

## BİNALARDA KULLANILAN FARKLI ISI YALITIM MALZEMELERİNİN ISI İLETKENLİK KATSAYILARININ ERZİNCAN İLİ ŞARTLARINDA TERMOKUPL VE TERMAL KAMERA İLE İNCELENMESİ

*Temel KOTAN\**  
*İlker FIRAT\*\**  
*Mehmet KAYA\*\*\**  
*İsmet ULUSU\*\*\*\**

Alınma:21.11.2017; düzeltme:22.03.2018; kabul:31.07.2018

**Öz:** Enerjinin %35'inin binalarda tüketildiği ve binalarda tüketilen enerjinin de %80'i ısıtma amaçlı kullanıldığı göz önüne alınırsa, binalara kurulacak daha verimli ısıtma sistemlerinin yanı sıra binalara uygulanacak uygun ısı yalıtımları ile büyük enerji tasarrufu sağlanacağı çok önem arz etmektedir. Isı yalıtımında istenilen performansın sağlanması, yalıtım uygulama tekniklerine eksiksiz olarak uyulmasının yanında yalıtım malzemesinin özellikleri ile de doğrudan ilişkili bir durumdur. Genleştirilmiş perlit mevcut kullanılan diğer ısı yalıtım malzemelerinin yalıtım değerlerine yakın ısı yalıtım özelliklerinin yanında perlitin puzolanik özelliğinden dolayı zamanla dayanım kazanarak sonsuz ömre doğru gitmesi, yalıtım işlemi tabaka halinde bütün olarak yapıldığından ısı köprülerinin oluşumunu engellemesi, çok yüksek yangın dayanımı, ses yalıtımı, havayı teneffüs ederek duvar yüzeyi ile sıva yüzeyi arasında buhar oluşumunu engelleyerek küf ve bakteri oluşumunu engellemesi ve doğal olduğundan ortama zararlı kimyasal yayılımı olmaması gibi faydalı özellikleri nedeni ile günümüzde alternatif ısı yalıtım malzemesi olarak görülmektedir. Bu çalışmada Erzincan ilinde bir deney odası yapılmış ve günümüzde ısı yalıtım malzemesi olarak en çok kullanılan EPS ile genleştirilmiş perlitin ısı yalıtım performansının karşılaştırılması yapılmıştır. Alınan ölçüm verilerinin değerlendirilmesi sonucunda 8 cm'lik genleştirilmiş perlit ile 6 cm'lik EPS ısı yalıtım malzemelerinin ısı yalıtım kapasitelerinin denk olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Isı Yalıtımı, Enerji Verimliliği, Enerji Tasarrufu.

### **The Investigation of Heating Conduction Coefficients of Different Heating Isolation Materials Used in buildings in Circumstance of Erzincan Province Using Thermocouple and Thermal Camera**

**Abstract:** Given the fact that 35 % of total energy is consumed in buildings and % 80 of that energy is used as heating purposes, it is of importance that heating isolation material applied to buildings as well as more efficient heating systems set up in buildings provides large energy savings. Providing desired performance in heating isolation is directly correlated to properties of heating isolation material along with to thoroughly complying to application techniques of isolation materials. Expanded perlit is considered to be alternative heating isolation material because it has close isolation values to that of other isolation materials, and its lifetime approaches to infinity due to its puzolanik features gaining strength

\* Erzincan Binalı Yıldırım Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 24100, Erzincan.

\*\* Erzincan Binalı Yıldırım Üniversitesi, İliç Dursun Yıldırım Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, 24700, İliç, Erzincan..

\*\*\* Kocaeli Üniversitesi, Havacılık ve Uzak Bilimleri Fakültesi, Uçak Gövde-Motor Bakım Bölümü, 41380, Kartepe, Kocaeli

\*\*\*\* Erzincan Binalı Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 24100, Erzincan.

İletişim Yazarı: İlker FIRAT (ifirat@erzincan.edu.tr)

with time, and it prevents heat bridges as isolation process is done as whole in layer, and it has high fire durability, sound isolation, and it prevents the formation of vapor between wall and plaster surface and so that prevents mold and bacteria with the help of breathing the air, and it doesn't emit harmful chemical substance due to fact that it is natural. In this study, an experimental room was made in Erzincan province and compared the thermal insulation performance of perlite, which is the most widely used thermal insulation material today, with expanded EPS. As a result of the evaluation of the received measurement data, it has been determined that 8 cm expanded perlite and 6 cm EPS thermal insulation material have equal thermal insulation capacity.

