

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

114377

GÖZENEKLİ YAPI TAŞLARINDA ISI İLETİM
PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Atila Gencer DEVECİOĞLU

TC. YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
Yüksek Öğretim Kurulu Başkanlığı

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ

2001

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÖZENEKLİ YAPI TAŞLARINDA ISI İLETİM
PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Atilla Gencer DEVECİOĞLU

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMAN NO: 114377

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez, 23.05.2001 Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından
Oybirliği / Oyçokluğu ile Başarılı / Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.

(İmza)

Doç.Dr. Yaşar BİÇER

(İmza)

Üye

(İmza)

Üye

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu' nun/...../.....
tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ÖZET**YÜKSEK LİSANS TEZİ****GÖZENEKLİ YAPI TAŞLARINDA ISI İLETİM PARAMETRELERİNİN
İNCELENMESİ**

Atilla Gencer DEVECİOĞLU

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

2001, Sayfa : 41

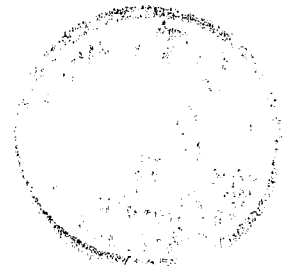
Bu çalışma, Anadolu'nun bir çok yöresinde bina yapı elemanı olarak kullanılan gözenekli yapı taşlarında ısı iletim katsayısının kuramsal ve deneysel olarak tespiti için yapılmıştır.

Kuramsal çalışma bölümünde, gözenekli taşın ısı iletim katsayısının hesaplanmasında kullanılacak matematiksel bir model geliştirilmiştir. Modelde, taş içerisinde rast gele dizilmiş ve kompleks geometrik şekle sahip gözeneklerin, küp şeklinde olduğu kabul edilerek, yapıdaki gözeneklerin hacimsel olarak toplam büyüklükleri porozite parametresi ile yer almıştır. Porozite parametresinin hesabında yoğunluk yöntemi kullanılarak çözüme gidilmiştir. Matematiksel modelde, porozitenin haricinde, taş matrisinin ısı iletim katsayısı ile gözenek içi gazın ısı iletim katsayısı da önemli bir parametre olarak yer almıştır.

Deneysel çalışma bölümünde, geliştirilen matematiksel bağıntının kullanılabilirliğini araştırmak üzere, Diyarbakır, Batman, Mardin, Şanlıurfa ve Adıyaman illerinde ve çevresinde, yoğun bir şekilde bina yapı elemanı olarak kullanılmakta olan sekiz adet yöre taşı kullanılmıştır. Taş ocaklarından blok kütleler halinde temin edilen taşlar deneylerde kullanılmak üzere uygun ölçü ve şekillerde kesilerek numuneler

hazırlanmıştır. Isı iletim katsayılarının kuramsal ve deneysel sonuçları karşılaştırılarak matematiksel modelin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Ayrıca, incelenen yöre taşlarının diğer ısı ve mekanik özellikleri de deneysel olarak tespit edilerek, bina yapı elemanı olarak gerçekte ne gibi özelliklere sahip olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler : Gözenekli taşlar, gözeneklilik, ısı iletkenlik.



ABSTRACT

Master Thesis

AN INVESTIGATION ON THE HEAT CONDUCTION PARAMETERS OF POROUS BUILDING STONES

Atilla Gencer DEVECİOĞLU

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

2001, Page : 41

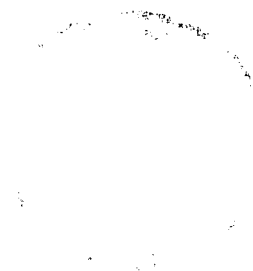
This study was carried out to investigate the theoretical and experimental results of thermal conductivity of porous building stones that were widely used in the construction industry of the southeast region of Turkey.

In the theoretical section, the mathematical model was developed for the calculation of thermal conductivity of porous stones. In this model, the random and complex geometric shape pores in stone was accepted as in the cubic form, and total volumetric wideness of pores in the stone was taken as the porosity parameter. For the calculation of the porosity parameter, the density method was used to solve the problem. In the mathematical model, heat transfer coefficient of the stone matrix and the gas in the pore were also very important parameters as well as the porosity parameter.

In the experimental study section, eight different stones which were widely used in the construction industry of Diyarbakır, Batman, Mardin, Şanlıurfa and Adıyaman cities and around was examined for the application of the mathematical formula. The stones were obtained as a block from stone mines and the samples were cut from stone blocks for the experimental study and some samples for zero porosity experiments were

achieved from powdered stones. The application of the mathematical model was used to compare the theoretical and experimental results of thermal conductivity of stones. More over, thermal and mechanical properties were established by experimental study and there for it was presented the basic properties of investigated regional stones.

Key Words : Porous stones, porosity, thermal conductivity.



TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında göstermiş oldukları ilgi ve yardımlardan dolayı Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümüne. Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat ve Kimya mühendislikleri bölümlerine, Elazığ çimento fabrikasına, sayın danışman hocam Doç. Dr. Yaşar Biçer' e, sayın hocalarım, Prof. Dr. Kazım Pıhtılı' ya, Doç. Dr. Cengiz Yıldız' a, Doç. Dr. Mustafa İnallı' ya ve bölüm başkanımız sayın Prof. Dr. Aydın Turgut'a teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
İÇ KAPAK	I
ÖZET.....	II
ABSTRACT.....	IV
TEŞEKKÜR.....	VI
İÇİNDEKİLER.....	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	IX
TABLolar LİSTESİ.....	X
SİMGELER.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kaynak Etüdü.....	2
2. TAŞLAR HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	5
2.1. Püskürük Taşlar.....	6
2.1.1. İç Püskürük Taşlar.....	6
2.1.2. Dış Püskürük Taşlar.....	6
2.2. Tortul Taşlar.....	7
2.3. Başkalaşmış Taşlar.....	8
2.4. Taşlarda Aranan Genel Özellikler.....	9
2.5. Yapı Taşlarda Aranan Genel Özellikler.....	10
3. GÖZENEKLİ TAŞLARDA ISI İLETKENLİĞİNİN KURAMSAL İNCELENMESİ.....	11
3.1. Yapılan Kabuller.....	11
3.2. Gözenekli Taşlarda Isıl İletkenlik Hesabı İçin Kuramsal Bir Model	11
3.3. Modeldeki Parametrelerin Tespiti.....	19
3.4. Örnek İki Numunenin Isıl İletkenliğine Ait Sayısal Çözümler.....	20
4. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	23
4.1. Deneylerde Kullanılan Yapı Taşları.....	23

4.2. Deneysel Çalışmada Uygulanan Ölçme Yöntemleri.....	24
4.2.1. Malzemelerin Kimyasal Analizi.....	24
4.2.2. Isıl İletkenlik.....	26
4.2.3. Özgül Isıl Kapasitesi.....	29
4.2.4. Su Emme ve Kuruma	30
4.2.5. Mekanik Dayanım.....	34
5. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA.....	35
6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	38
KAYNAKLAR.....	39



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1 Gözenekli yapıya ait mikroskop altındaki görüntü.....	12
Şekil 3.2 Gözenekli malzemenin fiziksel modeli.....	12
Şekil 3.3 Gözenekli malzeme.....	13
Şekil 3.4 Elemanter hücreye ait dikey ve yatay kesit resmi.....	15
Şekil 3.5 Dirençlerin paralel ve seri bağlanması.....	15
Şekil 4.1 Deneysel çalışmada kullanılan taş örnekleri	25
Şekil 4.2 Isıl iletkenlik katsayısı ölçme cihazı.....	26
Şekil 4.3 Isıl iletkenlik katsayısı ölçme cihazının devre şeması.....	27
Şekil 4.4 Numunelerin su emme deneyinde zamana karşı değişimi grafiği....	31
Şekil 4.5 Numunelerin kuruma hızı deneyinde zamana karşı kütle değişimi grafiği.....	31
Şekil 5.1 Deneysel ve kuramsal k_{ef} değerlerinin karşılaştırılması.....	35

TABLOLARIN LİSTESİ

	<u>Savfa No</u>
Tablo 1.2 Doğal taşların sınıflandırılması.....	5
Tablo 3.1 Yöre taşlarının hesap edilen yoğunluk porozite, matris ve gözenekli havanın ısı iletim katsayısı değerleri.....	20
Tablo 4.1 Taş numunelerin kimyasal bileşenleri.....	25
Tablo 4.2 Taş numuneler ile bazı yapı malzemelerinin fiziksel özellikleri.....	29
Tablo 4.3 Su emme deneyinde numunelerin zamana karşı kütle değişimi.....	32
Tablo 4.4 Numunelerin kuruma hızı deneyinde zamana karşı kütle değişimi.....	33
Tablo 4.5 Numunelerin mekanik dayanım özellikleri ve su emme oranları.....	34

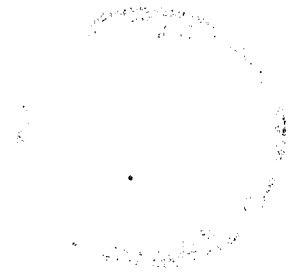
SEMBOLLER

A	alan, (m^2)
a	ısı yayılım katsayısı, (m^2/s)
c_p	özgül ısı, ($J/kg\ ^\circ C$)
I	ısıtıcı telden geçen akım, (A)
K,H	ısı iletim katsayısı ölçme cihazı sabitleri
k	ısı iletim katsayısı, (W/mK)
k_{ef}	efektif ısı iletim katsayısı, (W/mK)
$k_{ef\varnothing}$	efektif eş değer ısı iletim katsayısı, (W/mK)
$k_{e\varnothing}$	eş değer ısı iletim katsayısı, (W/mK)
k_g	gözenek içi gazın ısı iletim katsayısı, (W/mK)
k_s	katı maddenin ısı iletim katsayısı, (W/mK)
L	elemanter hücrenin karakteristik uzunluğu, (cm)
l	karakteristik gözenek uzunluğu, (cm)
M	kütle, (kg)
q_r	radyasyonla ısı transferi, (W)
q	sıcak telden ısı akışı, (kcal/mh)
R	ısı direnç, (m^2K/W)
$R_{e\varnothing}$	eş değer ısı direnç, (m^2K/W)
SE	su emme oranı
T	sıcaklık, ($^\circ C$)
t	ısıtma süresi, (h)
V	hacim, (cm^3)
V_k	sıfır poroziteli taş hacmi, (cm^3)
V_g	gözenekli taşın hacmi, (cm^3)
V_1, V_2	termo eleman gerilimi, (mV)
ΔT	sıcaklık farkı, ($^\circ C$)

ε	siyah cismin ışınlam neşretme katsayısı
σ	Stefan-Boltzman sabiti, ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)
ϕ	porozite, (%)
ρ	yoğunluk, (gr/cm^3)
ρ_k	sıfır poroziteli taş yoğunluğu, (gr/cm^3)
$\rho_{\text{göz}}$	gözenekli taşın yoğunluğu, (gr/cm^3)
ν	kinematik viskozite, (m^2/s)

BOYUTSUZ SAYILAR

h / L	Poroziteye bağlı olarak değişen 'Boyut Oranı' sayısı
Gr	Grashof sayısı, $[(g \cdot \beta \cdot (T_1 - T_2) \cdot R^3) / \nu^2]$
Pr	Prandtl sayısı, (ν / a)
Ra	Rayleigh sayısı, (Gr. Pr)

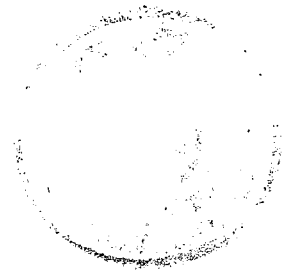


1. GİRİŞ

Enerji ve yapı malzemelerindeki maliyetlerin yükselmesine paralel olarak ülke genelinde konut talebinin artması, doğal yapı taşlarının inşaat malzemesi olarak kullanılmasını gündeme getirebilir. Çoğunlukla taşıyıcı, nadiren dolgu elemanı olarak kullanılan bu taşlara, Anadolu'nun birçok yöresinde rastlamak mümkün olup yöre halkı tarafından muteber bir yapı elemanı olarak kabul görmektedir. Ancak bu itibarın, gerçekten iyi bir malzeme olmasından mı, yoksa teminindeki kolaylıktan mı kaynaklandığı belli değildir. Konuya açıklık getirmek amacıyla yapılan bu çalışmanın sonuçları ve varsa ekonomiye katkısı göz önüne alındığında çalışma konusu olan taşlar, hem taşıyıcı yapı elemanı ve hem de betonarme karkas binalarda dolgu ve bölme elemanı olarak kullanılmak üzere tavsiye edilebilecektir.

