

MERMER TÜRLERİNİN ISI İLETKENLİĞİ ÜZERİNE TEKNİK BİR ARAŞTIRMA

İbrahim UĞUR*, Servet DEMİRDAĞ", Nazmi ŞENGÜN"

* Yrd. Doç. Dr., SDÜ Müh. Mim. Fak., Maden Mühendisliği Bölümü, İSPARTA

** Arş. Gör., SDÜ Müh. Mim. Fak., Maden Mühendisliği Bölümü. İSPARTA

ÖZET

Yapılarda ısısal konfor hesaplamaları, bina ısı yalıtım analizlerinde, günümüz ısı yönetmelikleri bakımından önemli bir konu olmuştur. Yapılarda ısı yalıtımını sağlayan başlıca etmen, kullanılan yapı malzemesi ve malzemenin ısısal özellikleridir. İnşaat sektöründeki uygulamalarda dekoratif malzeme kullanılmasının yaygınlaşması sebebiyle, mermer plakalarının yapı ve kaplama taşı olarak kullanımı popüler hale gelmiştir. Bu makalede, mermer türlerine ait levha ve plakaların, ısı iletkenlik katsayısı üzerine yapılmış bir İncelemenin bulguları verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mermer, ısı iletkenlik, Yalıtım, Analiz.

A TECHNICAL ANALYSIS ON THE THERMAL CONDUCTIVITY OF THE MARBLE TYPES

ABSTRACT

In heat insulation analyses of the buildings, thermal comfort calculations are currently very important subject based on the heat legislation and regulations in civil engineering structures. The basic important factor for heat insulation in buildings is the construction materials used and their thermal properties. Increasing utilisation of decorative materials in civil structuring applications is making marble a very popular tile material as a construction and facing stone. In this paper, the research findings on the thermal conductivity of the marble tiles and plates were presented.

Key Words: Marble, Thermal Conductivity, Insulation, Analysis.

1. Giriş

Bir mekanın ısı etkilerinden korunması, mekanı çevreleyen yapı bileşenlerinin ısı depolama niteliğine bağlıdır. Yapı bileşenlerinin ısı depolama yeteneği, malzemenin ısı geçirgenlik direnci ile behrленebilmektedir. Bu direnç, malzemenin cinsine, kalınlığına ve ısı

iletkenlik katsayısına bağlı olarak değişim göstermektedir. Diğer önemli bir parametre ise, malzemenin özgül ısı kapasite değeri olup, malzemenin ısısal bir etkiye maruz kaldığı durumda, kararlı ve/veya kararsız bir olguda malzeme bünyesinden ısı akışının tanımlanmasında kullanılan bir değerdir. Bu bakımdan, konutlarda ısısal konfor çalışmaları yapılırken, yapı elemanı olarak kullanılan her tür malzemenin ısısal özelliklerinin detay olarak incelenmesi gerekmektedir [1], Bu konu, günümüz modern yapılarında ısı yönetmelikleri açısından son derece önem taşımakla birlikte, insan sağlığı açısından uygun malzemelerin seçimine de bir olanak sağlamaktadır.

Günümüzde yapılan binalarda ısısal konforun optimum koşullarda sağlanmış olması, gerek yönetmelikler ve gerekse tüzüklerde kaçınılmaz bir kural olarak uygulamaya konmuştur. Özellikle 08 Mayıs 2000 tarihinde Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından yürürlüğe konan "Binalarda Isı Yönetmeliği" ve 14 Haziran 2000 tarihinden itibaren revize edilerek yürürlüğe giren "TS 825 Isı Yalıtım Standardı", yeni olarak yapılan binalarda ısısal konforun sağlanma prensip ve uygulama kriterlerini tanımlamakla birlikte, ısısal konfor açısından malzemelerde aranan özellikleri belirtmektedir. Bu yönetmelik ve standart irdelendiğinde açıkça görülmektedir ki, binalarda ısısal konforun sağlanması, tamamiyle binada yapı elemanı ve/veya bileşeni olarak kullanılan malzemenin ısı iletkenlik değerleri (λ) ile direkt olarak ilişkilidir. Malzemenin ısı iletkenlik değeri de, malzeme yapısına ve özgül ısı kapasitesine bağlı olarak değişim gösteren bir değerdir [2].

