

Ağırnas Topraklarının Puzolanik Aktivitesi

Yrd. Doç. Sedat Kurugöl
MSGSÜ, Meslek Yüksek Okulu, Mimari Restorasyon Programı

1- Giriş, tarihi bilgiler

Kayseri ilimizin yaklaşık 20-25 km. doğu bölgesinde bulunan, Mimar Sinan'ın doğum yeri de olan Ağırnas'ın ve bölgedeki yerleşimin tarihinin M.Ö 2000-3000'lü yıllara kadar uzandığı belirtilmektedir (Cömert, 2005, 402). Bölgenin, eski Kaniş (Kültepe)-Karum yerleşim sahasına yakınlığı, bugün birçoğunun üzerine evler yapılmış yeraltı dehliz ve mağaraların varlığı, ilk yerleşimin Hititler zamanına kadar gidebileceğini düşündürmektedir.



Resim: 1

Tarihsel süreç içinde bölgede yaşamış çeşitli uygarlıklar yapı teknolojilerinde doğal çevrenin sunmuş olduğu çeşitli malzemelerden yararlanmışlar ve yapılarını bu malzemeleri kullanarak inşa etmişlerdir (Resim-1).

Tüm Kayseri civarı jeolojik olarak volkanik faaliyetler sonucu şekillenmiş bir arazi yapısına sahiptir. Ağırnas vadisinin sağ ve sol yamaçları, beyaz ve kırmızıya yakın çeşitli renklerde yumuşak bazalt ve magmatik tüflerle kaplıdır (Cömert, 2005,401) (Resim-2). İgnimbirit (İ) olarak bilinen bu tüfler aynı zamanda yapı taşı olarak da kullanılmış ve yörenin mimarisinin şekillenmesine de damgasını vurmuştur. Ağırnas bölgesi, değişik yaşlardaki bu volkanik kayalardan başka, tortul kökenli alçıtaşı, kireçtaşı ve kil yatakları bakımından da zengin bir konuma sahiptir. Ayrıca çeşitli renk ve



Resim: 2

Özet:

Ağırnas ve civarındaki yapıların harç uygulamalarında kullanılan temel bağlayıcının alçı olduğu bilinmekle birlikte, kireç bağlayıcılı uygulamalara da rastlanmaktadır. Eski dönemlere ait yer altı şehirlerinde şarap üretiminin yapıldığı mekanlarda taş zemine açılmış yaklaşık 100 x 100 x 80 - 90 cm. boyutlarında şarhane çukurların iç yüzeylerine uygulanmış sıvadan alınan örnek üzerinde yapılan analizler sonucu bu sıvanın kireç esaslı olduğu ve hidrolik bir özellik gösterdiği tesbit edilmiştir. Eski dönemlerde uygulanan kireç esaslı harçlar içerisinde, bölgenin volkanik topraklarından katılmış olabileceği düşünülmüş, yöredeki toprakların puzolanik bir aktiviteye sahip olup olmadıklarının belirlemek amacıyla Ağırnas'ın çeşitli yerlerinden 4 farklı toprak örneği alınmış ve bunlar üzerinde ilgili Türk Standardı TS-25 uyarınca puzolanik aktivite deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda tüm toprak örneklerin çeşitli oranlarda puzolanik özelliklere sahip olduğu ve mekanik deneyler sonucunda elde edilen değerlerin standardın öngördüğü minimum değerleri sağladığı saptanmıştır.

Summary:

Although the basic binder is gypsum and lime at plaster and mortar application of building technologies around Ağırnas, plaster applications with limestone binder are also found. The plaster samples were taken from the inner surfaces of wine inns sized as 1x1 m sizes and 0,8-0,9 m at which are found in underground cities of ancient civilizations the samples from these inns are slaked lime based and present hydrolytic character. It is supposed that regional volcanic soils are also added to these slaked lime plasters which were taken from several places of Ağırnas. The pozzolanic activity test was done upon them according to the related Turkish Standard, TS-25. At the end of the tests, it is confirmed that all the soil samples have pozzolanic activity and the values taken from mechanical tests satisfy the minimum values which are stipulated by related standard.

Anahtar Kelimeler:

Ağırnas toprakları, puzolan, sıva, harç, puzolanik aktivite, mekanik özellikler

Keywords:

Ağırnas soils, pozzolans, plaster, mortar, pozzolanic activity, mechanical properties

- Resim: 1**
Ağırnas'ın geleneksel taş yapılarından örnek
- Resim: 2**
Taş ocaklarından Ağırnas'ın genel görünüşü
- Resim: 3**
Taş yüzeye uygulanan toprak sıva ve çırpı toprakla yapılmış badana boyası
- Resim: 4**
Eski alçı ocağı ve alçı taşları
- Resim: 5**
Terkedilmiş eski alçı fırınları

özelliklerdeki topraklara sahip olmasıyla da dikkati çekmektedir.

1.1 Harçlar ve sıvalar

Bölgenin geleneksel taş yapılarının harç uygulamalarında alçı ve kireç bağlayıcısının kullanıldığı görülmektedir. Taş yapıların iç yüzeyleri toprak esaslı (genellikle gebik toprak) sıvalarla sıvanmış, dış yüzeyler ise çoğunlukla sıvasız bırakılmıştır. İçerisine saman, kıtık gibi çeşitli organik lif malzemeler katılarak yapılan bu toprak sıvalar, yüzeyin durumuna göre çeşitli kalınlıklara sahip olabilmektedir. Bu sıvanın üzeri de,

sıva ile iyi bir aderans gösterdiği tespit edilen ve “Çırpı Toprağı”⁽²⁾ adı verilen beyaz renkli toprakla hazırlanan bir boya tabakası ile örtülmüştür (Resim-3).

Ağırnas'ın taş yapılarında, çoğunlukla taşların aralıklarını doldurmada ve derz uygulamalarda kullanılmış olan alçı, “Alçılık” adı verilen ve Ağırnas'ın doğusunda yer alan bölgedeki alçı taşı yataklarından elde edilmiştir (Resim-4). Ocakların hemen yakınlarında da dört adet eski alçı fırını bulunmaktadır (Resim-5). Ayrıca Koramaz Dağı'nın Gereme Köyü'ne uzanan yamaçlarının



Resim:3

¹ ODTÜ, Jeoloji-Jeofizik Araştırma Merkezi'nde yapılan petrografik analizlere göre Ağırnas'da yapı taşı olarak kullanılan taş türünün, volkanik bir tüf türü olan İgnimbirit yada kaynaklı tüf olduğu tesbit edilmiştir. Taş üzerinde yapılan mikroskobik analizler sonucu taşın çok ince taneli bir çimento hamuru içinde yer alan magmatik korozyonlu Sanidin, Plajyoklas, Hornblend fenokristalleri yanında çok ince taneli opak mineraller içerdiği, hamurun en büyük bölümünün paralel düzenlenmiş ve yassılaştırmış volkanik cam kıymıklarından oluştuğu, az miktarda volkanik kaya parçası bulunduğu ve örneklerde çatlak ve damara rastlanmadığı tesbit edilmiştir.

