri, açık gri renkli, seyrek eklemlili, masif, ojit ve biyotit kristalleri içeren andezitik tüf katmanlarını barındırmaktadır (Mesci vd., 2002). Karakaya tras sahası ortalama 50-100 cm, yamaç eteklerinde yer yer 5 m kalınlığında, kahverenkli çakıllı kil niteliğindeki yamaç molozu ile örtülmüştür. Haritalama sırasında, araştırmaya konu olan trasların bölge litostratigrafisindeki yerleri saptanarak konumları ve sınırları belirlenerek bazı makroskobik saha özellikleri (homojenite, renk vb.) dikkate alınmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

2.1. Yöntem

Puzolan olarak kullanılan malzemelerin özgül yüzeyleri (blaine), yoğunlukları, kimyasal bileşimleri ve mineralojik yapıları puzolanik aktivite üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Çalışmada kullanılan andezitik tüflerin puzolanik aktivitesine etki eden bu parametrelerin belirlenmesinde aşağıdaki yöntemler kullanılmıştır. Öncelikle andezitik tüflerin fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Yoğunluklar TS EN 197-1 (2012)'ye göre belirlenmiştir. Özgül yüzey (blaine) TS EN 196-5 (2010)'ya göre belirlenmiştir. Bu standartlara ilaveten TS EN 197-2, (2012) ve TS EN 196-2, (2012) standartları da referans alınmıştır. Andezitik tüflerin kimyasal bileşimini belirlemek için X-Işını Kırınımı (XRF) analizi yapılmıştır. Andezitik tüflerin puzolanik aktivitelerinin belirleme yöntemi, TS 25'e göre, kireç-puzolan harçların basınç dayanımları ile belirlenen mekanik deney yöntemidir. Normal kıvam suyu ihtiyacı, priz süresi ve hacim sabitliği belirlemelerinde, farklı oranlarda (%20, %25, %30 ve %35) andezitik tuf içeren katkılı çimentoların ve Portland çimentosunun normal kıvam su ihtiyacı ve priz süreleri vikat cihazı ile, hacim genişmesi deneyleri ise Le Chatelier deney seti ile TS EN 196-3 (2017) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, deney serileri içinde öncelikle kendi aralarında daha sonra birbirleriyle olmak üzere karşılaştırılmıştır.

2.2. Metot

2.2.1. Puzolanik aktivite deneyleri ve numunelerin hazırlanışı

TS 25'e göre Puzolanik aktivite deneyi, belirli bir incelikte öğütülerek kalsiyum hidroksitle ve su ile karıştırılması ile elde edilen doğal puzolan harcının basınç dayanımı cinsinden hazırlanan hidrolik özelliği olarak tarif edilmiştir. TS 25'e göre puzolanik aktivite testleri için hesaplanan malzeme miktarları ile örnekler hazırlanmış ve bu örnekler için kalıpların üstü buharlaşmayı

önleyecek şekilde cam plaka ile kapatılmıştır. Numuneler 24 saat (23±2)°C'lik oda sıcaklığında bekletildikten sonra kalıplar sökülmeden (55±2)°C sıcaklıktaki bir etüv içinde 6 gün daha bekletilmiştir. Numuneler etüvden çıkartılarak oda sıcaklığına gelinceye kadar soğumaya bırakılmış ve TS EN 196-1 (2016)'ya göre basınç dayanımı tayini deneyine tabi tutulmuştur.

2.2.2. Çimento deneyleri ve numunelerin hazırlanışı

TS 25'e göre Puzolanik aktivite deneyi, belirli bir incelikte öğütülerek kalsiyum hidroksitle ve su ile karıştırılması ile elde edilen doğal puzolan harcının basınç dayanımı cinsinden hazırlanan hidrolik özelliği olarak tarif edilmiştir. TS 25'e göre puzolanik aktivite testleri için hesaplanan malzeme miktarları ile örnekler hazırlanmış ve bu örnekler için kalıpların üstü buharlaşmayı önleyecek şekilde cam plaka ile kapatılmıştır. Numuneler 24 saat (23±2)°C'lik oda sıcaklığında bekletildikten sonra kalıplar sökülmeden (55±2)°C sıcaklıktaki bir etüv içinde 6 gün daha bekletilmiştir. Numuneler etüvden çıkartılarak oda sıcaklığına gelinceye kadar soğumaya bırakılmış ve TS EN 196-1 (2016)'ya göre basınç dayanımı tayini deneyine tabi tutulmuştur

