

## MERMERLERİN ISIL PERFORMANSI ve BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

### *Thermal Performance of Marbles and Investigation of Effects to Energy Saving in Buildings*

Lütfullah GÜNDÜZ\*  
Nükhet ŞAPCI\*\*  
Mehmet KARCI\*\*\*

#### ÖZET

İnşaat sektöründe ısısal konfor - ısı yalıtım hesaplamaları ve değerlendirmeleri, günümüzde enerji verimliliği bağlamında önemli bir gündemi oluşturmaktadır. Bina uygulamalarında ısı yalıtımını sağlayan başlıca faktör, kullanılan yapı malzemesi ve malzemenin ısısal özellikleridir. Son yıllarda inşaat sektöründeki uygulamalarda doğal kayaç malzeme kullanılımasının yaygınlaşması sebebiyle, mermer türevi plakalarının yapı ve kaplama taşı olarak kullanımı giderek artmaktadır. Bu makalede, farklı mermer türlerine ait levha ve plakaların, ısı iletkenlik ve özgül ısı kapasite değerleri deneysel analizlerle belirlenmiş olup, ısısal konfor parametreleri üzerine yapılmış detay irdeleme bulguları verilmiştir. Ayrıca, mermerlerin ısısal konfor parametreleri ile ısı yalıtım özelliği arasındaki ilişkiler detaylı tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Mermer, Isıl İletkenlik, Özgül Isı, Isısal Konfor, Isı Depolama.

#### ABSTRACT

Calculations of thermal comfort and thermal insulation and evaluations in civil engineering sector are currently very important subject based on energy savings. The basic important factor for heat insulation in buildings is the construction materials used and their thermal properties. Increasing utilization of natural rock materials in civil structuring applications is making marble materials a very popular tile material as a construction and facing stone. In this paper, thermal conductivity and specific heat values of different marble types were described in experimental analyses and the detailed research findings on the thermal comfort parameters for the marble types were presented. Furthermore, the relationship between the thermal comfort parameters and the heat insulation properties of the marble types were discussed in detail.

**Keywords:** Marble, Thermal Conductivity, Specific Heat, Thermal Comfort, Heat Storage.

\* Katip Çelebi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İZMİR, lutfullah.gunduz@ikc.edu.tr

\*\* Süleyman Demirel Üniversitesi, Pomza Araş. ve Uygulama Merkezi, ISPARTA

\*\*\* Maden Yüksek Mühendisi, Mineromadencilik Ltd. Şti., NEVŞEHİR

## 1. GİRİŞ

Küresel ısınma ve dünyada giderek hızla artan iklim değişikliği süreci, tüm dünyanın en öncelikli konuları arasında yer almaktadır. Kyoto Sözleşmesi ile başlatılan ve dünyadaki sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik olarak alınması gereken tedbir ve önlem paketlerini ihtiva eden bir dizi uygulamalar dünyanın birçok ülkesinde ağırlıklı olarak sürdürülmektedir.

Bu bağlamda, 2002 yılında Avrupa Birliği Konsey Direktifleri doğrultusunda, ülkemizde 5627 sayılı "Enerji Verimliliği Kanunu"nu 02.05.2007 tarihinde yürürlüğe sokulmuş ve hemen akabinde 02.12.2008 tarihinde "Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği" yayınlanarak, ülkemizde inşaat sektöründe enerji verimliliği ve uygulama prensipleri kısmen belirlenmeye çalışılmıştır. 01 Ocak 2011 tarihinden itibaren ülkemizde binalarda enerji kimlik belgesi alma zorunluluğu getirilmiş ve konuya ilişkin "Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği" uygulamaya girmiş olup, bu yönetmelik kapsamında binaların ısı performans hesaplamalarının yapılmasında ulusal yazılım programı olan BEP-TR program süreci uygulanmaya başlanmıştır. Ancak, günümüzde gerek kaplama gerekse döşeme elemanı olarak bina uygulamalarında farklı amaçlarla yaygın olarak kullanılan mermerlerin, binanın enerji verimliliğine olan katma değerleri çok irdelenmiş bir konu değildir. Konu üzerine detaylı inceleme bulgularına da yeterince rastlanılamamaktadır. Ayrıca, mermerlerin bu gibi hesap ve irdemelerin yapılmasında bilinmesi gerekli ısı performans parametre değerleri de çok araştırılmış bir konu olarak da görülmemektedir.

Bu makalede, farklı orijindeki mermer türleri üzerine Süleyman Demirel Üniversitesi, Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi Laboratuvarında yapılan bir dizi deneysel analiz verilerine dayanarak elde edilen ısı özellikleri (ısı iletkenlik değeri, özgül ısı kapasiteleri, ısı depolama yetenekleri ve ısı nüfuz performansı vb. parametreleri) detaylı olarak tartışılacak olup, mermer türünün bir binada kaplama amaçlı olarak kullanımında birbirlerine göre enerji verimlilik değerlendirmeleri de irdelenmektedir. Bu makalede tartışılacak verilerin, günümüzde sıklıkla sorulan ve her bir malzeme türü için bilinmesi giderek çok önemsenen ısı performans karakteristikleri bağlamında inşaat sektöründe mermer kullanımlarının irdelenmesine ışık tutmak amaçlanmıştır.

## 2. ISIL PERFORMANS VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Dünya üzerindeki birincil enerji kaynaklarının hızla tükenmesi üzerine gelişmiş ülkeler başta olmak üzere tüm ülkeler enerji ihtiyaçlarını kontrol altına alma ve enerjiyi etkin kullanma yöntemleri geliştirmişlerdir. Ülkemizde de, başta sanayi ve konut sektörlerinde olmak üzere, enerji tüketimleri her geçen yıl artmaktadır. Konutlarda kullanılan enerjinin büyük bir kısmı ısıtma ve soğutma amaçlı olarak tüketilmektedir. Söz konusu bu enerjinin etkin kullanılması, ısı yalıtımı ile sağlanabilir. Bina zarfı, binanın iç ortamını dış ortamdandan ayıran yapı elemanlarını kapsamakta olup, duvarlar, pencereler, kapılar, döşeme, tavan ve çatılardan oluşmaktadır. Sağlıklı yaşam koşullarının oluşturulması, yakıt tüketimlerini azaltarak, kullanıcının düşük yakıt masrafları ile sistemini işletmesinin ve dolayısıyla hava kirliliğinin azaltılmasının sağlanması, binanın iç ve dış etkenlerden korunarak ömrünün uzatılması amacıyla, yapı bileşenleri üzerinden, farklı sıcaklıktaki iki ortam (dış hava-yaşanan mahaller) arasındaki ısı geçişini azaltmak için yapılan işlemlere "ısı yalıtımı" denilmektedir (Gündüz 2005). Enerji verimliliği, binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan, birim hizmet veya ürün miktarı başına enerji tüketiminin azaltılmasıdır. Bunun için özellikle konut ve bina sektöründe, yapının enerji verimliliğinin sağlanması, o yapıda kullanılacak malzemelerin ısı özelliklerinin kuşkusuz yüksek performans göstermesine bağlı olacaktır.