² Evlerin iç mekanlarında boya amaçlı kullanımı yanında pekmez üretiminde de yararlanılmış olan bu toprak Ağırnas yakınlarındaki Subaşı Köyü'ü civarından elde edilmiştir. Bu toprak aynı kireç badanası gibi beyaz renkli olup, toprak sıva üzerine boya şeklinde kullanılmıştır. Su ile karıştırıldığında kolaylıkla dağılmakta ve sıva üzerine iyi bir aderans gösterebilmektedir. Tahrib olmuş ve terk edilmiş evlerin yanında halen yaşamın devam ettiği eski Ağırnas taş evlerinin toprak sıvaları üzerine bu malzeme ile yapılmış boyalara rastlanmaktadır. Evlerin hiçbirinde beyaz renk dışında başka bir renge rastlanmaz. Hemen hemen hepsi beyaz renklidir. Çırpı adının, süpürge ile yüzeye çırpılarak uygulanmasından dolayı verildiği söylenmektedir.



Resim: 4



Resim:5

eteklerinde çok sayıda kireç ve alçı ocağına rastlanmaktadır. Alçı ocakları ve fırınlar bugün terkedilmiş bir görünüm sergilemekte ve artık üretim yapılmamaktadır. Dolayısıyla bir zamanlar Ağırnas'ın ve civardaki yerleşkelerin gereksinim duyduğu alçı ve kireç bağlayıcıların üretiminin buralarda yapıldığı söylenebilir.

Bilindiği gibi Anadolumuzun çeşitli yörelerinde alçıdan üretilen ve "Tatlı Sıva" olarak da adlandırılan bir sıva ve harç türü mevcuttur. Bu malzeme, içerisine bir miktar kireç de katılarak üretilmiştir. Örneğin, Beypazarı geleneksel evlerinin tüm ahşap karkas ve kerpiç duvarlarının iç ve dış yüzeylerinde tatlı sıvalar kullanılmıştır.

Bu sıvanın bağlayıcı hammaddesi de Beypazarı yöresindeki alçı taşı yataklarından temin edilmiştir (*Urak vd., 2005, 403*). Kagir malzemeye de iyi bir aderans gösterebilen ve atmosfer koşullarına dayanıklı olan bu sıvaların dış yüzeylerde de uygulandığı görülmektedir. Ağırnas'da, alçıyla yapılan uygulamaların da buna benzer bir özellik gösterdiği anlaşılmaktadır (*Resim-6*). Çünkü taşların derz ve aralıklarında kullanılmış olan bu malzemenin dış koşulların olumsuz etkisiyle önemli bir ayrışmaya uğramadığı tespit edilmiştir.

Taş yapılar inşa edilirken taşların yan yüzeylerinin ortasından geçecek şekilde külünkle "kuyruk yuvası" adı verilen küçük oyuklar açılır ve taşlar bir sıra dizildikten sonra çok ince kumla karıştırılmış ve süt kıvamında hazırlanmış alçı harcı bu oyuklara dökülür, örme işlemi süresince bu işleme devam edilirdi. Böylece taşlar arasındaki tüm boşluklar bu harçla dolar ve taşların tüm yüzeylerin birbirleriyle teması ve aderansı böylelikle sağlanmış olurdu.



Resim: 6



Resim: 7

Yörenin eski taş ustalarının ifadesine göre bu harcın oluşturulmasında hacimce 1 birim alçı ve 2 birim çok ince taneli kum katılıyor ve uygulanacağı yere göre gerekli miktarda su ilave edilerek kıvam ayarlanıyordu. Bu malzeme çoğunlukla, belirtildiği gibi, kesme taş aralıklarının ve kısmen de çeşitli taş yüzeylerdeki boşlukların doldurulmasında kullanılmıştır.

Resim: 6

Duvar örgü sisteminde
alçı harcı

Resim: 7

Kireç harcı ile örülmüş
duvarlara örnek

Yörede çimento bağlayıcısının kullanımının yaygınlaşması sonucu dış koşullara dayanıklı bir nitelik gösteren bu geleneksel alçı harcının kullanımı ise günümüzde terkedilmiş durumdadır.

Alçı yanında daha eski dönemlere tarihlenebilen ve tahrib olmuş, bazı yapılarda ise kireç bağlayıcılı harç uygulamalar da rastlanmaktadır (Resim-7). Bu kireç harçların üretiminde harcın dayanımını arttırmak ve özelliklerini iyileştirmek için bölgedeki çeşitli toprakların puzolan olarak kullanıldığı da düşünülebilir. Bunun için harçlar üzerinde gerekli analiz çalışmalarına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu çalışmada, sadece yöredeki çeşitli toprakların puzolanik özellikleri üzerinde durulmaktadır. Dolayısıyla bu konu ayrı bir çalışmada ele alınabilir.

1.2 Puzolanlar

Eski zamanlardan beri volkanik orjinli toprakların kireçle karıştırılarak harç üretiminde kullanıldıkları bilinmektedir. Su içinde bile prizlenebilen ve su etkisiyle dağılmayan dayanıklı harçlar elde edebilmek için yağlı kireçle⁽³⁾ karıştırılmış bazı doğal ve yapay malzemelerin kullanımını antik çağlara kadar uzanır. Grekler MÖ. 7. yy.'da, günümüzde Santorin toprağı olarak adlandırılan ve sarnıçların iç yüzeylerinde dahi prizlenen bu volkanik malzemelerden yararlanmışlar, Romalılar da Vezüv Yanardağı'nın küllerini özellikle liman, vb. su yapılarında kullanmışlardır. Bu kül, Pouzzoles şehrinin yakınlarından elde edildiği için "Pulvis puteolanus" olarak adlandırılmış (Davidovits, 2000, 1, Rachebourg, 1965, 6) olup bu uygulamanın Etrüskler zamanına kadar gittiği düşünülmektedir. İtalya'da Pouzzoles şehrinin toprağı anlamına gelen Puzzolana

(Pouzzolana) günümüzde dahi volkanik orjinli taşları ifade etmektedir. Santorin adası toprakları, İtalya puzolanları ve Almanların Trası, Amerikalıların tüfleri gibi çeşitli volkanik topraklar harç ve beton üretiminde zaman içinde kullanıla gelmiştir.

Kayseri bölgesi jeolojik açıdan volkanik bir arazi yapısına sahip olduğundan toprakları da aynı bu şekilde puzolanik bir özellik taşımaları kuşku götürmez. Bununla birlikte bu topraklar üzerinde geniş çaplı bir incelemenin yapılmadığı da dikkati çekmektedir. Sadece Postacıoğlu vd. (Postacıoğlu vd 1960, 56) Kayseri Sivas yolu üzerinde ve Kayseri'ye 30 km. mesafede bulunan ve Ağılmağarası denilen bölgeden aldıkları çeşitli numuneler üzerinde, DIN, ASTM gibi çeşitli standartlara göre yaptıkları deneyler sonucunda bu bölgedeki toprakların puzolanik özelliklere sahip olduklarını saptamışlardır. Ayrıca Postacıoğlu (Postacıoğlu, 1969, 45), Kayseri civarında geniş puzolan yatakları olabileceğini ileri sürmüştür. Diğer yandan yörede yapı taşı olarak kullanılan İgnimbirit'lerin, yani volkanik tüflerin, bölgedeki bir çimento fabrikasında çimento üretiminde kullanılması, bu taşların da puzolanik özelliğe sahip olduğunun bir göstergesidir.

