

THE USE OF INDUSTRIAL WASTES IN ADOBE STABILIZATION

Nurhayat DEĞİRMENÇİ

Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 10145 Balıkesir, TÜRKİYE
nurhayat@balikesir.edu.tr

ABSTRACT

The main disadvantages of adobe are its low mechanical properties and poor water resistance. Phosphogypsum and fly ash used in this research, by-product from phosphoric acid fertilizer industry and thermal power plants, to improve the quality of earthen material in order to reduce its disadvantages at least partially. Hydrated lime was used 10 % and fly ash 20%, respectively of total dry mixture weight and phosphogypsum/soil ratios varied between 0.25 and 2.50 in the mixtures. The compressive strength test, unit weight and water absorption by capillarity values were determined on prepared 28-day specimens. Also the compressive strength tests were performed on specimens which soaked in water for 24 hours and these compressive strength values are satisfactory since they are greater than the average value required for standards.

Key Words: adobe, stabilization, industrial wastes, fly ash, phosphogypsum

ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN KERPİÇ STABİLİZASYONUNDA KULLANILMASI

ÖZET

Kerpicingin zayıf yönü basınç dayanımının ve suya karşı direncinin az olmasıdır. Bu çalışmada kerpicingin özelliklerini geliştirmek ve zayıf yönlerini kısmen de olsa giderebilmek amacı ile katkı olarak endüstriyel atık ürün olan, gübre fabrikası atığı fosfoalçı ve termik santral atığı uçucu kül kullanılmıştır. Toplam kuru karışım ağırlığının %10'u oranında sönmüş toz kireç, %20'si oranında uçucu kül kullanılmış ve fosfoalçı/toprak oranları 0.25 ile 2.50 arasında seçilmiştir. Hazırlanan numunelerin basınç dayanımları, kuru birim ağırlık ve kılcalıklı su emme değerleri tayin edilmiştir. Ayrıca 24 saat su içinde tutulan numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyi uygulanmış ve her iki durumda da basınç dayanımı değerlerinin standartta ön görülen değerleri sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: kerpiç, stabilizasyon, endüstriyel atıklar, uçucu kül, fosfoalçı

1. GİRİŞ

Kerpiç yapı, çok eski bir geçmişe sahip bir yapı türüdür. Tuğla ve çimento endüstrisinin gelişmesi ile birlikte şehir yapılarında kullanımından vazgeçildiği halde kerpiç, ekonomik nedenlerle kırsal kesimde hala vazgeçilmez bir yapı malzemesidir. Hammaddesinin kolay ve hemen her yerde bulunabilmesi, uzman işçilik gerektirmemesi, asgari işçilik ve maliyetle elde edilebilmesi kerpicingin başlıca tercih edilme sebepleridir. Diğer yapı malzemelerinin geri dönüşümü söz konusu olmadığı halde kerpiç öğütülüp, ıslatılarak yeniden kullanılabilmekte zaman içinde toprağa karışarak doğaya zarar vermemektedir. Kerpicingin ısı tutucu bir malzeme olması kışın ısıtma yazın soğutma enerjisinden ve yakıttan tasarruf sağlamakta, kerpiç yapı uygun ısı ve nem dengesi ile sağlık açısından da iyi bir biyoklimatik konfor sağlamaktadır (1,2,3,4).

Toprak, günümüz sosyal, ekonomik ve çevre kirliliği sorunlarının çözümüne katkıda bulunabilecek bir yapı malzemesidir. Özellikle arsa kısıtlaması ve çok katlı yapı

1. INTRODUCTION

Adobe brick construction is one of the oldest technology known to the constructor. Although the use changed significantly in urban construction with development of modern construction industry which made increasing use of brick and Portland cement, adobe is still an indispensable building materials in rural regions due to economic shortcomings and financial problems. Adobe has been preferred materials with earth universal and easily available, almost no requiring energy and its easiness in production and construction with low cost and least skilled people. In contrast, many commonly used building materials can not be re-cycled at the end of a building life, adobe can easily be re-used by grinding and wetting or returned to the ground so, it does not harm to the environment. Dense forms of adobe construction have high thermal mass and able to store heat and provide long term energy savings for cooling in summer and heating in winter so, provide bioclimatic comfort for health with a suitable humidity and thereby balance indoor climate (1,

yapma zorunluluğu bulunmayan bölgelerde kerpiç yapı konut sorununun çözümünde uygun bir seçim olabilir. Ancak geleneksel kerpiç yapı günümüz gereksinimlerine cevap verebilecek nitelikte değildir. Toprak malzemenin en belirgin iki sakıncası basınç dayanımının az, rutubete karşı duyarlılığının fazla olmasıdır. Bugüne kadar kerpiç toprağının özelliklerini geliştirmek için yapılan çalışmalar maliyetlerin yüksekliği, yöresel koşullara uyumsuzluk ve ileri teknoloji gerektirmesi gibi nedenlerle kısmen başarılı olmuştur. Bu nedenlerden dolayı kerpiç malzemesinin özelliklerinin iyileştirilmesi ile ilgili çalışmalar halen sürmektedir.

Kerpicin mekanik özelliklerini iyileştirmek ve suya karşı direncini arttırmak için iki yöntem uygulanmaktadır. Bunlardan birincisi katkı malzemesi ile kerpiç toprağın stabilize etmek, diğeri de duvar yüzlerine sıva, badana ve boya tatbik ederek dış tesirlerden koruma sağlamaktır. İklim koşulları kerpiç yapıların koruma tekniklerinden hangisinin tercih edileceğinde etkili olmaktadır. Çünkü bu koruma tekniklerinin başarısı kerpiç toprağının mineral yapısına ve fiziksel özelliklerine bağlıdır (5). Kerpicin özelliklerini iyileştirmek amacı ile en çok uygulanan yöntem kerpiç toprağına bağlayıcı madde ilave edilerek yapılan stabilizasyon çalışmalarıdır. Kerpicin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ve suya karşı direncin korunmasında genellikle çimento, kireç, alçı, asfalt gibi pahalı endüstriyel malzemeler kullanılmaktadır (6). Kerpiç stabilizasyonunda yaygın olarak kullanılan bağlayıcı madde kireçtir. Kerpiç toprağına kireç ilave edildiğinde üç tür kimyasal reaksiyon oluşmaktadır. Bunlar; iyon değişimi, kirecin karbonatlaşması ve puzolanik reaksiyonlardır. Kerpice düşük oranlarda kireç ilavesinin basınç dayanımını düşürdüğü buna karşın suya karşı direnci artırdığı bilinmektedir (7,8). Kirecin toprağın özelliklerine etkisi çeşitli faktörlere bağlıdır; kil minerallerinin cinsi, toprağın granülometrisi, pH'ı, absorbe iyonlarının cinsi gibi çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikler etkili olmaktadır (9,10). Kireç katkısı düşük plastisiteli killerin işlenebilmelerini kolaylaştırmakta, yüksek plastisiteli killerde ise rötreyi olumsuz etkilemektedir (11,12). Kireç katkılı kerpiç toprağının preslenerek üretimi halinde basınç dayanımının iyileştirilmesinde daha iyi sonuçlar alınmakta ancak bu maliyeti de arttırmaktadır.