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Karakaya traslarının kimyasal özellikleri

Karakaya tras sahasından alınan tras örneğinin kimyasal analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. TS 25, TS 26 ve TS 819'da kompoze çimento üretiminde kullanılacak trasın özellikleri belirtilmiştir. TS 25'e göre çimento içine katılacak trasların kimyasal özelliklerine sınırlamalar getirilmiştir. Buna göre, traslarda istenen $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$, MgO ve SO_3 değerlerinin miktarları Tablo 2'de verilmiştir. $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ toplam değerinin en az %70 olması gerekmektedir. Kimyasal analiz sonucu elde edilen değerler TS 25'te belirtilen kimyasal

özellikler ile karşılaştırıldığında; Karakaya tras örneğinin $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ toplam içeriğinin %82.25 değerine ulaştığı ve standart değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir. SO_3 , MgO ve kızdırma kaybı değerleri de standart değerlerin altında kalmaktadır (Tablo 1-2).

Tablo 1. Örneğin kimyasal analiz sonuçları.

Kimyasal çerik	Değer (%)
SiO_2	68.38
Al_2O_3	12.69
Fe_2O_3	1.18
CaO	4.18
MgO	1.07
Na_2O	0.02
K_2O	3.00
SO_3	0.19
TiO_2	0.16
P_2O_5	0.02
K.K	8.70
Toplam	99.59

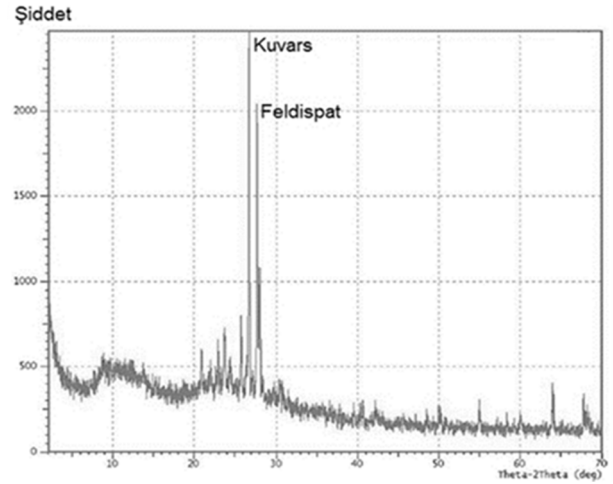
Tablo 2. TS 25 ve kimyasal analiz değerleri

Kimyasal Bileşim	TS 25 (%)	Örnek (%)
$\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$	≥ 70	82.25
MgO	≤ 5	1.07
SO_3	≤ 3	0.19
Rutubet	≤ 10	1.8

Karakaya trası yarı kalitatif faz analizi (XRD) Esan kalite kontrol laboratuvarında yapılmıştır (Şekil 2). Shimadzu XRD-600 cihazı ile Cu X-Isını tüpü (1.5405 angstrom) kullanılarak yapılan analiz sonucunda, numunelerde amorf yapı gösteren bileşikler saptanmıştır. Karakaya trasında yapılan incelemeler neticesinde kuvars (SiO_2), feldispat, az miktarda kristobolit (SiO_2) ve amorf yapı gösteren bileşiklerin olduğu görülmüştür.

3.2. Karakaya traslarının kimyasal, özellikleri

Doğal puzolanların katkı maddesi olarak kullanılabilmesi için kimyasal bileşimleri kalite



Şekil 2. Karakaya andezitik tuf numunesi XRD grafiği.

standartlarını sağlamakta önemli bir parametredir. Buna rağmen bazı puzolanik malzemelerin aktivitelerinin düşük olması nedeniyle puzolanik aktivitelerinin bilinmesi gerekmektedir [Carmacho ve Afif, 2002]. Çimentoların basınç dayanım özellikleri kireç ile reaksiyona girme ve bağlayıcı ürünler oluşturma gibi puzolanik özelliklerinin belirlenmesinde sık başvurulan bir yöntemdir [Erdoğan vd., 1999].