Isı, farklı sıcaklıklara sahip ortamlarda daima sıcaktan soğuğa doğru geçerek bir denge oluşturma eğilimindedir. Yapı elemanlarını meydana getiren malzemeler, söz konusu ısı geçişine, ısı iletkenlik katsayılarına ve kalınlıklarına bağlı olarak bir direnç gösterirler. Isı yalıtımı sağlayan malzemelerin en önemli özelliği "ısı iletkenlik katsayısı" olup, genellikle " $\lambda$ " sembolü ile gösterilmekte ve "kcal/mh°C" veya "W/mK" biriminde ifade edilmektedir. Bu değer, ne kadar küçük ise o malzemenin ısı yalıtımına katkısı o derece yüksek olduğunun bir ifadesidir (Gündüz 2005).

Isıl enerji, cisimlere değişik türde etkiler yapmaktadır. Bu etki sonucu, iç yapılarda ve mekanik özelliklerde oluşan değişimler gözlenmektedir. Bu bakımdan, malzeme yapısı ile ilgili olarak malzemenin özgül ısı, ısı genleşme, ısı iletkenlik değerleri önemli parametreleri oluşturmaktadır (Gündüz 2005).

Bir mekânın ısı etkilerinden korunması, mekânı çevreleyen yapı bileşenlerinin ısı depolama niteliğine bağımlı olmaktadır. Yapı bileşenlerinin ısı depolama yeteneği, ısı geçirgenlik direnci (1/) ile belirlenmektedir. Bu direnç, kullanılan malzemelerin cinsine, kalınlığına ve ısı iletkenlik katsayısına bağılı olarak değişmektedir. Katı malzemelerin ısı iletkenliği; gözeneklilik derecesine, gözeneklerin büyüklüğü ile dağılım durumuna ve bünyesinde tuttuğu nem miktarına bağımlıdır. Gözenekler içinde bulunan durgun havanın ısı iletkenlik değeri düşük olmaktadır. Ayrıca, gözenek miktarı arttıkça malzemenin birim hacim ağırlık değeri de azalmaktadır. Bu olgu, malzemenin ısı iletkenlik değerinin düşmesine neden olmaktadır. Düzenli dağılmış çok küçük hava gözenekleri olan bir yapı malzemesinin ısı iletkenliği düzensiz dağılmış büyük gözenekli bir malzemeye göre daha azdır. Malzemeyi meydana getiren maddelerin ısı iletkenliği, cinsine (anorganik, doğal-organik ve suni-organik) ve yapısına bağımlıdır (Gündüz vd. 2001).

### 3. MERMERLERİN ISIL PERFORMANS KARAKTERSİTİKLERİ – TEKNİK ANALİZ

Binalarda ısı kayıplarının büyük bir çoğunluğu duvar elemanlarında oluşmaktadır (Butera, 1998, Ekinci 2010). Bu nedenle, duvar eleman-

larını oluşturan malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları ve uygulamada kullanılan kesit kalınlığına bağımlı olarak hesaplanan ısı kayıpları, TS 825 standardında öngörülen sınır değerleri sağlamaması durumunda, duvarın bir ısı yalıtım malzemesi ile kaplanması gerekliliğini de gündeme getirmektedir.

Günümüzde farklı orijin ve karakteristik yapıya sahip birden fazla mermer plakalar, binalarda dış cephelerde kaplama ve/veya dekoratif levhalar olarak kullanımları görülmektedir. Binanın ısı konforu ve ısı kayıpları incelenirken, dış bölme duvarı oluşturan tüm elemanların öncelikle ısısal konfor parametreleri ayrıntılı olarak bilinmesi bir zorunluluk olmaktadır. Ancak, günümüzde binalarda kaplama taşı amaçlı olarak kullanılan mermer **ürünleri için** bu tarz teknik bilgilere yeterince rastlanılmamaktadır. Bu amaçla, Türkiye'nin farklı bölgelerinde yer alan mermer oluşumlarının **ısısal konfor** karakteristikliklerini belirlemek amacıyla, başlıca 4 ayrı tür mermer grubu üzerinde deneysel bir çalışma programı yürütülmüştür. Bu mermer grupları:

- Traverten grubu mermerler,
- Bej mermer grubu,
- Kristalize beyaz mermer grubu,
- Sert taş grubu mermerler.

Çizelge 1. Mermerlerin Sektörel Rumuzları ve Bazı Teknik Özellikleri.

Mermer	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Gözeneklilik (%)	Atmosfer Basıncı Altında Kütlece Su Emme, (%)
Afyon Traverten	2448	4,98	2,14
Krem Traverten	2473	2,17	1,19
Sarı Traverten	2396	6,47	1,33
Kırmızı Traverten	2494	2,08	1,07
Burdur Bej	2682	0,47	0,194
Yeşil Bej	2658	1,23	0,386
Sivrihisar Bej	2678	0,53	0,183
Amasya Bej	2684	0,19	0,192
Uşak Beyazı	2714	0,197	0,04
Afyon Beyazı	2724	0,186	0,09
Milas Leylak	2735	0,181	0,188
Kaplan Postu	2703	0,485	0,194
Bergama Granit	2258	0,114	0,332
Afrika Kırmızı	2817	0,102	0,241
Baltık Yeşili	2677	0,107	0,124
Ankara Andezit	2236	9,34	6,537
Diyarbakır Bazalt	2280	4,42	4,107
Limra Taşı	2140	13,64	5,45
Limra Taşı (Silisli)	2358	8,13	3,24

Bu mermer gruplarının her biri için genel mermer oluşumlarını temsil edebilmesi amacıyla, farklı renk, desen ve doku çeşitliliği gösteren alternatif plaka örnekler hazırlanmış olup, deneysel çalışmalar bu örnekler üzerinde yürütülmüştür. Analizlerde kullanılan mermerlerin sektörel rumuzları ve belirlenen teknik özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1’de görüldüğü gibi, ayrıca yapısal özelliğinin farklılık arz etmesi sebebiyle limra taşının iki ayrı oluşumuna ait ısı performans özellikleri de bu çalışmada irdelenmiştir.