Kerpiç stabilizasyonunda hidrolik bağlanmayı sağlamak amacıyla kirecin bir puzolan ile birlikte kullanılması düşünülebilir ve bu nedenle bu çalışmada kireç ile birlikte puzolan olarak uçucu kül kullanılmıştır. Uçucu kül ile birlikte az miktarda kireç ilavesinin uygun bir kür sonunda dayanımı ve donat dayanıklılığı artırdığı bilinmektedir. Kireç puzolan olarak pişmiş boksit ile kullanılmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir (13). Uçucu küller incelikleri iyi ve karbon miktarları az olmak koşuluyla puzolan olarak kullanılabilir (14). Uçucu külün katkı maddesi olarak kerpiç toprağında kullanılması kerpiç numunelerinin özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiği belirtilmiştir. Basınç dayanımı değerlerindeki azalma kireç yüzdesi ile değişmektedir. Kireç oranının %5-%10 arasında alınması önerilmektedir (15). Buna karşılık uçucu kül oranı arttığında basınç dayanımında da artma görülmektedir. Uçucu kül kullanıldığında elde edilen basınç dayanımı değerleri kireç kullanıldığında elde

2, 3, 4).

Today, earth materials have the potential to make a significant contribution for social, economic and environmental pollution problems. In particular, adobe construction can be a proper choice to solve the housing shortage problem if there is no restriction of building land and necessity of the multi-story buildings. However, traditional adobe construction does not answer our actual needs. Two main disadvantages of earth materials are less compressive strength and more sensitivity to moisture. Up to recently, the researches carried out on the improvement of adobe soil had limited success because of the high cost, no adaptation of local conditions and the requirement of high technology. For these reasons, the researches to improve the engineering properties of adobe still continue.

In order to improve the mechanical properties and resistance to water, two methods are commonly used. First of these methods is to stabilize the adobe soil by using additive materials and the other method is the protection with coating of wall surface by using paint, plaster and whitewash. The climate plays a large role in dictating is acceptable which preservation techniques. Since the performance of the preservation techniques depends on the composition of mineral and physical properties of adobe soil (5). The most used method to improve the properties of adobe is stabilization trials by addition binder materials to adobe soil. Usually expensive industrial materials such as cement, lime, gypsum and asphalt are used to improve the mechanical properties and resistant to water of adobe (6). Lime is the one of the oldest substance used to stabilize of adobe. Three kinds of chemical reactions take place within the soil upon addition of lime. They are; ion exchange, carbonation of lime and pozzolanic reaction. It is known that the addition of low percentage of lime causes a slight decrease the strength while water resistance increases (7, 8). Several chemical and physical properties such as the variation clay mineralogy, grain size distribution, pH and absorbent ions of soil play significant role in the success or failure of lime stabilization (9, 10). The addition of lime improves the workability for low-plasticity soils but it effects negatively in shrinkage for high-plasticity soils (11, 12). The production of adobe by compacting with a block press machine gives the best results in improving of the compressive strength but this method also increases the production cost.

In adobe stabilization, lime can be used with a pozzolan to provide binding characteristics and for this reason fly ash was used in this research as a pozzolanic material with lime. It is well known that the addition of small amount of lime with fly ash increases the strength and freeze-thaw resistance at the end of the adequate curing period. Lime successfully had been used with a pozzolan made by burning bauxite and the reasonable test results were obtained (13). Fly ash can be used as a pozzolan on condition that its fineness is good and the contents carbon is less too. It is indicated that the use of fly ash as additive in adobe stabilization significantly improves the engineering properties of adobe specimens. The reduction in compressive strength values varies with the percentage of lime. Usually 5-10% by weight of lime

edilen değerlerin yaklaşık 5 katı olduğu kaydedilmiştir (16). Anadolu'da yüzyıllardan beri pişmiş toprak, kireç ve sudan oluşan tarihi bir bağlayıcı olan "Horasan" harcı kullanılmıştır. Bu tarihi harçtan esinlenerek, öğütülmüş tuğla ve kiremit atıkları kireç ve uçucu kül ile birlikte kerpiç toprağına katılmış ve kerpiç için standartta öngörülen değerlerin üzerinde basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir (17,18).

Kerpiç stabilizasyonunda alçı kullanılması hakkındaki çalışmalar oldukça azdır (19,20,21,22). Alçı katkısı ile basınç dayanımı artmakta, karışıma kireç ilavesi basınç dayanımını olumsuz, suya karşı dayanıklılığı olumlu etkilemektedir. Alçılı kerpiğin çimentolu kerpiçe ve diğer katkılara göre maliyetinin daha az, kururken büzülmesinin, suda çözülme ve dağılmasının daha az, taşıma gücünün daha fazla, yüzeyinin çok daha düzgün olduğu ve toz üretmediği belirtilmiştir (23).

Bu çalışmada, endüstriyel iki atık malzeme; fosforik asit gübre fabrikası atığı fosfoalçı ile termik santral atığı uçucu kül ve sönmüş toz kireç kullanarak kerpiç toprağının özelliklerinin iyileştirilmesine çalışılmıştır. Endüstride yan ürün olarak doğal alçı ile aynı bileşime sahip atık alçı elde edilmektedir. Bunların içinde kimyasal atık alçı olarak fosfoalçı (fosfojips) birinci sırada yer almaktadır. Fosfoalçı gübre fabrikası yan ürünü olarak fosforik asit üretiminde fosfat taşı ile sülfürik asidin reaksiyona girmesi sonucu ortaya çıkan atık üründür. Fosfoalçı inşaat sektöründe; çimento üretiminde priz geciktirici ve klinker hammaddesi olarak, çimento ve kireç ile birlikte ikincil bağlayıcı olarak, yapay agrega üretiminde ve yol stabilizasyonunda kullanılmıştır. Bu atığın çok az bir kısmı toprak ıslahı ve yol stabilizasyonunda kullanılmakta geri kalan kısmı ise genellikle açık arazide depolanmakta veya nehir ve denizlere dökülmektedir. Son yıllarda fosfoalçının diğer atıklar ve geleneksel inşaat malzemeleri ile birlikte kullanım olanaklarını araştıran çalışmalar yapılmaktadır (24,25,26,27,28,29).