Puzolanlar, silisyum, alüminyum ve demir mineralleri içeren, kendi başlarına hiçbir bağlayıcılık özelliği olmayan, fakat hidrate kireç ve su karışımı içinde yeni kristaller oluşturarak bağlayıcı ürünler meydana getiren malzemeler olarak tanımlanmıştır. (Rachebourg, 1965,6, Postacıoğlu, 1969, 44, Çelik, 2005, 371). ASTM C 618'e göre de kendi kendine bağlayıcılık özelliği çok az olan veya hiç olmayan ancak uygun rutubet şartlarında ve normal ortam sıcaklığında

³ Yüksek oranda CaCO₃ içeren kireç taşları pişirildiğinde elde edilen ürün %95 oranında CaO içeriyorsa bu ürüne yağlı kireç adı verilir. Bu ürün su ile karıştırıldığında elde edilen hamur açık havaya bırakıldığında, havadaki CO₂ ile birleşerek zamanla kalsiyum karbonata (CaCO₃) dönüşür [Ca(OH)₂ + CO₂ → CaCO₃ + H₂O]. (Postacıoğlu, 1969, 4).

kireç ile reaksiyona girdiğinde bağlayıcılık özelliği gösteren ürünler açığa çıkaran, ince toz halindeki silisli veya silisli ve alüminyumlu maddelere puzolan denilmektedir. Bu tür malzemelerle üretilmiş harçların, normal harca göre mekanik ve durabilite özelliklerinin daha üstün olduğu bilinmektedir. Uzun zamandan beri bazı maddelerin hidrate kireçle reaksiyona girerek hidrolik bir karakter taşıyan yeni bileşikler oluşturduğu (Zendri vd, 2004, 1) bilinmektedir. Temelde silisyum, alüminyum ve demir oksitlerden meydana gelen bu malzemeler, volkanik küller, tüfler, boksit gibi doğal olanlar yanında, termik santrallerin baca külleri, yüksek fırın letiyeleri, kalsine edilmiş killerin tozları, yakılmış bazı bitkisel ürünlerin (pirinç, hindistan cevizi kabuğu gibi) külleri gibi yapay maddeler de puzolanik malzeme olarak kullanım alanı bulabilmektedirler. Ayrıca feldispat gibi mineraller ve zeolitler de puzolanik özellik gösterebilirler (Melo, vd. 2004, 93). Puzolanlar esasen reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminyum oksit (Al_2O_3)'den oluşmuştur. Geri kalan kısım demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer oksitleri ihtiva eder. Reaktif SiO_2 miktarı kütlece %25'den az olmaması gerekir (Çelik, 2005, 371). Puzolanlar, suyla karıştırıldıklarında çamur haline gelir,

Resim: 8-a



kuruduktan sonra tekrar eski hallerine dönerler. Ancak bunlar kireçle karıştırılırlarsa bağlayıcılık kazanır ve suda çözünmeyen bir kalsiyum silikat tuzuna dönüşürler (Akman, 1987, 6).

Bu çalışmada, toprakların puzolanik özelliklerini tespit etmek amacıyla toprak katkılı ve kireç bağlayıcılı harç numuneler üretilerek yapılan deneylerle bu harçların mekanik özellikleri incelenmiştir.

2- Ağırnas toprakları ve deneysel çalışma

2.1 Kullanılan malzemeler ve özellikleri

Ağırnas'ın yerleşim alanının fazla büyük olmamasına rağmen, toprak çeşitliliği açısından zengin bir yapıda olduğu görülmektedir. Buradaki toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri gibi renkleri de birbirinden farklıdır. Bazı toprak çeşitleri, zamanla ayrılmış gevşek yapıdaki volkanik tüflerden meydana gelmişlerdir. Deneysel çalışmada kullanılmak üzere Ağırnas'ın değişik yerlerinden çeşitli özelliklere sahip dört farklı toprak örneği alınmıştır. Bunlar kırmızı, beyaz, gri ve yöresel olarak kemik toprak şeklinde adlandırılan topraklardır (Resim-8).

Resim: 8-b



Resim: 8-a

Deneysel çalışmada kullanılan toprak örnekleri

Resim: 8-b

Üretilen numuneler

Resim: 9 Beyaz toprak
Resim: 10 Gri Toprağın alınmış olduğu Bezirhane

Toprakların genel özellikleri ve alınmış oldukları yerler aşağıdaki başlıklarda açıklanmaktadır.

a- Kırmızı Toprak

Genellikle arazinin yüzeyinde yada yüzeye yakın tuf katmanlarının arasında rastlanan bu topraklar, kırmızıya yakın koyu turuncu renkte olup yağış etkileri sonucu sıkışarak katılaşmış olmakla beraber, kolaylıkla ezilip toz haline



Resim: 9

getirilebilmektedir. Renginden dolayı demir bileşikler bakımından zengin olduğu tespit edilen bu örnekler tuf katmanlarının arasından alınmıştır.

b- Beyaz Toprak

Yer yer rastlanan, açık gri renkte olan ve toz halinde bulunan bu toprakların volkanik tüflerin zamanla ayrışması sonucu oluştuğu anlaşılmaktadır. Çünkü bu toprağın bulunduğu yerlerde aynı renkte ve özellikte bloklar halinde, yapı taşı olarak kullanılmaya elverişli olmayan gevşek yapıda volkanik tüflere de rastlanmaktadır. Kolaylıkla ezilme ve toz haline getirilebilme özelliğine sahiptirler (Resim-9).

c- Yeraltı Bezirhane Toprağı (Gri toprak)

Ağırnas'ta çok sayıda yeraltı mağaraları ve buralarda oluşturulmuş bezirhaneler mevcuttur. Onaltıncı yüzyıldan beri beziryağı üretiminin yapıldığı yerleşmede 28 bezirhane olduğu Osmanlı kayıtlarında yer almaktadır. Günümüzde bunlardan ancak on tanesi tesbit edilebilmiştir (Ağırnas, 2002,10). Çeşitli atmosfer ve yağış etkilerinden korunduğu ve niteliğini muhafaza ettiği düşünülerek yaklaşık



Resim: 10

5 metre derinliğindeki bir bezirhaneden de toprak numuneleri alınmıştır. Nemli halde koyu gri renkte olan bu toprak, kuruduğu zaman rengi açılmakta olup kolaylıkla toz haline getirilebilmektedir.

(Resim-10)

d- Kemik (Gebik) toprak (Turuncu, krem toprak)

Taş ocaklarında, tüflerin üzerinde çeşitli kalınlıklarda bulunan krem ve turuncu renklerdeki toprağa yörede "Kemik" yada "Gebik Toprağı" adı verilmektedir.

