

MERMER TÜRLERİNİN ÖZGÜL ISI KAPASİTE DEĞERLERİ ÜZERİNE TEKNİK BİR İNCELEME

Lütfullah GÜNDÜZ , İbrahim UĞUR, Servet DEMİRDAĞ

SDÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi, 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, ısısal konfor parametreleri üzerine yapılmış detay analiz bulguları verilmiştir. Ayrıca, ısısal konfor parametreleri ile ısı yalıtım özelliği arasındaki ilişkiler araştırılarak, geliştirilmiş matematiksel modeller sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Mermer, Isısal Konfor, Yalıtım, Analiz.

A TECHNICAL ANALYSIS ON THE SPECIFIC HEAT CAPACITY VALUES FOR 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 detailed research findings on the thermal comfort parameters for the marble tile and plates were presented. Furthermore, the relationship between the thermal comfort parameters and the heat insulation properties of the marble plates were investigated. The mathematical models developed were presented.

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

1. GİRİŞ

Yapı içinde yaşayan insanın sağlığı fizyolojik bir olay olmakla birlikte, konut içerisinde ısısal konforun sağlanması, konutlarda kullanılan malzemelerin fiziksel karakteristiği ve uygun malzeme seçimine bağlıdır, iç hava sıcaklığının ve buna bağlı olarak da binalarda yapı kabuğunu oluşturan elemanların iç yüzey sıcaklıklarının belirli değerlerde olması gerekmektedir. Örneğin, çeşitli kaynaklara göre, iç ortam sıcaklığının 18-20 °C, yapı elemanı sıcaklığının ise 16-18°C de olmasıyla, arzu edilen konfor koşulları sağlanabilmektedir. Ayrıca yaz ve kış iklim koşullarında, her iki sıcaklık farkının 4 °C olması yeterli görülmektedir. Diğer bir olgu ise, ısı ile birlikte nemin, hava hareketlerinin ve yakın yüzeylerin ısısal radyasyonlarının etkisi ile beliren efektif bir sıcaklık olarak ortaya çıkışıdır. Örneğin, yazın havanın bağıl (rölatif) nem derecesinin %5-7 artışı, sıcaklığı 1 °C arttırmakta, yakın yüzeylerin ortalama radyasyon sıcaklığının 1 °C değişmesi ise, efektif sıcaklığın 0.5 °C değişmesine yol açmaktadır [1].

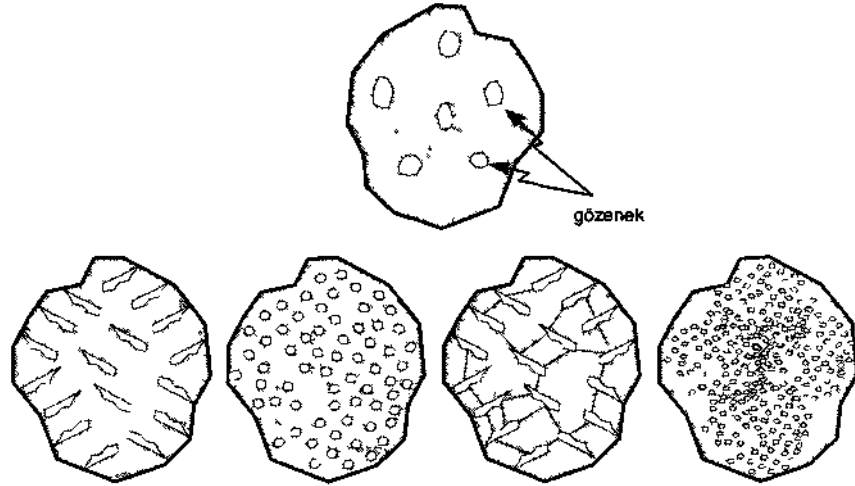
Bir mekanın ısı etkilerinden korunması, mekanı çevreleyen yapı bileşenlerinin ısı depolama niteliğine bağlıdır. Yapı bileşenlerinin ısı depolama yeteneği, malzemenin ısı geçirgenlik direnci ile belirlenebilmektedir. Bu direnç, malzemenin cinsine, kalınlığına ve ısı iletkenlik katsayısına bağlı olarak 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 [2]. Bu konu, günümüz modern yapılarında ısı yönetmelikleri açısından son derece önem taşımakla birlikte, insan sağlığı açısından uygun malzemelerin seçimine de bir olanak sağlamaktadır.

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 husus, 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. Bu amaçla, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mermer Teknolojisi Laboratuvarında geliştirilen deney düzenekleri yardımı ile, farklı mermer türlerine ait kaplama amaçlı kullanımlarda ısısal konfor özelliklerinin belirlenmesine yönelik bir dizi Ar-Ge çalışması yapılmıştır. Bu makalede yapılan analiz çalışmalarından elde edilen teknik bulgular verilmekte olup, mermer endüstrisinde kullanıma sunulan mermer türleri için ısısal özelliklerin analizinde ne gibi parametrelerin incelenmesi gerektiği hususuna dikkat çekilmiştir.

2. MERMER - YOĞUNLUK - GÖZENeklİLİK İLİŞKİSİ

Doğal yapı ve kaplama malzemesi olarak kullanılan mermerlerin dokusal strüktüründe 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. Çoğu malzemelerin iç yapısında gözle görülebilen veya görülemeyen, irili ufaklı, sürekli veya süresiz 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 gruplandırılabilir.

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



Şekil 1. Mermer bünyesindeki farklı gözenek durumlarının sembolik gösterimi.

Malzemeleri içindeki gözeneklerin şekil dağılımı, gözenek geometrisine ve oranına göre şu şekilde sınıflandırılabilir: *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.