Günümüzde mermer plaka kaplama taşı olarak değerlendirilebilen ancak yapısal özellikleri farklı mermer türleri için ısı performans karakteristiklerine yönelik kayacın ısı iletkenlik hesap değeri,  $\lambda_{hesap}$  TS 825 standardı Ek E maddesinde çizelge şeklinde ve EN ISO 10456:2007 standartlarında da benzer değerler olarak öngörülmüştür. Bu değerler, kayacın birim hacim kütle değerine bağımlı olarak Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Mermerlerin Isıl İletkenlik Hesap Değeri.

Doğal Kayaç	Birim Hacim Kütle (kg/m <sup>3</sup> )	Isıl iletkenlik hesap değeri $\lambda_{hesap}$ (W/mK)
Tortul, sedimanter taşlar (kum, taşı, traverten, konglomeralar v.b)	2600	2,3
Gözenekli püskürük taşlar	<1600	0,55
Granit	2500 - 2700	2,8
Bazalt	2700 - 3000	3,5
Mermer	2800	3,5

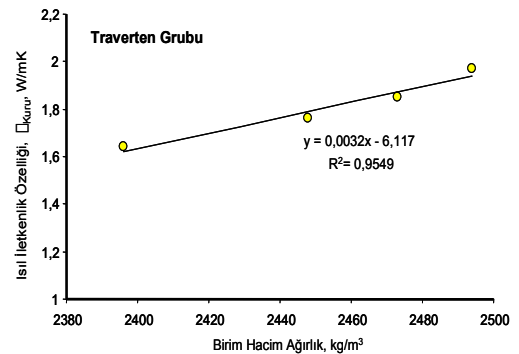
Çizelge 2’de verilen değerler, burada belirtilen malzeme türleri için birer tasarım değeri olup, eğer malzemeye ait herhangi bir deneysel verinin bulunmadığı durumda, ısı konfor hesaplarında malzemenin türü ve birim ağırlığına göre ortalama olarak kullanılacak verileri temsil etmektedir. Ancak bu değerler, yapılan teknik analizlerde mermer türü kayaçlarda yapısal ve fiziksel özelliklerine göre farklı değerleri de gösterebilmektedir. Bir diğer ısı performans karakteristik parametre ise malzemenin özgül ısı kapasite (C) değeridir. Bu parametre, “kcal/kg°C” veya “J/kgK” biriminde tanımlanmakta olup, farklı mermer türleri için özgül ısı kapasite değerleri, EN ISO 10456:2007 standartlarında 0,24 kcal/kg°C veya 1000 J/kgK olarak öngörülmüştür. Tasarım ısı iletkenlik değerine benzer şekilde, yapılan

teknik analizlerde mermer türü kayaçlarda yapısal ve fiziksel özelliklerine göre farklı değerleri de gösterebilmektedir.

Mermer örneklerinin ısı iletkenlik ve özgül ısı kapasite değerleri, deneysel olarak Süleyman Demirel Üniversitesi Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi Laboratuvarında ilgili TS EN standartlarında öngörülen prensiplere göre (TS EN ISO 8990, ISO 6946) plaka örnekler üzerinde analiz edilmiş olup, elde edilen parametrik bulgular Çizelge 3’de verilmiştir.

Bu çizelgeden de görüleceği üzere, yapılan analiz bulgularına göre mermerlerin ısı iletkenlik değerleri, yapısal karakteristikleri bağlamında farklı değerler göstermektedir. Limra taşı oluşumları gibi gözenekliği yüksek ve birim hacim ağırlığı diğer türlere göre çok daha düşük olan, doğal taş kaplama malzemelerin ısı iletkenlik değerleri düşük değerlere sahiptir. Örneğin, traverten türü doğal kayaç plaka örneklerine göre ısı iletkenlik değerinin %35 daha düşük olduğu görülebilmektedir. Bir diğer genel olgu ise, kayaç yumuşak karakteristik yapıdan daha sert bir kayaç yapısına dönüştüğünde de ısı iletkenlik değerinin arttığı görülmektedir. Bu durum, o malzemenin ısı konfor hesaplamalarında performans değerinin daha kısmen düşük olabileceği anlamını da taşımaktadır.

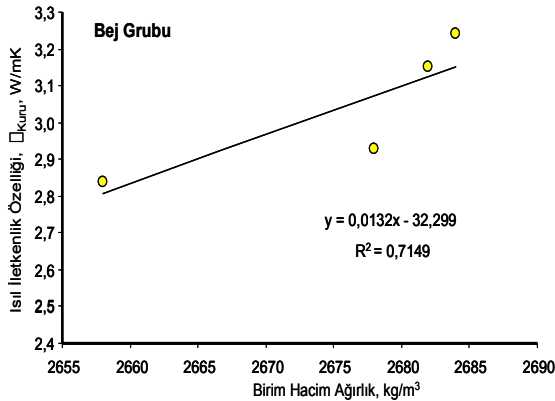
Literatürde doğal malzemeler için tanımlanan genel değerlendirmeler irdelendiğinde görülmektedir ki, bir malzemenin ısı iletkenlik değeri, malzemenin birim ağırlığının fonksiyonu olarak dönüşmektedir (Butera, 1998, Ekinci, 2010, Gündüz 2005). Malzemenin birim hacim ağırlığı düştükçe, ısı iletkenlik değeri de genel olarak düşmektedir. Bu bağlamda, analizi yapılan mermer örneklerin gruplandırılmaları altında birim ağırlıklarına karşılık elde edilen ısı iletkenlik değerleri grafiksel olarak irdelenmiş olup, bulgular Şekil 1 – Şekil 4’de verilmiştir.



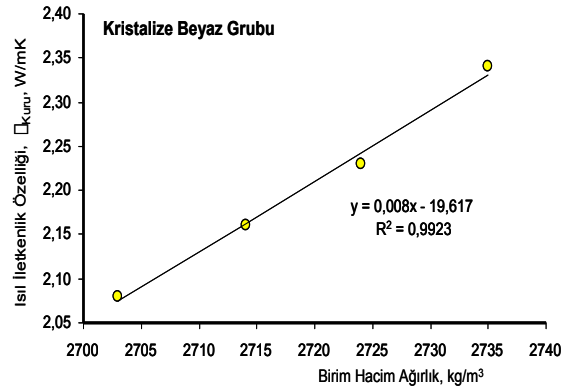
Şekil 1. Birim Hacim Ağırlık – Isı İletkenlik İlişkisi (Traverten Grubu Mermerler).

Çizelge 3. Mermer Örneklerinin Isıl Performans Özellikleri.