(Resim-11) Bol miktarda bulunan, çoğunlukla da krem renginde olan ve killi bir özellik taşıyan bu toprak su ile temas ettiğinde plastik bir özellik kazanmakta ve kohezyon özelliği gösterebilmektedir. Genellikle evlerin damlarına 40-70 cm.



Resim: 11



Resim: 12

kalınlığında bir tabaka halinde serilen Gebik toprak lo₄ taşı ile sıkıştırıldığında bu özelliğinden dolayı geçirimsiz bir hal almakta, dolayısıyla yağmur ve kar suyunun iç mekanlara geçişini engellemektedir (Resim-12). Bu toprağın geçirimsizlik özelliğine sahip olması içeriğinde kil minerallerinin varlığı ile de ilişkili olabilir.

2.2 Analizler ve deney yöntemi

Toprakların özelliklerini belirlemek amacıyla ilgili standartlar doğrultusunda kimyasal, fiziksel ve granülometrik analizler yapılmıştır.

2.2.1 Kimyasal analizler

Kimyasal bileşimlerini tespit etmek için 0,200 gr ve 125 mikron elek altı incelikteki örneklere lityum metaborat-lityum tetraborat ($LiBO_2-LiB_4O_7$) füzyonu ile çözünürleştirilmiş ve İndüktif Eşleşmiş Plazma Emisyon Spektroskopisi (*Inductively Coupled Plasma Emission Spectroscopy, ICP-ES*) ve İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektroskopisi (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy, ICP-MS*) ile analizler yapılmıştır. ACME Analytical Laboratoires Ltd.'nde (Kanada) tarafından yapılan ICP analizi ile

Bileşikler (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃
örnekler Kırmızı	55,29	18,41	6,65	1,04	2,41	2,60	2,29	1,03	0,16	0,10	0,008
Beyaz	69,73	14,44	3,53	0,48	1,71	4,61	4,23	0,47	0,13	0,06	<0,002
Gri	60,00	13,09	3,67	1,17	6,32	3,08	3,50	0,53	0,54	0,07	0,025
Gebik	60,10	15,39	3,49	0,89	4,21	3,08	2,86	0,58	0,09	0,07	0,011

Tablo: 1

Elementler	Cu	Ba	Zn	Ni	Co	Sr	Zr	Ce	Y	Nb	Sc	Ta	kk	Toplam	Top/C	Top/S	
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%	
Beyaz	8	608	37	<20	<20	118	507	77	41	19	7	<20	0,4	99,9	7	0,05	<0,02
Kırmızı	36	955	186	34	<20	270	548	95	50	23	12	<20	9,7	99,9	4	0,32	0,03
Gri	27	536	65	38	<20	237	343	64	32	13	8	<20	7,8	99,9	5	1,38	0,05
Gebik	20	793	106	94	<20	182	413	78	55	21	8	<20	9	99,9	5	0,98	<0,02

Tablo: 2

örneklerin genel kimyasal içerikleri metal oksit (%) olarak, içeriklerinde bulunan diğer eser miktardaki maddelerde element (ppm) olarak tespit edilmiş ve sonuçlar Tablo-1 ve Tablo-2'de gösterilmiştir. Karışımlarda bağlayıcı olarak kullanılan bağlayıcı kireç ise Entegre Lafarge tesislerinden elde edilmiş olup kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo-3'de verilmektedir. Standard kum kullanılarak TS 25'e göre hazırlanan karışımlarda gerekli malzeme miktarlarının tespit edilmesi için esas alınan yöntem de Tablo-4'de gösterilmiştir.

Resim: 11
Kemik toprağın alındığı taş ocağı

Resim: 12
Dam üzerine serilen kemik toprak

Tablo: 1
Toprak örneklerinin oksit bileşik içerikleri

Tablo: 2
Toprakların iz element içerikleri, toplamdaki karbon (C) ve kükürt (S) miktarları

4 Kemik yada Gebik toprak örtüsünü zaman zaman sıkıştırmak için kullanılan silindir şeklinde yapılmış taşta verilen isim. Taş silindirin boyu 70-100, çapı ise 25-40 cm. ler arasında değişebilmektedir. Bu silindirin yanal yüzeylerine, dam üzerinde hareketini sağlamak ve çekmek üzere demir yada iplerin geçirildiği oyuklar açılmış olup genellikle tüflerden yapılmıştır. Eski taş evlerin damlarının bir köşesinde bu taşın muhakkak bir tane bulunmaktadır.

Özellikler	Değer	Malzemeler	Karışımındaki malzeme miktarları (gr)
CaO+MgO	% 90	Standart kum	1350
CO ₂	% 7	Sönmüş Kireç (k)	150
MgO	% 5	Puzolan (p)	2x150x (_p/_k)*
SO ₃	% 2	Su	0,50 (150+p)
Asitte çözünemeyen madde SiO ₂ dahil	% 1,5	* _p= toprakların özgül ağırlığı, _k= kirecin özgül ağırlığı	
R ₂ O ₃	% 0,5		
Serbest Su	% 2		
Kuru birim ağırlığı	600 g/l		
Elek analizi, kalan	200 µ		
	90 µ		
Hacim değişmezliği	20 mm		
Kızdırma kaybı	% 28,6		
Hava muhtevası	% 12		
Penetrasyon (CaO+MgO)	10<x<50		

Tablo: 3

Tablo: 4

2.2.2 Fiziksel analizler

Topraklar üzerinde TS 639'da belirtilen Le Chatelier balonu ile yapılan özgül ağırlık ve 1050 °C'de yapılan kalsinasyon sonucu elde edilen kızdırma kaybı değerleri de Tablo-5'de gösterilmektedir. TS 639'daki ilgili deney uygulandığında-

örnekler	nem (%)	kızdırma kaybı (%)	özgül kütle (g/cm ³)	45 m'luk elekte kalan (%)
HK	6,38	9,7	2,24	36,9
HB	4,77	0,4	2,41	9,3
HG	7,31	7,8	2,29	19,2
HT	5,95	9,0	2,35	25,7

Tablo: 5

Tablo:3 Kirecin kimyasal ve fiziksel özellikleri
puzolan malzemenin en çok % 5,0 kızdırma kaybı değerine sahip olması öngörülmüştür. Bu koşulu sadece beyaz renkli toprak örneği sağlamakta olup, diğer örneklerin kızdırma kaybı değerleri ise daha yüksek elde edilmiştir.

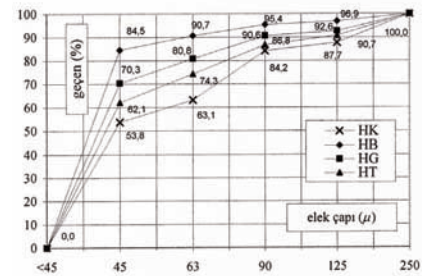
Tablo: 4 TS 25'e göre harç üretiminde gerekli malzeme miktarlarının tespit yöntemi
ASTM C 618-03 standardına göre ise [N] sınıfını oluşturan bu tür puzolanlarda kızdırma kaybı oranı en çok % 10

Tablo: 5 Toprakların fiziksel özellikleri
Şekil: 1 Toprakların granülometrik özellikleri
şeklinde öngörülmüştür. Dolayısıyla bu standart esas alınacak olursa elde edilen değerlerin öngörülen sınırlar içerisinde olduğu söylenebilir.