Farklı renk ve yapısal karakteristiğe sahip mermer türlerinin, dekorasyon amaçlı olarak binaların iç ve/veya dış cephe kaplamalarında kaplama taşı olarak kullanımı oldukça yaygındır. Bu bakımdan, mermer kaplama yapılmış bir binada, ısısal konfor hesaplamaları yapılırken, dış yapı kabuğunda bir tür malzeme olarak değerlendirilmiş mermer kaplamanın, ısısal özelliklerinin parametrik değerlerinin bilinmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, mermer kaplama elemanının sağladığı ısısal özelliklerin, bu yapı kabuğunda ısısal konforun sağlanmasında bir avantaj mı yoksa bir dezavantaj mı oluşturduğu sorusu gündeme gelmektedir. Ancak, günümüzde bu konu üzerine detay inceleme ve irdeleme bulgularına pek rastlanılmamaktadır. Genelde görülen bilgi, mermerin karakteristik yapısı ne olursa olsun, ısısal konfor hesaplamalarında, mermer bileşeni için ortalama ve aynı parametrik değerler alınmakta olup, yapılan analizin sonucunu bazen olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu bakımdan, her bir mermer türü için ısısal konfor özellikleri tanımlanmalı ve kaplama kalınlıkları bağlamında ayrı ayrı detay teknik özellikleri belirtilmelidir. Günümüzde, mermer

üreticisi firma kataloglarına bakıldığında, uygulamaya sunulan kaplama elemanı mermerler için, ısısal özelliklerine ilişkin teknik verilere hemen hemen hiç rastlanılmamaktadır. Bu açıdan ele alındığında, mermer endüstrisinde yer alan kurum ve/veya kuruluşların bilgilendirilmesi ve teknik detay bilgilerin elde edilmesi çalışmaları kaçınılmaz olmaktadır [2].

Mermer levha ve plakalarla kaplanmış bir binada, ısısal konfor hesaplaması yapılması gerektiği durumlarda, kaplamada kullanılan mermer türüne ait ısı özelliklerinin (ısı geçirgenlik katsayı değeri, (C, kcal/mh°C), ısı direnç değeri, (R, m²h°C /kcal) ve özgül ısı değeri (c, kcal/kg °C) gibi parametreler) belirlenmesi gerekmektedir. Ancak, günümüze kadar olan uygulamalarda, mermer türü göz önüne alınmaksızın mermer kaplama elemanları için bu tarz parametre değerlerin hep aynı rakamsal değerler olarak ele alındığı görülmektedir. Ancak, mermer türleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda, mermerin strüktürel özelliklerine ve orijinine bağlı olarak bu parametre değerlerinin aynı rakamsal boyutlarda olmadığı açıkça görülmektedir. Bu konu üzerine yapılan kapsamlı bir ArGe çalışmasında, ASTM C-236 standardına uygun olarak SDÜ Mermer Teknolojisi Laboratuvarında geliştirilen ısı iletkenlik ölçme deney düzeneğinde, farklı tür mermer oluşumlarına sahip kayaçlar üzerinde yoğun deneysel çalışmalar yapılmış olup, mermerlere ait ısısal özellikler detay olarak belirlenmiştir. Bu bildiride, mermer türlerine ait bu güne kadar literatürde fazlaca tanımlamaları yapılmamış ısısal konfor özellikleri ve özgül ısı kapasite değerleri detay olarak verilerek, kaplama elemanı olarak binalarda kullanımında ısısal etki değerlerinin analizleri verilmektedir.

2. Mermer - Malzeme Karakteristiği - Isı İletkenlik İlişkisi

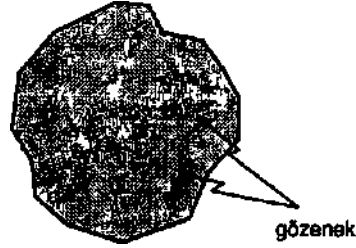
Doğal yapı ve kaplama malzemesi olarak kullanılan mermerlerin dokusal yapısında yer alan gözenek (porozite) kaçınılmaz bir olgudur. Ayrıca, mermerin bir kayaç olarak birim ağırlık değeri, gözenekliliğinin bir fonksiyonu olarak da tanımlanabilmektedir. Malzeme bünyesinde gözenek oranı arttıkça, birim hacim ağırlığının da, o oranda azaldığı genelde bilinen bir özelliktir [2].

Bir malzeme içinde boyutlan, şekilleri ve dağılımlarıyla gözenekler, ısı iletim özelliğine ve nem tutumuna etki ederler. Gözeneklerde bulunan havanın çok sayıda mikroskopik gözeneklere dağılması olumlu bir durumdur. Suya karşı büyük gözenekler elverişsizdirler ve ısı iletim Özelliğini fark edilir ölçüde artırırlar. Aynı malzemedeki iki farklı örnek, yaklaşık aynı yoğunluğa ve gözenek hacmine sahip olabilirler, fakat ısı

yalıtları da aynı şekilde farklı olabilir. Ortalama gözenek çapı küçüldükçe ve/veya gözenek oranı azaldıkça, malzemenin çevresel etkileşim faktörlerinden etkilenme özelliği iyileşecektir. Bu bakımdan, hücre duvarlarının malzeme içine kesinlikle nem iletmeyecek kadar sızdırmaz olduğu durumlar özellikle arzu edilen malzeme yapılarıdır [3].