Malzeme bünyesindeki süresiz 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 değerinde olduğu araştırılabilir. Bu inceleme, malzemenin gözenek dağılımının ve yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak ısısal etkileşimlerden ne ölçüde etkilenebileceğini de sembolize edebilmektedir. 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 çığleşme 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 KARAKTERİSTİĞİ - ÖZGÜL ISI KAPASİTE İLİŞKİSİ ÜZERİNE BİR ANALİZ

Günümüzde yapılan binalarda ısısal konforun optimum koşullarda sağlanmış olması, inşaat sektörü ile ilgili yönetmelikler ve 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 yapılan konutlarda, 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, tamamıyla binada yapı elemanı ve/veya bileşeni olarak kullanılan malzemenin ısısal özellikleri ile ilgilidir. Malzemenin ısısal özelliklerinin başında, ısı iletkenlik değeri (k) ve özgül ısı kapasite değeri gelmektedir. Bir malzemenin ısı iletkenlik değeri, malzemenin strüktürel yapısına ve özgül ısı kapasitesine bağımlı olarak değişim gösterir.

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 katsayısı değeri, (X , 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 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 strüktürel özelliklerine ve orijinine bağımlı olarak, bu parametre değerlerinin aynı rakamsal boyutlarda olmadığı açıkça görülmektedir. Bu konu üzerine SDÜ Mermer Teknolojisi Laboratuvarında yapılan kapsamlı bir ArGe çalışmasında, malzemelerin ısısal özelliklerinin belirlenmesine yönelik geliştirilen deney düzeneklerinde, farklı tür mermer oluşumlarına sahip kayaçların ısısal özellikler detay olarak belirlenmiştir. Aşağıdaki paragraflarda, bu ArGe çalışmasında yapılan analiz bulguları ve mermer türlerinin ısısal özelliklerinin irdelenmesi için geliştirilen matematiksel model tanımlamaları verilmiştir.

Mermer türlerinin ısısal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, farklı oluşum ve karakteristik yapıya sahip mermer türlerinden 2cm - 4cm kesit kalınlıklarına sahip plakalar hazırlanmış olup, bu plakalar ölçüm öncesi birer yüzeyleri parlatılarak cilalanmıştır. Isısal özelliklerinin incelenmesi için, günümüzde kullanılan gelen mermer türlerini sembolize etmesi amacıyla, aşağıda belirtilen mermer türleri için irdelenmeler gerçekleştirilmiştir:

Traverten Grubu : Afyon Traverten ve Denizli Traverten mermerleri,
 Bej Grubu : Göl Beji ve Bilecik Beji mermerleri,
 Beyaz Grubu : Leylak, Afyon Menekşe ve Muğla Kavak mermerleri,
 Kireçtaşı Grubu : Finike Limra mermeri.

Bu mermer türlerine ait teknik detay Çizelge T de verilmiştir.

Çizelge 1. Mermer türlerinin teknik özellikleri.

Mermer	Özgül Kütle (kg/m ³)	Birim Ağırlık (kg/m ¹)	Hacimce Su Emme Kapasitesi (%)	Porozite (%)
Afyon Traverten	2630	2490	1.85	1.97
Denizli Traverten	2620	2520	3.99	2.85
Göl Beji	2720	2690	0.71	0.70
Bilecik Beji	2740	2690	0.60	0.59
Finike Limra	2710	2420	6.54	5.64
Leylak	2840	2720	0.25	0.38
Menekşe	2720	2520	0.16	0.24
Kavak Beyazı	2700	2620	0.39	0.51

Yukarıda teknik detayı verilen mermer türlerinden elde edilen farklı kesit kalınlıklarındaki mermer plakaların ısısal konfor özelliklerinin belirlenmesi amacıyla şu analiz ve irdemeler yapılmıştır:

1. Mermer türlerinin TS 4048 standardına göre Özgül Isı Kapasite (c) değerlerinin belirlenmesi,
2. Mermer plakalarının, kaplamada kesit kalınlıklarına bağımlı olarak özgül ısı kapasitelerindeki değişim olgusunun incelenmesi,
3. TS 415 ve ASTM-C 236 standardına göre ısı iletkenlik (X) değerlerinin belirlenmesi,
4. Mermerlerin kaplama elemanı olarak kullanıldığında, ısı nüfuz katsayılarının belirlenmesi,
5. Mermer plakalarının kullanım ortamlarına bağımlı, ısı depolama yeteneklerinin irdelenmesi,
6. Mermer plakalarının dış cephe kaplamada, uygulama sonrası değişen ortam sıcaklıklarında, soğuma katsayıları ve zamana bağımlı soğuma karakteristiklerinin irdelenmesi.

Yukarıda verilen analiz ve irdemeler sonucu, mermer plakaların ısısal özelliklerinin tanımlanmasında elde edilen parametre ve faktörler, bu çalışma kapsamında, mermer türlerinin kaplama amaçlı kullanım yerlerine göre kalite tanımlama ve irdeme parametre değişkenleri olarak ele alınmıştır. Özgül ısı kapasite değeri, herhangi bir kayacın ısı iletkenlik değerinin belirlenmesi, ortam koşullarında ısınma ve soğuma olgusunun tanımlanması bakımından irdelenen bir parametredir. Mermerin özgül ısı kapasitesi, belirli bir sıcaklık ortamında, birim kütesinin sıcaklığını bir derece arttırmak için gerekli olan ısı miktarıdır. Özgül ısı kapasite, genelde "c" parametresi ile sembolize edilmekte olup, birimi ise kcal/kg°C "dir [3]. Mermer türlerinin özgül ısı kapasite değerleri, TS 4048 standardında öngörülen prensip çerçevesinde SDÜ Mermer Teknolojisi laboratuvarında bir ölçüm düzeneği geliştirilerek, parametrik değerleri ölçülmüştür. Analiz bulgularından, sabit ortam şartları ve malzeme boyutlandırmasında, mermer kaplama plakalarının özgül ısı kapasite değerlerinin 0.18-0.24 kcal/kg°C arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Burada, kayacın strüktüründe yer alan gözenek yapısı ve birim yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak, özgül ısı kapasite değerlerinin değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Bu incelemede, mermer plakalarının özgül ısı kapasite değerlerinin, mermerin malzeme özelliklerine ve uygulanan ortamın