2.2.3 Granülometri analizleri

105 °C'de (± 2) kurutulan tüm toprak örnekler üzerinde granülometri analizleri yapılmıştır. Analiz sonucunda belirlenen tane dağılımları ve granülometri eğrileri Şekil-1'de gösterilmektedir.

Şekil-1'de beyaz ve gri renkli toprağının incelik ve granülometrik dağılım açısından daha uygun özelliklere sahip olduğu,



Şekil: 1

kırmızı ve turuncu renkli toprağın ise nispeten daha iri tanelerden oluştuğu görülmektedir. ASTM C 618 03 standardında 45 m'lik elek üzerinde en çok % 34 kalıntı kalması öngörülmüştür. Kırmızı toprak dışındaki tüm örnekler bu koşulu sağlamaktadırlar (Tablo-4). Kırmızı

toprak örneğinde bu oran % 36,9 şeklinde biraz yüksek elde edilmiş olmakla birlikte bunun standart değere yakın olduğu da söylenebilir.

2.3 Puzolanik aktivite deneyi ve deney yöntemi

Topraklar üzerinde aktivite deneyleri için üretilen numuneler TS-25'de belirtilen Rilem-Cembreau metoduna göre 40 x 40 x 160 mm. boyutlarındaki standart çelik kalıplarda üretilmiştir. Numuneler hazırlandıktan sonra kalıpların üzeri standardın önerdiği şekilde buharlaşmayı önleyecek şekilde kapatılarak 24 saat laboratuvar koşullarında bekletilmiş ve sonra 55 ±2 °C sabit sıcaklıkta etüv içerisinde 6 gün küre tabi tutulmuşlardır. Numuneler etüvden alındıktan ve 4 saat dinlendirildikten sonra ultrases hız ölçümleri yapılarak buradan hareketle dinamik elastiklik modülleri saptanmış ve daha sonra da mekanik testlere tabi tutulmuşlardır. Ultrases hızı ölçümleri TS EN 14579 Standardından hareketle PUNDİT markalı ölçüm cihazında, basınç, eğilme ve yarmada çekme gibi temel mekanik deneyler ise, 60-600 N kapasiteli AMSLER marka universal preste _ yükleme hızında gerçekleştirilmiştir. Toplam 5 seri ve 15 adet numune üretilmiştir. Numunelerin kodlaması ise şu şekildedir:

- HR** - Referans harç
(hiçbir katkı içermeyen kireç harcı)
 - HK** - Kırmızı topraklı kireç harcı
 - HB** - Beyaz topraklı kireç harcı
 - HG** - Gri topraklı kireç harcı
(Bezihane toprağı)
 - HT** - Turuncu-krem topraklı
(Gebik) kireç harcı
- Hazırlanan kireç harçları üzerinde

	Δ	ultrases hızı	dinamik eğilme E-Mod	eğilme gerilmesi	basınç gerilmesi	yarmada çekme gerilmesi	aktivite İndisi *
<i>Seriler</i>	(g/cm3)	V (km/sn)	(kN/mm2)	(N/mm2)	(N/mm2)	(N/mm2)	(%)
HR	1,77	1,7	5,2	0,9	1,3	0,7	---
HK	1,91	2,5	12,0	1,3	4,3	1,5	107
HB	1,96	2,9	17,1	2,2	5,9	2,3	147
HG	1,94	2,6	13,2	1,7	4,5	2,0	112
HT	1,94	2,7	15,1	1,8	4,7	2,2	117

Puzolanik indis=Ra/Rb x 100 bağıntısıyla hesaplanmaktadır. (Ra=puzolan katkılı örneklerin basınç dayanımı, Rb=puzolan içermeyen örneklerin basınç dayanımı, burada TS-25 değeri referans alınmıştır)

yapılan ultrases hız ölçümleri, dinamik E-Modülleri ve puzolanik aktivite deneyi sonucunda elde edilen veriler topluca Tablo-6'de gösterilmektedir.

Tablo: 6
Üretilen harç numunelerden elde edilen toplu sonuçlar

Tablo:6

3- Deney sonuçlarının srdelenmesi ve tartışmalar

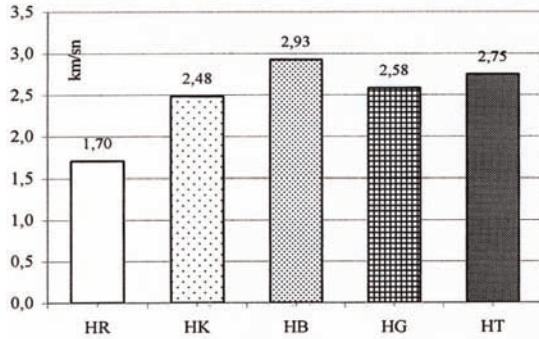
3.1 Kimyasal analizler sonuçları

Yapılan ICP analizlerinde toprakların genel kimyasal kompozisyonu Tablo-1 ve Tablo-2'de gösterilmiştir. Kimyasal analiz sonucunda topraklardaki CaO oranı en fazla Gri toprakta elde edilmiştir. Diğer örnekler ise daha az kireç içermektedir. Tüm toprakların MgO oranı içerikleri ise daha az miktardadır. Kırmızı toprağın sahip olduğu renk, içeriğindeki Fe2O3 miktarının fazla olmasından ileri gelmektedir. Diğer örneklerde ise bu bileşiğin oranı daha azdır. ASTM C 618-03 ve TS 25'e göre puzolanik aktivite deneyinde kullanılacak maddenin içeriğindeki SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ oranı toplamalarının en az % 70, MgO oranı ise en çok % 5,0 olması istenmektedir. Kimyasal analiz sonuçlarından da görüldüğü üzere çalışmada kullanılan tüm toprak örnekler bu koşulu sağlamaktadır. Analiz sonucunda Beyaz renkli toprak örneğinde bu bileşiklerin toplam oranının % 87,7 şeklinde en yüksek değere sahip olduğu tespit edilmiştir.

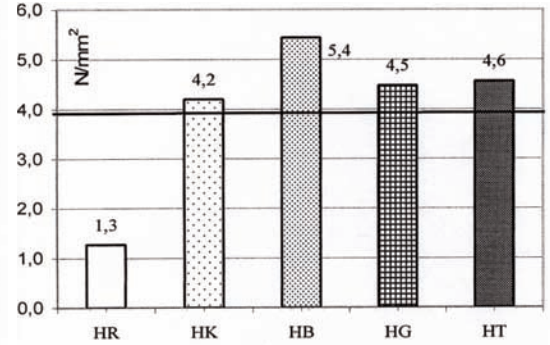
Topraklardaki Ba ve Sr gibi iz element konsantrasyonları genellikle birbirine benzemekte ve yüksek değerler almaktadırlar. Volkanik kökenli taş ve topraklar genellikle bu elementler bakımından zengin bir yapıya sahiptir (Sanchez-Moral vd, 2005, 1558). Bu durum, toplam oksit bileşikler yanında, iz element içerikleri bakımından da toprakların volkanik orjinli olduklarını göstermektedir.