Çoğu malzemelerin iç yapısında gözle görülebilen veya görülemeyen, irili ufaklı, sürekli veya süreksiz birçok boşluklar (gözenekler) bulunmaktadır (Şekil 1). Gözeneklerin özellikle iri ve sürekli olanları, malzeme içinden sıvı veya gazların geçmesini veya iç yüzeyleri tarafından sıvı veya gazların adsorbe edilmelerine imkan tanımaktadır. Bu olgu, malzemede birtakım zararlı olaylara yol açabilmektedir. Malzemelerde bulunabilen gözenek türleri şu şekilde sınıflandırılmaktadır [2]:

- * *Boş hacim* en küçük boyutu 1 mm'den büyük olan makroskopik bir boşluk,
- * *Kapiler boşluk* en küçük boyutu 1 mm'den küçük olan mikroskopik bir boşluktur.

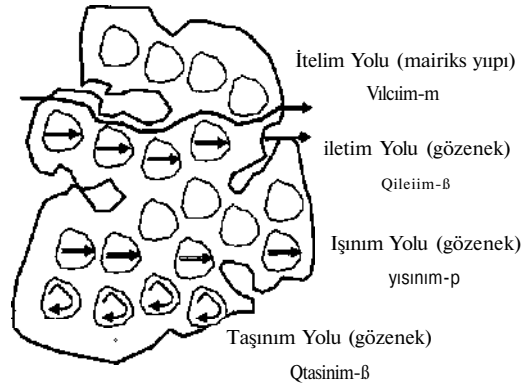


Şekil I. Mermer bünyesindeki farklı gözenek durumlarının sembolik gösterimi.

Malzemeleri içindeki gözeneklerin şekil dağılımı, gözenek geometrisine ve oranına göre şu şekilde sınıflandırılmaktadır: *Kompakt malzeme*: Fiziksel sızdırmaz bir malzeme olup, sadece maddeden oluşmuş olan malzeme türüdür. Bu, en arzu edilen malzeme tipidir. *Gözeneksel ve gözenekli malzeme*: Gözeneksel malzeme, kabarcıklar içermekte ve kapalı hücreli yapı oluşturmaktadır. Gözenekli malzeme ise, açık hücreli olup kanallar içermektedir [2].

Kayaç türü malzemelerde, kayacın bir yüzünden diğer yüzüne olan ısı geçişi, iletim, taşınım ve ışınım yoluyla olmaktadır. Katı içindeki boşluklar, ister tabaka şeklinde, ister lifsi, isterse hücreli veya tanecik şeklinde olsun, bu üç

tür ısı geçişi olgusu kütsel yalıtımında görülebilmektedir [4]. Mermer kayaç yapısında da ısı geçişi, iletim, ışınım ve taşınımın bir karması şeklinde görülmektedir. Bu olgu, hücrel ve tanecik şekilli boşluklar içeren mermer kayaç oluşumları için sembolik olarak Şekil 2 ve Şekil 3'de gösterilmiştir. Isı geçişi, ısı geçiş yolunun uzunluğu, sıcaklık, sistemin sıcaklık farkı karakteristikleri ve çevresel faktörler ile kontrol edilmektedir [5].

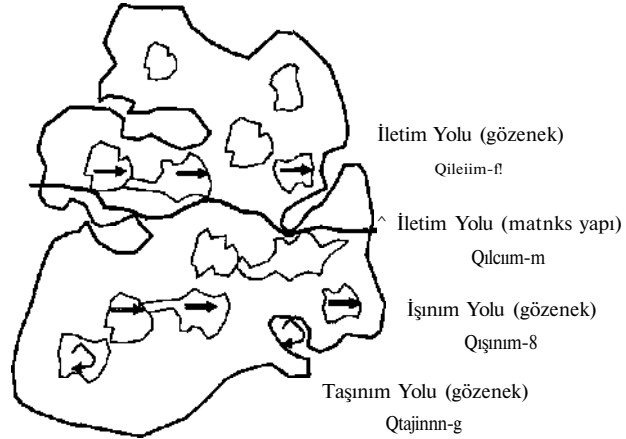


Şekil 2. Hücrel boşluk yapısına sahip mermer oluşumunun ısı geçişi olgusu.

Mermerin ısı yalıtım değerinin daha verimli olması için, kütsel yalıtımı oluşturan tabakalı, lifsi, hücrel veya tanecik şeklindeki boşluklar arasında çok küçük bağlantıların olması gerekmektedir. Ayrıca, kayaç yapısına yayılacak şekilde daha küçük ve daha sık olması aranan özelliklerin başında gelmektedir. Boşluklar arasındaki mesafelerin daha büyük olması, ışıma ile ısı geçişini engellemektedir [4]. Şekil 2 ve Şekil 3'de görüldüğü gibi toplam ısı akışı "Q" kütsel yalıtım boyunca, bir yüzeyden diğer tarafa ışınım, iletim ve taşınım ile geçen bütün ısıların toplamıdır [4] (Eşitlik 1).