karakteristik özellik değişimlerine bağımlı olarak değişiklik gösterdiği gözlenmiş olup, konu üzerine detay incelemeler yoğunlaştırılmıştır. Mermer plakalarının özgül ısı kapasite değerleri, kullanıldığı ortam koşullarında kuru durumda ve/veya nemli durumda bulunmalarına göre, parametrik değerlerinde bir farklılaşma olabildiği gözlenmiş olup, mermerin kuru durum ve nem içerikli (suya doymun haldeki) durumları için, matematiksel modellemeler yapılmıştır. Geliştirilen matematiksel modeller aşağıda verilmiştir.

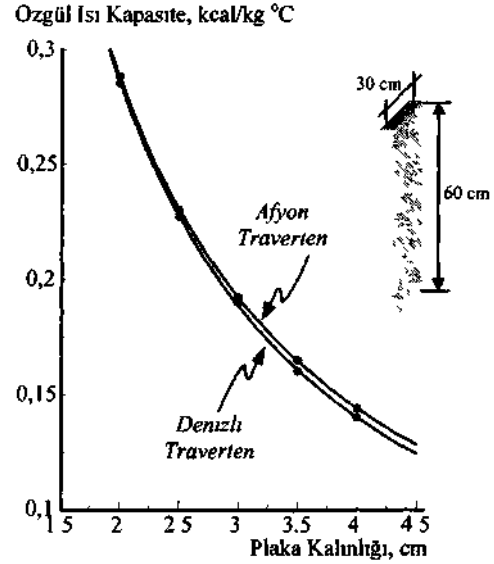
$$c_k = \frac{0,16 * e^{0,0008085 * \rho b}}{\rho b * d^2} \frac{\Delta T}{\Delta Q t}$$

$$c_n = \frac{0,30 * e^{0,0008718 * \rho b}}{\rho b * d^2 * (1+z)} \frac{\Delta T}{\Delta Q t}$$

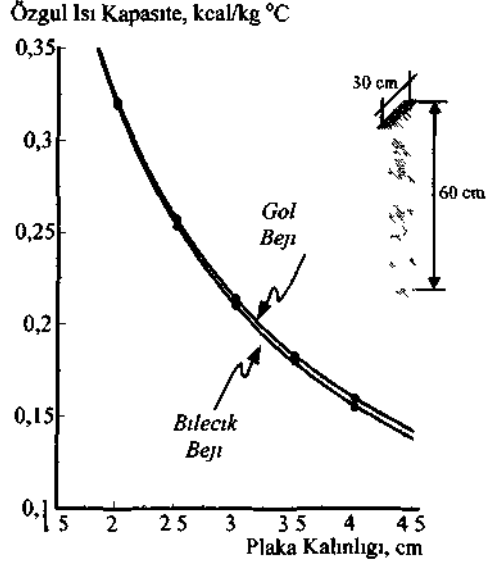
Burada,

- ck** : Mermerin (kuru durumda) özgül ısı kapasite değeri, kcal/kg °C,
- cn** : Mermerin (suya doymun durumda) özgül ısı kapasite değeri, kcal/kg °C,
- pb** : Mermerin birim hacim kütlesi, kg/m³,
- d** : Mermer plakasının kesit kalınlığı, m,
- ΔT** : Mermer plakaların yüzeyler arası sıcaklık farkı, °C;
- ΔQt** : Mermer plaka yüzeyindeki zamana bağımlı ısı artışı, °C;

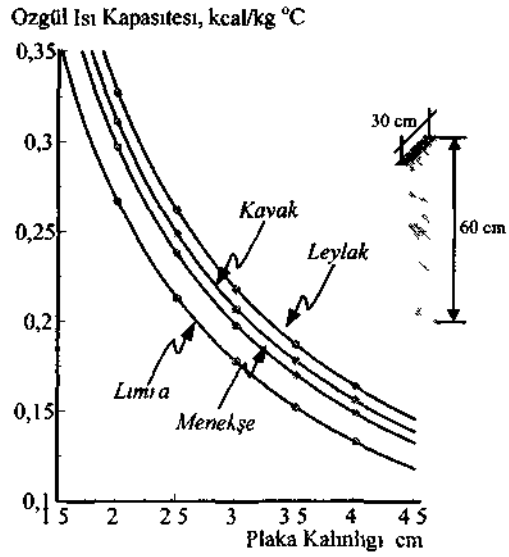
Mermer plakalarının, binaların dış cephe kaplamalarında kullanıldığında, değişen atmosfer ortam koşullarına göre, farklı mermer türü plaka kalınlıkları için yapılan analiz bulguları Şekil 2 - Şekil 4 de verilmiştir.



Şekil 2. Traverten grubu mermer plakaların özgül ısı kapasite değerlerindeki değişim.