3.2 Harçların ultrases hızı ve E-Modülü açısından değerlendirilmesi

Toprak katkılı ve katkısız harç örneklerin mekanik deneyler öncesi tespit edilen ultrases hızları ve dinamik E-Modülü değerleri Şekil-2 ve Şekil-3'de gösterilmiştir.



Şekil: 2



Şekil: 3

Şekil-2'de beyaz toprak katkılı harçların ses hızlarının diğer karışımlara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ses geçiş hızları katkısız kireç harcına göre kırmızı topraklı karışımda (HK) % 46, beyaz topraklı karışımda (HB) % 72 gri toprak karışımda (HG) % 52 ve turuncu toprak karışımda (HT) ise % 61 oranında bir artış sağladığı saptanmıştır. Burada, harçların puzolanik özelliği ile ultrases hızları arasında lineer ilişkilerin olduğu ve puzolanik malzeme ile üretilmiş kireç harçlarının ultrases hızlarının da yüksek değerler aldığı görülmektedir. Benzer davranış harçların dinamik

E-Modüllerinde de izlenmektedir (Şekil-2). E-Modüllerindeki artış oranları HK serisinde % 130, HB serisinde % 226, HG serisinde % 152 ve HT serisinde de % 187 şeklindedir. Bu durum volkanik toprakların içerdikleri aktif silis bileşiklerinin kalsiyum hidroksitle $[Ca(OH)_2]$ kimyasal reaksiyona girmeleri sonucu silikat bir yapı oluşturduklarını göstermektedir. Beyaz toprağın daha yüksek değerlere sahip olması aktif silis içeriğinin diğer topraklara göre fazla olmasından ve serbest kireçle daha iyi bir silikatlaşma oluşturmaktan ileri geldiğinin göstergesidir. Aynı zamanda granülometrik özellikten dolayı doldurma etkisinin de burada rolü olmaktadır. Bu durum harcın E-Modülünü ve ses hızlarını da arttırmaktadır. Silikatlaşmanın mekanizması kısaca şu şekilde açıklanabilir.

Karışımda kirecin etkisi nedeniyle kalsiyum açısından doygun ve bazik ortam oluşmakta ve bu kimyasal şartlar, puzolanın puzolanik reaksiyona girmesi için uygun koşulları oluşturmaktadır. Burada mineraller kısmen erimekte ve onları oluşturan silis ve alümin serbest kalmaktadır. Bu mineraller daha sonra kalsiyum ve hidroksil iyonlarıyla, kalsiyum hidratları (C-S-H ve C-A-H) meydana getirmek için reaksiyonlara girmektedirler (Cabane, 2004, 172). Zamanla bağlayıcının mekanik özelliklerinde gözlenen artışlar bu hidratların etkisini açıklamaktadır.

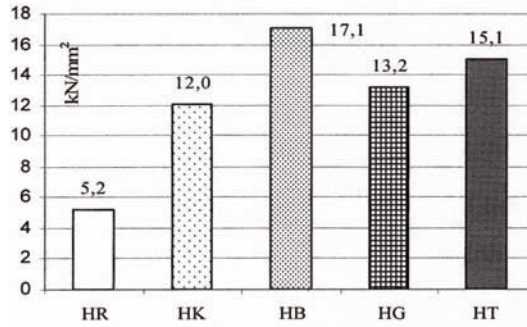
Şekil: 2
Harç karışımlarının
ultrases hızları
Şekil: 3
Karışımların dinamik
E-Modülleri

Puzolanların serbest kireçle birleşmesinde en önemli rol aktif SiO₂ tarafından oynanmaktadır. Yapılan araştırmalar kristal silisin kireçle birleşmediğini göstermektedir. Bu bakımdan bir puzolanda koloidal silis veya bir başka ifadeyle aktif silis ne kadar fazla ise, o puzolan o oranda yüksek bir bağlayıcılık özelliğine sahiptir. Aktif SiO₂'in belirli bir değerden düşük olması ve böyle bir maddenin kireçle karıştırılarak kullanılması ise beklenen yararı sağlamaz. Bunun yanında bir puzolanda SiO₂ miktarının fazla bulunması, aktif silisin yeter miktarda bulunma ihtimalini arttırması dolayısıyla, önemli bir işaret ise de, hiçbir zaman o maddenin puzolanik özelliğe sahip olduğunu kesin olarak göstermez (Postacıoğlu vd., 1960, 34). Örneğin kuvars mineralleri puzolanik aktiviteye sahip değildir (Böke vd., 2004, 92). Bu bakımdan bir maddenin puzolan olup olmadığını anlamak için en basit yol, doğrudan doğruya mekanik deneylere (basınç ve çekme dayanımlarının saptanması y öntemine) başvurmaktan ibarettir (Postacıoğlu vd., 1960, 34).

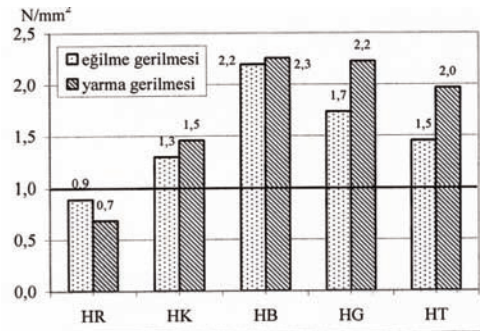
3.3 Harçların mekanik özellikler açısından değerlendirilmesi

Puzolan katıldığı zaman bağlayıcının mekanik dayanımında bir artış beklenir. Tablo-5'te gösterilmiş basınç ve eğilme gerilmesi değerlerine göre tüm karışımların TS 25'in öngördüğü aktivite için gerekli, min. 4 N/mm₂ basınç ve 1 N/mm₂ eğilme gerilmesi değerlerini sağlamaktadır. Ayrıca hiçbir toprak katkısı içermeyen bir seri kireç harcı da (HR) üretilmiş ve aynı kür koşullarına maruz bırakılarak toprak katkılı karışımlarla bir mukayesesi de yapılmıştır. Bu değerlendirmelerin sonucuna göre de tüm karışımların katkısız kireç harcına kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Örnekler üzerinde yapılan basınç, eğilme ve yarmada çekme deneyleri sonucunda elde edilen veriler karşılaştırmalı olarak Şekil-4 ve Şekil-5'de gösterilmektedir. Burada, mekanik deneylerden elde edilen sonuçlarla, ultrases hızı ve E-Modülü değerlerinin paralel bir davranış içinde oldukları da görülmektedir. Bu sonuçlara göre standardın (TS 25) öngördüğü >4,0 N/mm₂ basınç gerilmesi değerini tüm katkılı numuneler sağlamaktadırlar. Öngörülen bu değere göre basınç