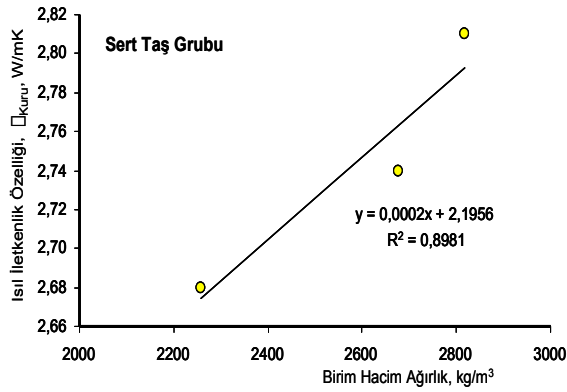
Mermer	Isıl İletkenlik Değeri $\lambda_{kuru}$ (W/mK)	Özgül Isıl Kapasitesi C (kcal/kg°C)	Özgül Isıl Kapasitesi C (J/kgK)	Isıl Depolama Yeteneği DT=1°C (kcal/m <sup>2</sup> )	Isıl Nüfuz Potansiyeli (kcal/m <sup>2</sup> h <sup>1/2</sup> /°C)
Afyon Traverten	1,76	0,213	893	7,82	28,09
Krem Traverten	1,85	0,224	938	8,31	29,69
Sarılı Traverten	1,64	0,209	874	7,51	26,58
Kırmızı Traverten	1,97	0,221	986	8,27	30,56
Burdur Bej	3,15	0,248	1037	9,98	42,45
Yeşil Bej	2,84	0,235	983	9,37	39,06
Sivrihisar Bej	2,93	0,244	1022	9,80	40,58
Amasya Bej	3,24	0,254	1064	10,23	43,58
Uşak Beyazı	2,16	0,218	914	8,88	33,15
Afyon Beyazı	2,23	0,223	933	9,11	34,13
Milas Leylak	2,34	0,228	955	9,35	35,42
Kaplan Postu	2,08	0,216	904	8,76	32,32
Bergama Granit	2,68	0,248	1036	8,40	35,93
Afrika Kırmızı	2,81	0,256	1071	10,82	41,75
Baltık Yeşili	2,74	0,249	1044	9,99	39,63
Ankara Andezit	1,94	0,233	973	7,81	29,48
Diyarbakır Bazalt	1,27	0,222	928	7,59	23,49
Limra Taşı	1,27	0,179	749	5,75	20,45
Limra Taşı (Silisli)	1,43	0,208	869	7,36	24,56



Şekil 2. Birim Hacim Ağırlık – Isıl İletkenlik İlişkisi (Bej Grubu Mermerler).



Şekil 3. Birim Hacim Ağırlık – Isıl İletkenlik İlişkisi (Kristalize Beyaz Grubu Mermerler).



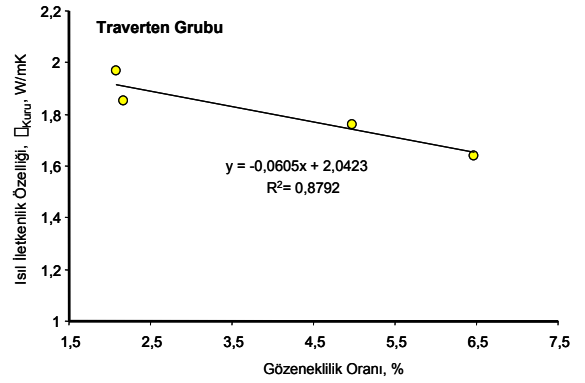
Şekil 4. Birim Hacim Ağırlık – Isı İletkenlik İlişkisi (Sert Taş Grubu Mermerler).

Şekil 1 – Şekil 4’de görüldüğü gibi tüm mermer gruplarında kayacın birim hacim ağırlığı ile ısı iletkenlik değeri arasında lineer artış eğilimi gösteren bir eğilim bulunmaktadır. Kayaç yoğunlaştıkça, ısı iletkenlik değeri de artmaktadır. Bu değer traverten grubu mermerlerde 1,64 – 1,97 W/mK aralığında değişim gösterdiği tespit edilmiş olup, malzemenin yapısal özelliğine bağlı olmak koşulu ile ortalama %12 gibi bir değer değişimi göstermektedir. Ayrıca traverten grubu mermer türleri için TS 825’de öngörülen 2,3 W/mK’lık tasarım ısı iletkenlik değerinden daha düşük değerlerde olabildiği de görülmektedir. Benzer olgu diğer mermer türevlerinde de görülmekle birlikte, bej grubu mermerlerde ısı iletkenlik değeri 2,84 – 3,24 W/mK aralığında değişim göstermekte olup, %14 gibi ısı iletkenlik marjinal değişim görülmektedir. Kristalize beyaz grubu mermerlerde ise bu eğilim, 2,08 – 2,34 W/mK aralığında olduğu görülmüş olup, %12,5 gibi bir marjinal değişim gözlenmiştir. Ancak, sert taş grubu mermerlerde yapısal oluşum ve fiziko-kimyasal özelliklerinin bir fonksiyonu olarak diğer mermer türlerinden kısmı de olsa bir farklılık olduğu gözlenmiştir.

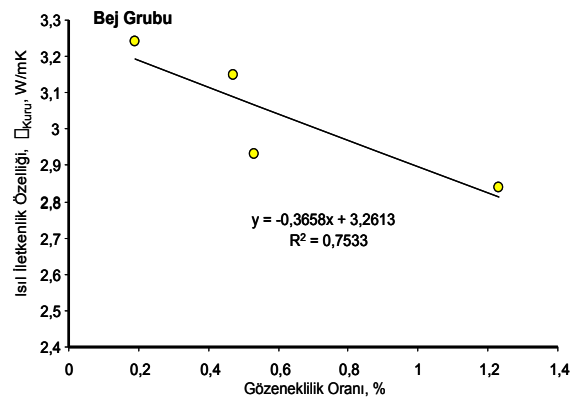
Granit oluşumu olarak test edilen örneklerde ısı iletkenlik değeri 2,68 – 2,81 W/mK aralığında değişim gösterirken (hemen hemen bej grubu mermerlere yakın değerlerde), andezit taşı oluşumunda bu değer 1,94 W/mK ve test edilen bazalt kayacında da ısı iletkenlik değeri 1,27 W/mK olarak belirlenmiştir. Bu grupta yer alan kayaların birim ağırlıkları ve jeolojik orijinleri benzer özellikler göstermesine rağmen, ısı iletkenlik değerlerindeki bu değişimin nedeni, kayacın gözeneklilik olgusu ve atmosfer basıncı altında kütlece su emme değerlerindeki bariz farklılığın bir fonksiyonu olarak yorumlanabilmektedir. Kayaç örneklerinin ısı iletkenlik değerlerinin taşıdığı anlama bağlı olarak bir sıralama yapmak gerekir

ise, ısı konfor hesaplamalarında mermer türleri arasında en performanslı malzemenin limra taşı oluşumları gelebileceği, bunu takiben de sırasıyla traverten grubu mermerler, kristalize beyaz grubu mermerler ve bej-sert taş grubu (granit) mermerler olarak sıralanabilmektedir. Ancak bu irdelemede bazalt ve andezit türevi kayalar farklı bir eğilim de gösterebilecektir.