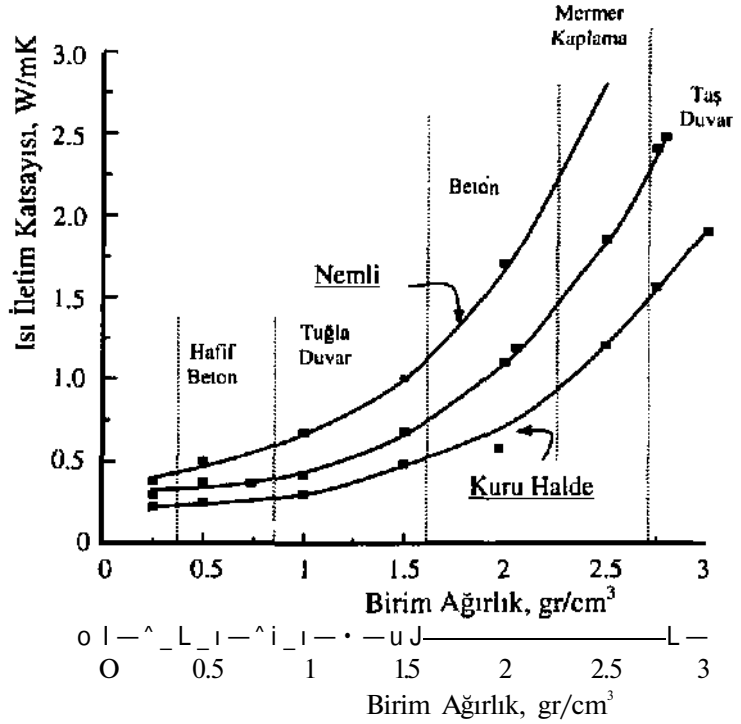
$$Q = Q_{iletim-m} + Q_{iletim-g} + Q_{ışınım-g} + Q_{ışınım-p} \quad [1]$$

Malzeme bünyesindeki süreksiz boşluklar kapalı kürecikler ve sürekli boşluklar da silindirik borucuklar şeklinde düşünülebilir. Böylece basitleştirilmiş boşluklu malzeme modellerinde boşluk çaplarının nasıl dağıldığı, ortalama değerlerinin ne olduğu ve toplam iç yüzeyin ne değerde olduğu araştırılabilir. Bu inceleme, malzemenin gözenek dağılımının ve yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak ısısal etkileşimlerden ne ölçüde etkilenebileceğini de sembolize edebilmektedir [2].



Şekil 3. Tanecik şekilli boşluk yapısına sahip mermer oluşumunun ısı geçişi olgusu.

Tabakalı, lifsi, hüresel ve tanecikler şeklindeki boşluklara sahip kütleli malzemelerde ısı iletkenliği, malzemenin birim ağırlığı ile değişmektedir. Isı, çok az sayıda fakat geniş hava boşluklarını içeren düşük birim ağırlıktaki malzemelerde, bir yüzeyden diğer bir yüzeye daha kolayca geçebilmektedir [4], Bunun doğal bir sonucu olarak da, birim ağırlık arttıkça katı malzemelerin ısı iletkenliği de artmaktadır. Mermer kaplama elemanlarındaki ısı geçirimsizlik olgusu genelde iletim yolu ile olmaktadır. İletim yolu ile mermer kaplama elemanında meydana gelen ısı geçirimsizlik olayında, kayacın ısı geçirimsizliği, kalınlığına (d), ve kendi içyapı özelliklerine bağlı ısı iletkenlik katsayısına (D) bağlıdır. Isı iletkenlik katsayısı, homojen bir malzemenin, denge şartları altında, iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı 1°C olduğu zaman 1 saatte 1 m² lik alan ve bu alana dik yönde gelen 1 m kalınlığından geçen ısı miktarıdır. Birimi ise kcal/mh°C dir [6]. Isı iletimi, malzemenin iç yapısı özellikleri ile ilişkili olduğundan, birim ağırlığı az olan malzemelerde ısı iletkenlik katsayısının da düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca, malzemenin nemli veya kuru bir durumdaki konumu da, ısı iletim özelliğini etkilemektedir. Bu konu üzerine edinilen araştırma bulguları, farklı tür yapı malzemeleri için, birim ağırlık değişiminde ısı iletim özelliğinin karakteristiğini Şekil 4'de görüldüğü gibi grafikize edilebileceğini göstermiştir. Şekil 4 incelendiğinde görüleceği gibi, ısısal konforun iyileşmesinin arzu edildiği durumlarda, malzeme yoğunluğunun düşük olması gerektiğini göstermektedir [3].



Şekil 4. Farklı yapı malzemeleri için ısı iletkenlik değerlerinin değişimi [3]. Şekil 4'den de görüldüğü gibi, hafif ve boşluklu malzemelerde, ısı iletkenliği düşük, ağır ve boşluksuz malzemelerde ise ısı iletkenlik değeri daha yüksektir. Malzemenin içerdiği nem miktarı, ısı iletkenliğini artıran bir faktör olarak görülmektedir. Genelde • değeri düşük olan malzemeye *yalıtkan*, büyük olan malzemeye ise *iletken* malzeme tanımlaması yapılmaktadır [3].