Şekil: 4



Şekil: 5

gerilmelerinde HK serisinin % 8, HB serisinin % 46, HG serisinin, % 12 ve HT serisinin ise % 18 oranında artışlar gösterdikleri tespit edilmiştir. Ayrıca bu oranlar katkısız kireç harcıyla karşılaştırıldığında daha fazla değerler almaktadırlar (HK=% 239, HB= % 360, HG= % 252 ve HT= % 272). Aynı davranış eğilme ve yarmada çekme değerlerinde de söz konusudur. TS 25'in öngördüğü referans >1,0 N/mm₂ değerine göre eğilme gerilmelerindeki artış oranları HK serisinde % 30, HB serisinde %

Şekil: 4

Harçların basınç gerilmelerinin (puzolanik aktivitelerinin) karşılaştırılması

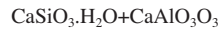
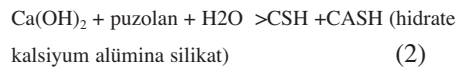
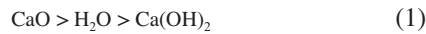
Şekil: 5

Harçların eğilme ve yarmada çekme gerilmelerinin karşılaştırılması

120, HG serisinde, % 70, ve HT serisinde ise % 80 şeklindedir. Yarma gerilmelerinde ise bu değerler katkısız harca göre HK serisinde % 113, HB serisinde % 272, HG serisinde, % 195, ve HT serisinde ise % 227 olarak elde edilmiştir. Bu değerler katkısız kireç harcı referans olarak alındığında ise basınç gerilmelerinde olduğu gibi daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Örneğin, HK serisinde eğilme gerilmesindeki artış oranı % 46, HB serisinde % 146, HT serisinde ise % 106 şeklindedir. Bu verilere göre HB serisi puzolanik aktivitesi ve puzolanik aktivite indisi en yüksek olan gurubu oluşturmaktadır (Tablo-6, Şekil-5). Belirtildiği gibi puzolan bir malzeme harca katıldığı zaman mekanik dayanımlarda iyileşmeler beklenir. Dolayısıyla bu sonuçlardan açıkça görülüyor ki, toprakların ilave edilmesi kireç harcının mekanik dayanımını artırmaktadır.

Bilindiği gibi sönmemiş kireç su ile reaksiyona girdiğinde sönmüş kirece (kalsiyum hidroksit $Ca(OH)O_2$) dönüşür.

Puzolanlar, oluşan bu serbest kireçle reaksiyon girerek kalsiyum ve alümina silikat kristalleri oluştururlar (Zendri vd., 2004,1, Cerny vd., 2006,850). Puzolan - kireç reaksiyonu şu şekilde ifade edilebilir;



Puzolanın $Ca(OH)_2$ ile reaksiyonu sonucu oluşan silikat sistemi harcın kısa sürede prizlenmesini sağlamakta, prizlenme reaksiyonu için CO_2 'e ihtiyaç duyulmadığı için su içinde veya nemli ortamda bile prizlenme gerçekleşebilmektedir. Dolayısıyla puzolanlar bağlayıcının ve

harcın mekanik mukavemetini arttırmakta, su etkilerine karşı dayanıklı olmalarını sağlamaktadır. Puzolandaki amorf silis, küçük boyutlu ve yüzey alanı fazla olduğu için hidrate kireçle ($Ca(OH)_2$) daha fazla bir reaktif olma niteliği taşır. Burada bir asit-baz reaksiyonu söz konusudur. Silis zayıf bir asittir ve kuvvetli bir baz olan kireç, volkanik puzolan tozları ile asit-baz reaksiyonuna girince iç yapıda yukarıda belirtilen kalsiyum silikat ve alüminat kristal sistemleri oluşur. Yapılan bir çalışmada (Baronio vd., 1997, 76) yapay bir puzolanla hidrate kireç ve su arasındaki reaksiyonlar incelenmiş ve hidrate tetrakalsiyum alüminat (C_4AH_{13}), hidrate trikalsiyum alüminat, (C_3AH_6) hidrate kalsiyum alüminat (CSH) ve hidrate gehlenit (C_2ASH_8) bileşikleri olduğu gözlenmiş ve bunun kireç tarafından oluşturulmuş bazik ortamda kolaylaştığı tesbit edilmiştir. Meydana gelen bu yapı ise harcın mekanik özelliklerini kısa sürede kazanmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmada, toprakların puzolanik aktivitelerinin mekanik yolla belirlenmesi yöntemi esas alınmıştır. Bir maddenin puzolanik özelliğini saptamak için termal, fiziksel ve kimyasal gibi değişik yöntemler de bulunmaktadır (Shi, 2001, 778). Puzolanik aktivitenin kimyasal yolla belirlenmesi çalışmalarından biri de Chapelle test metodu olarak bilinen ve temeli aslında Vicat'a kadar uzanan yöntemdir. Bu, bir kireç çözeltisiyle belirli bir miktardaki puzolan maddesinin belirli bir süre muamele edilmesi ve $Ca(OH)_2$ ile puzolanın reaksiyona girmesi sonucu oluşan bileşiklerin belirlenmesi esasına dayanmaktadır (Bich, 2005, 152 ve Bénéoit, 1967). Bu yöntem $Ca(OH)_2$ ile reaksiyona girebilecek puzolan miktarını ve puzolanik aktivitenin oluşumunu saptamak açısından

yararlı bir metod olmakla birlikte, malzemenin mekanik dayanımını önceden kesin olarak öngörmek için her zaman yeterli değildir (Ambrose vd., 1987, 62). Ayrıca puzolanın kimyasal bileşiminin bilinmesi ve özellikle aktif SiO₂ miktarının tayin edilmesi; malzemenin mukayesesi, atıl maddelerin miktarını göstermesi ve puzolanın orijini hakkında fikir vermesi bakımından önemlidir. Bununla birlikte, kimyasal bileşim bir maddenin puzolan olma ihtimalini açıklar, fakat bu maddenin puzolanik özelliğe sahip olduğunu kesin bir şekilde ifade etmez (Postacioğlu vd., 1960, 42). Bu bakımdan puzolanik durumun anlaşılması için puzolanlar üzerinde muhakkak mekanik deneylerin yapılması gereği de bulunmaktadır.