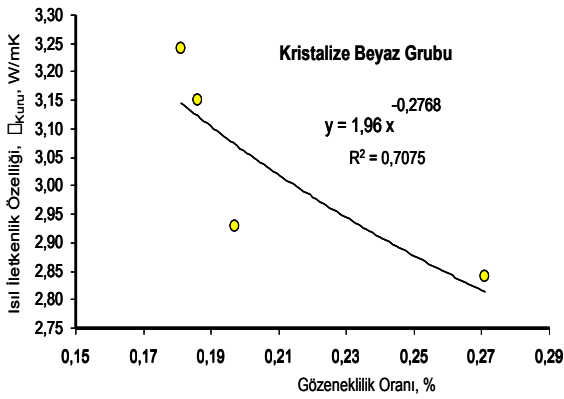
Mermerlerin gözeneklilik olgusu, kayacın ısı iletkenlik değerini doğrudan etkileyen bir faktör olabilmektedir. Kayacın gözeneklilik oranı arttıkça malzemenin ısı iletkenlik değerinin de düştüğü genel bir olgu olarak tespit edilmiştir. Bu bağlamda yapılan analizlerde tüm mermer grupları için gözeneklilik oran değişimlerine bağlı olarak ısı iletkenlik değerleri grafiksel olarak irdelenmiştir (Şekil 5 – Şekil 8).



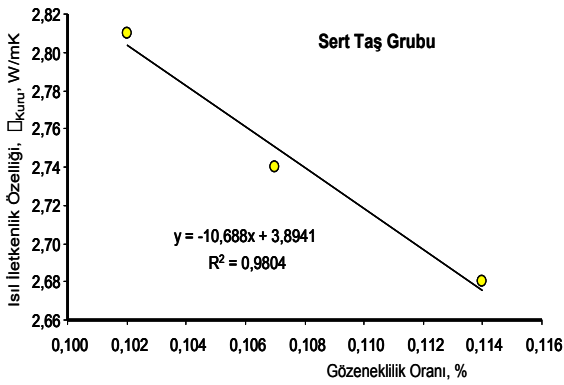
Şekil 5. Gözeneklilik Oranı – Isı İletkenlik İlişkisi (Traverten Grubu Mermerler).



Şekil 6. Gözeneklilik Oranı – Isı İletkenlik İlişkisi (Bej Grubu Mermerler).



Şekil 7. Gözeneklilik Oranı – Isıl İletkenlik İlişkisi (Kristalize Beyaz Grubu Mermerler).



Şekil 8. Gözeneklilik Oranı – Isıl İletkenlik İlişkisi (Sert Taş Grubu Mermerler).

Şekil 5 - Şekil 8 irdelendiğinde görüleceği gibi, mermerin gözeneklilik oranı ile ısıl iletkenlik özelliği arasında lineer ölçekte bir eğilim söz konusudur. Traverten, bej ve sert taş grubu mermerlerde bu eğilim, doğrusal kabul edilebilecek lineer bir karakteristik gösterir iken, kristalize beyaz grubu mermerlerde ise üstel bir fonksiyon şeklinde karakteristik olgu gözlenmektedir. Mermerin bünyesinde gözeneklilik olgusu arttığında, yukarıda da belirtildiği üzere ısıl iletkenlik değerinde bir düşüş görülmektedir. Örneğin, traverten grubu mermerlerde gözeneklilik oranı 3 kat artarken ısıl iletkenlik değerinde buna karşın %20 oranında bir düşüş olduğu belirlenmiştir. Diğer bir deyişle, ısıl konfor özelliği yüksek performans sergilemesi beklenen bir mermer kaplama malzeme, gözeneklilik olgunun da yüksek olması arzu edilmektedir. Ancak, sektörel uygulamalarda çoğunlukla yüksek gözeneklilik gösteren mermer türleri, alternatif uygulamalarla dolgu yapılmaktadır. Bu dolgu uygulamaları, doğal olarak o malzemenin ısıl performans özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilecektir.

Kayaçların ısıl performans irdelemesinde önem-

senen bir diğer parametre, özgül ısı kapasite değeridir. Bu parametre, bir malzemenin bünyesinde ısı depolama ve ısıyı bünyesinden iletme olgularının teknik irdelemesinde ağırlıklı olarak kullanılan bir faktördür. Bir cismin birim sıcaklığını 1oC arttırmak için gerekli ısıl enerjiye ısıl kapasite veya ısınma ısısı denilmektedir. Isıl kapasitenin, suyun ısıl kapasitesine oranlanmış bağıl değeri kcal/groC olarak tanımlanır (Gündüz, 2005). EN ISO 10456:2007 standartlarında mermer-doğal kayaç türleri için özgül ısı kapasite (c) değerleri kayacın orijini ve yapısal özelliğinden bağımsız olarak tüm türler için tasarım değeri bağlamında 1000 J/kgK olarak öngörülmüştür. Ancak, mermer örneklerinin özgül ısı kapasite özellikleri üzerine deneysel olarak yapılan analiz bulguları, kayacın yapısal özelliğine göre özgül ısı kapasite değerlerinde minimal ölçeklerde de olsa farklılıklar olduğunu göstermiştir (Çizelge 3). Mermerlerin özgül ısı kapasite değerleri traverten grubu mermerler için 874 – 986 J/kgK (0,209 – 0,221 kcal/kgC) aralığında değişim gösterir iken bej grubu mermerlerde ise 983 – 1064 J/kgK (0,235 – 0,254 kcal/kgC), kristalize beyaz mermer grubunda ise 904 – 955 J/kgK (0,216 – 0,228 kcal/kgC) ve sert taş grubunda da 928 – 1071 J/kgK (0,222 – 0,256 kcal/kgC) aralığında değişim gösterdiği görülmektedir. Limra taşı oluşumlarında da kayacın özgül ısı kapasite değerleri diğer mermer türlerine göre ortalama %22 oranlarında daha düşük değer göstermekte olup, 749 – 869 J/kgK (0,179 – 0,208 kcal/kgC) aralığında değişim göstermektedir.