**Keywords:** Heating isolation, Energy Efficiency, Energy Saving.

## 1. GİRİŞ

Bütün dünyada, mevcut birincil enerji kaynaklarının azalması enerjinin, yüzyılın en büyük savaşlarının bilinçaltındaki neden olması, tüm dünyada mevcut enerji kaynaklarının etkin ve verimli olarak kullanılmasını zorunlu kılmıştır. Enerjinin adından sıkça söz ettirdiği bu dönemde, ısı yalıtımı kavramı ve binaların sahip olmaları gereken ısı yalıtım seviyeleri bir çözüm olmakla birlikte, bir zaruret haline gelmiştir. Isı yalıtımı genel olarak üç olguyu etkilemektedir. Birinci olgu, enerji tasarrufuna imkan vermesi, ikinci olgu, çevre kirliliğinin engellenmesine yaptığı katkı ve üçüncü olgu ise insan verimliliğini artıran ısı konforu yaptığı katkılardır. Bu üç olguya ayrı ayrı ya da birlikte baktığımızda gerek yeni yapılan, gerekse daha önceden yapılmış binalarda ısı yalıtımı üzerine yoğunlaşmak gerekmektedir. Ülkemiz gibi enerji kaynakları açısından dışa bağımlı ve çok sayıda yalıtımsız ya da eksik yalıtımlı binaya sahip bir ülke için, enerjinin etkin kullanımı ve korunumu amacıyla sadece yeni inşa edilen binalarda yalıtım uygulamaları yeterli olmamaktadır. Mevcut binaların da mutlaka bu kapsamda ısı yalıtım açısından değerlendirilerek uygun yalıtım sistemi ile çözüme kavuşturulması gerekmektedir (Paralı, 2009).

Türkiye İstatistik Kurumu (2009) verilerine göre Türkiye'de 8 milyon bina, 16 milyon konut bulunmaktadır. Bugün ülkemizde ciddi ve tutarlı yaklaşımlarla, ısı yalıtımı yapılmadan inşa edilmiş yaklaşık 12 milyon dolayında yapının olduğu tahmin edilmektedir.

Yalıtımsız binalarda uygulanacak basit yalıtım uygulamalarıyla ve yeni yapılacak binalarda yalıtıma önem verilmesiyle ısınma için sarf ettiğimiz enerjinin asgari %50'sinin geri kazanılması mümkün görülmektedir (Arı, 2009).

Türkiye'de binaların enerji etkinliğini arttırmak üzere binalarında sıklıkla yapılan uygulama dış kabuğun yalıtılmasıdır. Dış kabuğun yalıtılmasında kullanılan ısı yalıtım malzemeleri bağımsız bir şekilde enerji üreten ya da tüketen sistemler değildir; fakat bina kabuğunu oluşturan karmaşık yapının bir parçasıdır. Bu yüzden yalıtımın, binalarda tasarım ve yapım aşamalarının bir parçası olarak değerlendirilmesi gerekmektedir (Papadopoulos, 2005).

Binalarda ısı kayıpları tüm ısıtılan ve ısıtılmayan yüzeylerde gerçekleşmektedir. Dört katlı bir bina incelendiğinde ısı kayıplarının yaklaşık %25'i çatıdan, %60'ı dış duvarlardan, %15'i de tabandan meydana gelmektedir. Binalarda kat yüksekliğinin artması, duvar yüzey alanını büyüteceğinden, duvardan olan ısı kayıpları oran olarak artmaktadır. TS 825'in (Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı) yeni projelerde tasarruf açısından sağladığı yararların uygulanmaya başlanması, yalıtımsız binalarda yaşayan kişilerin sıkıntı çektikleri konulara çözüm teşkil etmesi, ısı yalıtımının kendisini 3-4 sene içinde amorti edeceğinin bilinmesi, konutlardaki yalıtım taleplerini her geçen gün artırmaktadır (Rubacı, 2006).