Doğal puzolanların TS 25'te belirtilen standart değerleri ve Karakaya tuf numunelerinin puzolanik aktivite ve mekanik test sonuçları Tablo 3'te gösterilmiştir. Puzolanik harç örneklerinin basınç ve çekme dayanımlarının TS 25'de belirlenen minimum değerleri, sırasıyla 2.5 ve 3.3 katı olduğu görülmektedir.

Puzolanik malzemenin düşük inceliğe ve yüksek yüzey alanına sahip olması ve yüzey alanının artma eğiliminde olmasından dolayı basınç dayanımı üzerine olumlu etki yapabilir [Erdoğan vd., 1999]. Yapılan çalışmada elde edilen bulgular ile karşılaştırıldığında, Çolak (2003); doğal puzolanlar üzerine yaptığı bir araştırmada toplam olarak %80.6 $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ ($4564 \text{ cm}^2/\text{g}$) içeren bir malzeme için 28 ve 90 günlük kür süreleri için daha düşük basınç dayanım sonuçları (sırasıyla, 4.45 ve 9.12 N/mm^2) elde etmiştir. Bu

sonuç, araştırmacının kullandığı doğal puzolanın Fe_2O_3 miktarının yüksek (%12.5) olmasından kaynaklanmış olabilir [Erdoğan vd., 1999].

Tablo 3. Fiziksel özellikler ve puzolanik aktivite (7 gün) analiz sonuçları ve TS 25'e göre karşılaştırması.

Yapılan deneyler	Birim	Örnek	TS 25
Basınç dayanımı	(N/mm ²)	10.7	≥ 4
Çekme dayanımı	(N/mm ²)	3.5	≥ 1
Özgül ağırlık	(gr/cm ³)	2.5	
Özgül yüzey	(cm ² /gr)	4928	
45µm elek üstü	%	3.2	
90 µm elek üstü	%	0.9	
D.Y.K. özgül ağırlığı	gr/cm ³	2.1	
Kuru özgül ağırlık	gr/cm ³	1.9	
Zahiri özgül ağırlık	gr/cm ³	2.373	
Don dayanıksızlığı	%	2.93	
Absorbsiyon nispeti	%	13.25	
Birim hacim ağırlığı	gr/cm ³	1.91	2.2
Aşınma nispeti	%	44	40

3.3. Karakaya trasalarının kimyasal, özellikleri

Çalışmanın yapıldığı çimento tesisi'nde klinker üretimi için %20.41 oranında çimento kili, %78.20 oranında kalker ve %1.39 oranında demir cevheri kullanılmaktadır. Beslenen cevherlerin kimyasal bileşimi Tablo 4'te verilmiştir. Üretilen klinker, tras malzemesi ve alçı ile çeşitli oranlarda karıştırıldıktan sonra 35 dk öğütülmüştür. Karışım miktarları ve oranları Tablo 5'de özetlenmiştir. Karışımında kullanılan alçı %39.5 SO_3 ve %17.5 H_2O içermektedir. Öğütme sonrasında elde edilen farklı tras içeriklerine sahip katkı

çimentoların kimyasal analizleri Tablo 6'da verilmiştir.

Klinker ve üretilen tras katkı çimento ürünlerinin tane boyu, yüzey alanı ve özgül ağırlık gibi fiziksel özellikleri ile mekanik dayanım test sonuçları Tablo 7'de verilmiştir. Basınç dayanımının tras içeriğine ve kür süresine bağlı olarak değişimi sırası ile Şekil 3 ve 4'de görülmektedir. Tablo 8'den de anlaşılacağı üzere farklı tras oranlarında (%20-35) üretilen katkı çimentoların TS 26 standardında belirtilen kimyasal kriterlere uygun olduğu görülmektedir. 28 günlük kür süresi sonunda basınç dayanımları göz önüne alındığında Karakaya trası, katkı çimento üretiminde %30'a kadar kullanılabilir. Ancak \pm %10 emniyet faktörü ile en uygun olarak %25-30 oranında katılabileceğini söylenebilir (Şekil 3-4).