Uçucu kül ise elektrik enerjisi üretiminde yakıt olarak pulverize kömürün kullanıldığı termik santrallerde elde edilen atık üründür. Uçucu küller çimento üretiminde puzolanik katkı malzemesi olarak, beton içinde çimento ile birlikte ikincil bağlayıcı olarak, tuğla, yapı bloğu ve yapay agrega üretiminde, dolgu malzemesi olarak, yol ve zemin stabilizasyonunda kullanılmaktadır (30,31,32). Bir çok ülke standardında uçucu küller hakkında kesin bir sınıflandırma bulunmamakla birlikte C 618 sayılı ASTM (33) standardına göre uçucu küller kimyasal kompozisyonlarına ve üretildikleri kömür cinsine göre "F" ve "C" olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı en az %70 olduğunda "F" sınıfı, $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı en az %50 olduğunda "C" sınıfı olarak kabul edilmektedir. F sınıfı küller bitümlü kömürlerden, C sınıfı küller linyitli kömürlerden elde edilmektedir TS 639 "Uçucu Kül" standardında da (34) $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı en az %70 verilmiştir. Aynı zamanda içerisinde %10'dan fazla miktarda CaO bulunan küller yüksek-kireçli küller, %10'dan az miktarda CaO bulunan küller ise düşük-kireçli küller olarak tanımlanmaktadır. Düşük kireçli uçucu küllerin sadece puzolanik özelliğe sahip oldukları, yüksek-kireçli uçucu

is recommended (15). On the contrary, the compressive strength increases with by increasing the percentage of fly ash. It is reported that the compressive strength values of the adobe with fly ash are about five times bigger than the ones of the adobe with lime (16). In Anatolia, a historical binder called as Horasan which composed of fired brick powder, lime and water was used throughout the centuries. Powdered fired brick wastes, lime and fly ash are added to adobe soil by inspiring this historical binder and the obtained compressive strength values are greater than the value given in standards (17, 18).

There are very limited studies on adobe stabilization with gypsum (19, 20, 21, 22). The compressive strength values increase with addition of gypsum but the addition of lime has negative influence on compressive strength and has positive influence on water resistance. It was found that the production cost, drying shrinkage and water sensitivity of gypsum stabilized adobe were less than that of cement stabilized adobe and it had smooth appearance with high mechanical properties and had no tendency to dust (23).

In this research, two industrial products; phosphogypsum procured from phosphoric acid fertilizer factory and fly ash procured from thermal power plant and hydrated lime were used to improve the engineering properties of adobe. In industry the waste gypsum which mineralogy is similar to natural gypsum is obtained as by-product. Phosphogypsum has first importance place within these wastes. Phosphogypsum is a by-product of chemical reaction whereby sulfuric acid is reacted with phosphate rock to produce the phosphoric acid needed fertilizer production. Phosphogypsum was used as set controller in the manufacture of Portland cement, as a raw material for clinker, as a secondary binder with lime and cement and in production of artificial aggregates and in road stabilization. A small amount of this waste is used in soil and road stabilization and the remaining of it usually is deposited in open areas or dumped to river and sea. Researches have been recently directed towards the use of phosphogypsum with the other wastes and conventional construction materials (24, 25, 26, 27, 28, 29).

Fly ash is a by-product material obtained by burning pulverized coal in thermal power plants. Fly ash is used as a pozzolanic material, secondary binder with lime in concrete, in production of brick and block, in production of artificial aggregates, as a filler and road and soil stabilization (30, 31, 32). Although there is no certain accepted classification in many countries standards, based on chemical compositions and coal type used in production fly ash is classified as "F" and "C" according to ASTM C618. If the content of $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ is minimum 70%, fly ash is defined as class F and is minimum 50% is defined class C. F-type fly ashes are obtained from bituminous coals and C-type fly ashes are procured from lignite coals. The minimum content of $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ is also given as 70% in Turkish Standard for Fly Ash, TS 639 (34). Also fly ash contains more than 10% lime is defined as a high-calcium fly ash and less than 10% is a low calcium fly ash. It is known that low-calcium fly ash is pozzolanic with little or no cementing value alone and high-calcium fly ash has self-

küllerin ise hem puzolanik özelliğe hem de içerdikleri kireç nedeniyle bir miktar hidrolik bağlayıcılık özelliğine sahip oldukları bilinmektedir.

Ülkemizde uçucu kül ve fosfoalçının ekonomik olarak değerlendirilebilme olanaklarının bulunmaması hem ekonomik kayba hem de çevre kirliliğine yol açmaktadır. Böylece miktarları gün geçtikçe azalan ve temininde zorluklarla karşılaşılan doğal stabilizasyon malzemesi yerine atık malzeme olarak elde edilen ve fosforik asit gübre fabrikaları ve termik santraller civarında bol miktarda bulunan fosfoalçı ve uçucu kül alternatif bir stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabilir. Bu iki atığın; fosfoalçı ve uçucu külün kerpiç stabilizasyonunda kullanılması basınç dayanımı, kılcallıkla su emme gibi özellikler bakımından olumlu sonuçlar vermektedir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Malzemeler

Bu çalışmada fosfoalçı,kireç ve uçucu kül katkısı ile kerpiç toprağının basınç dayanımının ve suya karşı direncinin artırılması amaçlanmıştır. Uçucu kül Soma-B Termik Santralinden temin edilmiştir. Araştırmada kullanılan uçucu kül ASTM C 618 standardına göre C sınıfı uçucu kül olup aynı zamanda yüksek-kireçli bir küldür. Fosfoalçı olarak Bandırma-Bagfaş Gübre Fabrikası atıkları kullanılmıştır. Laboratuvara getirilen fosfoalçı numuneleri serilerek bir kaç gün kurumaları sağlanmış ve daha sonra 2 mm'lik elekten elenerek kullanılmıştır. Kerpiç üretiminde Balıkesir Üniversitesi Kampüs toprağı kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan toprağın özellikleri TS 1900 (35) standardı dikkate alınarak tayin edilmiş ve çizelge 1'de verilmiştir. Uçucu kül ve fosfoalçının kimyasal ve fiziksel özellikleri ise çizelge 2 ve çizelge 3 'de verilmiştir.