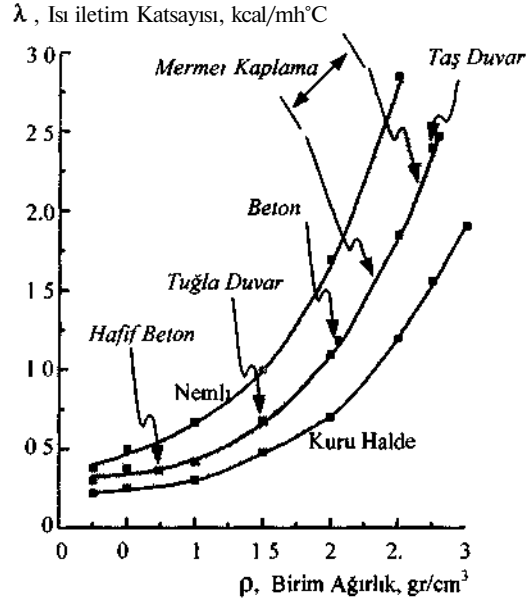
Şekil 3 Bej grubu mermer plakaların özgül ısı kapasite değerlerindeki değişim



Şekil 4 Beyaz grubu mermer plakaların özgül ısı kapasite değerlerindeki değişim

Şekil 2- Şekil 4 irdelendiğinde, 60cm x 30cm ebatlarındaki mermer plakalarına ait kaplama kalınlıkları arttıkça, kullanılan ortam durumuna bağımlı olarak, özgül ısı kapasite değerinin düştüğü gözlenmektedir. Genelde arzu edilen olgu, kayacın özgül ısı kapasite değerinin düşük olması gerektiğidir. Bu analiz bulgularına göre, mermer plakalarının binn ağırlıklarının sıcaklık değerini değiştirmek için çok yüksek oranlarda ısı enerjisine ihtiyaç du> ulmadığı veya bir başka deyişle, mermer plakalarının ısınma ve soğuma olgusunun çok

hızlı bir şekilde gerçekleşeceği söylenebilmektedir. Genelde iki malzeme arasındaki sıcaklık farkı nedeni ile, ısı, bir enerji olarak sıcak cisimden soğuk cisme doğru bir geçiş sağlar ve iki malzeme arasındaki ısısal geçirimsizlik, malzemelerin bulunduğu ortamlara göre kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon olmak üzere üç farklı şekilde gerçekleşmektedir. Mermer kaplama elemanlarındaki ısı geçirimsizlik olgusu genelde kondüksiyon yolu ile olmaktadır. Kondüksiyon yolu ile mermer kaplama elemanında meydana gelen ısı geçirimsizlik olayında, kayacın ısı geçirimsizliği, kalınlığına (d), ve kendi içyapı özelliklerine bağlı ısı iletkenlik katsayısına (λ) 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 [4]. Isı iletimi, malzemenin iç yapı 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 5'de görüldüğü gibi grafikize edilebileceğini göstermiştir. Şekil 5 incelendiğinde görüleceği gibi, ısısal konforun iyileşmesinin arzu edildiği durumlarda, malzeme yoğunluğunun düşük olması gerektiğini göstermektedir.



Şekil 5. Farklı yapı malzemeleri için ısı iletkenlik değerlerinin değişimi.

Bu tanımlama bağlamında, mermer türlerinin ısı iletkenlik değerleri, TS 415 ve ASTM-C 236 standardında öngörülen prensip çerçevesinde SDÜ Mermer Teknolojisi laboratuvarında bir ölçüm düzeneği geliştirilerek, parametrik değerleri ölçülmüştür. Analiz bulgularından edinilen genel olgu; mermerin bünyesinde bulundurduğu nem içeriğine göre λ değerinin de değişim gösterdiği gözlenmiş olup, parametrik değerlerin 1.4 - 3.2 kcal/mh°C arasında değiştiği belirlenmiştir.

Yukarıda belirtilen standart ve ölçüm değerlerine göre, mermerin ısı iletkenlik değeri, malzemenin atomları arasındaki bağ kuvvetlerine, iç yapıya, boşluk miktarlarına ve

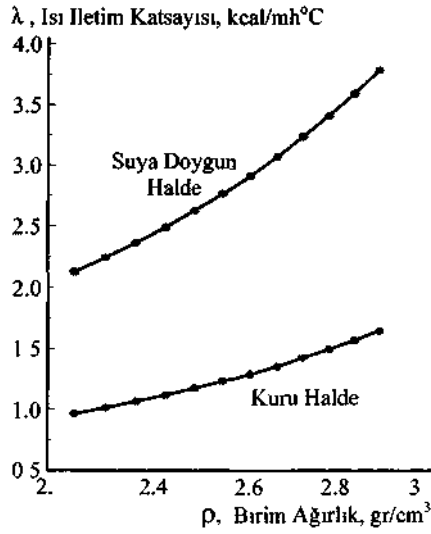
bünyesinde bulundurduğu nem miktarına bağlı olarak değişimler göstermektedir. Mermer türünün yoğunluğu ve malzeme yapısındaki gözeneklerin ve/veya porozitenin oranı ve hacimsel durumu önemli parametrelerin başında gelmektedir. Malzemenin gözenek veya porozite boyutları, şekilleri ve dağılımları, nem 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. 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 [5]. Ancak, bu tür küçük gözeneklerin malzeme yapısında çok fazla miktarda bulunması, gözenekler arasında bulunan matris yapı içerisinde kılcal çatlaklar oluşmasına ve buna bağlı olarak gelişen bağlantılı boşluk! u 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 belirlenmesi yapmak kaçınılmaz -olduğu belirlenmiştir:

- * Kayacın boşluk oranı ve boşluk geometrisine bağımlı ısı iletim değeri,
- * 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 şu şekilde verilmiştir:

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

Bu genel form kapsamında ve standartta öngörülen prensipler çerçevesinde yapılan analizler sonucu, mermer türlerinin ısı iletimlik değer değişimi Şekil 6'da verildiği gibi elde edilmiştir.