Bir kayaç yüzeyine uygulanan sıcaklık ve yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı sonucunda, verimli bir şekilde ısı akışını azaltan optimum bir birim ağırlık değeri bulunmaktadır [5]. Bu durum ayrıca ASTM-C177, ASTM-C518 ve ASTM-C687 standartlarında da önemle vurgulanmaktadır. Birim ağırlık, verilen sıcaklık, ısı farklılıkları ve doğrudan ısı akışı, ısı iletkenliği ve ısı direnci ölçümlerinde tanımlanması gerekli bir büyüklüktür. Ancak, bir çok malzeme türü için, bu bağlamda malzemeleri kullanıma sunan kurum ve/veya kuruluşlarca verilmediği görülmekte olup, bu da, malzemelerin ısı iletimi hususunda değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır [4].

Diğer bir husus ise, atmosferdeki suyun yeryüzüne geçişi, havanın herhangi bir durumda taşıdığı bağıl nem miktarından, yağmur ve kardan

kaynaklanmaktadır. Burada sıcaklık derecesinin değişmesi sonucu, nem miktarı da değişmekte, ayrıca suyun biçimi de sıvı halden katı hale dönüşerek çığlaşma ve donma olaylarına yol açmaktadır. Suyun malzeme üzerindeki etkisi, ya malzemenin tamamıyla suyun içinde kalması yada suyun malzemeye yüzeysel olarak etkimesi sonucu oluşabilmektedir. Kaplama olarak kullanılan malzemeler de, gözeneklilik ve su emme oranlarına bağımlı olarak, bu olgudan etkilenmektedir. Bu durumda, malzemenin ısısal özelliklerinde de bir değişme olacaktır. Bu değişim, detay bir analiz konusu olmaktadır.

3. Mermer - Isı İletkenliği Özelliği Üzerine Bir Analiz

Bilindiği gibi, mermer levha ve plakalar, binalarda iç cephe ve/veya dış cephe kaplamalarda, kaplama elemanı olarak oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Mermer levha ve plakalarla kaplanmış bir binada, ısısal konfor hesaplaması yapılması gerektiği durumlarda, kaplamada kullanılan mermer türüne ait ısı özelliklerinin ısı geçirgenlik katsayı değeri, (f_i , kcal/mh°C), ve ısı direnç değeri, (R , m h°C/kcal) gibi parametreler belirlenmesi gerekmektedir. Ancak, günümüze kadar yapılan uygulamalarda, mermer türü göz önüne alınmaksızın mermer kaplama elemanları için bu tarz parametre değerlerin hep aynı rakamsal değerler olarak ele alındığı görülmektedir. Ancak, mermer türleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda, mermerin yapısal özelliklerine ve oluşum dinamiğine bağımlı olarak, bu parametrelerin aynı rakamsal değerlerde olmadığı açıkça görülmektedir. Bu konu üzerine SDÜ Mermer Teknolojisi Laboratuvarında yapılan bir ArGe çalışmasında, *Bej mermer*, *Traverten mermeri* ve *Limra mermer* plaka örneklerinin ısı iletkenlik değerleri, dengeli sıcak oda yöntemine göre deneysel olarak analiz edilmiştir.

Mermer türlerinin ısısal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, farklı oluşum ve karakteristik yapıya sahip mermer türlerinden 3cm - 5cm kesit kalınlıklarına sahip plakalar hazırlanmış olup, bu plakalar cilasız plaka örnekleri olarak deneylerde değerlendirilmiştir. Mermer türlerini sembolize etmesi amacıyla, aşağıda belirtilen türler için irdelemeler gerçekleştirilmiştir:

Traverten Mermeri	: Bucak Traverten mermeri,
Bej Mermeri	: Burdur Bej mermeri,
Limra Mermeri Grubu	: Finike Limra mermeri.

Mermer türlerinin ısı iletkenlik değerleri, TS 415 ve ASTM-C 236 standardında öngörülen prensip çerçevesinde SDÜ Mermer Teknolojisi

laboratuvarında deneysel olarak ölçümleri yapılmıştır. Analiz bulguları, mermer türü bağlamında Çizelge 1 - Çizelge 3^kde verilmiş olup, mermer plakalarının iki yüzey ortalama sıcaklık değişimine göre ısı iletkenlik değeri değişim analizi bulguları ise Şekil 5 - Şekil 7de verilmiştir.

Çizelge 1. Traverten mermer örneği için ısı iletkenlik değeri analiz bulguları (2 USU).