Gözenekli taşlarda gözenek içindeki durgun havanın ısı iletimine direnç göstermesi nedeniyle ısı iletim katsayıları diğer benzeri malzemelere oranla küçük olacaktır (Biçer ve diğ., 1991; Biçer ve diğ.,1996). Dolayısıyla bu tür taşların diğer kullanım amaçları ile birlikte, binalarda yalıtım özellikli yapı malzemesi olarak kullanılması enerji tasarrufu yönünden önem arz edecektir. Gözenekli taş ve benzeri malzemeler için ısı iletim katsayıları bu güne kadar matematiksel hesaplardan ziyade ölçme sonucu tespit edilmiş deneysel değerleri ile literatürlere geçmiştir.

Bu çalışmanın amacı, binalarda yapı malzemesi olarak kullanılan gözenekli taşlarda ısı iletim katsayısının hesaplanmasında kullanılabilecek bir bağıntı geliştirilerek, bu bağıntının kullanılabilirliğini araştırmaktır. Geliştirilen bağıntı içerisinde, ısı iletiminde etkin parametreler ayrı ayrı incelenmiştir. Bağıntının, Diyarbakır, Şanlıurfa, Batman, Mardin ve Adıyaman illeri gibi Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin birçok yöresinde bina yapı elemanı olarak kullanılmakta olan gözenekli taşlara uygulaması yaptırılarak ısı iletim katsayılarının hesaplanmasında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmanın sonunda matematiksel ve deneysel sonuçların karşılaştırılması yapılacaktır.



1.1. Kaynak Etüdü

Çalışmayla ilgili, gerek yurt içinde gerekse yurt dışında bir çok çalışmalar yapılmıştır. Yurt dışındaki çalışmaların büyük bir bölümü özellikle seramik gibi yapay malzemeler üzerinde yapılmıştır (Saequsa ve Kamata, 1974; Zumbrunnen ve Vikante, 1986; Vysniauskas ve Zikas, 1988). Özellikle heterojen yapıların iletim özellikleri konusunda çok çalışmalar yapılmış, çözüm için değişik fiziksel örnekler verilmiştir. Örnek olması bakımından aşağıdaki bir kaç çalışma verilebilir.

Luikov, Shashkov, Vasiliev ve Fraiman, gözenekli malzemelerin ısı iletimi katsayıları konusunda çalışmalar yapmış olup, özellikle iç yapının boş küreciklerden oluştuğunu, bu küreciklerin birbiri ile temas halinde ve tetrahedral şeklinde dizildiğini kabul ederek gözenekli toz malzemeler için ısı iletkenlik katsayısı ifadesini,

$$k_{ef} = k_s \left[\frac{1}{\left(\frac{h}{L}\right)^2 + A} + \frac{k_g}{k_s} \left(1 - \frac{h}{L}\right)^2 + \frac{2}{1 + \frac{h}{L} + \frac{1}{\frac{k_g}{k_s} \cdot \frac{h}{L}}} \right] \quad (1.1)$$

denklemini vermişlerdir (Luikov ve diğ., 1968). Burada A, iki partikülün temas yerinde, temas ve gaz boşluğundan transfer edilen ısıyı belirtir. Yazarlar bu denklem sonuçlarının, 300 ile 400 K sıcaklık aralığında, %35- 98 gözeneklilik derecesinde, k_s / k_g oranının 10 ile 300 değerleri arasında, gözenek çaplarının 4 -5 mm yi geçmeyen, gözenek içindeki gazların su buharı ve hava karışımı olduğu, metal olmayan gözenekli malzemeler için deneysel çalışma sonuçlarıyla uyum içinde olduğunu göstermişlerdir

Dunlev, katı, bitişik gözenekli, iki bileşenli sistemler için ısı iletkenlik denklemini,

$$k_{ef} = k_s \cdot \left[\left(\frac{h}{L}\right)^2 + \frac{k_g}{k_s} \left(1 - \frac{h}{L}\right)^2 + \frac{2 \cdot \frac{k_g}{k_s} \cdot \frac{h}{L} \cdot \left(1 - \frac{h}{L}\right)}{1 - \frac{h}{L} \cdot \left(1 - \frac{k_g}{k_s}\right)} \right] \quad (1.2)$$

şeklinde vermiştir. Yazar, denklem sonuçlarının, geniş bir sıcaklık aralığında, gözeneklilik oranı %50'nin altında ve 2.10^{-6} ile 5.10^{-6} m gözenek çapındaki seramik malzemeler için deneysel sonuçlarla uyum içinde olduğunu göstermiştir (Dulnev, 1965).

Fraiman, metal tozlu, bitişik gözenekli malzemeler için ısı iletkenlik denklemini,

$$k_{ef} = k_g \cdot \frac{L}{4 \cdot k_k \cdot h_r} \cdot \left(\frac{h}{L} \right)^2 + k_c + k_g \cdot \left(1 - \frac{h}{L} \right)^2 + k_g \cdot \frac{h}{L} \quad (1.3)$$

şeklinde vermiştir (Luikov ve diğ., 1968). Burada, h_r = partikül mikro pürüzlülüğü yüksekliği

k_g = bir mikro aralık içinde toplam moleküler ve radyoaktif ısı iletkenliği (W/mK),

k_c = taneli malzemelerin temas ısı iletkenliği (W/mK),

k_k = partikül adhezyon katsayısıdır. Yazar, denklem sonuçlarının, 100 °C üzerindeki sıcaklıklarda, deneysel çalışma sonuçları ile uyum içinde olduğunu göstermiştir.

Buonanno ve Carotenuto, gözenekli katıları iki-fazlı sistem gibi kabul ederek, efektif ısı iletim katsayılarının hesaplanması için bir metot geliştirmişlerdir (Buonanno ve Carotenuto, 1997).

Peng, Mizukami ve Liu, gözenekli malzemelerin kurutulmasında ısı ve kütle transferini incelemişler, bu konuda matematiksel bir model geliştirmişlerdir (Peng ve diğ., 1996).

Kim, gözenekli malzemelerde ısı transfer katsayısının bulunması ile ilgili çalışmalar yapmıştır (Kim, 1993).

Yurt içinde de gözenekli malzemelerin ısı iletkenlik katsayısı ile ilgili bir çok çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan bazıları şunlardır:

Biçer, termik santral uçucu külleri ile çeşitli bağlayıcılar kullanarak yapay gözenekli malzemeler üretmiş ve deney sonuçları ile geliştirilen matematiksel model sonuçlarının mukayesesi yapmıştır (Biçer, 1990).

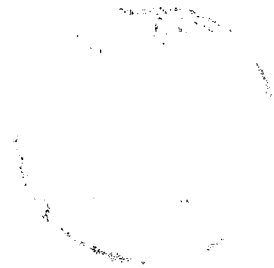
Biçer ve arkadaşları tarafından, Türkiye'nin bir çok yöresinde yapı malzemesi olarak kullanılan doğal taşlarla deneysel çalışmalar yapılmış ve deney sonuçları yayınlanmıştır (Biçer ve diğ., 1993; Biçer ve diğ., 1994; Biçer ve Yıldız, 1996).

Tavman, farklı gözenek ve tane büyüklüğündeki yapı kumlarının, hot-wire yöntemini kullanarak ısı iletkenliklerini deneysel olarak incelemiştir (Tavman ve Tavman, 1994).

Yine Tavman tarafından, çeşitli buğday türlerinin, geliştirilmiş hot-wire yöntemi ile ısı iletkenlikleri ölçülmüştür. Sonuçlar, geliştirilen matematiksel bir model sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Tavman ve Tavman, 1996).

Esen, gözenekli cisimlerde ısı geçişini inceleyerek, analizini yapmıştır (Esen, 1997).

İğci' de poroz ortamlarda ısı geçişini incelemiş, sıkıştırılmış küresel yataklar için bir dispersiyon modeli kurarak dispersiyon etkilerini araştırmıştır (İğci, 1990).



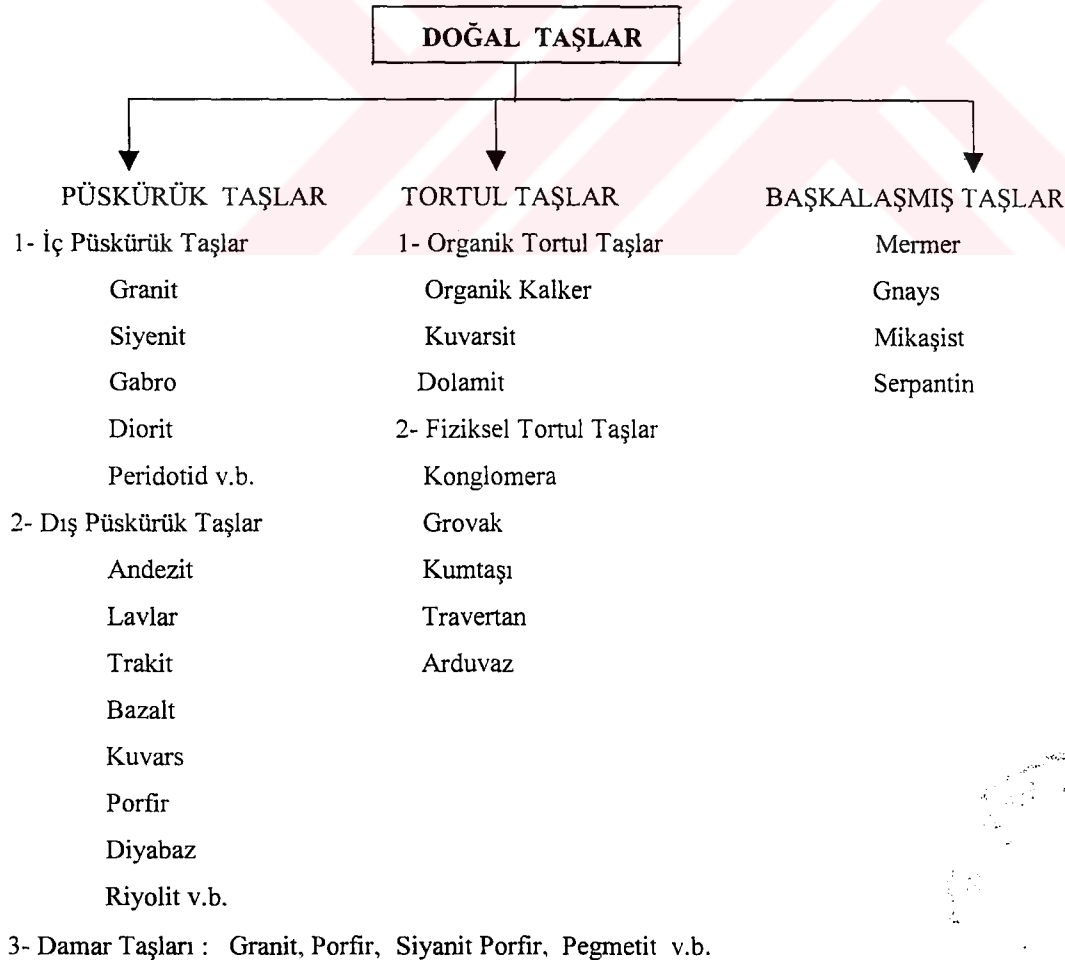
2. TAŞLAR HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Taşlar, dünya üzerinde her yerde görülebilen, yer kabuğunun yapısında bulunan bir çok mineralden meydana gelmiş kırılgan maddelerdir.

Yapılarda kullanılan doğal yapı taşları, doğadaki mevcut taş ocaklarından çıkarılan. homojen, atmosfer etkilerine dayanıklı, petrografik ve teknolojik özellikleri bakımından yapı işlerinde kullanılmaya elverişli taşlardır.

Taşlar kendilerini meydana getiren maddelerin cinsine ve dış tesirlerin durumuna göre çok değişik yapıda olabilirler. Bu sebeple, yapı malzemesi olarak kullanılacakları zaman, bu malzeme iyi bilinmelidir. Taşlar genellikle jeolojik yapılarına ve oluşum tarzına göre sınıflandırılırlar (Güner ve Süme, 2000).

Tablo 2.1 Doğal taşların sınıflandırılması.



2.1. Püskürük Taşlar

Mağma denilen ve yer küresi içinde bulunan kızgın ve erimemiş kütleler, yer kürenin zayıf bulunduğu noktalardan özellikle yanar dağlardan püskürerek dışarı çıkar ve havanın tesiri ile soğurlar. Katılaşır ve sert bir yapıya sahip olurlar. Bazen de yer yüzüne çıkmadan sertleşirler (iç püskürük taşlar). Bu şekilde oluşan taşlara püskürük taşlar denir (Güner ve Süme, 2000).

2.1.1. İç Püskürük Taşlar

Granitler, beyaz, gri, yeşil, mavi ve pembe renklerde bulunup, esasını kuvars, feldispat ve mika mineralleri oluşturur. Sert ve sağlam bir taştır. Yoğunluğu 2600-2800 kg/m³ arasındadır. Basınca karşı dirençleri 1600- 2400 N/cm² arasındadır. Türkiye’de Çanakkale, Bursa, Bandırma, Keskin ve Gümüşhane’de işletmeleri vardır. Sert oluşları nedeniyle işlenmeleri zordur. Kolay yarılabildiğinden merdiven basamağı, moloz taşı, kaba yonu taşı, döşeme kaplamaları, kaldırım ve bordür taşı ve mıcır imalinde kullanılır. İyi cila tutar.