Table1. The properties of adobe soil
Çizelge 1. Kerpiç toprağının özellikleri

Kerpiç toprağı /Adobe soil	Kampüs /Campus
AASHTO sınıflaması /AASHTO classification	A-7-5
Özgül ağırlık / specific gravity	2.44
Likit limit /Liquid limit ,LL	56,41
Plastik limit/Plastic limit, PL	35,71
Plastisite indisi/Plasticity index, PI	20.7
Su içeriği / Moisture content(%)	37.7
200 nolu elek üstünde kalan /Retained on no. 200 sieve %	18.09

cementing properties as well as pozzolanic properties.

In our country, the lack of utilization possibility of phosphogypsum and fly ash causes the economic loss and also environmental pollution. Considering the difficulties of obtaining and considering their amount of which decreases day by day, instead of natural stabilization materials, phosphogypsum and fly ash as by-product which can be easily obtained in abundance from the around of fertilizer and thermal power plant respectively can be used as alternative stabilization material. The use of this two wastes; phosphogypsum and fly ash in adobe stabilization gives the reasonable test results in determining of compressive strength and capillarity.

2. EXPERIMENTAL PROGRAM

2.1. Materials

The main objective of this study is to improve the compressive strength and resistance to water by addition phosphogypsum, lime and fly ash to adobe soil. Fly ash was procured from Soma Power Plant. Fly ash used in this research is C-type fly ash and also high-calcium fly ash according to ASTM specification C 618. Phosphogypsum is by-product of Bagfas Fertilizer Factory in Bandırma. Phosphogypsum samples were used after drying by spreading out in fairly thin layers for a few days and sieving by 2-mm sieve. The soil obtained from Balıkesir University campus was used in production adobe specimens. The properties of soil used in production of adobe was determined in accordance with TS 1900 procedure and is given in Table 1.The chemical and physical properties of fly ash and phosphogypsum is presented in Table 2 and 3 respectively.

Table 2. The chemical and physical properties of fly ash
Çizelge 2. Uçucu külün kimyasal ve fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler /Physical properties	%
30 nolu elek üstünde kalan/ Retained on no. 30 sieve	0,00
200 nolu elek üstünde kalan / Retained on no.200 sieve	16,00
325 nolu elek üstünde kalan / Retained on no.325 sieve	31,20
Özgül ağırlık/ Specific gravity	2,24
Nem/Moisture	0,63
Kimyasal Özellikler/Chemical composition	%
SiO ₂	45,98
Al ₂ O ₃	23,75
Fe ₂ O ₃	4,59
Mgo	2,10
CaO	15,34
K ₂ O	1,19
Na ₂ O	0,21
SO ₃	0,99
Kızdırma kaybı/ Loss on ignition, LOI	1,62
Çözünmez kalıntı/ Insoluble residue	0,57

Table 3. The chemical and physical properties of fly ash
Çizelge 3. Fosfoalçının kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal özellikler/ Chemical composition		Fiziksel özellikler/Physical properties	
Eleman/ Constituent	%	Elek üstünde kalan/ Retained	%
CaO	32.04	10 no'lu / on sieve # 10	0.00
SO ₄	53.47	40 no'lu /on sieve # 40	9.00
P ₂ O ₅ (toplam/ total)	0.50	60 no'lu /on sieve/#60	16.00
P ₂ O ₅ (çözünen/soluble)	0.11	200 no'lu /on sieve # 200	49.04
F(toplam/total)	1.30	özgül ağırlık /specific gravity	2.39

2.2. Numunelerin Hazırlanması

Kireç kullanılarak yapılan kerpiç stabilizasyonu denemelerinde kireç oranının %5 ile %10 arasında alınması tavsiye edilmiştir (9,12,15,21,37,38). Bazı araştırmalarda kireç oranı %15'e ve hatta %25'e (16, 17,39) kadar arttırılmıştır. Genelde uçucu kül katkı oranları ise kuru ağırlığın %12-15' i kadardır (16,36). Ancak %20-25 oranlarında da uçucu kül kullanıldığı görülmektedir (17). Daha önce yapılan kerpiç stabilizasyonu çalışmalarına dayanarak bu çalışmada toplam karışım ağırlığının % 10'u kadar sönmüş toz kireç ve % 20'si oranında uçucu kül kullanılmıştır. Fosfoalçı/toprak oranları ise 0.25 ile 2.50 arasında değişmektedir.

2.3. Deneyler

Basınç dayanımı ve kuru birim ağırlık ve kılcal su emme deneyleri için küp numuneler hazırlanmıştır. Karışımların hazırlanmasında Hobart Mixer kullanılmış, karıştırıcıya önce katı haldeki malzemeler konulmuş daha sonra su ilave edilmiştir. Karma suyu miktarı sarsma tablasında % 110 ± 5 civarında yayılma sağlayacak şekilde tayin edilmiştir. Taze karışımda yayılma oranı ölçüldükten sonra hazırlanan harç iki tabaka halinde 50 mm ayrıtlı küp kalıplara doldurulmuş ve titreşim hızı 6000-10000 d/d olan vibratörlü kalıp masasında 60 saniye süre ile sıkıştırılmıştır. Bütün numuneler 24 saat sonunda kalıptan alınarak deney gününe kadar laboratuvar ortamında muhafaza edilmiştir. Numunelerin üçer tanesi kuru olarak

2.2. Preparation of Specimens

The percentage of lime was recommended as 5-10% in lime stabilization test (9, 12, 15, 21, 37, 38). Lime percentage increased to 15% and also 25% in some researches (16, 17 ,39). Usually the percentage of fly ash is 12-15% by dry weight (16, 36). But the 20-25% of fly ash was also used. Based on the previous adobe stabilization tests, 10% hydrated lime and 20% fly ash of total dry mixture weight was used in this study. Phosphogypsum/fly ash ratios varied between 0.25 and 2.50 in the mixtures.