Yapıların dış duvarlarında kullanılan ısı yalıtım malzemeleri, ısı iletim özelliklerinin karşılaştırılması ve optimum yalıtım kalınlıkları ile ilgili literatürde birçok çalışma olmasına rağmen, geliştirilmiş perlitin ısı iletenliği ve yalıtım karakteristiği konusunda çok az çalışma vardır. Isı yalıtım betonları genellikle, beton üretiminde hafif agregalar kullanılarak veya beton içerisinde çeşitli yöntemlerle boşluk oluşturularak elde edilirler. Hafif agregalar doğal ve yapay olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Doğal agregaların büyük çoğunluğu volkanik odaklı olduğu

için bu agregalar sadece Dünya'nın belirli bölgelerinde bulunmaktadır. Pomza, scoria ve perlit bilinen en eski hafif agregalardandır. Romalılar bu agregaları yapılarında yaygın olarak kullanmışlardır (Chandra ve Berntsson, 2003; Neville, 1994; Aitcin, 1998). Volkanik kökenli hafif agregaların büyük çoğunluğu puzolanik aktiviteye sahiptir (Chandra ve Berntsson, 2003). Efes ve Milas'taki tarihi eserlerin bozulmadan günümüze kadar ulaşmasının, buradaki yapılarda kullanılan kayaç ve bağlayıcıların puzolanik aktiviteye sahip olmaları ile mümkün olacağı bilinmektedir. Puzolanik aktiviteye sahip olan hafif agregalar, özellikle çimentonun hidrasyonu sonucu açığa çıkan serbest kireç ile reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği olan kalsiyum silikat hidrasyonu oluşturarak, çimento matrisinin dayanım ve yoğunluğunu artırıp, boşluk yapısını düzenleyerek, üretilen betonların mekanik, bazı fiziksel özellikleri ve durabiliteleri üzerinde önemli derecede olumlu katkı sağlamaktadır (Short ve Kinniburgh, 1978; Chandra ve Berntsson, 2003; Anwar Hossain, 2004). Pomza ve perlit eriyik halindeki silisin ( $\text{SiO}_2$ ) soğuması sonucu oluşmuştur. Çabuk soğuma sonucu, malzeme kristalleşmeden amorf yapıda kalmıştır. Bu malzemelerin hafif olmalarının nedeni, eriyik sırasında bünyesinde bulunan gaz ve suyu dışarı bırakmadan katılması sonucu gözenekli ve boşluklu bir yapıda olmasıdır. Boşluklar küçük ve birbirleriyle bağlantıları yoktur (Anwar Hossain, 2004; Chandra ve Berntsson, 2003). Perlit, doğal olarak oluşan silis esaslı volkanik kayaçlara verilen bir isimdir. Perlitin tanımı; magmanın asit fazında oluşan lavların soğuyup gözle ve mikroskopla görülebilecek bir yapıda kırılmasının meydana getirdiği kütle bünyesinde su damlacıkları bulunan volkanik bir cam türünü ifade etmektedir. Ticari kullanımda ise perlit elverişli bir sıcaklığa kadar ısıtıldığında genleşen ve gözenekli bir hale gelen volkanik orjinal ve doğal olarak oluşan bir camdır. Perlit belirli bir tane iriliğinde özel formlarda  $900 - 1100^\circ\text{C}$  arasında ısıtıldığında hacmini yaklaşık 7 ile 20 katı kadar genleştirmekte ve mısır gibi patlayarak yoğunluğu  $30$  ile  $240 \text{ kg/m}^3$  arasında değişen çok hafif bir malzeme haline gelmektedir. Perlit yüksek oranda amorf yapıda silis, alüminyum ve demir içerdiği için puzolanik aktivite göstermektedir. Bu agregalar; çimento hidrasyonu sonucu açığa çıkan serbest kireç ile reaksiyona girerek hem dayanımı, hem de çimento matris yoğunluğunu artırarak, zararlı ve bozucu maddelerin girişini engellemektedir. Bu olay betonun durabilitesini artırarak daha uzun ömürlü olmasına neden olmaktadır (Anwar Hossain, 2004). Genleştirilmiş perlit mevcut kullanılan diğer ısı yalıtım malzemelerinin yalıtım değerlerine yakın ısı yalıtım özelliklerinin yanında perlitin puzolanik özelliğinden dolayı zamanla dayanım kazanarak sonsuz ömre doğru gitmesi, yalıtım işlemi tabaka halinde bütün olarak yapıldığından ısı köprülerinin oluşumunu engellemesi, çok yüksek yangın dayanımı, ses yalıtımı, havayı teneffüs ederek duvar yüzeyi ile sıva yüzeyi arasında buhar oluşumunu engelleyerek küf ve bakteri oluşumunu engellemesi ve doğal olduğundan ortama zararlı kimyasal yayılımı olmaması gibi faydalı özellikleri nedeni ile günümüzde alternatif ısı yalıtım malzemesi olarak görülmektedir (Kulaksızoğlu, 2006).