Siyanit, granit cinsinden olup, koyu gri, koyu yeşil ve kırmızı renkte olabilir. Granitten farklı olarak içerisinde kuvars minerali bulunmaz. Granitin kullanıldığı yerlerde kullanılırlar ve iyi cila tutarlar.

Diorit, gri, koyu yeşil ve beyaz renklerde bulunan granit grubu bir taştır. Bünyesinde farklı mineraller bulunabilir. Konya ve Doğu Karadeniz bölgesinde yatakları mevcuttur. Granitin kullanıldığı yerlerde kullanılırlar.

Gabro, feldispat minerali esastır. İşlenebilir ve iyi cila tutar. Koyu yeşil ve zeytin yeşili renklidir. Türkiye’de çok az bulunur (Güner ve Süme, 2000).

2.1.2. Dış Püskürük Taşlar

Bu gruptan olan, andezitler, porfirlerin yeni zamanda oluşmuş cinslerine denir. Gri, kırmızı, yeşil, pembe veya siyahımsı renklerde olurlar. Türkiye’de Erciyes, Tendürek, Süphan, Ağrı dağı ve Ankara civarında bulunur. Kolay işlenip kesme taş haline getirilebilir. Çok kullanılan, iyi bir yapı taşıdır (Güner ve Süme, 2000).

Trakit, ülkemizdeki volkanik taşların çoğu bu gruptandır. Kütlelerinde çatlaklar bulunur. Ocaklarda bu çatlaklardan yararlanılarak çıkartılır. Renkleri açık ve koyu gri, sarımsı ve kırmızımsı olur. Hava tesirlerine bazıları dayanıksızdır. Yoğun ve sert olanları inşaatlarda, merdiven basamaklarında, kaplama işlerinde kullanılır. Türkiye’de Afyon’da yatakları vardır.

Bazalt, renkleri koyu gri ve siyahtır. Türkiye’de Afyon, Diyarbakır ve Trakya’da yatakları vardır. Genellikle altıgen prizma ve sütunlar halinde bulunur. Çok sert ve ağır bir taştır. Temellerde, yol, köprü ve rıhtım gibi yerlerde kullanılır.

Lavlar, kızgın magmanın yeryüzüne çıkması ve sertleşmesinden meydana gelir. Serttirler, püskürme esnasında etrafa saçılan kütlelerin soğuması ile volkanik cürüflar meydana gelir. Çok gözenekli, volkanik cürüflara ve lavlara genellikle volkanik tüf adı verilir. Bazalt lavları sert olduğundan yapı taşı olarak kullanılırlar. Trakit tüfü olan bims hafif beton agregası olarak kullanılır. Çimentoya katılan tras ise, yine bir volkanik tüftür.

2.2. Tortul Taşlar

Mevcut taşların zamanla dış tesirlerle ufalanmaları, sonradan birbiri ile karışarak tabii bir bağlayıcı ile yeniden sertleşmesi sonucu oluşan taşlardır. Genellikle tabakalar halindedir. İçerisinde fosiller bulunur.

Kalkerler, kalsiyum karbonat (CaCO_3) ile aralarına karışmış diğer minerallerden meydana gelirler. Üzerlerine herhangi bir asit dökülmesi durumunda köpürürler. Saf kalkerin özgül ağırlığı 2700 dür. Sertlik derecesi 3 olan kalker kolay işlenir. Yapıda moloz taşı, yonu taş, kaplama taşı olarak kullanılırlar.

Dolomit, magnezyum ve kalsiyum karbonattan oluşur. Rengi genellikle beyazdır. Kalkerden daha serttir ve asitlere karşı dayanıklıdır.

Kuvarzit, renkleri beyaz ve açık gridir. İşlenmesi zordur ve genellikle mıcır üretiminde kullanılırlar.

Traverten, kalker türü grubundandır. Gözenekleri büyüktür. Renkleri gri, sarı ve kahverengi arasındadır. Oldukça serttir. Türkiye’de Çankırı ve Denizli’de bulunan traverten kolay işlenir ve kolay kesilirler. Yapıda genellikle kaplama işlerinde kullanılırlar (Güner ve Süme, 2000).

Arduvaz, siyah ve koyu gri renkli, sık ve homojen dokulu, içersinde prit billurları bulunduğundan parıldayan bir taştır. Sık dokulu ve gözeneksiz olanları yapı işlerinde kullanılabilir. Duvar ve çatı kaplaması olarak levhalar halinde kullanılırlar. Dona ve yüksek ısıya dayanıklıdırlar. Türkiye’de İznik civarında bulunurlar.

Konglomeralar, irili ufaklı taş parçalarının tabii bir bağlayıcı ile birleştirilmesi sonucu oluşmuş taşlardır.

2.3. Başkalaşmış Taşlar

Yerkabuğunun altındaki kızgın kütlenin, kabuğun altındaki tortul taşları yüksek ısı ile başkalaştırması sonucu oluşan taşlardır. Kristalsiz bir yapıya sahip olan tortul taşlar, ısı ve basınç etkisiyle kristal bir yapıya sahip olurlar. Bu taşlara metamorfik taşlarda denir.

Mermerler, kalker ve dolomitlerin yerkabuğu altında basınç ve sıcaklık tesiri ile değişikliğe uğraması sonucu oluşmuş taşlardır. Mermerler %95 kalsit, az miktarda silis, silikat ve demir oksit gibi minerallerden meydana gelir. Genellikle beyaz ve grimsi renkte olurlar. İçersindeki değişik maden oksitleri ile mor, yeşil, kırmızı, pembe ve siyah renklerde olabilir. Bazen de damarlar halinde renkli oluşları, bu taşlara daha güzel bir görünüm verir. Afyon ve Marmara’da bol miktarda yatakları vardır. Ocaklardan kare veya dikdörtgen prizma şeklinde kesilerek çıkarılırlar. Tabakalar halinde atölyelerde yarılarak plakalar halinde kesilirler. Parlatılıp, kenarları düzleştirilir ve kullanılmaya hazır hale getirilir. Mermerler kolay işlenir ve iyi cila tutarlar. Boşluksuz ve serttirler. Bu nedenle yapılarda merdiven kaplaması, döşeme ve duvar kaplaması, tezgah, kurna ve tuvalet taşı yapımında kullanılırlar.

Gyans, granite benzer fakat granit gibi iyi değildir. Dondan çabuk etkilenir. Tabakalı bir yapıya sahiptir. Kaldırım taşı veya kırma taşı olarak kullanılırlar.

Mikaşist, mika ve kuvars minerallerinden meydana gelen bu taş, toprak halindeki minerallerin tabakalar halinde dizilmesinden oluşmuştur. Kabul gören bir taş çeşidi değildir (Güner ve Süme, 2000).

Serpantin, açık yeşil, koyu yeşil, sarımtırak ve kahverengi renklerde olan bir taştır. Yılan derisi görünüşlü olduğundan serpantin adını alır. Kolay cilalanır. Süs eşyası

yapımında kullanılır. Serpantin yatakları içinde çoğu defa krom ve manganez yatakları bulunur.

2.4. Taşlarda Aranılan Genel Özellikler

Homojenlik, taşın çeşitli noktalarındaki sertlik, bileşim, mukavemet, deformasyon kabiliyetlerinin aynı olmasıdır. Aşınmalar aynı olmalıdır, vurulduğunda sivri parçalar halinde kırılmalıdır.

Yatak satırları: Taşlar yatak satırlarına dik doğrultuda daha çok yük taşırlar ve daha az su emerler.

Sertlik: Taşların sertlikleri mineral yapısına bağlıdır. Taşların sertliğini tesbit etmekle mukavemeti hakkında yaklaşık bir bilgi elde edilir. Sert taşlar dış tesirlere dayanıklı taşlardır. İçerisinde silis bulunan taşlar çoğunlukla serttir. Her taşın belli sertlikte olması gerekir. Eğer taş tırnakla çiziliyorsa sertliği 2'den az, eğer taş çinkoyla çiziliyorsa sertliği 3'den az, eğer taş adi camla çiziliyorsa sertliği 4-5 arası, eğer taş çelik çakı ile çiziliyorsa sertliği 5-6 arasında olduğu kabul edilir.

Birim ağırlık: Taşın birim ağırlığı 2-3 arasındadır. Ağırlığın fazla oluşu, boşluksuz veya az boşluklu olduğunu gösterir.

Porozite: Birim hacimdeki boşluk (gözenek) miktarıdır. Porozitesi fazla olan taşlar mukavemetsiz taşlardır. Kolay aşınırlar, renklerini çabuk kaybederler, geçirimsizlikleri fazladır.

Geçirimsizlik: Taşların sıvı gazları geçirme olayıdır. Genel olarak taşların geçirimsizliği oldukça azdır.

Kapilarite: Doğal taşlarda boşluklar iki çeşittir. Boşlukların bir kısmı gözle görülemeyecek kadar küçük, bir kısmı ise gözle görülebilecek kadardır. Çok küçük olan boşluklar, taşın içerisinde kapiler boru şebekesini meydana getirirler. Bu borular vasıtasıyla bina temelinde suyla, rutubetle temasta olan taş, bu suyu yapının üst kısımlarına kadar iletirler ki buda istenmeyen bir olaydır.

Dona dayanıklılık: Boşluklara giren su donunca hacmi artar. Girdiği yere basınç yapar ve çatlatır. Su -10°C ' de 1140 N/cm^2 basınç meydana getirir.

Genleşme: Sıcaklık farkları nedeniyle taşların boyca uzama ve kısalmasıdır. Bazaltta uzama $1 \times 10^{-5} \text{ m}$ civarındadır (Güner ve Süme, 2000).

Aderens: Doğal taşların, harçlara ve betona yapışabilme kabiliyetidir. Taş ile bağlayıcılar arasındaki aderansın iyi olabilmesi için;

- Su bir miktar taşın içine geçmelidir,
- Taşın yüzeyi pürüzlü olmalıdır,
- Taşın yüzeyi temiz olmalıdır.

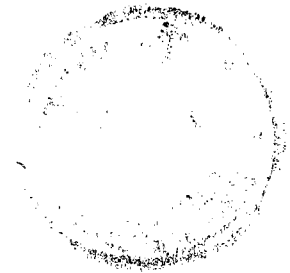
Renk ve doku iyi olması mimari ve dekoratif maksatla kullanılan taşların bu özelliklerini muhafaza etmesi çok önemlidir.

Mekanik özellikleri: taşın dayanım özellikleridir. Farklı ocaklardan çıkarılan taşlar aynı cins taş olsa bile farklı mukavemet gösterirler. Önem arz eden yapılarda taşlar aynı ocaktan alınmalı ve mukavemetleri denenmelidir.

2.5. Yapı Taşlarında Aranılan Genel Özellikler

Yapıda kullanılan taşlar kullanılacakları yere göre bazı özellikler taşınmalıdır. Bayındırlık Bakanlığı Yapı İşleri Fenni Şartnamesine göre yapı taşlarında şu özellikler aranır; Yapıda kullanılacak taşlar, aynı cins, karışksız, sert, iyi teşekkül etmiş, damarsız, çatlaksız, yarıksız, dona dayanıklı ve ocak suyunu kaybetmiş olmalıdır. Toprakta, organik ve benzeri küçük maddelerden arınmış , lav benzeri, şistli, henüz oluşumunu tamamlamamış yumuşak taşlar, uzun süre hava tesirine maruz kalmış yapı enkazı taşlar kesinlikle kullanılmamalıdır. Taşların harca yapışma kabiliyetleri tam olmalıdır. Kırılınca, kırılan yüzeyleri sedef gibi veya pul pul olan taşlar sertte olsalar harca yapışma kabiliyetleri olmadığından kullanılmayacaktır.

Yapıda kullanılacak taşların, ocak taşı olması gereklidir. Derelerden toplanan taşlar yuvarlak olduğundan bağlanma sağlanamaz. Ocaktan çıkarılan taşlar, ocak nemini üzerinde taşıdığından yumuşak ve mukavemetleri azdır. Bu esnada işlenmeleri kolaydır. Açık havada kalan taş nemini kaybeder ve sertleşir (Güner ve Süme, 2000).



3. GÖZENEKLİ TAŞLARDA ISI İLETKENLİĞİNİN KURAMSAL İNCELENMESİ

3.1.Yapılan Kabuller

1- Gözenekli taşlardan geçen ısı, kondüksiyonla (iletimle), konveksiyonla (taşıma) ve radyasyonla (ışınım) gerçekleşir. Bu çalışmada taşlardaki gözenek çaplarını (çoğunlukla) 1 cm den küçük olduğu, dolayısıyla $Ra = Gr \cdot Pr < 10^3$ olacağından, doğal taşınım oluşmadığı, ısıнын iletim yoluyla geçtiği kabul edilmiştir (Onat, 1988).