Bütün yapı malzemeleri ısı depolama özelliğine sahip olup ısınma sırasında ısıyı depo etmektedir. Bir yapı bileşeninin özgül ısısına, yoğunluğuna, kalınlığına ve maruz kaldığı sıcaklık farkına bağlıdır. Isı depolama özelliği, ısıl atalet değeri ile temsil edilir. Kesintisiz ve devamlı ısıtılan yapı elemanlarında ise ısı depolama niteliğinin enerji tasarrufu açısından pratik bir önemi kalmamaktadır. Ancak yapı dış kabuğunun ısıl ataletinin yeterli olması (uygun salınım frenlemesi ve uygun faz gecikmesi) dış ısı değişmelerinin yapı dış kabuğu tarafından dengelenebilmesi bakımından, yapının iç elemanlarının ise asgari bir ısı depolama yeteneğinde olması iç ortamdaki ani ısı değişmelerinin dengelenebilmesi bakımından arzu edilir (Borhan B. 1992-a, 1992-b), (-Gündüz, 2005).

Yaz aylarında ise güneş ışınımına maruz yapı kabuğunda yaklaşık 70-80°C sıcaklıklar bazı zamanlarda ölçülebilir. Bu nedenle, dış kabuğu meydana getiren taş, beton, tuğla ve doğal ka-

yağ malzemeler gibi yapı malzemesinin yüksek ısı depolama özelliğinde düşük ısı ataletine sahip olması önemli bir sakınca teşkil etmektedir. Dış kabukta gündüz depolanan ısı, bu malzemelerin ısı iletken olmaları sonucu depolanan ısıyı muhafaza edememeleri nedeniyle gece yapıyı hızla ısıtmaktadır (Borhan B. 1992-a), (Incorpera & Dewitt, 1990), (Gündüz, 2005).

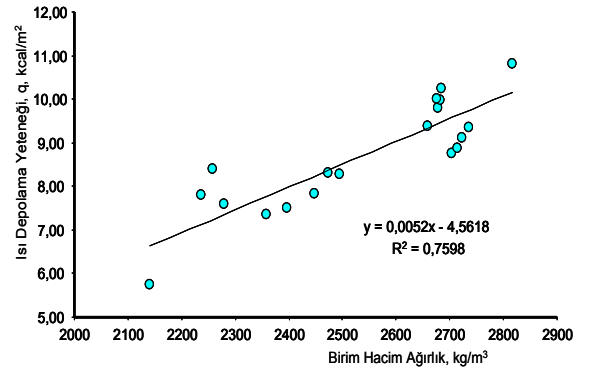
Isı ataletleri yüksek bileşenlerden oluşan yapılar da, kış aylarında iç mekanların havalandırılması veya ısıtma sisteminin durdurulması hallerinde kısa sürede soğumaz, yaz aylarında yapının ısınması süratli olur. Yapılar ısı etkilerine karşı davranışları açısından incelenirken ısı iletkenliği ve ısı ataleti özellikleri birlikte düşünülmelidir (Borhan B. 1992-a), Gündüz, 2005).

Dış kabukta yazın depolanan güneş enerjisi, gece iç ve dış ortama geri dönerken (iç ve dış ortam sıcaklıklarının eşit olması nedeniyle), kışın dış kabukta depolanan ısıtma ısı dış ortam sıcaklığının genellikle iç ortam sıcaklığından düşük olması, ayrıca duvar sıcaklığının genellikle iç ortam sıcaklığından düşük olması sonucu iç ortama dönmeyip dış ortama kaçmaktadır. Bu açıdan bakıldığında yapı dış kabuğunun yüksek ısı depolama özelliğinde olması enerji israfına neden olmaktadır. Bu olumsuzluğun giderilmesi ancak, yüksek ısı depolama özelliğine sahip tek tabaka duvarların soğuk yüzeylerine yalıtım tabakası uygulaması ile olabilmektedir. Ancak bu durumda da dış kabuğun kışın güneş ışınması ile pasif enerjiden istifade imkânı ortadan kalkmaktadır (Borhan B. 1992-a), (Incorpera & Dewitt, 1990), (Gündüz, 2005).

Yaz aylarında özellikle suni iklimlendirme yapılmayan yapılar da iç ortam şartları tamamıyla dış kabuğun fiziki özelliklerine bağlı kalmaktadır. Bu bakımdan dış kabuğu oluşturan yapı malzemesinin ısı ataleti iç ortam konfor şartlarını belirleyen önemli bir özellik olarak ortaya çıkmaktadır (Borhan B. 1992-a), (Gündüz, 2005). Mermer örneklerinin 1,5 cm kalınlık ve 1°C ortam sıcaklık farkı için hesaplanmış ısı depolama değerleri Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3 irdelendiğinde görüleceği gibi, gözenekliliği yüksek ve birim hacim ağırlığı düşük mermer türlerinin ısı depolama yetenekleri de düşük değerlerde olduğu görülmektedir. Mermer kütleinin bir yapı bileşeni olarak üzerine etkileyen ısı akımında m<sup>2</sup> yüzeyi başına bünyesinde depolayacağı ısı miktarının temsil edildiği bu parametrik değerlendirme de, ısı depolama miktarının düşük

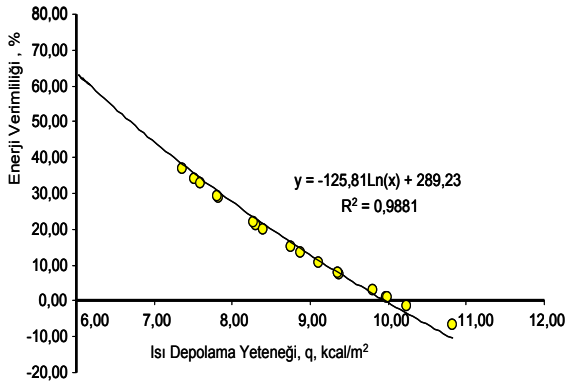
değerlerde olması arzu edilir. Yüksek ısı depolama kabiliyetine sahip malzemeler, ortamdaki ısı miktarının çoğunluğunu öncelikle bünyesine depolama olgusu gösterdiği için, ısıtılan ortama sürekli ısı enerjisi verilmesi gerekmektedir. Bu da doğal olarak enerji tasarrufu açısından olumsuz bir durumu da oluşturabilmektedir. Bu bağlamda yapılan analizler göstermiştir ki, limra taşı hüviyetindeki kayaç malzemeler düşük ısı depolama yetenekleri sebebiyle, ısı performansları daha yüksek olabilecek malzeme karakteristiğini de sergilemektedir. Mermer örneklerinin birim hacim ağırlık değerlerine göre ısı depolama yetenekleri arasında istatistiksel bir ilişki analiz edilmiş olup, elde edilen grafiksel irdeleme Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Mermerlerin Birim Hacim Ağırlık - Isı Depolama Yeteneği İlişkisi.