Şekil 6. Mermer türleri için ısı iletimlik değerlerinin değişimi.

Şekil 6 irdelendiğinde, mermerin içerdiği nem miktarı, ısı iletimliğini artıran bir faktör olarak görülmektedir. Genelde X değeri düşük olan malzemeye *yalıtkan*, büyük olan

malzemeye ise *iletken* malzeme tanımlaması yapılmaktadır. Şekil 6'da verilen değişim olgusu, regresyonel analizlerle tanımlanmış ve aşağıda verilen istatistiksel yaklaşımlar elde edilmiştir.

$$\lambda_{kuruz} = 0.1564 e^{0.8085 \cdot \rho}$$

$$\lambda_{ort} = 0.2205 e^{0.8314 \cdot \rho}$$

$$\lambda_{rut} = 0.2992 e^{0.8718 \cdot \rho}$$

Burada;

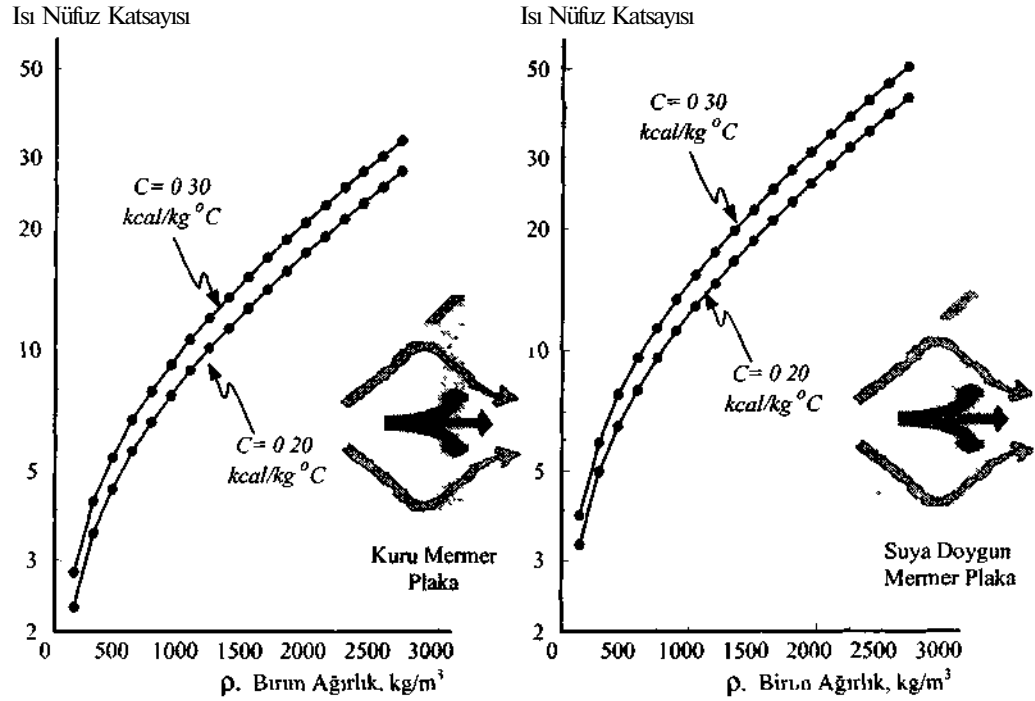
λ_{kuruz} : Mermerin kuru halde ısı iletim katsayısı, kcal/mh°C

λ_{ort} : Mermerin ortalama ısı iletim katsayısı, kcal/mh°C

λ_{rut} : Mermerin cın rutubetli halde ısı iletim katsayısı, kcal/mh°C

ρ : Mermerin birim ağırlığı, gr/cm³.

Bu çalışma kapsamında yapılan diğer bir analiz ise, mermer plakaların ısı nuru katsayılarının belirlenmesi olmuştur. Mermer türlerinin ısı nüfuz katsayılarının değişimi Şekil 7 'de verilmiştir.



Şekil 7 Mermer türleri için ısı nüfuz katsayısı değişim karakteristiği.

Şekil 7 irdelendiğinde, mermerin özgül ısı kapasite değerlerindeki değişiminde, birim ağırlık değer artışına paralel olarak ısı nüfuz katsayısı değerlerinin arttığı gözlenmektedir. Burada önemli olan husus, yalıtkan özellik gösteren bir malzemede, ısı nüfuz katsayısının düşük

değerlerde olması gerekmektedir. Bu da, malzemenin ısı akışının, malzemenin bünyesinden geçişinin bir karakteristik göstergesi olarak nitelendirilebilmektedir. Bu katsayı değerinin yüksek olması durumunda, malzeme bünyesinden ısı akışının hızlı ve kısa bir zaman aralığında olacağını ifade etmektedir. Bu genel tanımlama çerçevesinde, mermer plakalarının, ısısal konfor açısından yalıtkan bir karakteristik sergileyebilmesi için, birim ağırlığının düşük, gözeneklilik oranının yüksek ve su emme veya su tutma özelliğinin düşük olması gerekmektedir [6]. Bu bağlamda, mermer türlerinin su emme Özelliği önemli bir değişken olmaktadır. Bu parametreler, birer değişken olarak nitelenerek mermerlerin su tutma karakteristiğine göre, ısı nüfuz katsayısı (0), matematiksel eşitlikler ile modellenmiş olup, geliştirilen model formları aşağıda verilmiştir:

$$\theta_k = 0.39 * \sqrt{C * \rho_b} + 1.00081^{0.5 * \rho_b}$$

$$\theta_n = 0.55 * \sqrt{C * \rho_b} + 1.00087^{0.5 * \rho_b}$$

Burada:

θ_k : Kuru durumda mermerin ısı nüfuz katsayısı,

θ_n : Suya doymuş durumda mermerin ısı nüfuz katsayısı.