2- Radyasyonla ısı transferi, Stefan-Boltzman kanununa göre

$$q_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

denklemleri ile verilir (Incropera ve DeWitt, 2001). Gözeneklerin cidar sıcaklıkları birbirine çok yakın olacağından ($T_1 \approx T_2$) radyasyon yoluyla ısı geçişi ihmal edilecektir. Problemin bir boyutlu ve sürekli rejide olduğu kabul edilmiştir.

3- Gözenek şekilleri düzensiz ve kompleks geometrik şekle sahiptir. Isı akışı yönündeki kesiti sabit alabilmek için, gözenek kesitleri kare şeklinde kabul edilmiştir.

4- Malzeme yapısında rutubet olmadığı kabul edilmiştir.

3.2.Gözenekli Taşlarda Isıl İletkenlik Hesabı İçin Kuramsal Bir Model

Değişik ısı iletkenlik değerlerine sahip malzemelerden oluşan heterojen bir yapının ortalama ısı iletkenliğine efektif ısı iletkenlik denir. Gözenekli taş malzemelerin, efektif ısı iletkenliği; porozite, katı malzemenin ısı iletkenliği, gözenek içi gazın ısı iletkenliği, yoğunluk gibi bir çok parametrenin bir fonksiyonudur.

$$k_{ef} = f(\phi, k_s, k_g, \rho, \dots)$$

Gözenekli taşlarda, genel olarak gözenek şekilleri bilinen geometrik şekillere uymaz. Gözenek şekilleri ne kadar kompleks ise taşın porozitesi o kadar büyük çıkar. Gözenekler yapıda genellikle rastgele ve irili ufaklı dağılmış vaziyettedir. Gözenekli yapı için şekildeki gibi fiziksel bir model ve modeldeki bir tek elemanter hücre ele alınabilir. Elemanter hücre kenarları, yani matrisi sıfır poroziteli ve içinde de, içi durgun hava dolu gözenek küp olarak kabul edilmiştir.

3. GÖZENEKLİ TAŞLARDA ISI İLETKENLİĞİNİN KURAMSAL İNCELENMESİ

3.1.Yapılan Kabuller

1- Gözenekli taşlardan geçen ısı, kondüksiyonla (iletimle), konveksiyonla (taşıma) ve radyasyonla (ışınım) gerçekleşir. Bu çalışmada taşlardaki gözenek çaplarını (çoğunlukla) 1 cm den küçük olduğu, dolayısıyla $Ra = Gr \cdot Pr < 10^3$ olacağından, doğal taşınım oluşmadığı, ısıнын iletim yoluyla geçtiği kabul edilmiştir (Onat, 1988).

2- Radyasyonla ısı transferi, Stefan-Boltzman kanununa göre

$$q_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

denklemleri ile verilir (Incropera ve DeWitt, 2001). Gözeneklerin cidar sıcaklıkları birbirine çok yakın olacağından ($T_1 \approx T_2$) radyasyon yoluyla ısı geçişi ihmal edilecektir. Problemin bir boyutlu ve sürekli rejide olduğu kabul edilmiştir.

3- Gözenek şekilleri düzensiz ve kompleks geometrik şekle sahiptir. Isı akışı yönündeki kesiti sabit alabilmek için, gözenek kesitleri kare şeklinde kabul edilmiştir.

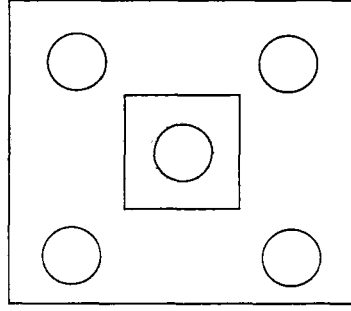
4- Malzeme yapısında rutubet olmadığı kabul edilmiştir.

3.2.Gözenekli Taşlarda Isıl İletkenlik Hesabı İçin Kuramsal Bir Model

Değişik ısı iletkenlik değerlerine sahip malzemelerden oluşan heterojen bir yapının ortalama ısı iletkenliğine efektif ısı iletkenlik denir. Gözenekli taş malzemelerin, efektif ısı iletkenliği; porozite, katı malzemenin ısı iletkenliği, gözenek içi gazın ısı iletkenliği, yoğunluk gibi bir çok parametrenin bir fonksiyonudur.

$$k_{ef} = f(\phi, k_s, k_g, \rho, \dots)$$

Gözenekli taşlarda, genel olarak gözenek şekilleri bilinen geometrik şekillere uymaz. Gözenek şekilleri ne kadar kompleks ise taşın porozitesi o kadar büyük çıkar. Gözenekler yapıda genellikle rastgele ve irili ufaklı dağılmış vaziyettedir. Gözenekli yapı için şekildeki gibi fiziksel bir model ve modeldeki bir tek elemanter hücre ele alınabilir. Elemanter hücre kenarları, yani matrisi sıfır poroziteli ve içinde de, içi durgun hava dolu gözenek küp olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3. 3 Gözenekli malzeme.

Isı akış yönü elemanter hücrenin düşey hatlarına paralel kabul edilirse, Fourier ısı iletim kanununa göre tek boyutlu ısı iletim ifadesi:

$$Q = -k.A \frac{dT}{dx} \quad (3.1)$$

şeklinde verilmektedir. Bu ifadenin entegrali alınırsa,

$$Q = \frac{T_{sic} - T_{soğ}}{\frac{1}{kA} L} \quad (3.2)$$

yazılabilir. Burada $\frac{L}{kA}$ ifadesi ısı direnç olup, R ile gösterilirse,

$$Q.R = T_{sic} - T_{soğ} \quad (3.3)$$

denklemini elde edilir. Şekil 3.4 de görülen elemanter hücreye ait dikey kesit incelendiğinde, gözenek etrafı 1 numaralı eleman, gözenek ile üst ve alt matris tabakaları 2 numaralı eleman olarak düşünülürse, (3.3) denklemini 1 ve 2 numaralı hücre elemanlarına tatbik edilerek, 1 numaralı hücre elemanı için:

$$T_1 - T_4 = Q_1 . R_{1s} = Q_1 . R_1 \text{ eş} \quad (3.4)$$

ifadesi, 2 numaralı hücre elemanı için (3.3) denklemini yazılıp taraf tarafa toplanırsa:

$$\begin{aligned}
 T_1 - T_2 &= Q_2 \cdot R_{2s} \\
 T_2 - T_3 &= Q_2 \cdot R_{2g} \\
 + \quad T_3 - T_4 &= Q_2 \cdot R_{2s} \\
 \hline
 T_1 - T_4 &= Q_2 \cdot (R_{2s} + R_{2g} + R_{2s}) = Q_2 \cdot R_{2eş}
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

ifadesi yazılır. Diğer taraftan elemanter hücrenin tümü için,

$$Q = k_{eş} \cdot A \frac{(T_1 - T_4)}{L} = \frac{(T_1 - T_4)}{\frac{L}{k_{eş} \cdot A}} = \frac{(T_1 - T_4)}{R_{eş}} \tag{3.6}$$

ifadesi yazılır. Şekil 3.3 de görülen hücreden geçen ısı miktarı, bileşenlerinin paralel bağlı olmaları nedeniyle,

$$Q = Q_1 + Q_2 \tag{3.7}$$

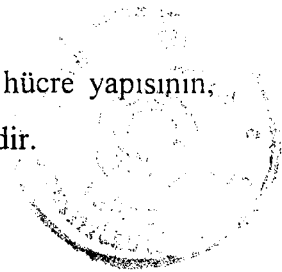
yazılabilir. (3.4), (3.5) denklemlerinden Q_1 ve Q_2 çekilip (3.7) denkleminde yerlerine konursa ,

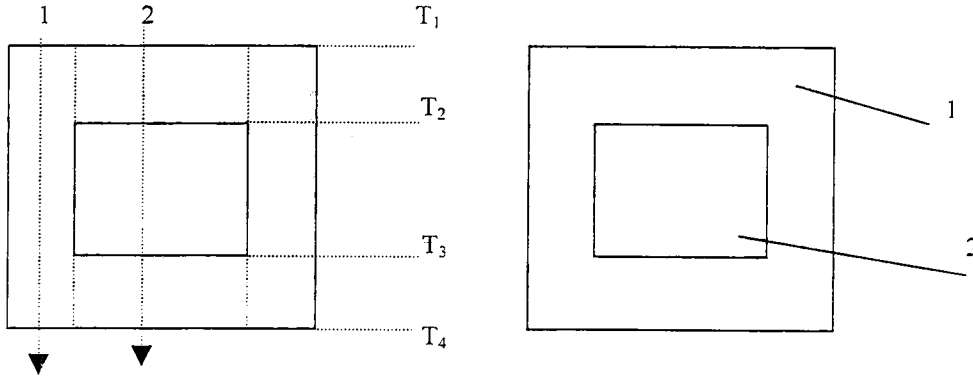
$$\frac{T_1 - T_4}{R_{eş}} = \frac{T_1 - T_4}{R_{1eş}} + \frac{T_1 - T_4}{R_{2eş}} \tag{3.8}$$

ifadesi elde edilir. Bu ifadenin iki tarafındaki $(T_1 - T_4)$ değerleri elimine edilirse,

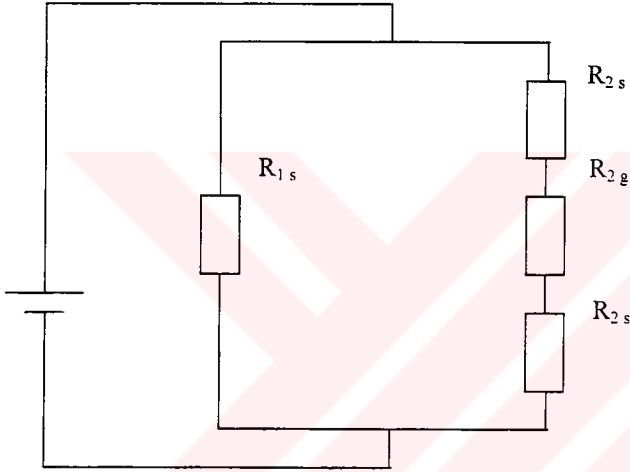
$$\frac{1}{R_{eş}} = \frac{1}{R_{1eş}} + \frac{1}{R_{2eş}} \tag{3.9}$$

ifadesi bulunur. Bu eşitlik Şekil 3.5 de gösterilen ve Şekil 3.4 e ait hücre yapısının; elektriksel benzeşim devre şemasındaki dirençlerin paralel bağlı ifadesidir.





Şekil 3.4 Elemanter hücreye ait dikey ve yatay kesit resmi.



Şekil 3.5 Dirençlerin paralel ve seri bağlanması.

Elektriksel benzeşim devresinin seri bağlı dirençleri toplanarak eşdeğer dirençleri aşağıdaki gibi yazılabilir (Parmaksızoğlu, 1989).

$$R_{1\text{eşdeğer}} = R_{1s} = \frac{L}{k_s(L^2 - l^2)}$$

$$R_{2s} = \frac{d}{k_s \cdot l^2} \quad \text{ve} \quad R_{2g} = \frac{l}{k_g \cdot l^2} \quad \text{olmak üzere}$$

$$R_{\text{eşdeğış}} = 2R_{2s} + R_{2g} = \frac{2.d}{k_s.l^2} + \frac{1}{k_g.l^2} \quad \text{yazılır.}$$

Bu eş değır dirençler (3.9) eşitliğine taşınırsa

$$\frac{1}{R_{\text{eş}}} = \frac{1}{\frac{L}{k_s(L^2 - l^2)}} + \frac{1}{\frac{2.d}{k_s.l^2} + \frac{1}{k_g.l^2}} \quad (3.10)$$

(3.10) eşitliği yazılır. Sadeleştirme yapılarak (3.11) eşitliği elde edilir.

$$\frac{1}{R_{\text{eş}}} = \frac{k_s(L^2 - l^2)}{L} + \frac{k_g.k_s.l^2}{2k_g.d + k_s.l} \quad (3.11)$$

Burada,

$L - l = 2d = h$ denir, ve buradan $l = L - h$ yazılarak, denklem (3.11)'e taşınırsa ara işlemler aşağıdaki gibi yapılarak (3.12) eşitliği elde edilir.

$$\frac{1}{R_{\text{eş}}} = \frac{k_s(L^2 - (L - h)^2)}{L} + \frac{k_g.k_s(L - h)^2}{2k_g \frac{h}{2} + k_s(L - h)}$$

$$\frac{1}{R_{\text{eş}}} = \frac{k_s(L^2 - L^2 + 2Lh - h^2)}{L} + \frac{k_g.k_s(L - h)^2}{k_g.h + k_s.(L - h)}$$

$$\frac{1}{R_{\text{eş}}} = \frac{k_s(2Lh - h^2)}{L} + \frac{k_g.k_s(L - h)^2}{k_g.h + k_s.(L - h)}$$

$$\frac{1}{R_{e\dot{s}}} = k_s \cdot L \left[\left(2 \frac{h}{L} - \frac{h^2}{L^2} \right) + \frac{k_g \frac{(L-h)^2}{L}}{k_g \cdot h + k_s (L-h)} \right] \quad (3.12)$$

Öte yandan elemanter hücrenin tümü için,

$$R_{e\dot{s}} = \frac{L}{k_{e\dot{s}} \cdot L^2} = \frac{1}{k_{e\dot{s}} \cdot L} \quad \text{yazılır ve (3.12) eşitliğine taşınırsa, (3.13)}$$

eşitliği elde edilir.

$$k_{e\dot{s}} = k_s \left[\frac{h}{L} \cdot \left(2 - \frac{h}{L} \right) + \frac{k_g (L-h)^2}{k_g h \cdot L + k_s L \cdot (L-h)} \right] \quad (3.13)$$

(3.13) eşitliği, ara işlemlere tabi tutulup gerekli düzenlemeler yapılırsa (3.14) eşitliği şekline dönüşür.

$$k_{e\dot{s}} = k_s \left[\frac{h}{L} \left[1 + \left(1 - \frac{h}{L} \right) \right] + \frac{\left(1 - \frac{h}{L} \right)^2}{\frac{k_s}{k_g} \left(1 - \frac{h}{L} \right) - \left(1 - \frac{h}{L} \right) + 1} \right] \quad (3.14)$$

$1 - \frac{h}{L} = Z$ denirse, $\frac{h}{L} = 1 - Z$ şeklinde yazılabilir. Bu ifade (3.14) eşitliğine taşınırsa

$$k_{e\dot{s}} = k_s \cdot \left[(1-Z)(1+Z) + \frac{Z^2}{\frac{k_s}{k_g} \cdot Z - Z + 1} \right] \quad \text{şekline dönüşür. Denklem}$$

sadeleştirilirse,

$$k_{\text{efes}} = k_s \left[1 - Z^2 + \frac{Z^2}{Z \left(\frac{k_s}{k_g} - 1 \right) + 1} \right] \quad (3.15)$$

eşitliği elde edilir. Elemanter hücre için,

$V = L^3$ ve $V_k = L^3 - l^3$ yazılarak taraf tarafa oranlanırsa, (3.16) eşitliği elde edilir.

$$\frac{V_k}{V} = \frac{L^3 - l^3}{L^3} = 1 - \frac{l^3}{L^3} = 1 - \left(\frac{l}{L} \right)^3 \quad (3.16)$$

$$1 - \frac{h}{L} = Z \quad l = L - 2d = L - h \text{ ifadeleri kullanılırsa (3.16) eşitliği (3.17)}$$

eşitliğine dönüşür.

$$\frac{V_k}{V} = 1 - \left(\frac{L - h}{L} \right)^3 = 1 - \left(1 - \frac{h}{L} \right)^3 = 1 - Z^3 \quad (3.17)$$

Öte taraftan birim hücrenin hacmi,

$$V = V_g + V_k \text{ veya } \frac{V_g}{V} + \frac{V_k}{V} = 1 \text{ şeklinde yazılabilir. Burada } \frac{V_g}{V} = \phi \text{ (porozite)}$$

ifadesidir. Yani tanım gereği,

$$\text{Porozite} = \phi = \frac{\text{Gözenekli Hacim}}{\text{Toplam Hacim}} \text{ dir.}$$

O halde,

$$\frac{V_k}{V} = 1 - \frac{V_g}{V} = 1 - \phi \text{ yazılarak, ifade}$$

$\frac{V_k}{V} = 1 - \phi$ şeklini alır. Bu ifade (3.17) eşitliğine taşınırsa

$1 - Z^3 = 1 - \phi$ olur. Yani $Z^3 = \phi$ olarak elde edilir. (3.15) eşitliğinde Z yerine ϕ taşınırsa,

$$k_{\text{efeş}} = k_s \left[1 - \phi^{2/3} + \frac{\phi^{2/3}}{\phi^{1/3} \left(\frac{k_s}{k_g} - 1 \right) + 1} \right] \quad (3.18)$$

eşitliği elde edilir.

3.3. Modeldeki Parametrelerin Tespiti

Taş matrisinin ısı iletim katsayısı (k_s): Çalışılan taşlar sıfır poroziteli hale gelinceye kadar öğütülmüş ve ısı iletim katsayısı ölçme cihazında farklı prob kullanılarak toz hallerinin ısıl iletkenlik değerleri deneysel olarak tayin edilmiştir. Her taş için ölçülen değerler Tablo 3.1 de verilmiştir.

Gözenek içersindeki durgun havanın ısı iletkenliği (k_g): Gözenek içindeki gazın tamamen hava ile dolu olduğu kabul edilerek, ısı iletim katsayısı $k_g = 0,0257 \text{ W/m.K}$ olarak alınmıştır.

Porozite (ϕ) : Taşlara ait porozite tayininde yoğunluk yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde numune kütlesi için ,

$$M = \rho_k \cdot V_k = \rho_{\text{göz}} \cdot V_{\text{göz}} \quad (3.19)$$

yazılabilir (Biçer ve Yıldız, 1995). Burada,

ρ_k = Sıfır poroziteli taş yoğunluğu (gözeneklerin yok edilerek sıfır poroziteli halindeki yoğunluğu)

V_k = Sıfır poroziteli haldeki taş hacmi

$\rho_{\text{göz}}$ = Gözenekli taşın yoğunluğu (taşın mevcut hali ile yoğunluğu)

$V = V_{\text{göz}}$ = Gözenekli taşın hacmini

ifade etmek üzere (3.19) eşitliği

$$\frac{\rho_{göz}}{\rho_k} = \frac{V_k}{V}, \text{ burada } \frac{V_k}{V} \text{ yerine } (1-\phi) \text{ yazılırsa,}$$

$$\frac{\rho_{göz}}{\rho_k} = 1 - \phi \text{ 'den,}$$

$$\phi = 1 - \frac{\rho_{göz}}{\rho_k} \quad (3.20)$$

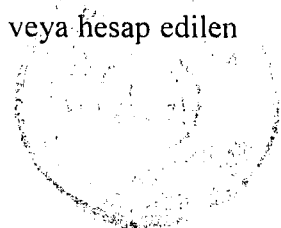
elde edilir. (3.20) denklemini taşlara uygulanarak hesaplanan poroziteler Tablo 3.1 de verilmiştir.

Tablo 3.1 Yöre taşlarının ölçülen veya hesap edilen yoğunluk, porozite, matris ve gözenek içi havanın ısı iletim katsayısı değerleri.

Taşın Adı	$\rho_{göz} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\rho_k \text{ (kg/m}^3\text{)}$	Porozite ϕ (%)	$k_s \text{ (W/mK)}$	$k_g \text{ (W/mK)}$
Karacadağ Taşı	2900	3850	25	2.93	0.0257
Midyat Taşı	1490	1740	14.4	1.32	0.0257
Mardin Taşı	1580	1820	13	1.4	0.0257
Nemrut Dağı Taşı	1400	1725	19	1.4	0.0257
Hasankeyf Taşı	2680	2900	7.6	3.1	0.0257
Şanlıurfa Taşı	2200	2700	18.52	2.22	0.0257
Karadağ Taşı	1860	2300	1.2	1.2	0.0257
Alidağ Taşı	2220	2430	8.6	1.74	0.0257

3.4. Örnek İki Numunenin Isıl İletkenliğine Ait Sayısal Çözüm

Gözenekli taşların ısı iletim katsayılarının hesaplanmasında kullanılmak üzere geliştirilen 3.18 numaralı denklemin uygulaması Diyarbakır Karacadağ ile Şanlıurfa taşlarına yapılmıştır. Denklemden kullanılacak parametrelerin ölçülen veya hesap edilen değerleri aşağıda verilmiştir (bu değerler Tablo 3.1 den alınmıştır).



Karacadağ Taşı için:

$$\rho_k = 3850 \quad \text{kg/m}^3$$

$$\rho_{göz} = 2900 \quad \text{kg/m}^3$$

$$k_s = 2.93 \quad \text{W/mK}$$

$$k_g = 0.0257 \quad \text{W/mK}$$

$$\phi = 0.25$$

$$k_{\text{efeş}} = k_s \left[1 - \phi^{2/3} + \frac{\phi^{2/3}}{\phi^{1/3} \left(\frac{k_s}{k_g} - 1 \right) + 1} \right]$$

denkleminde yukarıdaki değerler yerlerine yazılırsa

$$k_{\text{efeş}} = 2.93 \left[1 - (0.25)^{2/3} + \frac{(0.25)^{2/3}}{(0.25)^{1/3} \cdot \left(\frac{2.93}{0.0257} - 1 \right) + 1} \right] = 1.774 \quad \text{W/mK}$$

olarak bulunur.

Şanlıurfa taşı için:

$$\rho_k = 2700 \quad \text{kg/m}^3$$

$$\rho_{göz} = 2200 \quad \text{kg/m}^3$$

$$k_s = 2.22 \quad \text{W/mK}$$

$$k_g = 0.0257 \quad \text{W/mK}$$

$$\phi = 0.185$$

$$k_{\text{efeş}} = k_s \left[1 - \phi^{2/3} + \frac{\phi^{2/3}}{\phi^{1/3} \left(\frac{k_s}{k_g} - 1 \right) + 1} \right]$$

aynı şekilde Şanlıurfa taşı için yukarıdaki değerleri denklemde yerine yazarak işlemler yapılırsa sonuç,

$$k_{\text{efeş}} = 2.22 \left[1 - (0.185)^{2/3} + \frac{(0.185)^{2/3}}{(0.185)^{1/3} \left(\frac{2.22}{0.0257} - 1 \right) + 1} \right] = 1.51 \text{ W/mK}$$

bulunur. Diğer taşlar için hesaplanan değerler ise, Tablo 4.2 de verilmiştir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Deneylerde Kullanılan Yapı Taşları

Gözenekli taşların ısı iletim katsayısının hesaplanmasında kullanılmak üzere geliştirilen matematiksel bağıntının uygulamasını yapmak üzere ve aynı zamanda yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılacak olan doğal yapı taşları için Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Adıyaman, Batman, Diyarbakır, Mardin ve Şanlıurfa olmak üzere toplam 5 il taranmıştır. Bu illerde yöresel olarak kullanılan toplam sekiz adet taş ocağı tespit edilerek her taş için iki farklı noktadan olmak üzere toplam on altı blok numuneler alınmıştır. Taşların ortak özelliği, rezervlerinin zengin ve yörelerinde özellikle yığma kagir yapıların inşasında uzun yıllardan beri yaygın şekilde kullanılmış olmalarıdır. Bu illere ait yapı taşlarının tanımı aşağıda verilmiştir.

Hasankeyf Taşı: Taş ocağı Batman ilinden 35 km uzaklıkta tarihi bir özelliğe sahip Hasankeyf kazasının kuzeybatı tarafında ve yaklaşık 15 km mesafedeki Kesme Köprü-1 köyü sınırları içerisinde bulunmaktadır. Taş Kesme Köprü taşı olarak da anılmaktadır. Sedimenter kayalardan oluşmuş beyazımsı sarı renkli bir kalkerdir.

Karacadağ Taşı: Magmatik dış püskürük taşlar sınıfından olup bazalt türünde ve siyah renklidir. Diyarbakır ilinin merkez ve ilçelerinde bina yapımı ile özellikle ilin surlarının yapımında kullanılmıştır. Sertliği 6-7 mohs derecesinde olup işlenmesi oldukça güçtür.

Mardin Taşı: Mardin il merkezine 2 km uzaklıkta ve yol kenarında bulunan ocaktan çıkarılır. Beyazımsı sarı renkli bir kalkerdir.

Midyat Taşı: Mardin ili Midyat ilçesi Estel kasabasının Keferhuvvar köyü mevkiinde ve zengin ocaklara sahip halde bol miktarda bulunur. Özellikle Midyat ve yöresinde yapı malzemesi olarak çokça kullanılmaktadır.

Nemrut Dağı Taşı: Adıyaman ili Nemrut dağında bulunan beyaz renkli kalkerdir.

Şanlıurfa Taşı: Bölgede Karga Sabunu adıyla anılan bu taş organik tortul taş sınıfından olup rengi açık sarımtırak ve beyazımsıdır.

Karadağ Taşı: Adıyaman ilinin kuzeyinde ilçeye 3 km mesafede Pirin çayı ile Temruz köyü arasındaki mevkide bulunmaktadır. 300 metre yükseklikte bulunan taş

ocağına ulaşım oldukça kolaydır. Genelde yöre halkı tarafından inşaat malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Alıdağ Taşı: Taş ocakları Adıyaman ilinin güney doğusunda merkez ilçeye 10 km mesafede bulunan Terman köyü ile Ziyaret çayı arasındaki mevkidedir. 500 metre yükseklikte olup ulaşım kolaydır.