Şekil 9'dan da görüldüğü gibi mermerin birim hacim ağırlığı arttıkça, ısı depolama özelliği de lineer kabul edilebilecek bir eğilimle artış göstermektedir. Kütleli yoğunluğun yüksek olması, malzemenin daha fazla ısı depolama özelliğinin olduğunu simgelemektedir. Mermerin ısı depolama yeteneği arttıkça, ısısal konfor performansı da kısmen düşmektedir. Bunun bir göstergesi olarak, mermerlerin bu teknik özelliklerini malzeme karakteristiği kullanım yerinde benzer özellikler göstermek bağlamında kendi içinde enerji verimlilikleri ısı depolama yeteneklerinin bir fonksiyonu olarak irdelenmiştir. Bu irdeleme de TS -825 ve EN ISO 10456:2007 standartlarında mermer türleri için öngörölmüş olan standart kayaç özelliğine göre bir karşılaştırma yapılarak, mermer türlerinin enerji verimliliği bu kriter bazında fonksiyonel olarak analiz edilmiştir (Şekil 10). Standart olarak ele alınan mermer özelliği; birim hacim ağırlık 2800 kg/m<sup>3</sup>, özgül ısı kapasite değeri 0,24 kcal/kg°C ve ısı iletkenlik tasarım değeri 3.5 W/mK'dir. Buna göre belirlenen mermer uygulama için standart ısı depolama yeteneği 10.08 kcal/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır.





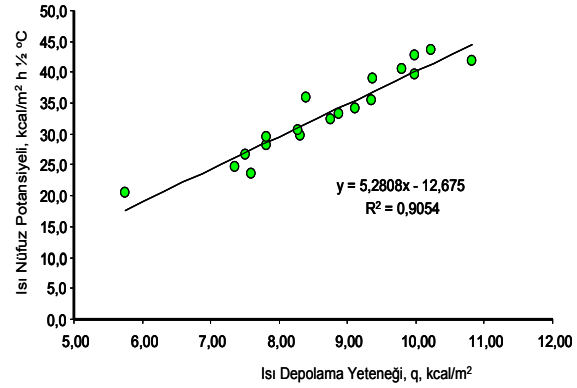
Şekil 10. Mermerlerin Isı Depolama Yeteneği- Enerji Verimliliği İlişkisi.

Şekil 10'da verilen analiz göstermektedir ki, mermerlerin ısı depolama yetenekleri arttıkça, bu incelemede standart olarak ele alınan bir mermer kaplama malzemesinin benzer özelliğine göre enerji verimliliği düşmektedir. Binalarda mermer kaplama uygulamalarında, kullanılan mermerin yapısal özelliği bağlamında duvarın yüksek ısısal konforunu artırması ya da ısısal konforu değerine olumlu katma değer sağlayabilmesi için, EN ISO 10456:2007 standardındaki parametrelere göre öngörülen 10.08 kcal/m<sup>2</sup>'lik ısı depolama değerinden daha düşük değerler göstermesi gerekmektedir. Isı depolama yeteneği uygun malzeme seçimi yapıldığı durumlarda, standardize edilmiş mermer kaplama malzemesine göre %75'lere ulaşan enerji verimliliği sağlanabileceği gibi, duvarı oluşturan bileşenlerin nihai enerji verimliliğine önemli ölçütlerde katma değer sağlanabilecektir.

Binalarda ısısal konfor ve enerji verimliliği açısından bir diğer olgu ise, yapı malzemesinin sağlayacağı ısı nüfuz katsayısı veya ısı nüfuz kabiliyettir. Bir hacim ısıtıldığında, onu çevreleyen yapı bileşenleri de ısınır. Bu yapı bileşenlerinin yüzeylerinde oluşan sıcaklık, kullanılan yapı malzemesinin ısı nüfuz katsayısına bağlıdır. Isı nüfuz katsayıları düşük yapı malzemeleri ile oluşturulmuş soğuk hacimler çok daha kolay ve çabuk ısınabilirler. Çünkü, bu nitelikteki yapı malzemelerinin yüzeyleri daha az ısı enerjisi ile istenilen sıcaklığa kavuşurlar (Borhan B. 1992-a, 1992-b). Bu bağlamda mermerlerin ısı nüfuz katsayıları belirlenmiş olup, parametrik değerler Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3 irdelendiğinde görüleceği gibi, göze nekliliği yüksek ve birim hacim ağırlığı düşük mermer türlerinin ısı nüfuz katsayıları ve ısı nüfuz potansiyelinin düşük değerlerde olduğu görülmektedir. Bu olgu, mermer kütlenin bir yapı bileşeni olarak üzerine etkiyen ısı enerjisini m<sup>2</sup>

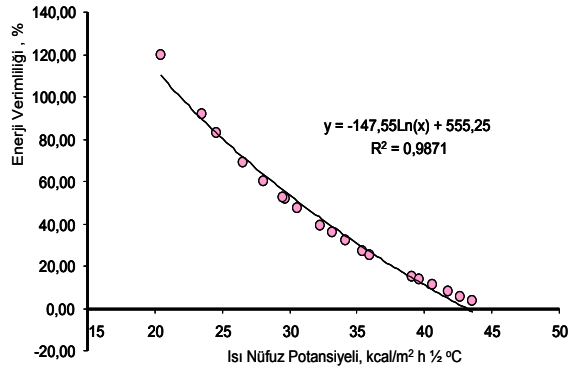
yüzeyi başına birim sıcaklık değişimi ve süreye bağımlı olarak bünyesinden daha düşük oranlarda geçişini sağladığını göstermektedir. Yüksek ısısal konforun ya da bina kabuğunda yüksek enerji verimliliğinin arzu edildiği durumlarda, malzeme bileşenlerinin ısı nüfuz katsayılarının da düşük olması genellikle beklenen bir husustur. Limra taşı özelliğindeki mermer kaplamaların diğer özelliklerde olduğu gibi, ısı nüfuz potansiyeli mermer örnekleri arasında en düşük değere sahip olan malzeme olarak görülmüş olup, bej türevi mermer kaplama malzemelerine göre %50'ye varan oranlarda daha düşük ısı nüfuz potansiyeline sahip olabildiği de görülmektedir. Yapılan istatistiksel analizler sonucu, mermerlerin ısı depolama yeteneği ile ısı nüfuz özellikleri arasında lineer bir ilişki olduğu belirlenmiş olup, elde edilen matematiksel model ve lineer ilişki Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. Mermerlerin Isı Depolama Yeteneği- Isı Nüfuz Potansiyeli İlişkisi.