Isınma sırasında yapı elemanı bünyesine belirli oranlarda ısı depo etmektedir. Isı depolama niteliği, başta malzemenin kuru birim hacim ağırlığı (p) olmak üzere, malzeme özgül ısısına (c) bağlı olarak değişim göstermektedir. Bilindiği gibi, yüksek dekoratif özellikleri nedeni ile mermer plakalar, binaların dış yüzeylerinde kaplama elemanı olarak yaygın bir şekilde kullanılmakta olup, binanın dış yüzey kabuğunu oluşturmaktadır. Binalarda ısısal konfor sürecinde, ısınma amacı ile ortama verilen ısı enerjisinin kesintiye uğramasında, binanın dış yüzey kabuğunun yeterli ısı geçirgenlik direncine sahip olması, depolanan ısıdan uzun süre yararlanılması bakımından önemlidir. Bu bakımdan, ısısal konfor açısından yapılan çalışmalarda, hafif dış duvarlar için, ısı yönetmeliklerine göre ısı depolama nitelikleri azaldığı oranda, daha yüksek bir ısı geçirgenlik direnci sağlanarak, yapının ısıtma kesintilerinde depolanan ısıdan daha uzun bir süre yararlanılabilmesi amaçlanmaktadır. Devamlı ısıtılan yapılarda ise, ısı depolama niteliğinin, enerji tasarrufu açısından pratik bir önemi kalmamaktadır. Ancak yapı dış yüzey kabuğunun ısı ataletinin yeterli olması, dış ısı değişimlerinin yapı dış kabuğu tarafından dengelenebilmesi bakımından, yapının iç elemanlarının ise asgari bir ısı depolama yeteneğinde olması, iç ortamdaki ani ısı değişimlerinin dengelenebilmesi bakımından arzu edilen bir olgudur.

Yaz aylarında, güneş ışımaya maruz kalan kaplama elemanlarının bünye sıcaklıkları, 70-80 °C sıcaklıklara kadar ulaşabilmektedir. Bu bakımdan, yapı malzemesinin kaplama elemanı (mermer), beton ve tuğla gibi yüksek ısı depolama özelliğinde ve düşük ısı ataletine sahip olması önemli bir sakınca teşkil etmektedir. Dış duvarlarda yazın depolanan güneş ısı, iç ve dış ortam sıcaklıklarının eşit olması sebebiyle, gece eşit olarak iç ve dış ortama geri dönmektedir. Kışın ise, dış duvarda depolanan ısıtma ısı, dış ortam sıcaklığının önemli ölçüde İç ortam sıcaklığından düşük olması ve duvar sıcaklığının genellikle iç ortam sıcaklığından az oluşu sonucu, iç ortama dönemeyip dış ortama kaçmaktadır. Bu açıdan bakıldığında, dış duvarın yüksek ısı depolama özelliğinde olması, gereksiz bir enerji sarfiyatına neden olmaktadır. Bu sakıncanın giderilmesi için, duvar dış yüzeyinin özel bir yalıtım malzemesi ile kaplanması düşünülebilir [6]. Ancak, mermer plakalarının, dekorasyon amaçlı olarak duvar dış kaplamalarda kullanılması durumunda, bu tür bir yalıtım söz konusu olamamakta ve özellikle kışın, güneş ışması ile pasif enerjiden istifade imkanı da sağlanmış olmaktadır.

Yukarıda özet olarak söz konusu edilen hususun incelenmesi amacıyla, mermerlerin ısı depolama yetenekleri analiz edilmiş olup, elde edilen bulgular Şekil 8 - Şekil 9'da verilmiştir. Bu bağlamda, mermer türlerinin ısı depolama özelliği, nem içeriklerine göre değişmektedir. Mermer kaplamanın kesit kalınlığına, birim ağırlığına ve nem içeriğine göre mermerlerin ısı depolama yeteneği (ξ), matematiksel eşitlikler ile modellenmiş olup, geliştirilen model formları aşağıda verilmiştir:

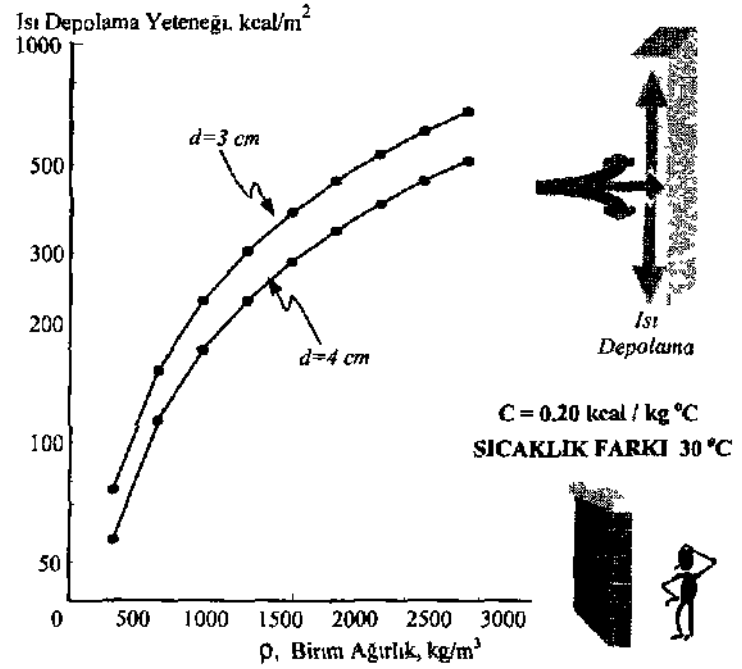
$$\xi_k = \frac{0.16 * e^{0.0008085 * \rho b}}{d} \frac{\Delta T}{\Delta Q t} \Delta t$$