2.3. Tests

The cube specimens were prepared for dry unit weight and compressive strength tests. Hobart mixer was used for preparing of the mixtures and at first dry materials put in the mixer and then water was added to the mixture. The amount of water was determined to obtain a flow of 110 ± 5 % of the flow table. After measuring of flow the mortars were cast in the 50-mm cube molds by tamping in two layers and placing on a vibration table which has the speed of 6000-10000 cycles/ minute with a period of 60 sec. After 24 hours the specimens were remolded and stored under laboratory conditions until the testing date. The compressive strength was performed on three dry specimens and the other three specimens were kept in

yirmi sekizinci günde serbest basınç dayanımına tabi tutulurken diğer üçer tanesi ise 24 saat su içinde bekletildikten sonra ıslak olarak basınç deneyi uygulanmıştır. Basınç dayanımı deneyi 28 günlük numuneler üzerinde uygulanmış ve basınç dayanımı değerleri üç deney numunenin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Deneyde 0.9 KN/s yükleme hızı ile 3000 KN'luk basınç deney cihazı kullanılmıştır. Deney sırasında oluşabilecek etkileri önlemek için deneyden önce numunelerin alt ve üst yüzlerine metal plakalar yerleştirilmiştir. Bu karışımlara ait 28 günlük basınç dayanımı değerleri Şekil 1' de verilmiştir. Ayrıca su içinde 24 saat tutulan numunelerin basınç dayanımlarındaki değişim Şekil 2'de gösterilmiştir. Küp numuneler ağırlıkları sabit kalıncaya kadar 105 °C'de kurutulduktan sonra, ağırlıkları 0.1 g duyarlılık terazi ile tartılarak kuru birim ağırlıkları hesaplanmış ve katkı oranlarına bağlı olarak bu değerler Şekil 3'de gösterilmiştir. Ayrıca her karışıma ait numunelerden üçer tanesi üzerinde kılcal geçirimlilik deneyi uygulanmıştır. 28 gün normal laboratuvar koşullarında bekletilen numuneler 105 °C'de 24 saat kurutulduktan sonra alt yüzeylerinden su ile temas ettirilerek kılcal geçirimlilik deneyi uygulanmış ve 24 saat sonunda emilen su miktarına göre kılcal geçirimlilik katsayısı; $(Q/A)^2 = k \times t$ bağıntısıyla hesaplanmıştır. Burada; Q: 24 saatte emilen su (cm³), A: Kesit alanı (cm²), t: Zaman (sn) k: Kılcal Geçirimlilik katsayısı (cm²/sn). Fosfoalçı/toprak oranlarına göre numunelerin kılcal geçirimlilik katsayıları Şekil 4'de verilmiştir.

water for 24 hours and then the compressive strength was performed on these specimens after 24 hours. The compressive strength tests were performed at 28 days and the compressive strength values were determined by taking the average of three specimens. A 3000 KN press was used in the tests with a loading rate of 0.9 KN/sec. Before testing in compression smooth metal sheets were placed to the bottom and top of the specimens during the test to minimize the end effects. The results of this test are shown in figure 1. Also the change of compressive strength values of specimens which kept in water for 24 hours is presented in figure 2. After specimens were dried to constant weight at 105 °C, the dry unit weight of test specimens was measured with 0.1 g sensitivity and these values depending on the percentage of additive are given in figure 3. Also capillarity test was performed on three specimens for each mixture. At the end of 28 days test specimens were dried in the oven at 105°C for 24 hours and were placed vertically in a container with the bottom contacted by water and the coefficient of capillarity was calculated by formula; $(Q/A)^2 = k \times t$ according as the amount of water absorbed during 24 hours.

Where, Q: water absorption at 24 hours (cm³), A: cross sectional area (cm²), t: time (second), k: coefficient of capillarity (cm²/s). The coefficient of capillarity of specimens is given in fig. 4 with phosphogypsum/fly ash ratios.

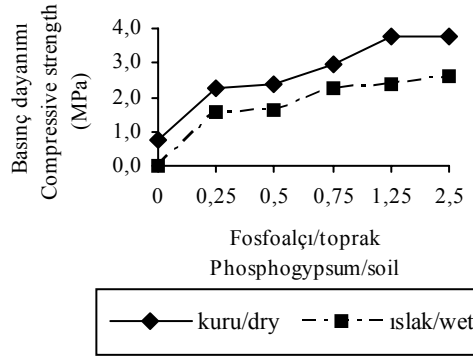


Figure 1. The compressive strength values versus phosphogypsum/soil ratios

Şekil 1. Fosfoalçı/toprak oranlarına göre 28 günlük basınç dayanımı değerleri

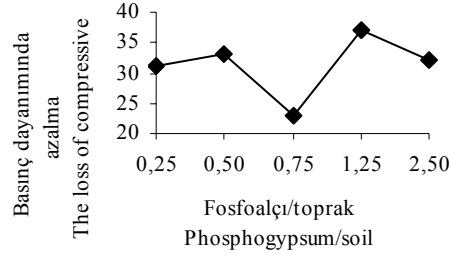


Figure 2. The loss of compressive strength of specimens kept in water for 24 h
Şekil 2. 24 saat suda tutulan numunelerin basmaç dayanımlarında azalma

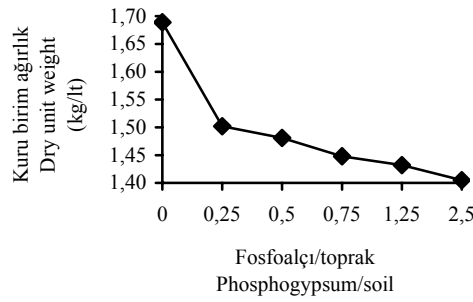


Figure 3. The dry unit weight versus phosphogypsum/soil ratios
Şekil 3. Fosfoalçı/toprak oranlarına göre kuru birim ağırlığın değışimi

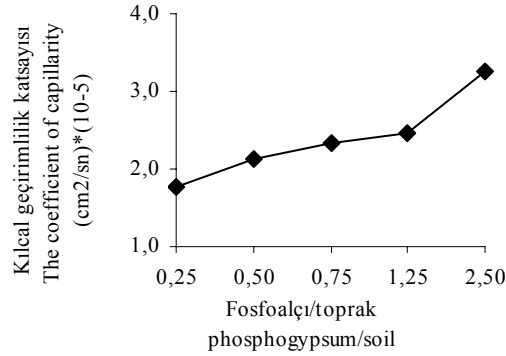


Figure 4. The coefficient of capillarity values versus phosphogypsum/soil ratios
Şekil 4. Fosfoalçı/toprak oranlarına göre numunelerin kılcal su emmeleri