Bu analizden de görüldüğü gibi mermerlerin ısı depolama yeteneği arttıkça, ısı nüfuz özellikleri de lineer doğrusal olarak artış göstermektedir. Isısal konfor açısından yüksek verimliliklerin ve avantajların arzu edildiği uygulamalarda kaplama malzemesinin mümkün olan en düşük ısı depolama yeteneğinde ve aynı zamanda da sağlanabilen minimum ısı nüfuz potansiyelinde olması gerekliliği yorumlanabilmektedir. Bu grafiksel analiz yardımı ile sektörel uygulamalarda gerektiği durumlarda mermer kaplama malzemesinin ısı depolama ve ısı nüfuz katsayısının kabul edilebilir ve istatistiksel anlamlılık düzeyi yüksek oranda kestirimi yapılabilecektir.

Yukarıda belirtildiği üzere mermerlerin ısı depolama yeteneğine bağımlı olarak istatistiksel olarak tasarlanmış enerji verimliliği, aynı kriterler ve koşullar kullanılmak üzere, mermerlerin ısı nüfuz özelliğine göre enerji verimliliği değişim irdelemesi de yapılmıştır (Şekil 12).



Şekil 12. Mermerlerin Isı Nüfuz Özelliği - Enerji Verimliliği İlişkisi.

Şekil 12'de verilen analiz irdelendiğinde mermerlerin ısı nüfuz potansiyeli ile enerji verimliliği arasında logaritmik bir ilişki yer almaktadır. Mermerlerin ısı nüfuz potansiyeli arttıkça, bu incelemede standart olarak ele alınan bir mermer kaplama malzemesinin benzer özelliğine göre enerji verimliliği düşmektedir. Binalarda mermer kaplama uygulamalarında, kullanılan mermerin yapısal özelliği bağlamında duvarın yüksek ısısal konforunu artırması ya da ısısal konforu değerine olumlu katma değer sağlayabilmesi için, EN ISO 10456:2007 standardındaki parametrelere göre hesaplanan 44,97 kcal/m<sup>2</sup>h<sup>1/2</sup>°Clik ısı nüfuz değerinden daha düşük değerler göstermesi gerekmektedir. Isı nüfuz potansiyeli uygun malzeme seçimi yapıldığı durumlarda, standardize edilmiş mermer kaplama malzemesine göre %120'lere ulaşan enerji verimliliği sağlanabileceği gibi, duvarı oluşturan bileşenlerin nihai enerji verimliliğine önemli ölçütlerde katma değer sağlanabilecektir.

Yapısal özelliği ne olursa olsun burada elde edilen teknik bulgular ışığında yalnızca mermer kaplama malzeme kullanımı ile bir duvarın TS 825'de belirtilmiş olan ısısal konfor özellikleri sağlanamayacağı da görülmektedir. Ancak, bir bina duvarının dış ve/veya iç yüzeyinde doğal taş kaplama malzemesi olarak uygun ısısal özelliklerde seçilen bir mermer türünün kalınlığına da bağımlı olmak koşuluyla, duvarın mevcut ısısal konfor özelliklerinin iyileştirilmesine katkı sağlayacağı da görülmektedir.

#### 4. SONUÇLAR

Binalarda enerji verimliliği kapsamında ısısal performans hesaplamaları yapılırken mermerlerin kaplama ve/veya döşeme taşı olarak kullanımlarında 4 ayrı grup mermer türü için ihtiyaç duyulan ısısal ilet-

kenlik ve özgül ısı kapasite değerleri, bu çalışmada araştırmacılara bir ışık tutmak amacıyla deneysel olarak belirlenmiştir. Ayrıca, araştırmada ele alınan mermer türlerinin ısısal konfor parametreleri ile ısı yalıtım özelliği arasındaki ilişkiler de irdelenmiştir. Elde edilen bulgular ışığında mermerin yapısal özelliğinde gözeneklilik oranının artış göstermesi, bir yapı bileşeni olarak mermerin daha yüksek ısısal yalıtım performansı gösterdiği gözlenmiştir. Bu olgu, malzemenin ısısal iletkenlik değeri ve ısı depolama yeteneği açısından paralel karakteristik göstermesinin yanı sıra, yalıtım performansı yüksek yapı kesitlerinde gözenekliliği yüksek ve birim hacim kütlesi düşük mermer plaka ve levha ürünlerin tercih edilmesi gerekliliği gözlenmiştir.

#### KAYNAKLAR

- Borhan B. (1992-a), Ytong El Kitabı-I Teknik Yayın No, 1, İstanbul.
- Borhan B. (1992-b), Ytong El Kitabı-II Teknik Yayın No, 1, İstanbul.
- Butera, F.M., (1998) "Chapter 3 – Principles of Thermal Comfort", Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2: 39 – 66.
- Ekinci, C.E., (2010), Yalıtım Teknikleri, Data Yayınları, ss:366.
- EN ISO 10456:2007, Building materials and products-Hygrothermal properties-Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values.
- Gündüz L., Uğur İ. ve Demirdağ S., (2001), "Mermer türlerinin özgül ısı kapasite değerleri üzerine teknik bir inceleme", TÜRKİYE III. Mermer Sempozyumu (MERSEM '2001) bildiriler kitabı 3-5 Mayıs, AFYON
- Gündüz L., 2005, İnşaat Sektöründe Bimsblok, s928, Isparta.
- Incorpera & Dewitt, (1990), "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", Wiley.
- ISO 6946:1996(E), Building components and building elements-Thermal resistance and thermal transmittance-Calculation method.
- TS EN ISO 10456: Mart 2002, İnşaat Malzeme ve Mamulleri – Beyan ve Tasarım Termal İçin Metotlar, TSE, Ankara.
- TS 825: Mayıs 2008, Binalarda ısısal yalıtım kuralları, TSE, Ankara.
- TS EN 1745: Nisan 2004, Kagir ve Kagir Mamulleri-Tasarım Isıl Değerleri Tayini Metotları, TSE, Ankara.
- TS EN ISO 8990: Ocak 2002, Isısal Yalıtım- Kararlı Durum Isı İletim Özelliklerinin Tayini- Kalibre Edilmiş ve Mahfazalı Sıcak Kutu, TSE Ankara.