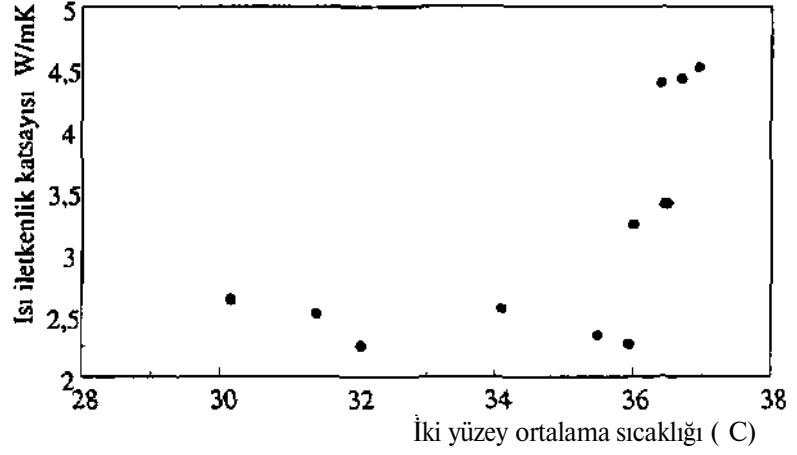
Deney Verileri ve Hesaplamalar	Birim	Numune			Ortalama
		1	2	3	
Deney öncesi Numune Ağırlık	kg	6,163	6,126	6,011	6.100
Deney Sonrası Numune Ağırlık	*g	6,151	6,115	5,997	6.088
Numune Yüzey Alanı	m ²	0,0794	0,0794	0,0794	0,0794
Kuru Birim Hacim Ağırlık	kg/m ³	2469	2455	2409	2444
Kuru Birim Alan Ağırlık	kg/m ²	78	77	76	77
Sıcak Ortam Numune Yüzey Sıcaklığı, (t1)	°C	45,57	46,00	46,07	45,88
Soğuk Ortam Numune Yüzey Sıcaklığı, (t2)	°C	27,83	28,60	28,80	28,41
Numune Yüzeyi Sıcaklık Farkı, (t1-t2)	°C	17,74	17,40	17,27	17,47
Sıcak Oda Ortalama Sıcaklığı, (th)	°C	45,00	44,90	45,10	45,00
Soğuk Oda Ortalama Sıcaklığı, (tc)	°C	27,80	28,50	28,80	28,37
Sıcaklık Farkı Ortalama Değeri, (th-tc)	°C	17,20	16,40	16,30	16,63
Numunenin Ağırlıkça Nem Miktarı, (ng)	%	0,190	0,180	0,233	0,201
Numunenin Hacimce Nem Miktarı, (nv)	%	0,470	0,442	0,562	0,491
Kuru Durumdaki Numunenin Isı İletkenlik Değeri (r)	kcal/mh°C	2,164	2,030	1,984	2,059
	W/mK	2,517	2,361	2,308	2,395

Çizelge 2. Bej mermer örneklerinin ısı iletkenlik değeri analiz bulgusu.

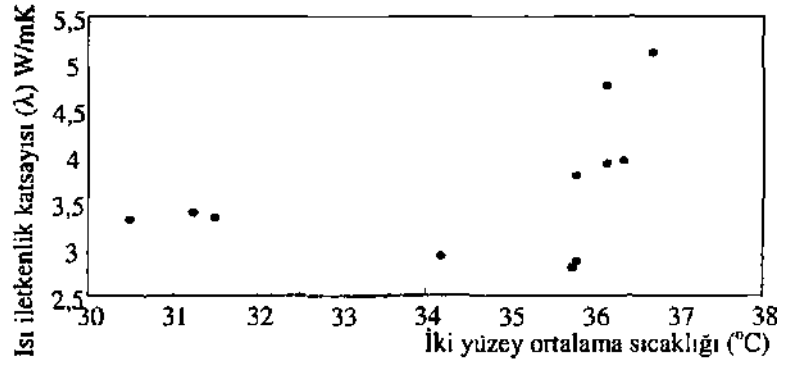
Deney Verileri ve Hesaplamalar	Birim	Numune			Ortalama
		1	2	3	
Deney Öncesi Numune Ağırlık	kg	7,103	7,265	7,080	7,149
Deney Sonrası Numune Ağırlık	kg	7,094	7,253	7,067	7.138
Numune Yüzey Alanı	m ²	0,0800	0.0800	0.0800	0,0800
Kuru Birim Hacim Ağırlık	kg/m ³	2930	2997	2921	2949
Kuru Birim Alan Ağırlık	kg/nT	89	91	89	89
Sıcak Ortam Numune Yüzey Sıcaklığı, (i1)	°C	46,07	46,33	45.87	46.09
Soğuk Ortam Numune Yüzey Sıcaklığı, (i2)	T	27,53	28,60	28.37	28.17
Numune Yüzeyi Sıcaklık Farkı, (U-t2)	°C	18,54	17,73	17,50	17,92
Sıcak Oda Ortalama Sıcaklığı, (th)	°C	44,90	45,00	45,10	45,00
Soğuk Oda Ortalama Sıcaklığı, (tc)	°C	27,50	28,50	28,40	28.13
Sıcaklık Farkı Ortalama Değeri, (th-tc)	°C	17,40	16,50	16,70	16,87
Numunenin Ağırlıkça Nem Miktarı, (ng)	%	0,127	0,165	0,184	0.159
Numunenin Hacimce Nem Miktarı, (nv)	%	0,372	0,496	0,537	0,468
Kuru Durumdaki Numunenin Isı İletkenlik Değeri (λ)	kcal/mf°C	2,615	2,571	2,547	2.578
	W/mK	3,041	2,990	2,963	2.998