3. DENEY SONUÇLARI

Karışımların 28 günlük basmaç dayanımı değeri katkı oranlarına bağılı olarak 2.28 MPa ile 3.78 MPa arasında değışmektedir. Fosfoalçı/ toprak oranı 1.25 değeriinden sonra basmaç dayanımındaki artış azalmaktadır. Daha önceki bir çalışmada da (20) alçı oranının artmasının bazı toprak cinsleri için belirli bir sınırdan sonra basmaç dayanımını düşürdüğü belirtilmiştir. Bu çalışmada en düşük basmaç dayanımı değeri (fosfoalçı/toprak oranı 0.25 için) 2.28 MPa olarak elde edilmiştir. TS 2514 (Kerpiç Bloklar ve Yapım Kuralları) standardına göre %1 saman katkı ve katkısız kerpiçlerin en küçük basmaç dayanımı 8 kgf/cm² den az ve ölçülen numunelerin basmaç dayanımı ortalaması 10 kgf/cm² az olmamalıdır (40). TS 537 (Çimentolu Kerpiç Bloklar) standardında ise %5, %7 ve

3. TEST RESULTS

The compressive strength of test specimens at 28 days varied between 2.28 MPa and 3.78 MPa depending on the percentage of additive. The increase of compressive strength after 1.25 of phosphogypsum/fly ash ratio decreases. It was indicated that the increase of the percentage of gypsum decreased the compressive strength for some soil type by a previous study (20). The lowest compressive strength was obtained as 2.28 MPa for 0.25 of phosphogypsum/fly ash ratio. The compressive strength of adobe with 1% straw and plain adobe soil should not be less than 8 kgf/cm² and average of compressive strength values should not be less than 10 kgf/cm² in accordance with TS 2514 (Turkish Standard for Adobe Blocks and Production Methods) (40). According to TS 537 (Cement

%10 çimento katkılı numunelerin 28 günlük en az basınç dayanımları ortalaması sırası ile 10, 16 ve 21 kgf/cm² olarak verilmiştir (41). Bu çalışmada sadece toprak kullanılarak katkısız üretilen kerpiç numunelerinin 28 günlük basınç dayanımı ortalaması 0.76 MPa olarak elde edilmiştir. Bu değer TS 2514'de kerpiç için verilen minimum değer altındadır. Oysa fosfoalçı, kireç ve kül katkısı ile üretilen kerpiç numunelerinin basınç dayanımı değerleri (2.28-3.78 MPa) Türk Standartlarında (TS 2514 ve TS 537) gerekli görülen değerlerin üzerindedir. Su içinde 24 saat tutulan katkılı numunelerin basınç dayanımındaki azalma %23 ile %37 arasındadır. Numuneler su içinde tutulduktan sonra da basınç dayanımı açısından standartlarda önerilen değerleri sağlamaktadır. Katkısız numuneler ise 1 saatten sonra su içinde tamamen dağıldığından 24 saat su içinde tutulduktan sonra basınç dayanımlarını ve kılcallıkla su emme değerlerini tayin etmek mümkün olamamıştır.

Numunelerin kılcallıkla su emme katsayıları 1.779×10^{-5} cm²/sn ile 3.267×10^{-5} cm²/sn arasında değişmektedir. Fosfoalçı katkısının kılcallıkla su emme değerlerini arttırdığı suya karşı dayanımı bir miktar düşürdüğü görülmüştür. Katkılı Kerpiç örneklerinin birim ağırlıkları 1.40 kg/lt ile 1.50 kg/lt arasında değişmektedir. Fosfoalçı katkı oranının artışı birim ağırlıkta azalmaya neden olmaktadır. Katkısız kerpiç numunelerinin kuru birim ağırlıkları 1.69 kg/lt olarak elde edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Katkısız numunelerin 28günlük basınç dayanımı ortalaması 0.76 MPa'dır. Bu değer Türk standartlarında öngörülen değerlerin altındadır. Fosfoalçı, kireç ve uçucu kül kullanılarak hazırlanan kerpiç numunelerinin 28 günlük basınç dayanımı değerleri 2.28 MPa ile 3.78 MPa arasında değişmektedir. Bu değerler standartlarda gerekli görülen değerleri sağlamaktadır. Bu değerler sıkıştırma ve katkı oranları ayarlanarak artırılabilir. Bu çalışmanın kapsamının sınırlı tutulması nedeniyle kireç ve uçucu kül oranları %10 ve %20 olarak sabit tutulmuştur. Değişik oranlarda kireç ve kül katkısının kerpicing mekanik özellikleri üzerindeki etkisinin incelenmesinde fayda görülmektedir. Daha az oranlarda kireç, kül ve fosfoalçı katkısı denenerek bir optimizasyon yapılabilir.

Fosfoalçı, kireç ve uçucu kül kullanılarak hazırlanan kerpiç numunelerinin 24 saat suda tutulduktan sonra basınç dayanımındaki azalma %23 ile %37 arasındadır. Numuneler 24 saat su içinde tutulduktan sonra da basınç dayanımı açısından standartlarda önerilen değerleri sağlamaktadır. Katkısız numuneler ise 1 saatten sonra su içinde tamamen dağıldığından 24 saat su içinde tutulduktan sonra basınç dayanımlarını ve kılcallıkla su emme değerlerini tayin etmek mümkün olamamıştır.

Katkılı numunelerin kılcallıkla su emme katsayıları 1.779×10^{-5} cm²/sn ile 3.267×10^{-5} cm²/sn arasında değişmektedir. Fosfoalçı katkısının kılcallıkla su emme değerlerini arttırdığı suya karşı dayanımı bir miktar düşürdüğü görülmüştür. Fosfoalçı, kireç ve uçucu kül kullanılarak hazırlanan kerpiç örneklerinin kuru birim

Treated Adobe Blocks), the cement treated blocks should have minimum compressive strength values of 10, 16 and 21 kgf/cm² for adobe with 5%, 7% and 10% cement additions, respectively. The compressive strength values of the 28 days specimens without any additive material is 0.76 MPa in this study. This value is less than the minimum value given by TS 2514 for adobe. But the compressive strength values of adobe specimens made with phosphogypsum, lime and fly ash are greater (2.28-3.78 MPa) than the values required in Turkish standards (TS 2514 and TS 537). The loss of compressive strength values are between 23% and 37% for specimens which were kept in water for 24 hours. Even the retained compressive strength values after 24 hours keeping in water provide the required values in the standards. The compressive strength and capillarity values of adobe specimens made without any additive were not determined after keeping in water 24 hours because of completely disintegrating in water for 1 hour.