4- Sonuçlar ve genel değerlendirmeler

Yapılan bu deneysel çalışmadan elde edilen verilere göre, gerek yeraltından gerek yer üstünden alınan tüm toprak örneklerinin çeşitli oranlarda puzolanik özelliklere sahip oldukları ve aktivitesi en yüksek toprak örneğinin ise beyaz renkli toprak olduğu tespit edilmiştir. Gri ve turuncu toprakların özellikleri ise genelde birbirine benzer niteliktedir. Mekanik değerleri diğer örneklerle göre kısmen daha düşük olan ise kırmızı renkli toprak örneği olmuştur. Bu durum, kırmızı toprak içerisinde Ca(OH)₂ ile reaksiyona girebilecek yeter miktardaki amorf bileşiklerin diğerlerine göre kısmen daha az olduğunu, bununla birlikte belirli bir aktiviteye de sahip bulunduğunu göstermektedir. Kimyasal analiz sonuçları da bunu desteklemektedir. Ayrıca granülometri analiz verileri de bu toprağın diğerlerine göre nispeten daha iri taneli olduğunu göstermektedir ki, bilindiği gibi incelik, puzolanik aktivite üzerinde etkili olan kriterlerden birini oluşturmaktadır. Tüm topraklarda çeşitli oranlarda puzolanik özellikler tespit edilmiş olması bunların

volkanik orjinli olduklarını ifade etmektedir .

Yurdumuzun değişik bölgelerindeki tarihi yapılarımızın hidrolik özelliğe sahip harç ve sıvalarının üretiminde tuğla kırığı ve tozları gibi yapay puzolanlar kullanıldığı gibi volkanik orjinli topraklar da puzolan olarak kullanılmış olabilirler. Dolayısıyla tarihi eserlerin ve yapıların buldukları bölgelerdeki toprakların gerekli incelemeleri yapılarak puzolanik özellikleri tespit edilmelidir. Bunun yanında ayrıca o bölgelerin tarihi yapılarında kullanılmış olan harçların özelliklerinin araştırılması da gerekir. Sonuçta bu araştırmalar, onarım çalışmalarında kullanılacak yeni malzemelerin üretiminde birer referans teşkil edebilecektir. Diğer yandan bölgedeki alçı taşlarının ve bu taşların pişirilmesiyle üretilmiş alçıyla yapılan geleneksel alçı harçlarının özellikleri de incelenmelidir. Bu saptamalar terk edilmeye yüz tutmuş geleneksel teknolojilerin tekrar canlanması ve uygulama imkanı bulmasını sağlayacaktır. Bu çalışmalar diğer yandan yörenin özgün mimari dokusunun korunması açısından uygun malzemelerin seçim ve üretimi bakımından da ayrı bir öneme sahip bulunmaktadır.

KAYNAKÇA

- Akman, M.S. 1987. *Yapı Malzemeleri*, İTÜ. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul
- Ambroise, J., Fournier, A.A., Guillot, B., Pera 1987. J. *Convention de Recherche VSG/INSA/ENSMSSE*. p 62, Lyon, Paris
- Analiz Raporu 2001. *Analiz kod No. 01.03/09-512*. ODTÜ, Ankara
- Anonim 2002. *Ağırmas, Ağırnas Belediyesi Tanıtım Broşürü*, Kayseri
- Baronio G. Binda L. 1997 Study of the pozzolanicity of some bricks and clays, *Construction and Building Materials* Vol. 11, N° 1, Elsevier Science, pp.70-78
- Bénoît O. 1967. Détermination de l'activité pouzzolanique d'une pouzzolane par voie Chimique, *Bull liaison labo*. P. et Ch. N° 26, PP D1-D5.
- Bich, C. 2005. Contribution a l'Etude de L'Activation Thermique du Kaolin: Evolution de la Structure Cristallographique et Activite Pouzzolanique, L'Institut National des Sciences Appliquees de Lyon. Doct. These, No d'ordre 2005-ISAL-0009, Lyon
- Böke, H. Dr., Akkurt. S. Dr., İpekoğlu, B. 2004. Tarihi Yapılarda Kullanılan Horasan Harcının Özellikleri, *Yapı Dergisi* No: 269, İstanbul
- Cabane, N. 2004. Sols Traités À La Chaux et aux Liants Hydrauliques: Contribution à l'identification et à l'analyse des éléments perturbateurs de la stabilisation, These, Docteur de l'Université Jean Monnet et de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de St-Etienne, France
- Cerný R., Kunca, A., Tydlitá, V., Drchalová, J., Rovná, R. 2006. Effect of pozzolanic admixtures on mechanical, thermal and hygric properties of lime plasters, *Construction and Building Materials* 20, 849–857
- Cömert, H. 2005 *Koramaz'dan Ağırnas'a*, Ağırnas'lı Sinan. Ağırnas Belediyesi Yay, s.401, Kayseri
- Çelik, K., Kılınçkale, F.M. 2005. *Katkı Miktarı, Türünün ve Öğütmenin Çimentonun Dayanım Performansına Etkileri*, II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi, MBGAK 2005. 17–19 Kasım 2005, İstanbul
- Davidovits, F. 2000 *Androstene di Taso E Il Periplo Dell'India*, Université de Caen, Pomoerivm 4-5, 2000 ISSN 0945-2354
- Frachebourg, J. 1965. Contribution à l'étude de quelques Pouzzolanes naturelles et artificielles en vue de la fabrication des ciments de Pouzzolanes, Thèse présentée à l'Ecole Polytechnique de l'université de Lausanne pour l'obtention du grade de Docteur ès-sciences techniques. ST-MAURICE IMPRIMERIE RRODANIQUE S, A. Lausanne
- Melo, C.U., Billiong, N. 2004. Activite Pouzzolanique des Dechets de Briques et Tuiles Cuites, *AJST, Science and Engineering Series* Vol.5, No.1, pp. 92-100
- Postacıoğlu, B., Çakıroğlu, N., Ortaş, N. 1960. *Kayseri Pozolanları*. İTÜ, Mim.Fak, İstanbul
- Postacıoğlu, B. 1969. *Yapı Malzemesi Dersleri*. İTÜ, İnşaat Fak. Yay, İstanbul
- Sanchez-Moral, S., Luge, L., Canaveras, J. C., Soler, V., Garcia-Guina, J., Aparicio, A. 2005. Lime pozzolana mortars in Roman catacombs: composition, structures and restoration, *Cement and concrete Research* 35, 1555-1565.
- Shi, C. 2001 An Overview on the Activation of Reactivity of Natural Pozzolans., *Canadian Journal of Civil Engineering*. Vol., 28., 778-786
- Urak G., Çelebi, G. 2005. Beypazarı Geleneksel Evlerinde Uygulanan "Tatlı Sıva" Üzerine bir İnceleme, *Gazi Üniv., Müh.Mim.Fak. Dergisi*, Cilt 20, No 3, 401-409
- Zendri, E., Lucchini, V., Biscontin, G., Morabito Matteo, Z. 2004 Interaction between Clay and Lime in 'cocciopesto' mortars: a Study by SiMAS Spectroscopy, *Applied Clay Science* 25, 1-7
- TS 25 Tras. Türk Standartları Enstitüsü, Nisan 1975.
- TS 639 Uçucu Küller. Türk Standartları Enstitüsü, Nisan 1975.
- TS 699. Tabii Yapı Taşları-Muayene ve Deney Metodları. Türk Standartları Enstitüsü, Ocak 1987.
- TS EN 14579 "Doğal Taşlar-Deney Metodları- Ses Hızı İlerlemesinin Tayini" Türk Standartları Enstitüsü, Şubat 2006. Ankara
- ASTM C 618-03 Standart Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete,