

TARIMSAL YAPILARDA ÖĞÜTÜLMÜŞ HAFİF AGREGANIN KULLANILABİLME OLANAKLARI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

İbrahim ÖRÜNG¹

ÖZET : *Bu araştırmada, öğütülmüş hafif agreganın bağlayıcılık (puzzolanik) özelliğinden yararlanarak daha düşük maliyetli yapı malzemelerinin elde edilmesi olanakları araştırılmıştır. Bu amaçla belirli bir inceliğe kadar kolayca öğütülebilen hafif agreganın belirli oranlarda çimento, kireç ve normal ince agrega ile birlikte kullanılmasıyla üretilen hafif blokların önemli fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir.*

Araştırmada, öğütülmüş hafif agreganın bağlayıcılık özelliğinden yararlanarak sadece kendisinin kullanımı durumunda düşük birim ağırlığa ve belirli basınç dayanımına sahip ucuz bir yapı malzemesi elde edilebileceği gibi; buna az miktarda çimento, kireç ve normal ince agreganın ayrı ayrı veya birlikte katılarak daha iyi fiziksel ve mekanik özelliklere sahip yapı malzemeleri üretilebileceği sonucuna varılmıştır. Böylece; özellikle bazı kırsal alanda yöresel olarak bulunan hafif agrega öğütülerek düşük maliyetli ve uygun nitelikli bir malzeme olarak tarımsal yapılarda kullanılabilir.

A RESEARCH ON USAGE POSSIBILITIES OF GROUND LIGHTWEIGHT AGGREGATES IN AGRICULTURAL BUILDINGS

SUMMARY : *In this research, considering the property of binding of lightweight aggregate, the possibilities of obtaining low cost building materials were investigated. For this reason, the lightweight aggregate which can be easily ground down to a certain size was used as basic material. By mixing separately or together cement, lime and normal fine aggregate with this basic material in certain quantities, the lightweight blocks were produced and the important physical and mechanical properties of these blocks were determined.*

In conclusion, in case of using of the binding property of the ground lightweight aggregate itself, the low cost building materials which have low unit weight and a certain compressive strength can be obtained. At the same time, by using cement, lime and normal fine aggregate in small quantities, the building materials having more suitable physical and mechanical properties can be produced. So, low cost and suitable quality agricultural buildings can be constructed by using the lightweight aggregate which is locally available in some the rural areas, after grinding process.

¹ Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Erzurum.

GİRİŞ

Kırsal toplumun yaşam koşullarının iyileştirilmesi bakımından uygun nitelikte ve düşük maliyetli yapıların oluşturulması büyük öneme sahiptir. Yapılarda maliyetin düşürülmesi yerel malzemelerin uygun bir şekilde kullanımına bağlı bulunmaktadır.

Taş, toprak (kil), ağaç, agrega, kireçtaşı, her çeşit puzzolanik malzemelerle, tarımsal ve endüstriyel ürünlerin artıkları yöresel olarak bulunabilen ham malzemeler arasında sayılabilir.

Çimento, kireç, alçı ve tuğla gibi malzemelerin üretiminde kullanılan enerjinin pahalı olması ve kullanım yerlerine nakil masrafı, kırsal alanda farklı malzemelerin kullanımını zorunlu kılmaktadır (Hill, 1983).

Kırsal alandaki yapılar kentsel yapılardan bir çok bakımdan ayrıcalık göstermektedir. Tarımsal yapılar fazla yük taşımayan tek veya iki katlı yığma yapılardır. Ayrıca tarımsal yapılarda aranan bir özellik de ekonomik olma özelliğidir. Bu amaçla tarımsal yapılarda kullanılacak malzemenin yöresel olması arzu edilir. Böylece tarımsal yapıların istenilen yatırım sınırları içerisinde kalmasına olanak sağlanabilir.

Tarımsal yapılar için kullanılan sermayenin az bir düzeyde tutulabilmesi çok değişik etkenlere bağlıdır. Bunların en önemlisi yapıyı oluşturacak olan yapı malzemelerinin seçilmesidir. Malzemenin yapı yerinde, istenilen nitelik ve miktarda ucuz olarak üretimi ve üretilen malzemenin yapının amacına uygun kullanımı, yapının gerçekleştirilmesinde ilk ve en önemli aşamadır. Ayrıca yapı malzemeleri fiziksel dış etkenlere dayanım, sudan etkilenmeme, ısı ve ses yalıtımı, hafiflik gibi özelliklere de sahip olmalıdır.

Kırsal alanda kullanılacak daha nitelikli yapı malzemeleri ile kullanım ömrü daha uzun ve kendisinden beklenen görevleri gereği gibi yerine getirebilen tarımsal yapı ve tesisler gerçekleştirilebilecektir. Son yıllarda tüm bu istekleri karşılayacak yeni yapı malzemelerinin bulunması amacıyla bir çok çalışmalar yapılmıştır. Sonuç olarak genelde üretimi enerji tüketimine dayanan ve dolayısıyla pahalıya malolan malzemeler üretilmiştir. Oysa bir yapı malzemesinin kırsal yörede benimsenebilmesi için yöresel olarak bulunan malzemelerin geleneksel tekniklerle yapılmasının sağlanması gerekir.

Dünyada yapı malzemesi olarak beton kullanımının yaygınlaşmasından beri, betonun daha hafif, ucuz ve daha iyi yalıtım özelliğine sahip yapılmasına yönelik çalışmalar önem kazanmıştır (Paramasivam ve Loke, 1980). Uygulama kolaylığına sahip hafif beton son yıllarda önemli bir yapı malzemesi olmuştur. Birim ağırlığının azlığından dolayı iyi derecede ısı yalıtımı özelliğine sahiptir. Bununla beraber hafif

agreganın kullanımı 2000 yıl kadar öncelere dayanmaktadır (Spratt, 1975). Yapısal hafif beton özellikle yüksek yük taşıma kapasitesi ve düşük birim ağırlığı sayesinde ekonomik bir yapı malzemesi olmaktadır (Bomhard, 1980).

Hafif agrega betonunun çok önemli uygulamalarından biri, onun duvar blok elemanı olarak kullanımınıdır (Bobrowski, 1980; Clarke, 1987).

Bir yapının önemli elemanlarından biri olan duvar, hacim ve ağırlık olarak yapıda en büyük payı aldığı gibi, kırsal yapılarda maliyetin en fazla oranını oluşturur. Bu nedenle bazı kırsal yörelerde yaygın olarak bulunan doğal hafif agregaların yerinde değerlendirilerek hafif blok duvar elemanı amacıyla tarımsal yapılarda kullanılması olanakları araştırılmalıdır.

Ülkemizin özellikle Doğu Anadolu Bölgesinde oldukça fazla miktarda bulunan hafif agreganın (Turgutalp, 1978) puzzolanik özelliğinden yararlanarak ekonomik yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi olanaklarının belirlenmesi önemlidir.

Doğal puzzolanlar arasında; volkanik tüfler, pomzalar (pumisler), traslar, diyatomalı topraklar ve bazı şeyl (shale)'ler sayılabilir (Sheppard, 1983). Puzzolanlar, silisli ve alüminyumlu malzemeler olarak, ince şekilde öğütüldüklerinde bir miktar bağlayıcılık özelliği kazanabilen; belirli miktarda çimento veya kireçle karıştırıldığında da bağlayıcılık özelliği artan malzemelerdir (Allen ve Spence, 1983; Hammond, 1983). Yüzyıllar öncesinde volkanik tüflerin öğütülüp kireç ve kum ile karıştırılmasıyla üstün dayanıma ve suya karşı iyi derecede direnç gösteren bir harç elde edilebileceği ortaya çıkmıştır (Hammond, 1983).

Yöresel olarak Doğu Anadolu Bölgesinin çeşitli yerlerinde bulunan toz veya konsolide durumdaki hafif agregaya kaynaklarından sağlanan pomza ve diyatomit çeşidi hafif malzemelerin ince olarak öğütülmeleri sonucunda ortaya çıkan bağlayıcılık özelliklerini belirleyebilmek için bu araştırma yapılmıştır. Bu amaçla; doğal malzemenin katkısız ve az miktarda çimento, kireç ve normal ince agregaya ile katkılı olarak hazırlanan farklı oranlardaki karışımlarının özellikle yapı duvar bloğu olarak kullanılabilme olanakları araştırılmıştır. Böylece Doğu Anadolu Bölgesinin kırsal alanlarında ucuz ve kerpiç teknolojisiyle üretilebilecek bir yapı malzemesi elde edilmeye çalışılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Araştırmada ana materyal olarak Pasinler, Sarıkamış ve Doğubeyazıt yörelerindeki hafif agregaya ocaklarından sağlanan doğal durumdaki agregalar kullanılmıştır. Araştırmada bu ana materyal yanında Aşkale Çimento Fabrikası 1994

yılı üretimi KÇ 32,5 (Katkılı Çimento), Kayseri Kireç Fabrikası üretimi toz kireç, normal ince agrega ve şehir içme suyu kullanılmıştır.

Metot

Araştırmanın ana materyalini oluşturan hafif agrega çeşitlerinden diatomit Erzurum-Pasinler arasındaki geniş bir alanda bulunan ocaktan, diğer pomza çeşidi hafif agregalar ise Sarıkamış ve Doğubeyazıt yakınlarındaki ocaklardan yeterli miktarda (Anon., 1980) sağlanmıştır.

Araştırmada, değişik ocaklardan alınan hafif agregaların öğütülüp kullanılmasıyla farklı karışım oranlarına göre elde edilen örneklerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Üç yerden sağlanan agregaların doğal durumdaki tane dağılımı ve birim ağırlığı değerleri saptanmıştır (Anon., 1976a). Kolayca öğütülebilme özelliğine sahip hafif agregalar 0,2 mm elek takılı laboratuvar tipi toprak değirmeninde öğütülmüştür. Öğütülmüş durumdaki her üç agrega için de birim ağırlık (gevşek ve sıkışık), bağıl yoğunluk (özgül ağırlık) değerleri bulunmuştur (Postacıoğlu, 1975).

Öğütülerek belirli bir inceliğe kadar getirilmiş her üç malzeme ile Tablo 1'de verilen karışım oranları kullanılarak 108 farklı örnek ve bunların ikişer paraleliyle birlikte toplam 324 örnek üretilmiştir. Örneklerin bileşim hesaplarında ağırlık yöntemi kullanılmıştır. Bunun için yapılan ön denemelerden her bir karışımın ağırlık olarak % oranları gözönünde bulundurularak belirli bir hacmi dolduracak malzeme miktarları ayrı ayrı saptanmıştır. Böylece Tablo 1'de verilen karışım oranlarına göre her bir örneğin bileşimine girecek malzemeler önce kuru olarak iyice karıştırılmış ve homojen bir karışım durumuna getirilmiştir. Bu karışımlara daha sonra tüm örneklerde birbirine yakın su oranı olacak şekilde (Tablo 1) su katılarak uygun kıvama getirilmiştir. Her bir karışımın taze birim ağırlığı saptanarak, döküme hazır karışım kalıplara iki aşamada özel tokmağı ile sıkıştırılarak dökülmüştür. Örnekler, 50 mm x 50 mm x 50 mm boyutlarında küp şeklindeki (Anon., 1976 b; Berra ve ark., 1988) 6 örnek döküme kapasitesine sahip çelik kalıp kullanılarak elde edilmiştir. Kalıptan 24 saat sonra çıkarılan örnekler ilk 7 gün yaklaşık % 90 bağıl nem ve 23 °C sıcaklığa sahip ortamda bekletilmiş, daha sonra 14 gün laboratuvar açık hava ortamında (23 °C sıcaklık ve % 50 bağıl nem) tutulmuştur (Anon., 1976b). Puzzolanik malzemenin bağlayıcılık özelliğinin en büyük göstergesi olan basınç dayanımı (Allen ve Spence, 1983; Hammond, 1983) değerleri 28. günün sonunda 2 kg'a duyarlı, 5 ton kapasiteli deneme makinasında belirlenen kırılma yüklerinin örnek yüzey alanına bölünmesiyle saptanmıştır. 28 gün sonunda her bir karışım oranına ait birer örnek değişmez ağırlığa kadar 105±5 °C ayarlı

etüvde bekletilerek fırın kuru birim ağırlıklar; örnek ağırlıklarının boyut ölçümleri ile saptanan hacimlerine bölünmesi ile bulunmuştur.

Tablo 1. Örneklerin Karışım Oranları (Ağırlık olarak, %)
Table 1. The Proportions Mixture of Specimens (By Weight, %)

Örnek No	Öğütülmüş Hafif Agregası	Çimento	Kireç	Normal İnce Agregası	Su/Toplam Kuru Karışım
1	100	-	-	-	0.60
2	95	5	-	-	0.60
3	90	10	-	-	0.60
4	85	15	-	-	0.60
5	80	20	-	-	0.60
6	75	25	-	-	0.60
7	70	30	-	-	0.60
8	95	2.5	-	2.5	0.60
9	90	5	-	5	0.60
10	85	7.5	-	7.5	0.60
11	80	10	-	10	0.60
12	75	12.5	-	12.5	0.60
13	70	15	-	15	0.58
14	65	17.5	-	17.5	0.58
15	60	20	-	20	0.55
16	55	22.5	-	22.5	0.55
17	50	25	-	25	0.55
18	45	27.5	-	27.5	0.55
19	40	30	-	30	0.60
20	95	-	5	-	0.60
21	90	-	10	-	0.60
22	85	-	15	-	0.60
23	80	-	20	-	0.60
24	75	-	25	-	0.60
25	70	-	30	-	0.60
26	95	2.5	2.5	-	0.60
27	90	5	5	-	0.60
28	85	7.5	7.5	-	0.60
29	80	10	10	-	0.60
30	75	12.5	12.5	-	0.60
31	70	15	15	-	0.60
32	90	-	-	10	0.60
33	80	-	-	20	0.60
34	70	-	-	30	0.58
35	60	-	-	40	0.57
36	50	-	-	50	0.52

Kuru hafif betonların ısı iletkenliği ile birim ağırlığı arasında iyi bir ilişki bulunmaktadır (McClune ve Moorhouse, 1981). Örneklerin ısı iletkenlik değerleri örneğin nem içeriği ve birim ağırlığına bağlı olarak geliştirilen

$$\lambda_{kuru} = 0,0728 e^{0,00128 \gamma_{kuru}}$$

λ_{kuru} = Isı iletkenlik katsayısı (kcal /m^{°C} h)

γ_{kuru} = Fırın kuru birim ağırlık (kg/m³)

eşitliği yardımıyla (Shu ve ark., 1980) elde edilmiştir. Su emme değerleri, saf suda değişmez ağırlığa kadar bekletilen örneklerin sudan çıkarılarak yüzeyleri silinip tartıldıktan sonra fırın kuru ağırlık ve doymun durumdaki ağırlık farkının fırın kuru ağırlığa bölünmesiyle bulunmuştur. Ayrıca 28 gün sonunda ve suda bekletildikten sonra örneklerdeki çatlama, dağılma, ufalanma gibi görünüş özellikleri de değerlendirilmiştir.

Yukarıda açıklanan fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi yanında Tablo 1'de verilen farklı karışım oranlarına sahip taze harç çeşitleri tuğla, briket, taş gibi yapı malzemelerine 2 cm kalınlıkta sürülerek sıva olarak kullanılabilme olanağı da belirlenmeye çalışılmıştır (Biçer ve ark., 1992). Her bir karışımın bu yüzeylere yapışma ve kuruduktan sonra çatlama, ufalanma gibi özellikleri araştırılmıştır.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Araştırmada, çeşitli fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla oluşturulan örneklerin Tablo 1'de, verilen karışımlarına giren doğal hafif agregalara ait tane dağılımı değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir. Aynı agregalarla birlikte bunların öğütüldükten sonraki durumlarında ve bazı örneklerin karışımına giren normal ince agreganın birim ağırlık ve bağıl yoğunluk (özgül ağırlık) değerleri ise Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 2. Araştırmada Kullanılan Hafif Agregalara Ait Tane Dağılımı Değerleri
Table 2. The Sieve Analysis of Lightweight Aggregates

Elek Açıklığı (mm)	Elekten Geçen (Yığışımli) (%)		
	Pasinler	Sarıkamış	Doğubeyazıt
63.0	-	-	-
31.5	-	-	-
16.0	94.0	95.5	99.2
8.0	87.5	73.3	88.7
4.0	72.1	66.8	71.6
2.0	30.6	42.4	38.3
1.0	22.8	20.6	22.4
0.5	15.6	14.3	16.1

0.25	9.8	7.8	5.3
------	-----	-----	-----

Tablo 2'de verilen tane dağılımlı hafif agregaların doğal durumdaki birim ağırlıkları Pasinler, Doğubeyazıt ve Sarıkamış yörelerinden sağlanan hafif agregalar için sırası ile 663 kg/m³, 592 kg/m³, 766 kg/m³, bu agregaların öğütülerek 0,2 mm'lik elekten elenmesi ile gevşek birim ağırlıkları 615 kg/m³, 548 kg/m³, 710 kg/m³, sıkı birim ağırlıklar ise 775 kg/m³, 710 kg/m³ ve 884 kg/m³ olarak elde edilmiştir. Bazı örneklerin karışımına giren normal ince agrega birim ağırlığı ise hafif agrega birim ağırlıklarının yaklaşık iki katı olmaktadır. Yukarıdaki değerlere göre öğütülmüş hafif agreganın birim ağırlık değerleri, aynı agregaların doğal durumundaki birim ağırlık değerlerinden yaklaşık % 8 dolayında daha düşüktür. Bağlı yoğunluk (özellik ağırlık) değerleri ise aynı durum için yaklaşık % 4 dolayında daha fazladır.

Tablo 3. Araştırmada Kullanılan Agregalara İlişkin Birim Ağırlık ve Bağlı Yoğunluk (Özellik Ağırlık) Değerleri

Table 3. Values Unit Weight and Specific Gravity of Aggregates

Agreganın Durumu ve Alındığı Yer		Fırın Kuru Birim Ağırlık (kg/m ³)		Bağlı Yoğunluk (Özellik Ağırlık)
		Gevşek	Sıkışık	
Doğal Yapıdaki Hafif Agregası	Pasinler	663	-	1.52
	Doğubeyazıt	592	-	1.45
	Sarıkamış	766	-	1.60
Öğütüldükten Sonraki Hafif Agregası	Pasinler	615	775	1.60
	Doğubeyazıt	548	710	1.50
	Sarıkamış	710	884	1.67
Normal ince Agregası		1380	1575	2.15

Yöntem bölümünde belirtildiği gibi farklı karışım oranlarına sahip olmak üzere üretilen örneklerin taze ve sertleşmiş (28 günlük) durumlarına ait ortalama birim ağırlık, su emme, basınç dayanımı ve ısı iletkenlik değerleri saptanmıştır. Pasinler yöresinden sağlanan diatomit çeşidi hafif agreganın öğütülmesiyle kullanılan malzemeye ait sonuçlar Tablo 4'te, Sarıkamış yöresinden sağlanan pomza çeşidi hafif agreganın öğütülmesiyle kullanılan malzemeye ait sonuçlar Tablo 5'de ve Doğubeyazıt yöresinden sağlanan yine pomza çeşidi hafif agreganın öğütülmesiyle kullanılan malzemeye ait sonuçlar ise Tablo 6'da verilmiştir.

Ana materyal olarak Pasinler yöresinden sağlanan hafif agreganın öğütülmesiyle elde edilen malzemenin sadece kendisinin kullanılmasıyla 15 kgf/cm²

basınç dayanımı elde edilmiş, bu malzemeye % 5'ten başlamak üzere % 30'a kadar çimento katılmasıyla basınç dayanımı değeri 46 kgf/cm² değerine kadar çıkmıştır. Aynı örneklerin fırın kuru birim ağırlık değerleri, katılan çimento miktarının artışına bağlı olarak 870 kg/m³ ile 1088 kg/m³ arasında değişiklik göstermiştir. Katkısız olarak hazırlanan ve % 5 çimento + % 95 öğütülmüş hafif agrega kullanımıyla hazırlanan örnekler suda dağıldığından su emme

Tablo 4. Ana Materyal Olarak Pasinler Yöresinden Sağlanan Hafif Agreganın (P) Öğütülüp Kullanılmasıyla Elde Edilen Örneklere Ait Özellikler

Table 4. Properties of Specimens Made With Ground Pasinler Lightweight Aggregate

Tarımsal Yapılarda Öğütülmüş Hafif Agreganın Kullanılabilme Olanakları Üzerine Bir Araştırma

Tablo 5. Ana Materyal Olarak Sarıkamış Yöresinden Sağlanan Hafif Agreganın (S) Öğütülüp Kullanılmasıyla Elde Edilen Örneklerle Ait Özellikler

Table 5. Properties of Specimens Made With Sarıkamış Lightweight Aggregate

Tablo 6. Ana Materyal Olarak Doğubeyazıt Yöresinden Sağlanan Hafif Agreganın (D) Öğütölüp Kullanılmasıyla Elde Edilen Örneklere Ait Özellikler
Table 6. Properties of Specimens Made With Ground Doğubeyazıt Lightweight Aggregate

değerleri saptanamamıştır. % 10 çimento + % 90 öğütülmüş hafif agregası karışımından oluşan örnekte su emme değeri % 28 olmak üzere çimento oranının artmasıyla bu değer % 30 çimento oranında % 21 miktarına kadar düşmüştür. Fırın kuru birim ağırlığa göre değişen ısı iletkenlik katsayısı değerleri ise 0,22 kcal/m °C h ile 0,29 kcal/m °C arasındadır (Tablo 4).

Ana materyal olarak Pasinler yöresi diatomit çeşidi hafif agreganın öğütülmesiyle elde edilen malzemeye % 2,5 çimento + % 2,5 normal ince agregası oranından başlamak üzere % 2,5'lik artışlarla % 30 çimento + % 30 normal ince agregası katılması durumunda basınç dayanımı değerleri karışım oranlarının değişmesine göre 10 kgf/cm²'den 140 kgf/cm²'ye kadar değişmektedir. Aynı aralıkta fırın kuru birim ağırlık 880 kg/m³ 'ten 1195 kg/m³ değerine kadar elde edilmiştir. Su emme değerleri, ilk iki karışımda örneklerin suda dağılması nedeniyle belirlenememiş, diğerlerinde ise % 7.5 çimento + % 7.5 normal ince agregası karışımında % 29'dan başlamak üzere % 30 çimento + % 30 normal ince agregası karışımında % 15'e kadar düşmek üzere gittikçe azalan değerler göstermiştir. Öğütülmüş hafif agregaya çimento ve normal ince agregası katılmasıyla üretilen örneklerin ısı iletkenlik katsayısı değerleri ise fırın kuru birim ağırlığa göre 0.22 kcal/m °C h ile 0.34 kcal/m °C h arasında değişmiştir (Tablo 4).

Pasinler yöresinden sağlanan hafif agreganın öğütülerek buna % 5'ten başlamak üzere % 30'a kadar kireç katılmasıyla basınç dayanımı 11 kgf/cm²'den 37 kgf/cm² değerine kadar çıkmıştır. Aynı karışım oranlarındaki örneklerin fırın kuru birim ağırlık değerleri ise 892 kg/m³ ile 1010 kg/m³ arasında değişmiştir. % 5 kireç + % 95 öğütülmüş hafif agregası karışımlı örnek suda dağıldığından su emme değeri saptanamamış, diğerlerinin tümünde ise bu değer % 25 olarak bulunmuştur. İlk karışıma göre üretilen örnekte 0,23 kcal/m °C h olarak hesaplanan ısı iletkenlik katsayısı değeri karışımdaki kirecin artışına paralel olarak 0,27 kcal/m °C h değerine kadar artmış, % 30 kireç karışımında ise 0.26 kcal/m °C h olarak elde edilmiştir (Tablo 4).

Pasinler yöresi hafif agregasının öğütülerek çimento ve kirecin her birinin % 2.5 oranından başlamak ve aynı oranlarda artırmak üzere oluşturulan örneklerde basınç dayanımı değerleri 10 kgf/cm² ile 37 kgf/cm² arasında değişiklik göstermiştir. Aynı karışım oranlarında fırın kuru birim ağırlık değerleri ise 842 kg/m³ ile 985 kg/m³ arasında kalmıştır. Örneklerin hiç biri suda dağılmadığından, tümünde su emme değerleri saptanmış ve bu değerler karışım oranlarına bağlı olarak % 22 ile % 25 arasında değişmiştir. Örneklerin fırın kuru birim ağırlığına bağlı olarak belirlenen ısı iletkenlik katsayısı değerleri ise 0.21 kcal/m °C h ile 0.26 kcal/m °C h arasında bulunmuştur (Tablo 4).

Çimento ve kireç katılmaksızın % 10 ile % 50 arasındaki oranlarda normal ince agreganın, öğütülmüş Pasinler yöresi hafif agregasına karıştırılmasıyla elde edilen örneklerin basınç dayanımı değerleri karışım oranına bağlı olarak fazla farklılık göstermemiş olup, 10 kgf/cm² ile 13 kgf/cm² arasında kalmıştır. Bu örneklerin fırın kuru birim ağırlık değerleri ise karışımdaki normal ince agreganın artışına paralel olarak 933 kg/m³'den 1125 kg/m³ değerine kadar bulunmuştur. Tüm örnekler suda dağılma gösterdiğinden su emme değerleri saptanamamıştır. Bu örneklerin ısı iletkenlik katsayısı değerleri ise fırın kuru birim ağırlığa bağlı olarak 0.24 kcal/m ° C h'den 0.31 kcal/m ° C h'a kadar değişen değerler olarak hesaplanmıştır (Tablo 4).

Ana materyal olarak Sarıkamış yöresinden sağlanan hafif agreganın öğütülmesiyle elde edilen malzemenin sadece kendisinin kullanılmasıyla 16 kgf/cm² basınç dayanımı elde edilmiş bu malzemeye % 5'den başlamak üzere % 30'a kadar çimento katılmasıyla basınç dayanımı değeri 240 kgf/cm² değerine kadar çıkmıştır. Aynı örneklerin fırın kuru birim ağırlık değerleri katılan çimento miktarının artışına bağlı olarak 945 kg/m³ ile 1157 kg/m³ arasında değişiklik göstermiştir. Sadece öğütülmüş hafif agreganın kullanımıyla hazırlanan örnekler suda dağılma göstermiş ve su emme değerleri saptanamamıştır. % 5 çimento + % 95 öğütülmüş hafif agrega karışım oranına sahip örnekte su emme değeri % 29 olmak üzere çimento oranının artmasıyla bu değer % 30 çimento oranında % 17 miktarına düşmüştür. Fırın kuru birim ağırlığa göre değişen ısı iletkenlik katsayısı değerleri ise 0.24 kcal/m ° C h ile 0.32 kcal/m ° C h arasında bulunmuştur (Tablo 5).

Sarıkamış yöresi pomza çeşidi hafif agreganın öğütülmesiyle elde edilen malzemeye % 2,5 çimento + % 2,5 normal ince agrega oranından başlamak üzere % 2,5'lik artışlarla % 30 çimento + % 30 normal ince agrega katılması durumunda basınç dayanımı değerleri karışım oranlarının değişimine göre 13 kgf/cm²'den 225 kgf/cm²'ye kadar değişmektedir. Aynı aralıkta fırın kuru birim ağırlık 988 kg/m³'ten 1210 kg/m³ değerine kadar elde edilmiştir. Su emme değerleri birinci karışımda örneklerin suda dağılmasıyla belirlenememiş, diğerlerinde ise % 5 çimento + % 5 normal ince agrega karışımında % 27'den başlamak üzere % 30 çimento + % 30 normal ince agrega karışımında % 12'ye düşmek üzere çimento ve normal ince agreganın karışımdaki artışına bağlı olarak gittikçe azalan değerler göstermiştir. Öğütülmüş hafif agregaya belirli oranlarda çimento ve normal ince agrega katılmasıyla üretilen örneklerin ısı iletkenlik katsayısı değerleri ise fırın kuru birim ağırlığa göre 0.26 kcal/m ° C h ile 0.34 kcal/m ° C h arasında değişmiştir (Tablo 5).

Sarıkamış yöresinden sağlanan hafif agreganın öğütülerek buna % 5'ten başlamak üzere % 30'a kadar % 5'lik artışlarla kireç katılmasıyla basınç dayanımı 25

kgf/cm²'den 61 kgf/cm² değerine kadar çıkmıştır. Aynı karışım oranlarındaki örneklerin fırın kuru birim ağırlık değerleri ise 940 kg/m³ ile 980 kg/m³ arasında değişmiştir. % 5 oranında kireç katılmış örnekteki su emme değeri % 27 olmak üzere % 30 kireç oranında bu değer % 25 olarak bulunmuştur. İlk karışım oranına göre üretilen örnekte saptanan 0.24 kcal/m °C h ısı iletkenlik katsayısı değeri fırın kuru birim ağırlığa bağlı olarak % 30 kireç oranında 0.25 kcal/m °C h olarak elde edilmiştir (Tablo 5).

Çimento ve kirecin her birinin % 2.5 oranından başlamak ve aynı oranlarda artırmak üzere Sarıkamış yöresi öğütülmüş hafif agregasına katılarak üretilen örneklerde basınç dayanımı değerleri 24 kgf/cm² ile 117 kgf/cm² arasında değişiklik göstermiştir. Aynı karışım oranlarında fırın kuru birim ağırlık değerleri ise 976 kg/m³ ile 1079 kg/m³ arasında kalmıştır. Örneklerin hiç biri suda dağılmadığından, tümünde su emme değerleri saptanmış ve bu değerler karışım oranlarına bağlı olarak % 28 ile % 19 arasında değişmiştir. Örneklerin fırın kuru birim ağırlığına bağlı olarak hesaplanan ısı iletkenlik katsayısı değerleri ise 0.25 kcal/m°C h ile 0.29 kcal/m °Ch arasında bulunmuştur (Tablo 5).

Çimento ve kireç katılmaksızın % 10 ile % 50 arasındaki oranlarda normal ince agreganın, Sarıkamış yöresi öğütülmüş hafif agregasına katılmasıyla elde edilen örneklerin basınç dayanımı değerleri karışım oranlarına bağlı olarak fazla farklılık göstermemiş olup, 8 kgf/cm² ile 10 kgf/cm² arasında kalmıştır. Bu örneklerin fırın kuru birim ağırlık değerleri ise karışımdaki normal ince agreganın artışına paralel olarak 1061 kg/m³'den 1187 kg/m³ değerine kadar ulaşmıştır. Tüm örnekler suda dağılma gösterdiğinden su emme değerleri saptanamamıştır. Bu örneklerin ısı iletkenlik katsayısı değerleri ise fırın kuru birim ağırlığa bağlı olarak 0.28 kcal/m °C h'ten 0.33 kcal/m °C h'a kadar değişen değerler olarak hesaplanmıştır (Tablo 5).

Ana materyal olarak Doğubeyazıt yöresinden sağlanan hafif agreganın öğütülmesiyle elde edilen malzemenin sadece kendisinin kullanılmasıyla 12 kgf/cm² basınç dayanımı değeri elde edilmiş, bu malzemeye % 5'ten başlamak üzere % 30'a kadar çimento katılmasıyla basınç dayanımı değeri 176 kgf/cm² değerine kadar çıkmıştır. Aynı örneklerin fırın kuru birim ağırlık değerleri karışıma giren çimento miktarının artışına bağlı olarak 915 kg/m³ ile 1083 kg/m³ arasında değişiklik göstermiştir. Öğütülen hafif agreganın sadece kendisinin kullanımıyla hazırlanan örnekler suda dağılmış ve su emme değerleri saptanamamıştır. % 5 çimento + % 95 öğütülmüş hafif agrega karışım oranına sahip örnekte su emme değeri % 30 olmak üzere çimento oranının artmasıyla bu değer % 30 çimento oranında % 18 miktarına

düşmüştür. Fırın kuru birim ağırlığa göre değişen ısı iletkenlik katsayısı değerleri ise 0.23 kcal/m °C h ile 0.29 kcal/m °C h arasında değişmiştir (Tablo 6).

Doğubeyazıt yöresi pomza çeşidi hafif agreganın öğütülmesiyle elde edilen malzemeye % 2.5 çimento + % 2.5 normal ince agregaya oranından başlamak üzere % 2.5 'lik artışlarla % 30 çimento + % 30 normal ince agregaya katılmasıyla basınç dayanımı değerleri 10 kgf/cm²'den 218 kgf/cm²'ye kadar değişmektedir. Aynı aralıkta fırın kuru birim ağırlık değerleri 925 kg/m³'ten 1200 kg/m³ değerine kadar elde edilmiştir. Su emme değeri, birinci karışımda örneklerin dağılması nedeniyle belirlenememiş, diğerlerinde ise % 5 çimento + % 5 normal ince agregaya karışımında % 27'den başlamak üzere % 30 çimento + % 30 normal ince agregaya karışımında % 13'e düşerek, çimento ve normal ince agreganın karışımdaki artışına bağlı olarak gittikçe azalan değerler göstermiştir. Öğütülmüş hafif agregaya belirli oranlarda çimento ve normal ince agregaya katılmasıyla üretilen örneklerin ısı iletkenlik katsayısı değerleri ise fırın kuru birim ağırlığa göre 0.24 kcal/m °C h ile 0.34 kcal/m °C h arasında değişmiştir (Tablo 6).

Doğubeyazıt yöresinden sağlanan hafif agreganın öğütülerek buna % 5'ten başlamak üzere % 30'a kadar % 5'lik artışlarla kireç katılmasıyla basınç dayanımı 26 kgf/cm²'den 50 kgf/cm² değerine kadar ulaşmıştır. Aynı karışım oranlarındaki örneklerin fırın kuru birim ağırlık değerleri ise 894 kg/m³ ile 938 kg/m³ arasında değişmiştir. % 5 oranında kireç katılmış örnekteki su emme değeri % 30 olmak üzere, % 30 kireç oranında bu değer % 28 olarak bulunmuştur. İlk karışım oranına göre üretilen örnekte saptanan 0.23 kcal/m °C h ısı iletkenlik katsayısı değeri fırın kuru birim ağırlığa bağlı olarak % 30 kireç oranında 0.24 kcal/m °C h olarak elde edilmiştir (Tablo 6).

Çimento ve kirecin her birinin % 2.5 oranından başlamak ve aynı oranlarda artırmak üzere öğütülmüş Doğubeyazıt yöresi hafif agregasına katılarak üretilen örneklerde basınç dayanımı değerleri 28 kgf/cm² ile 114 kgf/cm² arasında değişiklik göstermiştir. Aynı karışım oranlarında fırın kuru birim ağırlık değerleri ise 908 kg/m³ ile 1086 kg/m³ arasında kalmıştır. Örneklerin hiçbiri suda dağılmadığından, tümünde su emme değerleri saptanmış ve bu değerler karışım oranlarına bağlı olarak % 28 ile % 20 arasında değişmiştir. Örneklerin fırın kuru birim ağırlığına bağlı olarak hesaplanan ısı iletkenlik katsayısı değerleri ise 0.23 kcal/m °C h ile 0.29 kcal/m °C h arasında bulunmuştur (Tablo 6).

Çimento ve kireç katılmaksızın % 10 ile % 50 arasındaki oranlarda normal ince agreganın, öğütülmüş Doğubeyazıt yöresi hafif agregasına katılmasıyla elde edilen örneklerin basınç dayanımı değerleri karışım oranlarına bağlı olarak fazla farklılık göstermemiş olup, 7 kgf/cm² ile 8 kgf/cm² arasında kalmıştır. Bu örneklerin fırın kuru

birim ağırlık değerleri ise karışımdaki normal ince agreganın artışına paralel olarak 1050 kg/m^3 'den 1170 kg/m^3 değerine kadar ulaşmıştır. Tüm örnekler suda dağılma gösterdiğinden su emme değerleri saptanamamıştır. Bu örneklerin ısı iletkenlik katsayısı değerleri ise fırın kuru birim ağırlığına bağlı olarak $0.28 \text{ kcal/m}^\circ\text{C h}$ 'den $0.32 \text{ kcal/m}^\circ\text{C h}$ 'a kadar değişen değerler olarak hesaplanmıştır (Tablo 6).

Araştırma sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde; öğütülmüş hafif agreganın belirli oranlarda çimento + normal ince agrega kullanımıyla en iyi basınç dayanımı sağlandığı, daha sonra sırasıyla çimento, çimento + kireç, kireç ve normal ince agrega kullanıldığında elde edildiği saptanmıştır. Fırın kuru birim ağırlık bakımından sonuçlar değerlendirildiğinde ise; öğütülmüş hafif agreganın sadece kendisinin kullanıldığı örneklerde en düşük olmak üzere, bunu sırasıyla kireç, çimento + kireç, çimento, çimento + normal ince agreganın katkı malzemesi olarak kullanıldığı örnekler izlemektedir. Fırın kuru birim ağırlığa göre saptanan ısı iletkenlik katsayısı değerleri de aynı değişimi göstermektedir. Öğütülmüş hafif agreganın sadece kendisinin kullanımıyla elde edilen örnekler belirli sürede su içinde tutulduğunda dağılma olmaktadır. Suda dağılma göstermeyen örneklerde ise, en fazla su emme değeri sadece kireç katkılı örneklerde olduğu, bunu sırasıyla çimento + kireç, çimento ve çimento + normal ince agrega katılarak oluşturulan örneklerin izlediği görülmüştür. Öğütülmüş hafif agreganın tek başına kullanımıyla, belirli oranlarda normal ince agrega ile kullanımına göre daha fazla basınç dayanımlı ve daha düşük birim ağırlıklı örnekler elde edilmiştir. Dolayısıyla çimentonun katkı malzemesi olarak kullanılmadan normal ince agregayla birlikte öğütülmüş hafif agreganın kullanımı uygun değildir.

Araştırmada farklı yörelerden sağlanan ve doğal durumlarıyla da farklı özelliklere sahip olan hafif agregaların öğütüldükten sonra değişik malzemelerle kullanımlarında elde edilen örneklerin fiziksel ve mekanik özellikleri de değişiklik göstermektedir (Tablo 4, 5, 6). Buna göre özellikle basınç dayanımı gözönüne alındığında en büyük değerlerin Sarıkamış yöresinden sağlanan hafif agregaya ait olduğu görülmektedir. Buna en yakın değerlerin Doğubeyazıt yöresinden sağlanan hafif agregaya, en düşük değerler ise Pasinler yöresinden sağlanan hafif agregayla elde edilmiştir. Herhangi bir malzemenin bağlayıcılık özelliği onun ile üretilen örneklerin belirli bir dayanıma sahip olmasıyla ortaya çıkar (Postacıoğlu, 1975). Buna göre özellikle basınç dayanımı dikkate alındığında, araştırmada elde edilen örnekler üzerinde karışım oranlarına bağlı olarak bu, büyük farklılık göstermektedir (Tablo 4,5,6). Karışım oranlarına bağlı olarak elde edilen örneklerin basınç dayanımlarının değişimi Şekil 1, 2, 3, 4 ve 5'de gösterilmiştir.

Tablo 1'de verilen farklı karışım oranlarına sahip taze harç çeşitleri tuğla, taş, briket yüzeylerine 2 cm kalınlıkta sıva olarak kolayca yapıştırılmıştır. Belirtilen malzeme yüzeylerine tutturulan farklı karışımlar 28 gün sonra gözle incelendiğinde, öğütölmüş hafif agreganın tek başına kullanıldığı ve buna % 15'ten az kireç karışımlarında

Şekil 1. Öğütölmüş Hafif Agregaya Çimento Katılmasıyla Üretilen Örneklerin Karışım Oranına Bağlı Olarak Basınç Dayanımının Değişimi
Figure 1. Compressive Strength Variation of Specimens as a Function of Cement / Ground Lightweight Aggregate

Şekil 2. Öğütülmüş Hafif Agregaya Çimento + Normal İnce Agregaya Katılmasıyla Üretilen Örneklerin Karışım Oranına Bağlı Olarak Basınç Dayanımının Değişimi
Figure 2. Compressive Strength Variation Of Specimens as a Function Of Cement/Normal Fine Aggregate/Ground Lightweight Aggregate

Şekil 3. Öğütülmüş Hafif Agregaya Kireç Katılmasıyla Üretilen Örneklerin Karışım Oranına Bağlı Olarak Basınç Dayanımının Değişimi
Figure 3. Compressive Strength Variation Of Specimens as a Function Of Lime/Ground Lightweight Aggregate

Şekil 4. Öğütülmüş Hafif Agregaya Çimento + Kireç Katılmasıyla Üretilen Örneklerin Karışım Oranına Bağlı Olarak Basınç Dayanımının Değişimi
Figure 4. Compressive Strength Variation Of Specimens as a Function Of Cement/Lime/Ground Lightweight Aggregate

Şekil 5. Öğütülmüş Hafif Agregaya Normal İnce Agregaya Katılmasıyla Üretilen Örneklerin Karışım Oranına Bağlı Olarak Basınç Dayanımının Değişimi
Figure 5. Compressive Strength Variation Of Specimens as a Function Of Normal Fine Aggregate / Ground Lightweight Aggregate

çatlamanın ve elle ufalanmanın fazla olduğu, öğütülmüş hafif agregayla birlikte % 10'dan fazla oranlarda normal ince agregaya kullanımında ise çatlamanın olmadığı gözlenmiştir. Öğütülmüş hafif agregayla birlikte çimento + normal ince agreganın kullanıldığı karışımlarda çatlama ve ufalanma hemen hemen görülmezken, diğer karışımlarda ise çok az kılcal çatlama gözlenmiştir. Dolayısıyla öğütülmüş hafif agreganın az miktarda çimento ve normal ince agregaya ile kullanımıyla, düzgün bir yüzey verecek şekilde, yalıtım değeri fazla ve ucuz sıva malzemesi olarak değerlendirilebilir.

Öğütülmüş hafif agreganın çimento, kireç, normal ince agrega ile kullanımıyla özellikle hafif, yeterince basınç dayanımına sahip ve daha ucuz yapı elemanları üretilebilecektir. Araştırmada seçilen karışım oranları dikkate alındığında çimento ve kirecin ayrı ayrı veya her ikisinin birden kullanımında en fazla % 20 ve daha aşağı oranlarının kullanımıyla briket, tuğla, katkılı kerpiç gibi yapı malzemelerine göre daha iyi fiziksel ve mekanik özelliklerde yapı malzemeleri üretimi söz konusudur. Bu durum bazı araştırmalarda farklı malzeme ve farklı yöntemlerle incelenen yapı malzemelerine ait özelliklerle genel olarak karşılaştırıldığında görülebilir.

Öğütülmüş hafif agreganın tek başına kullanımıyla elde edilen örnekler Alkan (1969)'a göre belirlenen % 10 çimento katkılı dökme kerpiçlerden daha fazla basınç dayanımına ve daha düşük birim ağırlığa sahiptir. Aynı zamanda Anon. (1985)'in ağırlık olarak % 10 çimento katkılı kerpiçler için olması gereken ortalama 21 kgf/cm² basınç dayanımı ve 1875 kg/m³ birim ağırlık değerlerine göre, daha az miktarda çimento veya kirecin öğütülmüş hafif agregayla birlikte kullanılarak kerpiç üretim yöntemiyle daha yüksek basınç dayanımlı ve daha düşük birim ağırlıklı yapı malzemeleri elde edilebilir.

Hafif betondaki çimentonun bir kısmının yerine uçucu kül kullanılarak (350 kg/m³ çimento içerikli betonda ağırlık olarak çimentonun % 40'ı oranında uçucu kül) hazırlanan beton örneklerinde 28 günlük ortalama basınç dayanımı 162 kgf/cm² bulunmasına karşılık birim ağırlık 1720 kg/m³ olarak elde edilmiştir (Kılıç ve Şimşek, 1991). Başka bir araştırmada genleştirilmiş kil ve shale kullanılarak 300 kg/m³ içerikli çimento ile üretilen hafif betonların birim ağırlıkları 700-1000 kg/m³ ve basınç dayanımları 50-140 kgf/cm² arasında bulunmuştur (Weigler ve Karl, 1980). % 30 kum + % 28 hafif agrega + % 42 çeltik kavuzu + 200 kg/m³ çimento içeriğiyle üretilen briketlerde ortalama basınç dayanımı 32 kgf/cm² ve birim ağırlık 1550 kg/m³ olarak saptanmıştır (Tekinsoy, 1984). Benzer şekilde % 90 hafif agrega (tüf) + % 10 kum + 300 kg/m³ çimento içeriğiyle üretilen briketlerde basınç dayanımı yaklaşık 14 kgf/cm² ve birim ağırlık 1340 kg/m³ olarak elde edilmiştir (Tekinsoy ve Çevik, 1983). Su / çimento oranı 0.4 ile 1.2 arasında değişmek üzere hacim olarak 1:3, 1:2 ve 1:1 oranında çimento ve ince hızar talaşı ile hazırlanan örneklerin 28 günlük basınç dayanımları sırasıyla 50 kgf/cm², 85 kgf/cm² ve 298 kgf/cm² olarak, birim ağırlıkları ise 850 kg/m³, 930 kg/m³ ve 1490 kg/m³ değerlerinde bulunmuştur (Paramasivam ve Loke, 1980).

Yapı malzemeleri üzerine yapılan araştırmalardan amaç, kendinden beklenen fonksiyonları yerine getirebilecek yapının oluşturulmasında kullanılacak malzemenin maliyetini azaltma, dayanım ve dayanıklılığı artırmak, ısı iletkenliğini düşürme ve ağırlığın azaltılması yollarının araştırılmasıdır.

Yukarıda belirtilen araştırma sonuçları değerlendirildiğinde; öğütülmüş hafif agreganın puzzolanik (bağlayıcılık) özelliğinden yararlanılarak daha az çimento, kireç gibi bağlayıcı malzemeler kullanılarak kerpiç, briket, tuğla gibi yapı malzemelerine göre daha dayanımlı ve birim ağırlığı daha düşük dolayısıyla ısı iletkenliği az ekonomik yapı malzemeleri üretilebilir.

Bu araştırmada, öğütülmüş hafif agreganın yapı malzemesi olarak değerlendirme olanakları araştırılmıştır. Öğütülmüş hafif agreganın belirli oranlarda çimento, kireç, çimento + kireç ve çimento + normal ince agrega karışımlarıyla, duvar bloklarında olması gereken basınç dayanımına sahip, keskin ve düz yüzeyli, çok iyi boyutsal stabiliteli yapı malzemeleri elde edilebilir. Böylece yöresel olarak daha ucuz, yalıtıklık özelliği fazla ve dayanıklı kırsal yapıların gerçekleştirilebileceği sonucuna varılmıştır. Bununla beraber öğütülmüş hafif agregayla özellikle katkısız, kireç katkılı ve düşük oranda çimento katkılı olarak üretilen örneklerin suya karşı dayanıklılıklarının az ve su emme değerlerinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla bu şekilde üretilecek malzemelerin sudan etkilenmenin fazla olmadığı yapı iç kısımlarında kullanılması uygundur.

Özellikle Doğu Anadolu Bölgesindeki kırsal yapılar, malzeme ve yapı tekniği bakımından genellikle kötü özelliklere sahiptir. Bu bakımdan bölgede yaygın olarak bulunan doğal hafif agregaların yerinde değerlendirilerek hafif beton yapımında kullanılabileceği gibi, bu agregaların öğütülerek veya agrega ocaklarındaki ince kısmının değerlendirilmesiyle tarımsal yapılarda özellikle duvar blok elemanı olarak kullanımı uygun olacaktır. Böylece kırsal alanlardaki konut, hayvan barınağı ve ürün depoları gibi kontrollü ısı ve nem koşullarının bulunması gerekli yapı elemanlarının yapımı ve yalıtımları daha ucuz olmak üzere başarıyla gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Alkan, Z., 1969. Bazı stabilizan maddelerin dökme kerpiç ve prese kerpicing önemli mekanik özelliklerine etkisi üzerinde Bir araştırma. Atatürk Üni. Yay. No : 42, Erzurum.
- Allen, W. J.; R.J.S. Spence, 1983. A study of the activity of a volcanic pozzolana in northern tanzania. Appropriate Buildings Materials for Low Cost Housing, Proceedings of a Symposium, E.F.N. Spon Ltd., London.
- Anonim, 1976a. Hafif Agregalar, TS 1114. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim, 1976b. Annual Book of ASTM Sandards, ASTM C 618, Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolans for Use in Portland Cement Concrete, ASTM C 332, Lightweight Aggregates for Concrete. American Society For Testing and Materials, Philadelphia.

Tarımsal Yapılarda Öğütülmüş Hafif Agreganın Kullanılabilme Olanakları Üzerine Bir Araştırma

- Anonim, 1980. Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi, TS 707. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim, 1985. Çimentolu Kerpiç Bloklar - Duvarlar için, TS 537. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Berra, M., F. Fabbri, M. Facoetti, 1988. Behaviour of a cementing hydraulic binder under severe geothermal conditions. *Geothermics*, 17, (5/6) : 785-813.
- Biçer, Y., T. Ayhan, K. Pıhtılı, 1992. Termik santral uçucu külleri içeren Yalıtım sıvası üzerine bir araştırma. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 15 (3/4) : 24.
- Bobrowski, J., 1980. Outstanding applications of lightweight concrete and an appreciation of likely future developments. *The International J. of Lightweight Concrete*, 2 (1) : 5-20.
- Bomhard, H., 1980. Lightweight concrete structure, potentialities, limits and realities. *The International Journal of Lightweight Concrete*, 2 (4) : 193-195.
- Clarke, J.L., 1987. Shear strength of lightweight aggregate concrete. *Cement and Concrete Association, Concrete*, 4, 12-13.
- Hammond, A.A., 1983. Pozzolana cements for low cost housing. *Appropriate Buildings Materials for Low Cost Housing, Proceedings of a Symposium*, E.F.N. Spon Ltd., London.
- Hill, N.R., 1983. Low cost housing beging with an overall assesment of possible materials. *Appropriate Buildings Materials for Low Cost Housing, Proceedings of a Symposium*, E.F.N. Spon Ltd., London.
- Kılıç, R., O. Şimşek, 1991. Madenşehir (Karaman) doğusundaki ponza taşı ile üretilen hafif beton dayanımına uçucu kül oranının etkisinin incelenmesi. *Doğa - Tr. J. of Eneineering and Environmental Sci.*, 15, 283-295.
- McClune, C.R., J. Moorhouse, 1981. The Development of Waterproof Insulating Materials Based on Lightweight Concrete. *Magazine of Concrete Research*, 33, (114) : 35.
- Paramasivam, P., Y.O. Loke, 1980. Study of Sawdust Concrete. *The International J. of Lightweight Concrete*, 2 (1) : 57-61.
- Postacıoğlu, B., 1975. Yapı Malzemesi Dersleri (Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton). İstanbul Teknik Üni. Kütüphanesi, 1011, 36-37.
- Sheppard, W.L. 1983. *Corrosion and Chemical Resistant Masonry Materials Handbook*. Noyes Publications, New Jersey, USA.
- Shu, K.L., S.M. Qing, S. Sheng, L.Y. Xiu, 1980. Research on several physico-mechanical properties of lightweight aggregate concrete. *International J. of Lightweight Concrete*, 2 (4) :185-191.
- Spratt, B.H., 1975. *An Introduction to Lightweight Concrete*. Cement and Concrete Association, Wexham, Springs.
- Tekinsoy, M.A., B. Çevik, 1983. Çukurova Bölgesinde kullanılan hafif beton briketlerin mekanik, fiziksel ve kalite özellikleri arasındaki fonksiyonel ilişkiler. *Doğa Tarım ve Orm. Derg.*, 7 (3) : 219-227.

- Tekinsoy, M.A., 1984. Çukurova Yöresinde Çeltik Kavuzlu Hafif Beton Briketlerin Yapımı ve Tarımsal Yapılarda Kullanılma Olanakları Üzerinde Bir Araştırma (Doçentlik Tezi). Çukurova Üni., Ziraat Fak. Kültürteknik Böl., Adana.
- Turgutalp, E.Ü., 1978. Sarıkamış Yöresi Doğal Hafif Agregasıyla Üretilen Betonların Tarımsal Yapılarda Kullanılabilme Olanakları Üzerine Bir Araştırma (Doçentlik Tezi). Atatürk Üni. Ziraat Fak. Kültürteknik Böl., Erzurum.
- Weigler, H., K., Sieghart, 1980. Structural lightweight aggregate concrete with reduced density - lightweight aggregate foamed concrete. The International J. of Lightweight Concrete, 2 (2) : 101-104.