$$\xi_n = \frac{0.30 * e^{0.0008718 * \rho b}}{d * (1+z)} \frac{\Delta T}{\Delta Q t} \Delta t$$

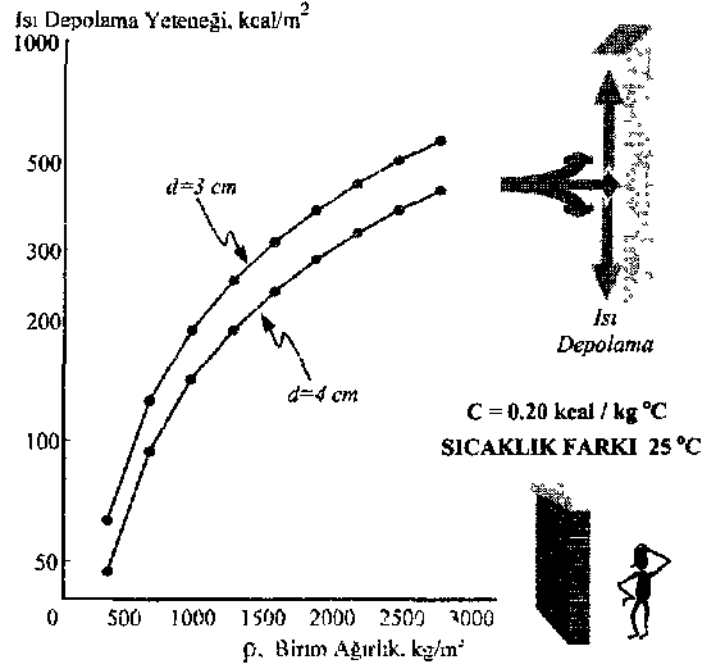
Burada:

ξ_k : Kuru durumda mermerin ısı depolama yeteneği, kcal/nr,

ξ_n : Suyu doymuş durumda mermerin ısı depolama yeteneği, kcal/nr,



Şekil 8. Mermer türleri için ısı depolama karakteristiği (kuru durumda kullanım).



Şekil 9. Mermer türleri için ısı depolama karakteristiği (suya doymun durumda kullanım).

Mermerlerin ısı depolama yeteneğinin dinamik olgusu yukarıda tanımlanmıştır. Isı depolama özelliği, mermer kaplamada ısınma ve soğumanın bir ölçütü olarak nitelendirilebütüğüne göre, diğeri bir tasarım parametresi olarak, güneş enerjisi ve/veya dış etkenler ile ısınma olgusu sonrası, mermer kaplama elemanının soğuma karakteristiği de değerlendirilebilmektedir. Bu konu üzerine yapıları analiz bulguları sonucu, mermer kaplama elemanlarının kesit kalınlıkları, özgül ısı kapasite değerleri ve birim ağırlık değerlerinin önemli birer değişken parametre olduğu belirlenmiştir. Soğuma karakteristiğinin nitelendirilmesi ve mermer malzeme seçiminde bir kalite parametresi olarak değerlendirilmesi bakımından, mermer türleri için Şekil 10 - Şekil 12'de soğuma olgusu gösterilmiştir. Ayrıca, bu olgu matematiksel olarak modellenmiş olup aşağıdaki eşitlikler tanımlanmıştır:

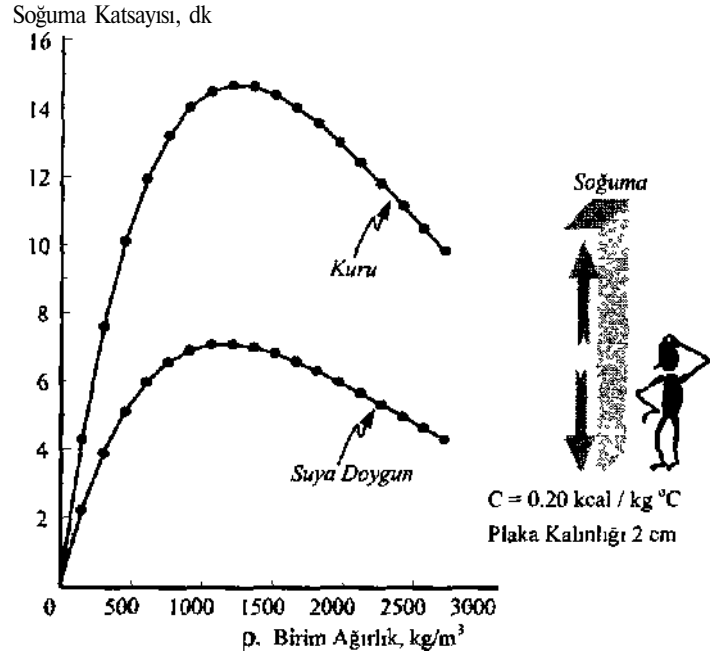
$$\psi_k = 6.41 * \rho_b * d^2 * c_k * e^{-0.00081 * \rho_b}$$