Tablo 4. Çimento üretiminde kullanılan hammaddelerin kimyasal analiz neticeleri

İçerik	Kalker	Kil taşı	Demir cevheri
	%	%	%
SiO ₂	0.24	58.83	21.6
Al ₂ O ₃	0.07	16.44	2.67
Fe ₂ O ₃	0.05	7.58	65.12
CaO	55.45	1.01	1.17
MgO	0.49	3.08	2.49
SO ₃	< 0.01	0.17	< 0.01
Na ₂ O	< 0.01	1.3	< 0.01
K ₂ O	0	3.46	0
TiO ₂	0	0.65	0
P ₂ O ₅	0	0.12	0
Cr ₂ O ₃	0	0.03	0
Mn ₂ O ₃	0	0.09	0
KK	43.68	6.84	6.68
Toplam	99.98	99.6	99.73

Tablo 5. Puzolanik çimento örneklerine kullanılan malzemelerin miktar ve oranları.

Ürün	%20 Tras		%25 Tras		%30 Tras		%35 Tras	
	Miktar (g)	%	Miktar (g)	%	Miktar (g)	%	Miktar (g)	%
Klinker	3040	76	2840	71	2640	66	2440	61
Tras	800	20	1000	25	1200		1400	34
Alçı	160	4	160	4	160	30	160	4
Toplam	4000	100	4000	100	4000	4	4000	100
Öğütme, dk	30	30	30	30	30	30	30	30

Tablo 6. Karakaya tras katkılı çimentoların analiz sonuçları.

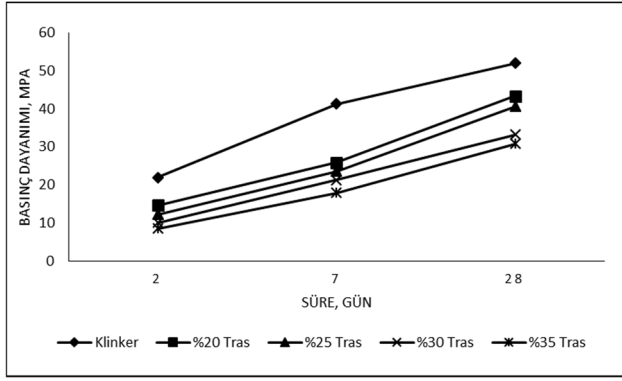
İçerik %	Klinker	%20 Tras	%25 Tras	%30 Tras	%35 Tras	TS26
Çözünmez Kalıntı		16.56	21.12	25.13	29.34	
SiO ₂	20.84	29.51	31.89	34.27	36.64	
Al ₂ O ₃	5.14	4.2	6.82	7.19	7.57	
Fe ₂ O ₃	3.82	2.9	3	4.87	4.74	
CaO	66.75	50.8	48.43	45.3	42.18	
MgO	1.32	1.02	1.2	1.19	1.17	≤5
SO ₃	0.62	0.53	1.19	1.3	1.42	≤3.5
Na ₂ O	0.38	0.29	0.31	0.3	0.29	
K ₂ O	0.76	0.57	0.54	0.5	0.47	
KK	0.28	9.56	6.16	4.94	4.85	≤5
Toplam	99.91	99.38	99.54	99.86	99.33	
Sebest CaO	2.68	1.85	1.68	1.4	1.25	

Tablo 7. Karakaya traslı çimento örneklerinin fiziksel, mekanik özellikleri ve TS 26 ile karşılaştırılması.