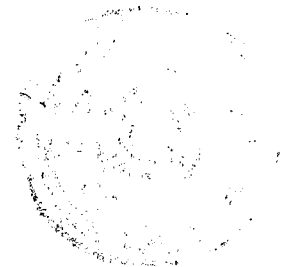
Karacadağ Taşı'nın haricindeki işlenen diğer taşların sertliği 3-4 mohs sertlik derecesinde olup, ocaktan çıkarıldıktan sonra, içerdiği nemi kaybetmediği ve dış ortamın kimyasal tesirlerine uzun süre maruz kalmadığı sürece, diğer yapı taşlarına göre rahatça şekillendirilip işlenebilmektedirler. Bu durumuyla taşlar, ahşap gibi testere ile kesilebilmekte, matkapla delinebilmekte, sert kesiciler ile yontulabilmekte ve hatta çivi çakılabilmektedir. Taşların sahip olduğu bu cazip özellik, yörelerinde inşa edilen binalarda yapı malzemesi olarak çok itibar görmesini sağlayan önemli nedenler arasında yer almaktadır. Karacadağ taşı ise siyah renkli bir volkanik bazalt taşı olup işlenmesi oldukça güçtür. Bu yüzden bu tür taşların, yapı taşı olarak kullanılmasının yanında dolgu malzemesi, temel, döşeme kaplaması, kaldırım ve merdiven gibi çok yerde kullanılması uygundur.

4.2. Deneysel Çalışmada Uygulanan Ölçme Yöntemleri

Her yörenin taş ocaklarından alınan blok kütlelerden, taşların ısı iletim katsayıları, özgül ısı kapasiteleri, yoğunluk ve su emme özelliklerini belirlemek üzere, ısı iletkenlik ölçme aletinin probuna uygun olarak (150 x 60 x 20) mm ve yine basınç ve aşınma deneyleri için (71x71x71) mm ebatlarında numuneler hazırlanmıştır. Taş numunelere uygulanan ölçme yöntemleri ve analizler aşağıda özetlenmiştir.

4.2.1. Malzemelerin Kimyasal Analizleri

Elazığ Çimento Fabrikası Laboratuvarları'nda gerçekleştirilen kimyasal analiz sonuçlarında taşların içindeki kimyasal bileşenlerle, tayin edilemeyen ve kızdırma kaybına uğrayan miktarlar Tablo 4.1 de verilmiştir.



ocağına ulaşım oldukça kolaydır. Genelde yöre halkı tarafından inşaat malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Alidağ Taşı: Taş ocakları Adıyaman ilinin güney doğusunda merkez ilçeye 10 km mesafede bulunan Terman köyü ile Ziyaret çayı arasındaki mevkidedir. 500 metre yükseklikte olup ulaşım kolaydır.

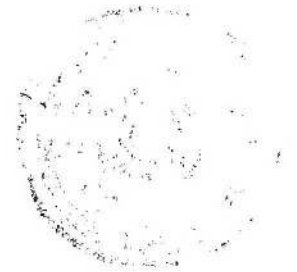
Karacadağ Taşı'nın haricindeki işlenen diğer taşların sertliği 3-4 mohs sertlik derecesinde olup, ocaktan çıkarıldıktan sonra, içerdiği nemi kaybetmediği ve dış ortamın kimyasal tesirlerine uzun süre maruz kalmadığı sürece, diğer yapı taşlarına göre rahatça şekillendirilip işlenebilmektedirler. Bu durumuyla taşlar, ahşap gibi testere ile kesilebilmekte, matkapla delinebilmekte, sert kesiciler ile yontulabilmekte ve hatta çivi çakılabilmektedir. Taşların sahip olduğu bu cazip özellik, yörelerinde inşa edilen binalarda yapı malzemesi olarak çok itibar görmesini sağlayan önemli nedenler arasında yer almaktadır. Karacadağ taşı ise siyah renkli bir volkanik bazalt taşı olup işlenmesi oldukça güçtür. Bu yüzden bu tür taşların, yapı taşı olarak kullanılmasının yanında dolgu malzemesi, temel, döşeme kaplaması, kaldırım ve merdiven gibi çok yerde kullanılması uygundur.

4.2. Deneysel Çalışmada Uygulanan Ölçme Yöntemleri

Her yörenin taş ocaklarından alınan blok kütlelerden, taşların ısı iletim katsayıları, özgül ısı kapasiteleri, yoğunluk ve su emme özelliklerini belirlemek üzere, ısı iletkenlik ölçme aletinin probuna uygun olarak (150 x 60 x 20) mm ve yine basınç ve aşınma deneyleri için (71x71x71) mm ebatlarında numuneler hazırlanmıştır. Taş numunelere uygulanan ölçme yöntemleri ve analizler aşağıda özetlenmiştir.

4.2.1. Malzemelerin Kimyasal Analizleri

Elazığ Çimento Fabrikası Laboratuvarları'nda gerçekleştirilen kimyasal analiz sonuçlarında taşların içindeki kimyasal bileşenlerle, tayin edilemeyen ve kızdırma kaybına uğrayan miktarlar Tablo 4.1 de verilmiştir.



ocağına ulaşım oldukça kolaydır. Genelde yöre halkı tarafından inşaat malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Alidağ Taşı: Taş ocakları Adıyaman ilinin güney doğusunda merkez ilçeye 10 km mesafede bulunan Terman köyü ile Ziyaret çayı arasındaki mevkidedir. 500 metre yükseklikte olup ulaşım kolaydır.

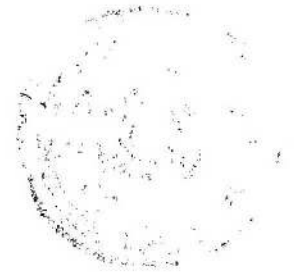
Karacadağ Taşı'nın haricindeki işlenen diğer taşların sertliği 3-4 mohs sertlik derecesinde olup, ocaktan çıkarıldıktan sonra, içerdiği nemi kaybetmediği ve dış ortamın kimyasal tesirlerine uzun süre maruz kalmadığı sürece, diğer yapı taşlarına göre rahatça şekillendirilip işlenebilmektedirler. Bu durumuyla taşlar, ahşap gibi testere ile kesilebilmekte, matkapla delinebilmekte, sert kesiciler ile yontulabilmekte ve hatta çivi çakılabilmektedir. Taşların sahip olduğu bu cazip özellik, yörelerinde inşa edilen binalarda yapı malzemesi olarak çok itibar görmesini sağlayan önemli nedenler arasında yer almaktadır. Karacadağ taşı ise siyah renkli bir volkanik bazalt taşı olup işlenmesi oldukça güçtür. Bu yüzden bu tür taşların, yapı taşı olarak kullanılmasının yanında dolgu malzemesi, temel, döşeme kaplaması, kaldırım ve merdiven gibi çok yerde kullanılması uygundur.

4.2. Deneysel Çalışmada Uygulanan Ölçme Yöntemleri

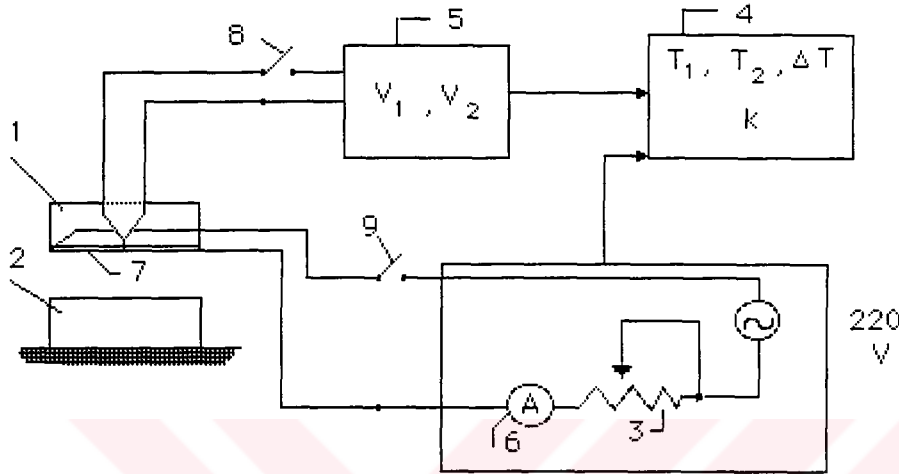
Her yörenin taş ocaklarından alınan blok kütlelerden, taşların ısı iletim katsayıları, özgül ısı kapasiteleri, yoğunluk ve su emme özelliklerini belirlemek üzere, ısı iletkenlik ölçme aletinin probuna uygun olarak (150 x 60 x 20) mm ve yine basınç ve aşınma deneyleri için (71x71x71) mm ebatlarında numuneler hazırlanmıştır. Taş numunelere uygulanan ölçme yöntemleri ve analizler aşağıda özetlenmiştir.

4.2.1. Malzemelerin Kimyasal Analizleri

Elazığ Çimento Fabrikası Laboratuvarları'nda gerçekleştirilen kimyasal analiz sonuçlarında taşların içindeki kimyasal bileşenlerle, tayin edilemeyen ve kızdırma kaybına uğrayan miktarlar Tablo 4.1 de verilmiştir.



malzeme yalıtılmış ve iletkenliği bilinen plaka (prob), alttaki malzeme ise ısı iletkenliği bilinmeyen ölçülecek olan numunedir. Cihaz, 0.02 - 10 W/mK aralığında %5+1 basamak duyarlılıkla ölçme yapabilmektedir (Denko, 1988). Bu bakımdan ölçmeler. çalışmada aranabilecek duyarlığa ve amaca uygun ölçüde sağlıklıdır.



1: Ölçme probu, 2: İletkenliği bilinmeyen malzeme, 3: Ayarlı direnç (Potansiyometre) 4: Mikro bilgisayar, 5: Milivoltmetre, 6: Ampermetre, 7: Sıcak tel , 8,9: Anahtar.

Şekil 4.3 Isıl iletkenlik katsayısı ölçme cihazı devre şeması.

Ölçüme başlamadan önce cihaz kataloguna göre, cihazın kalibrasyon işlemi yapılır. Bundan sonra 8 numaralı anahtar kapatılarak termo eleman devresindeki 5 numaralı mili voltmetre ile V_1 gerilimi tespit edilir. Bu gerilime tekabül eden T_1 sıcaklığı, dijital olarak ekranda okunur. Bu işlemin ardından 9 numaralı anahtar kapatılıp ısıtıcı tele 60 saniye süre ile elektrik akımı verilerek, tel sıcaklığındaki yükselme V_2 gerilimine göre ekranda T_2 sıcaklığı olarak tespit edilir. Burada T_1 - T_2 sıcaklık farkı da ΔT şeklinde ekranda görünerek aynı anda ısı iletkenlik katsayısı dijital olarak W/mK biriminde okunur. Bu işlemler her ölçüm için yeniden tekrarlanarak ölçümler sürdürülmüştür. Bu yöntemde ısı iletkenlik,

$$k = \frac{q.L.n.\left(\frac{t_2}{t_1}\right)}{4.\pi.\Delta T} \quad (4.1)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. (4.1) eşitliğinde; $q = R.I^2 / L$ (L ısıtıcı tel uzunluğu) ve elektrik - ısı enerjisi dönüşümü $V_2 - V_1 = \zeta \cdot (T_2 - T_1) = \zeta \cdot \Delta T$, termo elemanın gerilim ve sıcaklık ilişkisi kullanılırsa,

$$k = \frac{R \cdot \frac{I^2}{L} \cdot \ln\left(\frac{t_2}{t_1}\right)}{\frac{4 \cdot \pi}{\zeta} \cdot (V_2 - V_1)} \quad (4.2)$$

elde edilir. Bu denklemde $R \cdot \zeta / 4 \cdot \pi \cdot L = K$ değeri sabit olup, kullanılan prob üzerinde (K) değeri verilmiştir. Bu durumda (4.2) eşitliği

$$k = \frac{K \cdot I^2 \cdot \ln\left(\frac{t_2}{t_1}\right)}{(V_2 - V_1)} \quad (4.3)$$

şeklini alır. Ölçme probu ısı iletkenliği bilinen bir malzeme olup, çok iyi izole edilmesine rağmen, çalışma sırasında bazı ısı kayıpların meydana geleceği varsayılarak, H sabiti ifadeye eklenirse (4.3) eşitliği;

$$k = \frac{K \cdot I^2 \cdot \ln\left(\frac{t_2}{t_1}\right)}{(V_2 - V_1)} - H \quad (4.4)$$

şeklini alır. Deney numunelerinin ölçümünde QTM-PD-2 tipi ve 10190 seri numaralı prob kullanıldı. Bu proba ait sabit değerler, cihaz katalogundan alınmış olup bunlar $K=276 \cdot 10^{-4}$ ve $H=55 \cdot 10^{-3}$ dır.

Ölçülecek numunelerin toz veya blok halinde olması ve yüzey pürüzlülüğüne göre farklı prob kullanılır. Her standart QTM probunun farklı K ve H sabitleri vardır. Cihaz ince ayarı, ölçümlerden önce bu sabitlere göre ayarlanarak, ısı iletkenliği (4.4) eşitliğinden cihaz içindeki mikrobilgisayar ile hesaplanır (Denko, 1988). Her yöre taşı için iki ocaktan alınan taş numuneleri, cihazın ölçme probuna uygun ebatlarda

hazırlandıktan sonra, her numunenin üç ayrı noktasından 23 - 33°C aralığında ısı iletkenlik katsayıları ölçülmüş ve aritmetik ortalamaları alınarak sonuçlar Tablo 4.2 de gösterilmiştir.

Tablo 4.2 Taş numuneler ile bazı yapı malzemelerinin fiziksel özellikleri (Toksoy, 1988).

Taşın Adı	Isıl İletkenlik (W/mK)		Özgül Isı Kapasitesi Cp (J/kg°C)	Isıl Yayılma a.10 ⁻⁷ (m ² /s)	Yoğunluk ρ (kg/m ³)
Beton	0.814		879	4.9	1906
Granit	1.73-3.98		816	8-18.3	2643
Kalker	1.16		908	5.68	2483
Kum Taşı	1.63-2.08		712	10.6-12.7	2163-2307
Mermer	2.77		808	3.94	2499-2707
Tuğla	0.692		837	5.16	1602
	<u>Deneysel</u>	<u>Kuramsal</u>			
Midyat Taşı	0.72	0.95	1032.7	4.679	1490
Nemrut dağı Taşı	0.80	0.94	943	6.10	1400
Mardin Taşı	0.80	1.05	987.6	5.128	1580
Şanlıurfa Taşı	1.4	1.51	927.12	7.16-7.63	2200
Karacadağ Taşı	1.63	1.77	1128	4.988	2900
Hasankeyf Taşı	2.6	2.54	850	11.41	2680
Karadağ Taşı	0.6	0.82	1007.5	3.039	1860
Ali dağ Taşı	1.25	1.41	977.5	5.76	2220

4.2.3. Özgül Isı Kapasitesi

Bu deneyde, yakıtların ısı değerlerinin tespitinde kullanılan kalorimetre kabı kullanılmıştır. Kalorimetre kabının dış ortama ısı kaybı, kabın etrafına konan ikinci bir su gömleği ile önlenmektedir. Fark sıcaklık ölçen termoelemanın bir ucu kalorimetre kabını, diğer ucu ise dış gömleği okumaktadır. Termoeleman uçları arasında gerilimi sıfırlamak için kalorimetre kabının sıcaklığındaki artışa paralel ve otomatik olarak dış gömlek sıcaklığı da artırılmaktadır. Sıcaklık potansiyelindeki fark sıfırlandığı için, kalorimetre kabından dış gömleğe ısı akışı olmamaktadır. Sıcaklığı genleşme tipi bir

termometreyle de kontrol edilen bir etüvde, 84 °C sıcaklıkta yeteri kadar uzun süre bekletildikten sonra, her bir numune, kalorimetre kabına belirli miktarda ve sıcaklıktaki saf suya daldırılmıştır. Suyun başlangıçtaki sıcaklığı ile denge sıcaklığı arasındaki fark, Beckmann termometresiyle ölçülmüştür. Yapılan kalibrasyon deneyinde, bir çelik bloğun (% 0.5 C) özgül ısı kapasitesi tablo değerlerine uygun şekilde 0.456 kJ/kg K olarak bulunmuştur. Böylelikle ölçme duyarlılığı yeterli bulunduğundan sonra, taşların özgül ısı kapasiteleri hesaplanarak Tablo 4.2 de gösterilmiştir.

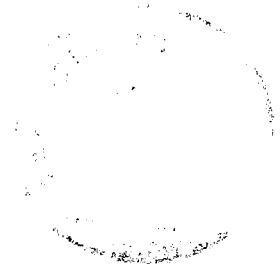
4.2.4. Su Emme ve Kuruma

Bu deneyin amacı, su ile direkt temasta kalan yapı malzemelerin de donma sürecinde, bünyesinde teşekkül eden buz kristallerinin genleşme imkanı bulabileceği bir kuru hacmin varlığının araştırılmasıdır. Bu özellik malzemeye donmaya karşı güvence sağlamaktadır. Numuneler üzerinde yapılan su emme deneylerinde, az da olsa birbirinden farklı su emme oranları elde edilmiştir. Bununla birlikte sonuçlar % 30 değerinin oldukça aşağısındadır. Yörenin iklim şartları da dikkate alındığında, donma sonucu malzemede çatlama, yüzeyde tozlanma ve kabuk halinde dökülme veya toplam kütleinin dağılması söz konusu değildir (Biçer ve Yıldız, 1996; Biçer ve Yıldız, 1997).

Deney numuneleri 105 °C sıcaklığa ayarlanmış etüve konularak, ağırlığın sabit olduğu görülünceye kadar kurutulmuş, her numunenin kuru ağırlığı (W_k) tespit edilmiştir. Daha sonra su seviyesi kademeli olarak yükseltilmiş 24 saat sonra numunelerin tamamı su içinde kalacak şekilde kaba su ilave edilmiş, 24 saat su içinde bekletildikten sonra sudan çıkarılıp silinerek, su emdirilmiş ağırlıklar (W_d) bulunmuş

$$\text{ve} \quad SE = \frac{W_d - W_k}{W_k} \cdot 100 \quad (4.1)$$

bağıntısı ile su emme oranı hesaplanmıştır. Deney sonuçları Tablo 4.3 de, su emme oranları Tablo 4.5 gösterilmiştir.



termometreyle de kontrol edilen bir etüvde, 84 °C sıcaklıkta yeteri kadar uzun süre bekletildikten sonra, her bir numune, kalorimetre kabına belirli miktarda ve sıcaklıktaki saf suya daldırılmıştır. Suyun başlangıçtaki sıcaklığı ile denge sıcaklığı arasındaki fark, Beckmann termometresiyle ölçülmüştür. Yapılan kalibrasyon deneyinde, bir çelik bloğun (% 0.5 C) özgül ısı kapasitesi tablo değerlerine uygun şekilde 0.456 kJ/kg K olarak bulunmuştur. Böylelikle ölçme duyarlılığı yeterli bulunduğundan sonra, taşların özgül ısı kapasiteleri hesaplanarak Tablo 4.2 de gösterilmiştir.

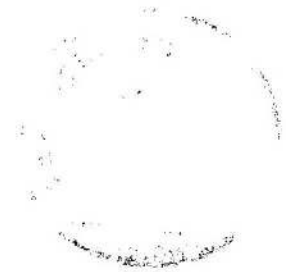
4.2.4. Su Emme ve Kuruma

Bu deneyin amacı, su ile direkt temasta kalan yapı malzemelerin de donma sürecinde, bünyesinde teşekkül eden buz kristallerinin genleşme imkanı bulabileceği bir kuru hacmin varlığının araştırılmasıdır. Bu özellik malzemeye donmaya karşı güvence sağlamaktadır. Numuneler üzerinde yapılan su emme deneylerinde, az da olsa birbirinden farklı su emme oranları elde edilmiştir. Bununla birlikte sonuçlar % 30 değerinin oldukça aşağısındadır. Yörenin iklim şartları da dikkate alındığında, donma sonucu malzemede çatlama, yüzeyde tozlanma ve kabuk halinde dökülme veya toplam kütlelerin dağılması söz konusu değildir (Biçer ve Yıldız, 1996; Biçer ve Yıldız, 1997).

Deney numuneleri 105 °C sıcaklığa ayarlanmış etüve konularak, ağırlığın sabit olduğu görülünceye kadar kurutulmuş, her numunenin kuru ağırlığı (W_k) tespit edilmiştir. Daha sonra su seviyesi kademeli olarak yükseltilmiş 24 saat sonra numunelerin tamamı su içinde kalacak şekilde kaba su ilave edilmiş, 24 saat su içinde bekletildikten sonra sudan çıkarılıp silinerek, su emdirilmiş ağırlıklar (W_d) bulunmuş

$$\text{ve} \quad SE = \frac{W_d - W_k}{W_k} \cdot 100 \quad (4.1)$$

bağıntısı ile su emme oranı hesaplanmıştır. Deney sonuçları Tablo 4.3 de, su emme oranları Tablo 4.5 gösterilmiştir.



20°C oda sıcaklığında doğal kurutmaya bırakılmıştır. Kuruma malzeme yüzeyinden buharlaşma yolu ile olduğundan, burada malzeme derinliğinden yüzeye kılcal kanallar vasıtasıyla suyun hareketi söz konusudur. Şekil 4.5 de grafiğin incelenmesi halinde, taşların azda olsa teneffüs kabiliyetine sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 4. 3. Su emme deneyinde numunelerin zamana karşı kütle değişimi.

Taşın Adı	Karacadağ	Midyat	Mardin	Nemrut	Hasankeyf	Şanlıurfa	Karadağ	Alidağ
Etüv Çıkış Ağırlığı (g)	945	593.4	437.5	349	860	1040	618.4	922.8
20 Dakika Sonra	946.4	676	460	396.5	867	1150	677	929.4
40 Dakika Sonra	947	676.3	480	414.5	869	1150	678	939.6
1 Saat Sonra	947.4	676.5	501	417.7	870	1150	681.5	951
2 Saat Sonra	948	676.8	530	419	873	1152	682	953
3 Saat Sonra	948	677	533	419	874	1153	683	958
4 Saat Sonra	948	678	535	419.7	875	1158	685	962
24 Saat Sonra	948	679	540,8	420	876	1170	688.7	967

Kuruma hızı deneyinde numunelerin zamana göre kütle değişimi ölçüm sonuçları Tablo 4.4 de verilmiştir.

Tablo 4.4 Kuruma hızı deneyinde numunelerin zamana karşı kütle değişimi.

Taşın Adı	Karacadağ	Midyat	Mardin	Nemrut	Hasankeyf	Şanlıurfa	Karadağ	Alidağ
Su Emdirilmiş Ağırlık (g)	948	679.8	686.8	420	876	1175	691.9	968
20 Dakika Sonra	947.5	678.3	685.5	418	868.4	1168	690	966.5
40 Dakika Sonra	947.5	677	683.3	415.3	867	1164	688.5	964.3
1 Saat Sonra	947	675	683.3	414	863.5	1160	687.9	963.9
2 Saat Sonra	946	670.5	678	413	862.5	1155	685.5	960
4 Saat Sonra	945.5	663	671.7	404.4	862.4	1150	670	940
24 Saat Sonra	945.3	630	600	385	861.7	1120	645	930

4.2.5. Mekanik Dayanım

Numuneler üzerinde, laboratuarda TS 699 standardına uygun basınç ve çekme dayanım deneyleri yapılmıştır (TS 699, 1969). Basınç deneyinde, cihaza konan numunelere yukarıdan yükleme yapılmış ve kırılma anındaki basınç kuvveti tespit edilmiştir. Bu kuvvetin, numunenin uygulanan kuvvet yönündeki alanına oranı basınç dayanımını verir. Yine yapılan sürtünmeden dolayı aşınma deneylerinde (Böhme) 110 devir için aşınma kayıpları her taş için tespit edilerek Tablo 4.5 de gösterilmiştir.

Tablo 4.5 Numunelerin mekanik dayanımı özellikleri ve su emme oranları.

Taşın Adı	Basınç Dayanımı N/mm²	Çekme Dayanımı N/mm²	Su Emme Oranı %	Aşınma %
Hasankeyf Taşı	42.47	6.2	1.86	0.239
Karacadağ Taşı	110	9.1	0.31	1.8
Mardin Taşı	4.94	0.77	18.64	0.64
Midyat Taşı	6.13	1.03	13.7	0.65
Nemrut dağı Taşı	10.2	1.0	17	5.1
Şanlıurfa Taşı	26	3.2	12.5	12
Karadağ Taşı	17.01	1.44	11.4	2.35
Alidağ Taşı	49.59	2.52	4.7	0.49

4.2.5. Mekanik Dayanım

Numuneler üzerinde, laboratuarda TS 699 standardına uygun basınç ve çekme dayanım deneyleri yapılmıştır (TS 699, 1969). Basınç deneyinde, cihaza konan numunelere yukarıdan yükleme yapılmış ve kırılma anındaki basınç kuvveti tespit edilmiştir. Bu kuvvetin, numunenin uygulanan kuvvet yönündeki alanına oranı basınç dayanımını verir. Yine yapılan sürtünmeden dolayı aşınma deneylerinde (Böhme) 110 devir için aşınma kayıpları her taş için tespit edilerek Tablo 4.5 de gösterilmiştir.

Tablo 4.5 Numunelerin mekanik dayanımı özellikleri ve su emme oranları.

Taşın Adı	Basınç Dayanımı N/mm ²	Çekme Dayanımı N/mm ²	Su Emme Oranı %	Aşınma %
Hasankeyf Taşı	42.47	6.2	1.86	0.239
Karacadağ Taşı	110	9.1	0.31	1.8
Mardin Taşı	4.94	0.77	18.64	0.64
Midyat Taşı	6.13	1.03	13.7	0.65
Nemrut dağı Taşı	10.2	1.0	17	5.1
Şanlıurfa Taşı	26	3.2	12.5	12
Karadağ Taşı	17.01	1.44	11.4	2.35
Alidağ Taşı	49.59	2.52	4.7	0.49

Yapılan hesaplama ve ölçüm sonuçlarına göre,

-Gerek sürekli ve gerekse zamana bağlı rejimde Karadağ Taşı (deneysel 0.6 W/mK, kuramsal 0.82 W/mK), Midyat Taşı (deneysel 0.72 W/mK, kuramsal 0.95W/mK), Mardin Taşı (deneysel 0.8 W/mK, kuramsal 1.05 W/mK), Nemrut dağı Taşı (deneysel 0.8 W/mK, 0.94 W/mK) ısı iletim katsayısı değerleri ile diğer benzeri taş, beton, granit, kalker, mermer ve adi tuğlaya göre daha iyi durumdadır. Bu taşların yapılarda bölme ve yük taşıyıcı eleman olarak tuğla veya briket yerine daha yaygın olarak kullanılması, enerji tasarrufu ve bina maliyeti yönünden kazanç sağlayacaktır.

- İncelenen diğer taşlardan ısı iletim katsayıları değerleri ile Şanlıurfa Taşı (deneysel 1.4 W/mK, kuramsal 1.51 W/mK), Alidağ Taşı (deneysel 1.25 W/mK, kuramsal 1.41 W/mK) mermer, kumtaşı, granite göre, Karacadağ Taşı ise (deneysel 1.63 W/mK, kuramsal 1.77 W/mK) mermer ve granite göre daha iyi durumdadır. Bu taşlarla Hasankeyf (deneysel 2.6 W/mK, kuramsal 2.54 W/mK) ısı iletkenlik değerleri ile maliyetlerinin düşük ve temininin kolay olması nedeniyle binalarda taşıyıcı ve bölme elemanı olarak tercih edilebilir.

- Su emme ve kuruma deneylerinde incelenen tüm taşların su emme oranı standart %30 değerinin altında çıkmıştır. Dolayısıyla donma yönünden hiçbir tehlike arz etmemektedir. Kuruma deneylerinde ise Karacadağ taşı hariç incelenen diğer taşların teneffüs kabiliyetine sahip oldukları gözlenmiştir.

- Basınç dayanımı 110 N/mm², çekme dayanımı 9.1 N/mm², aşınma kaybı % 1.8 olan Karacadağ taşının bu özellikleri standart değerlerin üzerindedir. Çalışmada yer alan diğer doğal taşlara ait dayanım değerleri yüksek dayanımlı doğal yapı taşlarına göre nispeten düşük olmasına karşılık, briket, tuğla ve gaz beton gibi yapay malzemelerle yaklaşık eşdeğer dayanımlara sahiptirler. Ancak aşınma dayanımı yönünden Karacadağ taşı haricindeki taşlar, uygun dayanım değerlerine sahip değildirler. Bu nedenle merdiven, parke gibi fazla aşınmaya maruz yapı elemanı olarak kullanılmasını engellemektedir. Ancak bu taşların, birçok yapı elemanına kıyasla kolayca işlenebilmesi, elektrik ve su tesisat kanallarının açılabilmesi, delinebilmesi, kesilebilmesi, yontulabilmesi, çivi ve vida kullanılmasına izin vermesi, yörelerinde çok miktarda bulunması ve ucuz elde edilmesi büyük avantajdır. Ayrıca doğal taşların bulunduğu yörelerimizde çoğunlukla beton agregası kaynakları yeterli düzeyde

olmadığından kırma taş olarak bu yörelerde beton agregası olarak da yararlanma olanağı ve bina yapı elemanı olarak maliyetinin ucuz olması göz ardı edilmemelidir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

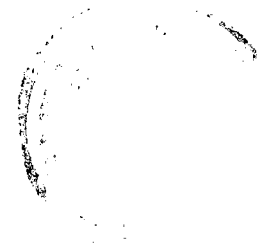
Anadolu'nun bir çok yöresinde bina yapı elemanı olarak kullanılan gerek yapay ve gerekse doğal gözenekli yapı taşlarında ısı iletim katsayısının kuramsal ve deneysel olarak tespiti için yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar saptanmıştır.

1-Gözenekli taşlarda ısı iletim katsayısının hesaplanmasında kullanılmak üzere, taşın matrisinin ısı iletim katsayısını, gözenek içini dolduran gazın ısı iletim katsayısını ve taşın porozitesini ihtiva eden matematiksel bir bağıntı geliştirilmiştir.

2-Geliştirilen matematiksel bağıntının uygulaması Güneydoğu Anadolu Bölgesinde bulunan beş vilayette ve sekiz yöre taşına yapılmıştır. Gerek kuramsal ve gerekse deneysel sonuçların uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

3-Deneylerde kullanılan ve yöre halkı tarafından muteber bir yapı malzemesi olarak kabul edilen taşların diğer ısı ve mekanik dayanım özellikleri ortaya konmuştur. Bu taşların rezervlerinin zengin oluşu, teminindeki kolaylık ve maliyetlerinin düşük olması taşların ortak özellikleri olarak saptanmıştır.

4- Bu çalışmanın devamı olarak Türkiye'nin diğer bölgelerinde bulunan yöre taşlarının ısı ve mekanik özellikleri incelenerek bir Türkiye atlasın hazırlanması söz konusudur.



KAYNAKLAR

- Biçer, Y., Pıhtılı, K., Ayhan, T., 1991, Gözenekli katı malzemelerde ısı iletkenlik hesabı için kuramsal bir model. Isı Bilimi ve Tekniğı Dergisi, 14, 4, 25-30.
- Biçer, Y., Pehlivan, D., Tanyıldızı, V., Yıldırım, Ş.,1993, Fırat Havzasında bulunan doğal taşların bazı fiziksel özelliklerinin araştırılması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 8, 2, 53-60.
- Biçer, Y., Yıldız, C., 1996, Ahlat ve Malazgirt yöresinde kullanılan yapı taşlarının bazı fiziksel özellikleri. Çukurova Üniversitesi, Dördüncü Ulusal Soğutma ve İklimlendirme Kongresi, Adana.
- Biçer, Y., Yıldız, C., Pehlivan, D.,1996, Some physical properties of the building stones from Mardin and Its districts. TIEES-96 First Trabzon International Energy and Environment Symposium, Trabzon.
- Biçer, Y., Yıldız, C.,1995, Katı Malzemelerde Gözenekliliğın Tayini. F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7, 1, 24-31.
- TS 699, 1969, Doğal Yapı Taşlarının Muayene ve Deney Yöntemleri, T.S.E., Ankara .
- Yapı Malzeme ve Elemanları, Özellikleri-Kullanma Yöntemleri, 1985, Ytong Yayını, İstanbul.
- Toksoy, M.,1988, Endüstriyel malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları. TMMOB Mühendis ve Makine Dergisi, 347, 12-15.
- Luikov, A.V, Shashkov, A.G., Vasiliev, L.L.,Fraiman E.,1968, Thermal conductivity of porous systems. Int. J. Heat and Mass Transfer, 11, 117-140.
- Zumbrunnen, D.A. and Viskante, R.,1986, Heat transfer through porous solids with complex internal geometry. Int. J. Heat and Mass Transfer, 29, 275-284.
- Bejan, A. and Anderson, R.,1981, Heat transfer across a vertical impermeable partition imbedded in porous medium. Int. J. Heat and Mass Transfer, 24, 7, 1237-1245.
- Biçer, Y.,1990, Termik santral uçucu küllerinin çeşitli bağlayıcı kombinasyonlarında ısı iletim özelliklerinin analizi ve yalıtım malzemesi olarak değerlendirilmesi. Doktora tezi, F.Ü. Fen Bil. Enst., Elazığ, 91 s.
- Saequsa, T., Kamata, K.,1974, Thermal conductivities of porous solids. Heat Tranfer, Jap. Res., 3, 47-52.

- Vysniauskas, V.V, Zikas, A.A.,1988, Determination of the thermal conductivity of ceramics by the Hot-Wire technique. Heat Transfer Soviet Research, 20, 1, 137-142.
- Atagündüz, G., 1983, "Isı Transferi" Ege Üniversitesi, Bornova, İzmir,.
- Onat, K., 1988, Konutlarda kullanılan gözenekli cisimlerin ısı iletkenliği. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 2, 2, 7-15.
- Wonchala,E.P. and Wynnnyckj, J.R.,1984, The effective thermal conductivity of solids with complex pores in the transition and knudsen regions. The Canadian Journal of chemical Engineering, 62, 719-722.
- Parmaksızoğlu, İ.C., 1989, Elektriksel benzeşimi ile yapı elemanlarının ısı ekonomisi yönünden tasarımı. İ.T.Ü. yayını, İstanbul
- Doğu, G., and Mürtezaoğlu, K.,1988, A dynamic method for the effective thermal conductivity of porous solids. AIChE Journal, 35, 4.
- Isı İletkenliği Ölçme Deney Föyü, Dokuz Eylül Üniversitesi Isı Laboratuvarı Deney Katalogu. Deney No 13. İzmir.
- Saydam, T., 1973, Akışkanların gözenekli ortamdaki akışı. İ.T.Ü yayını, yayın no: 948, İstanbul
- Yıldırım, Ş., Biçer, Y., Yıldız, C., 1996, Utilization of the fly ash and polypropylene wastes in the production of a new material. Journal of Porous Materials, 3, 189-191.
- Biçer, Y., Yıldız, C.,1997, Yalıtım malzemesi olarak bimsli betonlar. Yalıtım Dergisi, 4, 29-32.
- Biçer, Y., Tanyıldızı, V., Yıldırım, Ş., "Çukurova yöresinde bulunan doğal yapı taşlarının bazı fiziksel özelliklerinin araştırılması" 3. Ulusal Soğutma ve İklimlendirme Kongresi, Sayfa 285-292, 4-6 Mayıs 1994 Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Biçer, Y., Yıldız, C.,1996, Ahlat ve Malazgirt yöresinde kullanılan yapı taşlarının bazı fiziksel özellikleri. Çukurova Üniv. Dördüncü Ulusal Soğutma ve İklimlendirme Kongresi, Sayfa 172-179, Adana .
- Biçer, Y., Yıldız, C.,1996, Adıyaman ve Nevşehir yöresinde kullanılan yapı taşlarının bazı fiziksel özellikleri. Termodinamik Dergisi, 44, 94-99.

- Bıçer, Y., Yıldız, C., 1997, Elazığ ve yöresinde kullanılmakta olan Körpe ve Zafran taşlarının bazı fiziksel özellikleri. Yalıtım'97 Sempozyumu , Sayfa 67-74. Elazığ.
- Dulnev, G.N., 1965, Heat transfer through solid disperse systems. *Inz.-Fiz. Zh.*, 9, 399-404.
- Denko, S., 1988, Shotherm operation manual. K.K. Instument Products Department. Tokyo.
- Kumar, I., Narang, H.N., 1966, A boundary layer method in porous body heat and mass transfer. *Int. J. Heat and Mass Transfer*, 10, 1095-1107.
- Incropera, F.P., DeWitt, D.P., 2001, Isı ve kütle geçişinin temelleri. Literatür yayınları, İstanbul, 960 s.
- Güner, M.S., Süme, V., 2000, Yapı malzemesi ve beton. Aktif yayınevi, İstanbul, 380 s.
- Buonanno, G., Carotenuto, A., 1997, Effective thermal counductivity of a porous medium with interconnected particles. *Int. J. Heat and Mass Transfer*, 40, 2, 393-405.
- Peng, S.W., Mizukami, K., 1996, Mathematical modelling of moisture desorption in porous medium. *Int. J. Energy Research*, 20, 10, 923-931.
- Tavman, I.H., Tavman Ş., 1996, Thermal conductivity of granular food materials. *American Society of Mechanical Engineers, Petroleum Division*, 78, 6, 123-127.
- Tavman, I.H., Tavman Ş., 1994, Thermal conductivity of granular porous media. *American Society of Mechanical Engineers, Petroleum Division*, 64, 1, 101-106.
- Kim, L.V., 1993, Determination of heat transfer coefficients in porous media. *Inzhenerno –Fizicheskii Zhurnal*, 65, 6, 663-667.
- İğci, A.S., 1990, Poroz ortamlarda ısı geçişi. Yük. Lis. tezi, İ.T.Ü. Fen Bil. Enst., İstanbul, 75 s.
- Esen, D.Ö., 1997, Gözenekli cisimlerde ısı geçişi analizi. Yük. Lis. tezi, Kocaeli Üniv. Fen Bil. Enst., Kocaeli, 98 s.