$$\psi_n = 3.33 * \rho_b * d^2 * c_n * e^{-0.00087 * \rho_b}$$

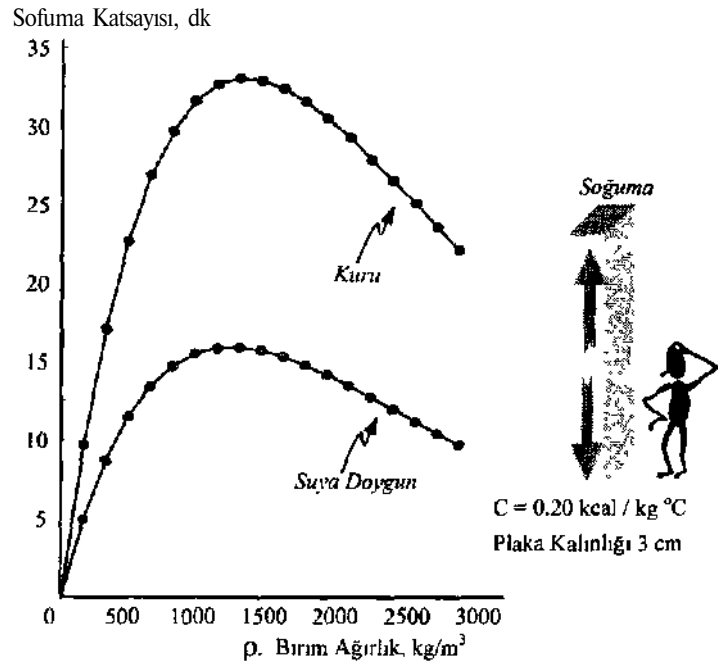
Burada:

ψ_k : Kuru durumda mermerin soğuma katsayısı, dakika,

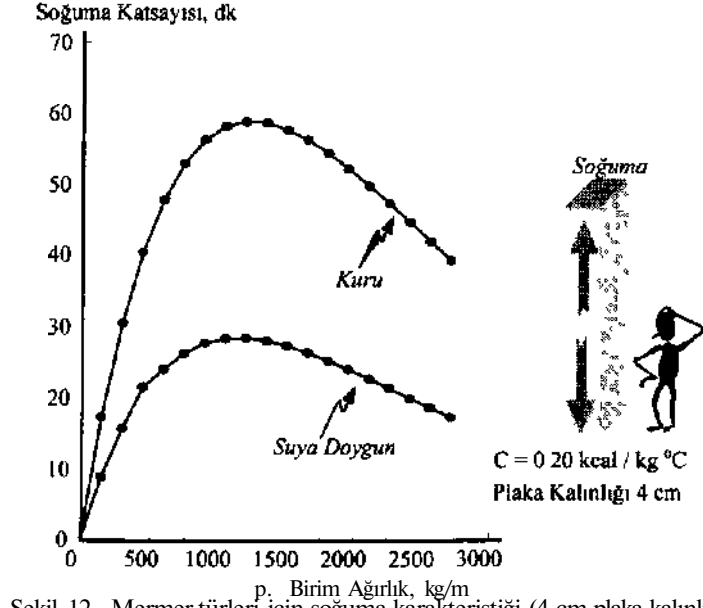
ψ_n : Suya doymun mermerin soğuma katsayısı, dakika.



Şekil 10. Mermer türleri için soğuma karakteristiği (2 cm plaka kalınlığı).



Şekil 11. Mermer türleri için soğuma karakteristiği (3 cm plaka kalınlığı).



Şekil 12. Mermer türleri için soğuma karakteristiği (4 cm plaka kalınlığı).

4. SONUÇLAR

Bu makalede, mermer türlerinin farklı plaka kalınlıklarında ısısal konfor özelliklerinin belirlenmesine yönelik deneysel ve tanımsal 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 itibarıyla 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 iletkenlik ve özgül ısı kapasite değerlerinin yüksek oluşu sebebiyle, ısısal konfor hesaplamalarında yaklaşık benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu bakımdan, bu çalışmada ısısal konfor parametrelerinden değerleri verilen değişkenler, mermerlerin kaplama elemanı amaçlı seçiminde, hangi mermerin daha avantajlı bir özelliğe sahip olduğunun belirlenmesine yönelik birer kalite faktörü olarak değerlendirilebileceği vurgulanmıştır. Ayrıca, mermerlerin ısısal özelliklerinin tanımlanması ve parametrik değerlerinin neler olabileceği hususunda, konu üzerine analizlerde bulunacak yeni araştırmacılara da ışık tutulması amaçlanmıştır.

5. KAYNAKLAR

1. Eriç M., Yapı Fiziği ve Malzemesi, Literatür Yayıncılık, İstanbul, (1994).
2. Can M. ve Avcı A., Bursa Bölgesi Konut Duvarlarının Optimum Isı Yalıtım Kalınlığının Hesabı Ülke Ekonomisi ve Hava Kirliliğine Etkileri. I. Isı-Ses*Su Yalıtımı Sempozyumu, 13*14 Aralık, İstanbul, (1995).

3. TS 4048, Isı Yalıtım Malzemesinin Özgül Isının Tayini, TSE, Eylül, (1984).
4. ASTM C-236, Korumalı Sıcak Kutu Yöntemi ile İsi iletkenlik Değerinin Tespiti, ASTM Rev., (1992).
5. Gündüz L., Pomza Teknolojisi, Cilt I, Temmuz, İsparta, (1998).
6. Borhan B., Ytong El Kitabı-I, Türk Ytong Sanayi Yayını, Mart, (1985).