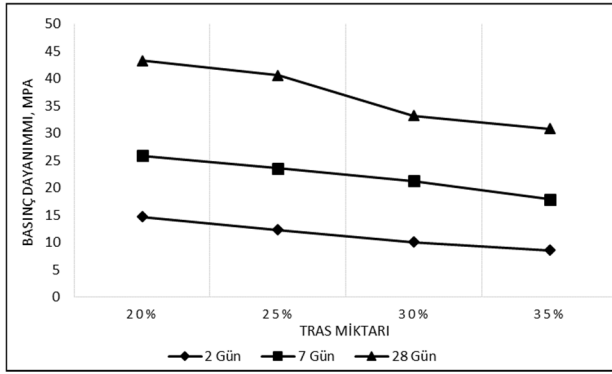
Özellikler	Birim	Klinker	%20 Tras	%25 Tras	%30 Tras	%35 Tras	TS26
200 µm elek üstü	%	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	
90 µm elek üstü	%	1.3	0.9	0.7	0.7	0.5	
45 µm elek üstü	%	5.8	9.8	8.8	7.8	6.4	
Özgül yüzey,	cm ² /gr	3228	4067	4397	4524	4756	≥2800
Özgül ağırlık	gr/cm ³	3.07	2.88	2.8	2.78	2.75	
Hacim genleşme	mm	1	4	3	2	2	≤10
Priz başı- Priz sonu	dakika	135-220	160-290	175-290	185-300	190-305	≥75
2. gün dayanımı	N/mm ²	22	14.7	12.3	10.1	8.6	≥10
7. gün dayanımı	N/mm ²	41.3	25.9	23.6	21.3	17.9	≥21
28. gün dayanımı	N/mm ²	51.9	43.3	40.6	33.2	30.8	≥32.5

Tablo 8. TS 12143'e göre Portland kompoze çimento (PKÇ 32.5) özellikleri.

Dayanım Sınıfı	Basınç Dayanımı, N/mm ²		Priz Başı (dakika)	Hacim Genleşmesi (mm)	SO ₃	Cl-	Çimento Sınıfı	
	Erken Dayanım	Standart Dayanım					%6-20 katkı	%21-35 katkı
32.5		16	60	10	3.5	0.1	PKÇ/A	PKÇ/B
32.5 R	≥10							



Şekil 3. Basınç dayanımının zamana bağlı olarak değişimi



Şekil 4. Basınç dayanımının katkı oranına bağlı olarak değişimi.

Sonuçlar, TS 12143'e göre değerlendirildiğinde Ekecik tras malzemesinin PKÇ/A veya PKÇ/B sınıfında 32.5 R tipinde bir çimento üretimine uygun olduğu görülmektedir [Tablo 8].

4. Sonuçlar

Karakaya trası kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde TS 25 in öngördüğü tüm şartlara uygunluk göstermektedir. Karakaya traslarının, volkanik orjinli bir porfirik traki-andezit olduğu ve $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ toplam içeriğinin %82.25 olduğu bulunmuştur. Tras örneklerinin kimyasal analiz ($SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ toplamı ≥ 70) ve puzolanik aktivite analiz sonuçları (7. gün sonunda basınç dayanımı ve eğilmeden çekme dayanımları, sırasıyla 10.7 ve 3.5 N/mm²), Karakaya

trasının TS 25'te belirtilen puzolanik malzeme standartlarına uygun olduğunu ve yüksek puzolanik aktivite özelliğine sahip bir tras olduğunu göstermiştir.

Hammadde mineralojik analiz (XRD) sonucunda, kuvars, kristobolit, feldispat cinsi SiO_2 ve amorf yapı içeren bileşiklerin varlığı belirlenmiştir.

Portland çimento klinkeri ile değişik miktarlarda katkı malzemesi olarak kullanılan malzemenin aktivite test sonuçları, Karakaya traslarının TS 26'da belirtilen puzolanik çimento niteliklerine uygun olduğu ve katkıli çimento üretiminde %30 oranına kadar katkı malzemesi olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Özellikle kış şartlarında rutubetinin %5-7 arasında seyretmesi Karakaya trasının çimento prosesinde kullanımını kolaylaştırmakta ve rutubet kaynaklı çimento değirmeni üretim kayıplarını en aza indirmektedir. Çimento fabrikası döner fırın soğutma çıkışından değirmene gelen hava rahatlıkla Karakaya trasının bünyesindeki düşük rutubeti (%5-7) uzaklaştıracak ve bu nedenle harici ısıtma ünitelerine gerek kalmadığı için ekstra yatırım maliyeti de ortadan kalkmış olacaktır.