The coefficient of capillarity of adobe specimens varied between 1.779×10^{-5} cm²/s and 3.267×10^{-5} cm²/s. It was observed that the addition of phosphogypsum increased capillarity and decreased resistance to water very little. The unit weight of specimens with additive materials varied between 1.40 kg/l and 1.50 kg/l. The increase of percentage of phosphogypsum reduced the unit weight. The dry unit weight of specimens without additive materials is 1.69 kg/l.

4. CONCLUSIONS

The average of compressive strength values of plain adobe specimens is 0.76 MPa. This value is less than the value required by the Turkish standards. The compressive strength values of adobe specimens made with phosphogypsum, lime and fly ash varied between 2.28 MPa and 3.78 MPa. These values are greater than the values required in standards. These values can be increased by compacting and by testing the content of additives. Because of the limited content of this study, the percentage of lime and fly ash were kept constant as 10% and 20% respectively. It can be useful to research the influence of different percentage lime and fly ash on mechanical properties of adobe. The optimization can be made by testing less percentage of lime, fly ash and phosphogypsum addition.

The loss of compressive strength values of adobe specimens made with phosphogypsum, lime and fly ash which were kept in water for 24 hours are between 23% and 37%. Even after 24 hours keeping in water the retained compressive strength values of specimens provides the required values given in standards. The compressive strength and capillarity values of adobe specimens made without any additive were not determined after keeping in water for 24 hours because of completely disintegrating in water for 1 hour.

The coefficient of capillarity of adobe specimens varied between 1.779×10^{-5} cm²/s and 3.267×10^{-5} cm²/s. It was observed that the addition of phosphogypsum increased capillarity and decreased resistance to water

ağırlıkları 1.40 kg/l ile 1.50 kg/l arasında değişmektedir. Fosfoalçı katkı oranının artışı kuru birim ağırlıkta azalmaya neden olmaktadır. Katkısız kerpiç numunelerinin kuru birim ağırlıkları 1.69 kg/l olarak elde edilmiştir.

Kerpiç stabilizasyonunda uçucu kül ile birlikte fosfoalçı kullanımı basınç dayanımı açısından olumlu sonuçlar vermekle birlikte suya karşı dayanımı bir miktar azaltmaktadır. Bu nedenle kerpiç stabilizasyonunda kullanılacak fosfoalçı oranları daha düşük tutulabilir ve aynı zamanda iklim koşullarına ve kullanılan toprağın mineralojik ve kimyasal yapısına uygun karışım oranları araştırılabilir. Kerpiç stabilizasyonunda kullanılan bu karışımlar kerpiç duvarlar için duvar harcı veya sıva olarak da kullanılabilir. Böylece kerpiç ve harcı bir arada yerinde kuruması ile bir bütünlük elde edilmiş olur. Kerpiç üretiminde kullanılan malzemelerden uçucu kül ve fosfoalçı atık malzeme olarak elde edilmekte ve başka bir alanda etkin olarak kullanılmayan bu iki atık malzemenin bu şekilde kerpiç stabilizasyonunda değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Bu iki endüstriyel atık malzemenin değerlendirilmesi hem ülke ekonomisine katkı sağlayacak hem de çevre kirliliğinin çözümüne katkıda bulunacaktır.

very little. The dry unit weight of specimens made with addition of phosphogypsum, lime and fly ash materials varied between 1.40 kg/l and 1.50 kg/l. The increase of percentage of phosphogypsum reduced the unit weight. The dry unit weight of specimens without additive materials is 1.69 kg/l.

Although the use of phosphogypsum with fly ash gives the positive results, its use decreases the water resistance very little. For this reason the percentage of phosphogypsum can be kept low in adobe stabilization and also appropriate proportions of mixture can be investigated according to the climatic conditions and mineralogy and chemical composition of soil. These mixtures used in adobe stabilization can also be used as plaster for adobe walls. So, the uniformity can be obtained by drying together adobe and plaster. Phosphogypsum and fly ash used in production of adobe are obtained as by-product and the utilization of these waste materials which are not utilized effectively in the other areas is possible. The utilization of these industrial waste materials both provides a significant contribution for country economy and solution of the environmental pollution problems.

KAYNAKLAR/ REFERENCES

1. Mc. Henry, P.G., "Adobe and Rammed Earth Buildings (Design and Construction)", *The University of Arizona Press*, Tucson, p: 217 (1984).
2. Kamamba, D.M.K., "Cyclical Maintenance of Earthen Architecture as a Future Policy in Tanzania", *6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture*, New Mexico, pp: 77-80 (1990).
3. Alvarenga, M.A.A., "Adobe Constructive Method and Thermic Characteristics", *6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture*, New Mexico, pp: 357-362 (1990).
4. Akman, A., "Yapı Biyolojisi-Yapı Ekolojisi ve yapıların İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkilerini Ortaya Koyan Biyoklimatik-Diyagnostik Araştırma", Teramed,*Yapı Biyolojisi ve Ekolojisi Enstitüsü*, Araştırma Tezi, İstanbul (1996).
5. Austin, S.G., "Adobe and Related Building Materials in New Mexico", *6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture*, New Mexico, pp: 417-421 (1990).
6. Neuman, J.V., et al, "Preservation of Adobe Construction in Rainy Areas" *Middle East and Mediterranean Regional Conference on Earthen and Low Strength Masonry Buildings in Seismic Areas Conference Proceedings*, Ankara, pp:185-189 (1986).
7. Taylor, R.M., "An Evaluation of the New Mexico State Monuments Adobe Test Walls at Fort Selden", *6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture*, New Mexico, pp: 383-389 (1990).
8. Tabban, A., Erdik, M., Bayülke, N., "Simple Rules for Adobe Block Making and Adobe Masonry Construction", *Middle East and Mediterranean Regional Conference on Earthen and Low Strength Masonry Buildings in Seismic Areas Conference Proceedings*, Ankara (1986).
9. Oliveira, M.M., et al, "The Study of Accelerated Carbonation of Lime-Stabilized Soils", *6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture*, New Mexico, pp: 166-170 (1990).
10. Coffman, R., "Adobe Mineralogy: characterization of adobes from Around the World", *6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture*, New Mexico, pp: 424-429 (1990).
11. Toğrol, E., "Kerpiç Malzemesinin Özelliklerinin İyileştirilmesi", *Kerpiç Semineri Tebliğleri*, İmar ve İskan Bakanlığı, Yapı Malzemesi Genel Müdürlüğü, Ankara (1964).
12. Akray, S., "Investigation on the Compressive Strengths of Various Stabilized Clay Adobe Bricks", A Master Thesis Submitted to the Department of Civil Engineering, *M.E.T.U.*, Ankara (1965).