Çizelge 3. Limra mermer örneklerinin ısı iletkenlik değeri analiz bulgusu

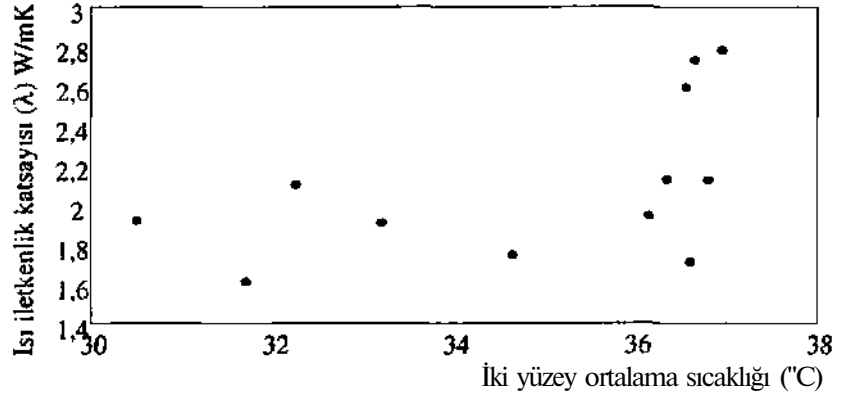
Deney Verileri ve Hesaplamalar	Birim	Numune			Ortalama
		1	2	3	
Deney öncesi Numune Ağırlık	kg	9,955	9,695	9,626	9,759
Deney Sonrası Numune Ağırlık	fcg	9,943	9,684	9,612	9,746
Numune Yüzey Alanı	m ²	0,0804	0,0804	0,0804	0,0804
Kuru Birim Hacim Ağırlık	kg/m ³	2437	2374	2357	2389
Kuru Birim Alan Ağırlık	kg/m ³	124	121	120	121
Sıcak Ortam Numune Yüzey Sıcaklığı, (t ₁)	°C	40,83	40,37	40,30	40,50
Soğuk Ortam Numune Yüzey Sıcaklığı, (t ₂)	°C	28,70	29,93	29,00	29,21
Numune Yüzeyi Sıcaklık Farkı, (t ₁ -t ₂)	°C	12,13	10,44	11,30	11,29
Sıcak Oda Ortalama Sıcaklığı, (t _h)	°C	45,00	45,00	44,90	44,97
Soğuk Oda Ortalama Sıcaklığı, (t _c)	°C	28,10	28,90	28,40	28,47
Sıcaklık Farkı Ortalama Değeri, (t _h -t _c)	°C	16,90	16,10	16,50	16,50
Numunenin Ağırlıkça Nem Miktarı, (n _g)	%	0,121	0,109	0,148	0,126
Numunenin Hacimce Nem Miktarı, (n _v)	%	0,294	0,260	0,348	0,301
Kuru Durumdaki Numunenin İsi İletkenlik Değeri (H)	kcal/nüVC	1,485	1,445	1,389	1,440
	W/mK	1,727	1,681	1,616	1,674



Şekil 5. Traverten mermer örneklerin ortalama yüzey sıcaklık-ısı iletkenlik değişim ilişkisi.



Şekil 6. Bej mermer örneklerin ortalama yüzey sıcaklık-ısı iletkenlik değişim ilişkisi.



Şekil 7. Limra mermer örneklerin ortalama yüzey sıcaklık-ısı iletkenlik değişim ilişkisi.

Analiz bulgularından edinilen genel olgu; mermerin bünyesinde bulundurduğu nem içeriğine göre H , değerinin de değişim gösterdiği gözlenmiş olup, parametrik değerlerin 1.6 - 3.1 W/mK arasında değiştiği belirlenmiştir.