Karakaya trasları, TS 12143 standartlarında tanımlanmış oranda (\leq %55) göre %20'den daha az puzolan içeren PKÇ/A sınıfı 32.5 R tipi veya %20-30 puzolan içeren PKÇ/B sınıfı 32.5 R tipi çimento üretimi için uygundur. Fakat katkıli çimentoların bünyelerinde var olan Cl içeriklerinin de TS 12143'e göre uygun olup olmadığının araştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada çimento sanayiinde puzolanik katkı malzemesi olarak kullanılacak Karakaya trası Kayseri Çimento Fabrikasına 200 km uzaklıkta, Yozgat Çimento Fabrikasına yaklaşık 170 km mesafede, Sivas'ta bulunan çimento fabrikasına yaklaşık 60 km ve Tokat'ta bulunan çimento fabrikasına

yaklaşık 50 km mesafede bulunmasından dolayı getirdiği stratejik bir öneme sahip olup, düşük nakliye maliyeti bakımından da önemli bir konuma sahiptir

5. Kaynakça

ASTM C618; *Annual book of ASTM standards*, Philadelphia, US.

Binici, H., (2002). PÇ-GYFC-Pomza Üçlü Karışımlarının Özellikleri, *Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.

Camacho, R.E.R., Afif, R.U., (2002), "Importance of Using the Natural Pozzolans on Concrete Durability", *Cement and Concrete Research*, Elsevier, 32: 1851-1858.

Çolak, A , (2003), Characteristics of Pastes From A Portland Cement Containing Different Amounts of Natural Pozzolan, *Cement and Concrete Research*, Elsevier, 33, 585-593.

Erdoğan, K., Tokyay, M., Türker, P., (1999), Traslara ve Traslı Çimentolar, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Arge, Ankara, 63 s.

Heikal, M., El-Didamony, E., ve Morsy. M. S., (2000), Limestone-filled Pozzolanic Cement, *Cement and Concrete Research*, 1827-1834.

Hewlett, P.C., (1998). Lea's Chemistry of Cement and Concrete, *John Wiley and Sons Inc., Fourth Edition*, New York, USA.

Korkmaz, M., (2001). Terme Çamlıca Köyü Taşhane Mevkii Taş Ocağından Üretilen Malzemenin Çimento Hammaddesi Olarak Kullanılabilirliği, *KTÜ, Maden Mühendisliği Bölümü, Bitirme Tezi*, Trabzon, 102 s.

Massazza, F., (1999). Pozzolanlar ve Dayanıklılığına Dayanarak Betonun Dayanıklılığı, *Cement and Concrete World*, 4(21), 15-32.

Mesci, L. B., ve Gürsoy, H., (2002), Çobansaray-Karakaya (Yıldızeli HB-Sivas) arasındaki Orta Anadolu Bindirme Kuşağının (Kuzey Neotetis Kenedi) Tektono stratigrafik ve yapısal özellikleri, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 135-150.

Postacıoğlu, B., Çakıroğlu, N., Ortabası, N., (1960). Kayseri Puzolanları, *İ.T.Ü Mimarlık Fakültesi, Yapı Araştırma Kurumu, Seri C, Sayı11*, İstanbul.

Postacıoğlu, B., Uyan, M., Mazlum, F., (1987). Traslı

Çimentoların Kullanma Alanları, *İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi*, İstanbul.

TS-25, (1975). Trasa, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS-26, (1985). Çimentoların Fiziki ve Mekanik Deney Metotları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS-819, (1988). Rilem- Cembureau Standart Kumu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara

TS EN 197-1, (2012), Genel Çimentolar, Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS EN 197-2, (2012), Çimento, Uygunluk Değerlendirmesi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS EN 196-1, (2012), Çimento Deney Metotları, Dayanım Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS EN 196-2, (2012), Çimento Deney Metotları, Çimentonun Kimyasal Analizi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS EN 196-3, (2012), Çimento Deney Metotları, Priz Süresi ve Genleşme Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS EN 196-5, (2012), Çimento Deney Metotları, Puzolanik Çimentolarda Puzolanik Özellik Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS 12143, (1997), Çimento-Portland Kompoze, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.