13. Wolfskill,A.L., Dunlap,A.W., Gallaway,B.M.,“Earthen Home Construction” , *Texas Transportation Institute*, Bulletin No.18,E 18-62, Texas (1962).
14. Kocataşkın F.,” Kerpiç Yapılar ve Kimyasal Stabilizasyon”, *Kerpiç Semineri Tebliğleri*, İmar ve İskan Bakanlığı,Yapı Malzemesi Genel Müdürlüğü, Ankara (1964).
15. Şahinbaş,T., “Investigation on the Permeability Characteristics of Stabilized Clay Adobe Bricks (Kerpiç)”, Master Thesis, *M.E.T.U.*, Ankara (1964).
16. Turanlı,L., “Evaluation of Some Physical and Mechanical Properties of Plain and Stabilized Adobe Blocks”, Master Thesis, *M.E.T.U.*, p:73, Ankara (1985).
17. Baradan, B., “A New restoration Material for Adobe Structures”, *6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture*, New Mexico, pp:149-152, (1990).
18. Baradan, B., “Kerpiç Yapıların Korunması için Uygun Puzolanik Karışımlar”, sempozyum; *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması*, sayfa:73-80, Ankara (1995).
19. Mc. Henry, P.G., Adobe and Rammed Earth Buildings (Design and Construction), *The University of Arizona Press*, Tuscon, p:217,1984.
20. Tanrıverdi,C., “Alçılı Kerpicin Üretim Olanaklarının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü.*, 1984.
21. Kafesçioğlu, R., ve yardımcıları, Yapı Malzemesi Olarak Kerpicin Alçı ile Stabilizasyonu, *TUBİTAK MAG-505*,(1980).
22. Kafesçioğlu,R., et al.” Adobe Blocks Stabilized with Gypsum”, *Aproprate Building Materials for Low Cost Housing , Symposium*, CIB-RILEM/UNESCO, Nairobi, pp:3-21 (1983).
23. Kafesçioğlu,R., “Toprak,Çağdaş Yapı malzemesi”, *İlgi Ekstra* ,Shell.
24. Lin, K.T., Figueroa. J.L., Chang, W.F., “Engineering Properties of Phosphogypsum” *Proceedings of Second Workshop on by-Products of Phosphate Industries*, Florida Institute of Phosphate Research, pp.49-59, University of Miami, Florida (1984).
25. Velarde, H.D., Figueroa,J.L., Chang,W.F., “Engineering Properties of Phosphogypsum , Fly Ash and Lime Mixtures”, *Proceedings of Second Workshop on by-Products of phosphate Industries*, Florida Institute of Phosphate Research, pp.79-97, University of Miami, Florida (1984).
26. Özkul, H., Koral, S., “Atık Kimyasal Alçılar ve İnşaat Mühendisliği Alanında Değerlendirilmesi” Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, Bildiri Kitabı, *İMO*, s.267-277, Ankara (1993).
27. Değirmenci, N., Okucu, A., Turabi A., “The Using Possibilities of Phosphogypsum by-Product of Phosphoric Acid Production As a Stabilization Material” The Eighteenth International Conference on Solid Waste Technology and Management, Philadelphia, PA, USA (2003).
28. Turabi, A., Okucu, A., Değirmenci, N., “Fosforik Asit Üretim Atığı Fosfojipsin Stabilizasyon Malzemesi Olarak Kullanım Olanaklarının Araştırılması”, Balıkesir Üniversitesi, *IV. Mühendislik-Mimarlık Sempozyumu* (2002).
29. Değirmenci N., Okucu, A. “ Fosfojips Katkısının Çimento Harcının Sülfat Direnci Üzerindeki Etkileri” I. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, *Mimarlar Odası*, İstanbul Büyükşehir Şubesi (2002).
30. Brackett,C.E., “Production and Utilization of Ash in The United States”, *Proceedings, Second Ash Utilization Symposium*, pp:11-16, Pittsburg (1970).
31. Gray ,D.E., “ Handling Placement and Storage of Ash to Maximize Utility and Minimize Environment Effect”, Technology and Utilization of Power Plant Ash, Short Course, West Virginia (1977).
32. Minnick,L.J., “The Role of Ash in Structural Types of ,Stabilized Applications ” *Proceedings, Fifth International Ash Utilization Symposium*, West Virginia ,pp.344-356 (1979).
33. ASTM C618 “Standard Specification for Fly Ash for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete”, American Society for Testing Materials, Annual Book of ASTM Standard, pp.310-312, 04.02 (1993).

34. TS 639 "Uçucu Küller", **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara (1975).
35. TS 1900, İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri, Ankara (1987).
36. Özbey Y., "Kerpiç Üretimi İçin Bir Zeminin İncelenmesi ve Kullanılabilirliğinin Araştırılması", Y.L.Tezi, **Fırat Üniversitesi**, Elazığ (1982)
37. Erdoğan T.Y., "Material Properties and Stabilization for Adobe Production", **The Middle East and Mediterranean Regional Conference on Earthen and Low Strength Masonry Buildings in Seismic Areas**,Conference Proc., pp.257-263,Ankara (1986).
38. Venkatarama Reddy, B.V., Lokras S.S., "Steam-cured Stabilised Soil Blocks for Masonry Construction", **Energy and Buildings**, (29), 29-33 (1998).
39. National Lime Association,Building Lime Group,[http:// www.lime.org](http://www.lime.org) (Oct.,2000).
40. TS 2514 "Kerpiç Bloklar ve Yapım Kuralları ", **Türk Standartları Enstitüsü**(1971).
41. TS 537 "Çimentolu Kerpiç Bloklar", **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara (1971).

Received/ Geliş Tarihi: 22.03.2004 Accepted/Kabul Tarihi: 24.11.2004