Yukarıda belirtilen standart ve ölçüm değerlerine göre, mermerin ısı iletkenlik değeri, malzemenin atomları arasındaki bağ kuvvetlerine, iç yapıya, boşluk miktarlarına ve bünyesinde bulundurduğu nem miktarına bağlı olarak değişimler göstermektedir. Mermer türünün yoğunluğu ve malzeme yapısındaki gözeneklerin ve/veya porozitenin oranı ve hacimsel durumu önemli parametrelerin başında gelmektedir. Malzemenin gözenek veya porozite boyutları, şekilleri ve dağılımları, nem tutma karakteristiğine etkimektedir. Malzemenin bünyesine giren havanın, mikroskobik boyutlarda gözeneklere homojen olarak dağılım göstermesi arzu edilen bir durumdur. Buna karşın, malzemenin gözeneklilik dağılımının homojen olmaması, malzemenin ısı iletim özelliğinde önemli ölçüde bir düşüşe neden olmaktadır. Aynı tür malzemeye ait iki farklı hacimsel kesitte, birim ağırlıkları aynı olsa dahi gözeneklilik dağılımı farklı ise, ısı iletim karakteristiği de farklılaşabilmektedir [2]. Buradan edinilen tecrübe, ortalama gözenek çapı küçüldükçe, malzemenin ısı iletim özelliğinin azaldığı gözlenebilmektedir. Diğer bir deyişle, çok sayıda küçük gözenekler az sayıda iri gözeneklerden daha uygundur [7]. Ancak, bu tür küçük gözeneklerin malzeme yapısında çok fazla miktarda bulunması, gözenekler arasında bulunan matriks yapı içerisinde kılcal çatlaklar oluşmasına ve buna bağlı olarak gelişen bağlantılı boşluklu bir yapının varlığı, malzemenin

nemlenmesinin ve ısı iletim özelliğinin arzu edilmedik ölçülerde kötüleşmesine neden olmaktadır. Bu bakımdan, ısı iletim katsayısı değerini belirlerken özellikle şu değerlendirmeler altında parametre belirlemesi yapmak kaçınılmaz olduğu belirlenmiştir:

- * Kayacın boşluk oranı,
- * Kayacın birim ağırlığına bağımlı ısı iletim değeri,
- * Kayacın nem içeriğine bağımlı ısı iletim değeri.

Mermer türlerinin ısı iletimlik (λ_h) değerinin belirlenmesine yönelik oluşturulan matematiksel model Eşitlik 2^kde verilmiştir:

$$\lambda_h = \rho b * d^2 * c * (1+z) \frac{\Delta Q_t}{\Delta T} \quad [21]$$

Burada;

- D h : Isı iletimlik değeri, kcal/mh^uC
- Hb : Malzemenin kuru birim hacim ağırlığı, kg/m³
- d : Numunenin kesit kalınlığı, m
- c : Özgül ısı değeri, kcal/kg °C
- z : Düzeltme faktörü,
- LJQt : Verilen toplam ısı katsayısı
- LT : İki yüzey arasındaki sıcaklık farkı.

4. Sonuçlar

Bu makalede, mermer türlerinin farklı plaka kalınlıklarında ısısal konfor özelliklerinin belirlenmesine yönelik deneysel ve tanıtımsal ölçekli bir ArGe çalışmasının bulguları özetle sunulmuştur. Analiz bulgularından elde edilen genel sonuç; mermer plakalarının, binaların dış cephe kaplamalarında kaplama elemanı olarak kullanımında, yapıyı oluşturan duvar kesitinde, mermer plakasının kalınlığı itibariyle tek başına ısısal konforu sağlayabilecek kadar bir ısı yalıtkanlık değerine sahip olmamasıdır. Ayrıca, mermerlerin birim ağırlık değerleri ve gözeneklilik dereceleri birbirlerinden belirli derecede farklılık göstermesine rağmen, ısı iletimlik ve özgül ısı kapasite değerlerinin yüksek oluşu sebebiyle, ısısal konfor hesaplamalarında yaklaşık benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Kaynaklar

- 1 Can M ve Avcı A., Bursa Bölgesi Konut Duvarlarının Optimum Isı Yalıtım Kalınlığının Hesabı Ülke Ekonomisi ve Hava Kirliliğine Etkileri. I. Isı-Ses*Sı Yalıtımı Sempozyumu. 13*14 Aralık, İstanbul, (1995).
- 2 Gündüz L., Uğur L Demirdağ S., Mermer Türlerinin Özgül Isı Kapasite Değerleri Üzerine Teknik Bir İnceleme. Türkiye III. Mermer Sempozyumu. 3-5 Mayıs 2001. Afyon. (2001).
- 3 Demirdağ S.. Gündüz L.. Pomza Kayacı Karakteristik özellikleri İle Isı Yalıtımı ilişkisinin Analizi, 18th International Mining Congress and Exhibition of Turkey - Imcet 2003, 10-13 Haziran, Antalya, (2003).
- 4 Strainer E.F.. Turner W.C.. Thermal Insulation Building Guide, Malabar, Florida. Roben E. Krieger Publishing Company. (1990).
- 5 Gencelİ O.. Özguç F., Ashrae Temel El Kitabı, Isı Yalıtımı ve Buhar Kesiciler Esaslar. Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınlar:2, Ankara. 29s, (2000).
- 6 ASTM C-236. Korumalı Sıcak Kutu Yöntemi İle Isı İletkenlik Değerinin Tespiti, ASTM Rev., (1992).
- 7 Gündüz L., Pomza Teknolojisi, Cilt I. Temmuz, İsparta, (1998).