Akinci (2007) yaptığı yüksek lisans çalışmasında, EPS ve perlitin uygulanmasını inceleyip, sonuçları teorik olarak yorumlamıştır. Çalışmasının başlangıcında ısı yalıtımının yapılar, ülke ekonomisi ve çevre kirliliği bakımından önemi ve gerekliliğine değinmiştir. Daha sonraki kısımlarında ise, ısı yalıtımında kullanılan malzemelerin özelliklerini incelemiş ve ısı yalıtımında malzeme seçim kriterlerini belirtmiştir. Isı yalıtımı konusunda teorik ısı transfer denklemlerine değinmemiş olup, çalışmasında pratik uygulamalar üzerine yoğunlaşmıştır.

Koçu ve Korkmaz (2003) yaptıkları, "Konya çevresindeki yapılarda ısı yalıtımı uygulamalarının TS 825'e göre değerlendirilmesi ve çevre kirliliğine etkileri" konulu araştırmada, ısı yalıtım malzemeleri, özellikleri ve sınıflandırılması, Konya çevresindeki yapılarda ısı yalıtımı uygulamalarının TS 825'e göre değerlendirilmesini incelemişlerdir. Ayrıca Konya çevresindeki yapılarda eksik ve hatalı ısı yalıtımının çevre kirliliğine etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak yapılarda ısı yalıtımları konusunda TS 825'e uyulmadığı, gereken önemin verilmediği, neticede ısıtma için gereğinden fazla fosil yakıt tüketiminin arttığı ve Konya'da hava kirliliğinin zamanla Türkiye'de ilk sıralara çıktığı tespit edilmiştir. Yapılarda ısı yalıtımları

konusunda uyulması gerekli hususlar belirtilerek, alınması gereken önlemler sıralanmış ve önerilerde bulunulmuştur.

Azizi (2007) yaptığı çalışmada; hacimce farklı oranlarda geliştirilmiş perlit ve doğal kum kullanılarak, hafif betonlar üretmiştir. Çeşitli birim ağırlıklarda üretilen hafif agregalı betonların, basınç dayanımları, elastisite modülleri, ısı iletkenliği, su emme oranları ve kılcallık katsayıları ile birim ağırlıkları arasındaki ilişkiyi belirlemiştir. Perlit katkılı hafif betonların ısı iletkenliği ile birim ağırlıkları arasında lineer bir ilişkinin olduğunu gözlemlemiştir. Perlit katkılı hafif beton karışımındaki geliştirilmiş perlit miktarı arttıkça (hacimce %20-%100) ısı iletkenliği 0,57 W/mK ile 0,13 W/mK arasında değerler aldığı belirlemiştir.

Yukarıda açıklanan literatürdeki çalışmalara ek olarak bu çalışmada, Erzincan ili iklim şartlarında duvar örgü elemanlarıyla birlikte ısı yalıtım malzemesi olarak uygulanan EPS ile geliştirilmiş perlitin ısı yalıtım performansının karşılaştırılması yapılarak, geliştirilmiş perlitin Erzincan ili için TS 825'te tavsiye edilen standartlara uygunluk durumu araştırılmıştır.

## 2. YÖNTEM

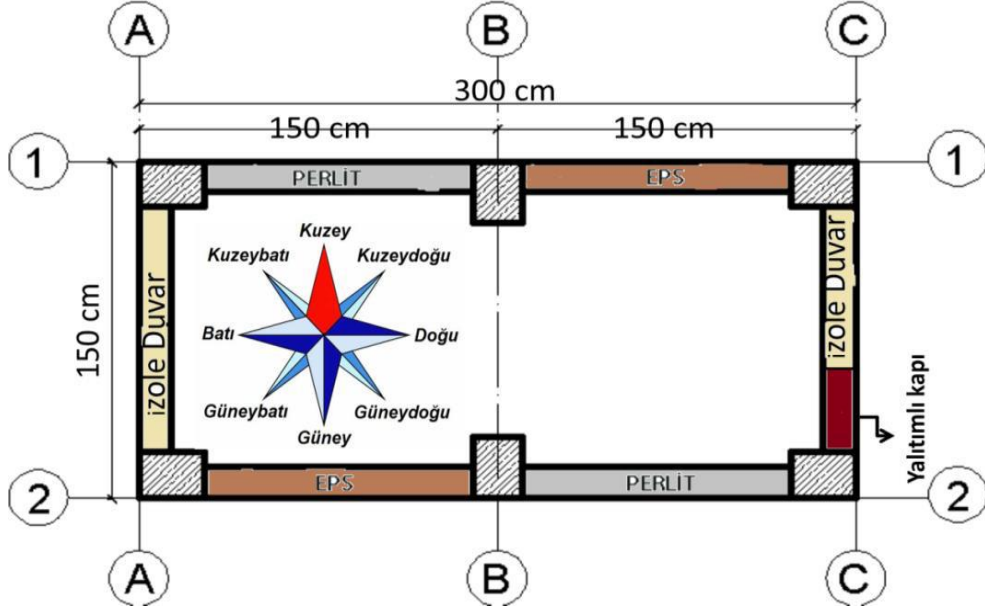
### 2.1. Deney Düzenegi

Isı yalıtım elemanı olarak kullanılan malzemelerin ısı dirençlerinin incelendiği bu çalışmada, Erzincan ili Organize Sanayi Bölgesi'nde Şekil 1'de verilen 4,5 m<sup>2</sup>'lik bir yapı sistemi oluşturulmuştur. Örnek yapıda kolonlar; eni 10 cm, boyu 10 cm ve yüksekliği 150 cm, kirişler ise; eni 10 cm, boyu 150 cm ile 300 cm ve yüksekliği 10 cm ebatlarında inşa edilmiştir. Kolon ve kirişler yapının taşıyıcı sistemini oluşturmaktadır ve hesaplamalarda dikkate alınmamıştır. Bu yapıda duvar malzemesi olarak 19 cm kalınlıklı bims kullanılmıştır (Şekil 3 ve Şekil 7). Aynı özellikteki bims üzerine farklı yalıtım malzemeleri uygulandığı için sadece yalıtım malzemelerinin ısı geçirgenliği hesaplamalarda dikkate alınmıştır. Ayrıca yapı içerisine, iç ortam sıcaklığının sabitlenmesi amacıyla dışarıdan kontrol edilebilen bir termostat sistemi kurulmuştur. Termokupl (Model: TM-946 olan K/J tip, 4 kanallı K-tipi, 0,1 °C hassasiyet, -200 °C ile 1300 °C) ile kontrol edilen termostat sayesinde iç sıcaklığın sürekli aynı düzeyde kalması sağlanmıştır. Bu çalışmada ayrıca malzeme olarak, Erzincan ili Mollaköy ham perlit agregasının geliştirilmesi sonucu elde edilen, birim hacim ağırlığı 80-90 kg/m<sup>3</sup> geliştirilmiş perlit agregası, toplam malzeme ağırlığının %20'si kadar çimento, malzeme ağırlığı kadar su, malzeme ağırlığının %1'i kadar akışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici katkı malzemeleri kullanılarak elde edilen plastik kıvamdaki harcın, duvar yüzeyine uygulanması ile elde edilen perlit ısı yalıtım sıvası ile EPS ısı yalıtım malzemesi kullanılmıştır (<http://www.persanyapi.com.tr> (Erişim Tarihi: 2012, 2013 kış sezonu)).

**Tablo 1. Perlit agregasının kimyasal bileşenleri (Ulus, 2007).**

Bileşenler	MTA <sub>1</sub> (%)	MTA <sub>2</sub> (%)	MTA <sub>3</sub> (%)	MTA <sub>4</sub> (%)	Genel Perlit
SiO <sub>2</sub>	74,600	73,710	74,80	73,860	71-75
TiO <sub>2</sub>	0,027	0,036	0,032	0,037	0,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,200	12,980	12,910	12,910	12,50-16
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,480	0,510	0,490	0,520	0,30-0,50
FeO	0,130	0,550	0,480	0,160	0,33
MnO	0,075	0,071	0,070	0,068	0,071
MgO	0,018	0,040	0,020	0,032	0,03-0,02
CaO	0,750	0,770	0,760	0,760	0,40-0,82
Na <sub>2</sub> O	3,100	3,300	3,220	3,110	3,20
K <sub>2</sub> O	3,140	3,180	3,200	4,200	4-5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,004	0,005	0,003	0,002	0,00375
Kızdırma Kaybı (%)	2,370	2,830	2850	2,230	2,502

Tablo 1'deki değerler dünya genelinde perlit için verilen analiz sonuçlarıyla oldukça benzerlik göstermektedir. Oluşan çok küçük farklar perlitin oluşum zamanı ve yerinden kaynaklanabilmektedir. Perlit makroskopik olarak gri renkli, ince-orta taneli, kristalli, camsı parlaklık sunan hamurlu, akma yapıları ve peridotik dokuludur (Ulus, 2007).



**Şekil 1:**  
Yapı planının şematik üstten görünümü.

Örnek yapının şematik üstten görünümü Şekil 1'de verilmiştir. Duvar iç ve dış yüzeylerinin ortasına yerleştirilen, iç ortamda üç adet ve dış ortamda beş adet termokupl ile deney verileri alınmıştır. Dış yüzeydeki termokupllardan dört tanesi yalıtım malzemeli (EPS ve perlit) her bir duvarın yüzey sıcaklığını, bir tanesi ise dış ortamın (dış havanın) sıcaklığını ölçmek için kullanılmıştır. İçerideki termokupllardan iki tanesi, perlit ve EPS'nin iç yüzey sıcaklık değerleri için kullanılmış ve diğer termokupl ile de iç ortam sıcaklık değeri alınmıştır. Ortam sıcaklığı ve deney düzeneğinin sıcaklığının stabil olması, doğal olarak da elde edilen sonuçların mümkün olduğunca kararlı olması için duvarların orta bölgelerine yerleştirilen termokupllar ile elde edilen tüm veriler, sistemin güneşten etkilenmediği bir zaman dilimi olan akşam saatlerinde alınmıştır. İzole duvarların da karşılıklı olarak doğu ve batı yönünde inşa edilmesindeki amaç, yön farkından kaynaklanacak sapmaları minimuma indirmektir. Örnek yapının inşa resimleri Şekil 2'de görülmektedir.



**Şekil 2:**

*Örnek yapının inşa sürecinde farklı yönlerden çekilmiş resimleri  
(<http://www.persanyapi.com.tr> (Erişim Tarihi: 2012, 2013 kış sezonu)).*

## 2.2. Çok Katmanlı Düzlem Duvarlardaki Isı Transferi

Binalarda ısı kayıplarını genellikle; dış duvar yüzeyinden, tabandan, tavandan, kapı ve pencerelerden olan kayıplar oluşturmaktadır. Yapılan çalışmada ısı kaybının sadece dış duvar yüzeyinden meydana geldiği kabul edilmiştir. Dış duvardan meydana gelen ısı kaybı (Q);

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (1)$$

olarak hesaplanmaktadır. Tipik bir yalıtımlı duvar için toplam ısıl geçirgenlik katsayısı U;

$$U = \frac{1}{R_{iç} + R_{duvar} + R_{yalıtım} + R_{dış}} \quad (2)$$

şeklindedir. Burada A; ısı transfer yüzey alanını,  $\Delta T$ ; sıcaklık farkını,  $R_{iç}$  ve  $R_{dış}$ ; sırasıyla yapı elemanlarının iç ve dış yüzeylerindeki yüzeysel ısıl transfer direnç değerlerini ifade etmektedir.

$$R_{iç} = \frac{1}{h_{iç}} \quad ve \quad R_{dış} = \frac{1}{h_{dış}} \quad (3)$$

$h_{iç}$  ve  $h_{dış}$ ; sırasıyla iç ortam ve dış ortam ısı taşınım katsayısını,  $R_{duvar}$ ; duvar katmanlarının ısı yalıtımı olmadan ısı iletim direncini göstermektedir.

$$R_{duvar} = \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \dots + \frac{x_n}{k_n} \quad (4)$$

$x_1, x_2, \dots, x_n$ ; duvar katmanlarının kalınlığı,  $k_1, k_2, \dots, k_n$ ; duvar katmanlarının ısı iletim katsayısı ve  $R_{yalıtım}$  ise, yalıtım malzemesinin ısıl direnci olup;

$$R_{yalıtım} = \frac{x}{k} \quad (5)$$

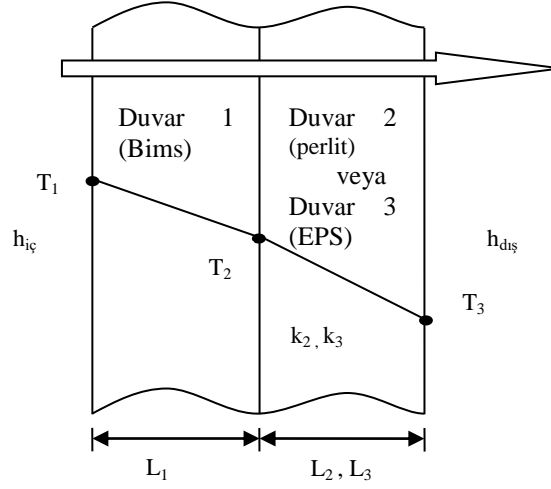
şeklinde formülize edilmektedir. Burada x ve k sırasıyla yalıtım malzemesinin kalınlığı ile yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısını göstermektedir. Yalıtımsız duvar tabakasının toplam direnci  $R_{duvar,toplam}$ ;

$$R_{duvar,toplam} = R_{iç} + R_{duvar} + R_{dış} \quad (6)$$

olduğuna göre yalıtımlı duvar için toplam ısıl geçirgenlik katsayısı (U);

$$U = \frac{1}{R_{duvar,toplam} + R_{yalıtım}} \quad (7)$$

denklemleri ile ifade edilmektedir (Kürekçi vd., 2012).



**Şekil 3:**

*İki katmanlı kompozit duvardaki yüzey sıcaklığına göre ısı transferinin şematik gösterimi.*

Şekil 3'ten ısı iletim denklemleri;

$$Q_{1,2} = \frac{T_1 - T_3}{\frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_2}{k_2 A}} \quad (8)$$

$$Q_{1,3} = \frac{T_1 - T_3}{\frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_3}{k_3 A}} \quad (9)$$

şeklinde formülize edilmiştir. Deney odasının farklı izolasyon malzemeleri (perlit ve EPS) ile yapılmış duvarlarının ısı transfer yüzey alanlarının eşit olması ile iç ve dış yüzey sıcaklıkları kararlı halde eşit olduğu için  $(T_1 - T_3)$ , her iki duvardan meydana gelen ısı transferi birbirine eşittir  $(Q_{1,2} = Q_{1,3})$ .

$$Q_{1,2} = Q_{1,3} = \frac{T_1 - T_3}{\frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_2}{k_2 A}} \quad (10)$$

Buradan, perlitin ısı iletim katsayısı  $(k_2)$ ;

$$k_2 = L_2 / \left[ \frac{(T_1 - T_3) \cdot A}{Q_{1,3}} - \frac{L_1}{k_1} \right] \quad (11)$$

denklemden  $Q_{1,3}$  yerine konulduğunda ve gerekli sadeleştirmeler yapıldığında;



$$k_2 = \frac{L_2 \cdot k_3}{L_3} \quad (12)$$

eşitliği elde edilmektedir (Kotan, 2013). Burada  $k_3$  (W/mK); EPS'nin ısı iletkenlik katsayısını,  $L_3$  (m); EPS yalıtım malzemesinin kalınlığını ve  $L_2$  (m) ise Perlit ısı yalıtım sıvasının kalınlığını ifade etmektedir.

### 3. BULGULAR VE ÖNERİLER

#### 3.1. Deneysel Sonuçları

Yapılan çalışmanın deneysel kısmı, 2012-2013 yılı kış sezonu boyunca farklı günlerde, deney düzeneğinin termokupllar aracılığı ile farklı iç ve dış ortam sıcaklıklarında, iç ve dış duvar yüzeylerinin sıcaklık değerlerinin ölçülmesinden oluşmaktadır.

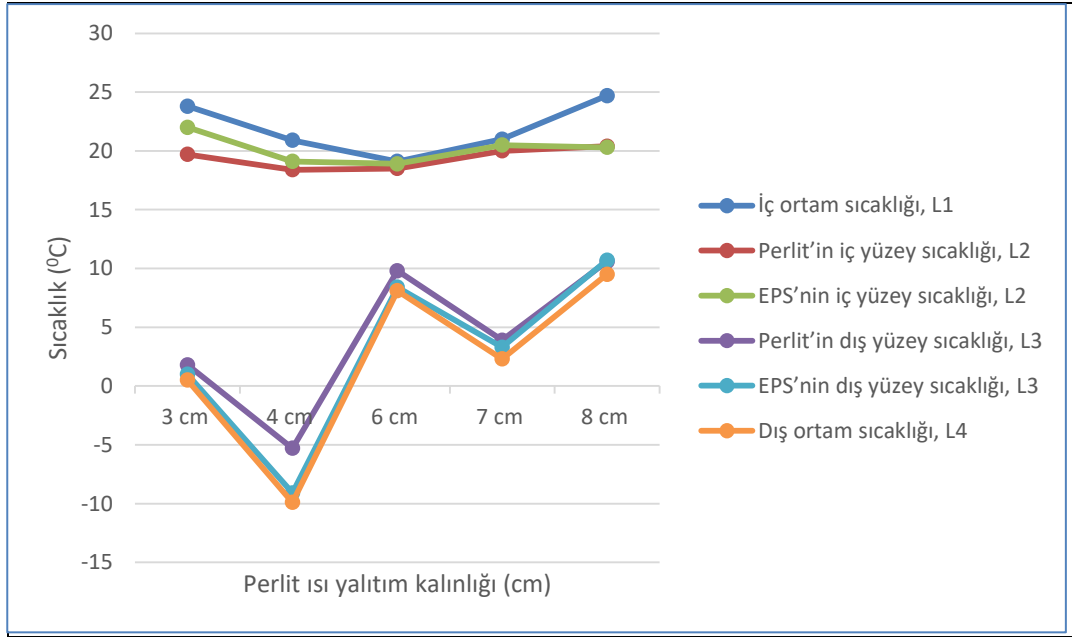
Hesaplamalarda sistem denge haline ulaştığı durumdaki sabit kalan sıcaklık değerleri kullanılmıştır.

**Tablo 2. 6 cm kalınlığında sabit tutulan EPS yalıtım malzemesi ile farklı kalınlıklardaki perlit ısı yalıtım değerleri için ölçülen termokupl sıcaklık değerleri.**

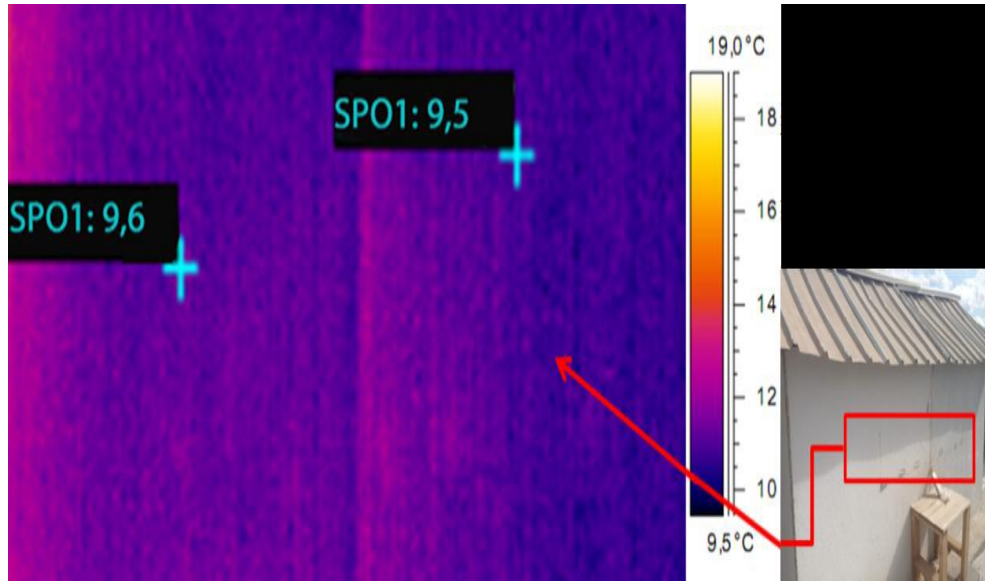
	3 cm Perlit	4 cm Perlit	6 cm Perlit	7 cm Perlit	8 cm Perlit
İç ortam sıcaklığı, $L_1$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	23,8	20,9	19,1	21	24,7
Perlit'in iç yüzey sıcaklığı, $L_2$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	19,7	18,4	18,5	20	20,4
EPS'nin iç yüzey sıcaklığı, $L_2$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	22	19,1	18,9	20,5	20,3
Perlit'in dış yüzey sıcaklığı, $L_3$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	1,8	-5,3	9,8	3,9	10,6
EPS'nin dış yüzey sıcaklığı, $L_3$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	1	-9,1	8,4	3,3	10,7
Dış ortam sıcaklığı, $L_4$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	0,5	-9,9	8,1	2,3	9,5

Tablo 2 ve Şekil 4'ten görüldüğü gibi 8 cm kalınlığında perlit ısı yalıtım sıvası ile 6 cm sabit kalınlıkta olan EPS'nin ısı performans değer sonuçları neredeyse aynı olmuştur.



Eş. 12'den perlit ısı yalıtım sıvasının ısı iletkenlik katsayısı  $k_2=0,071 \text{ W/mK}$  olarak hesaplanmıştır. Bu ısı iletkenlik değeri, Şekil 6'daki gibi TÜRKAK tarafından akredite edilmiş Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine ve Malzeme Laboratuvarı (KÜMLAB) sonuçları ile %0,1 kadarlık bir farklılık göstermektedir. Bu sonuçta hazırlanan deney düzeneğinin ve sonuçlarının, laboratuvar ortamındaki sonuçlar ile doğrulanabilirliğini göstermektedir.




**Şekil 4:**  
Tablo 2.6'daki verilerin grafik olarak gösterimi.



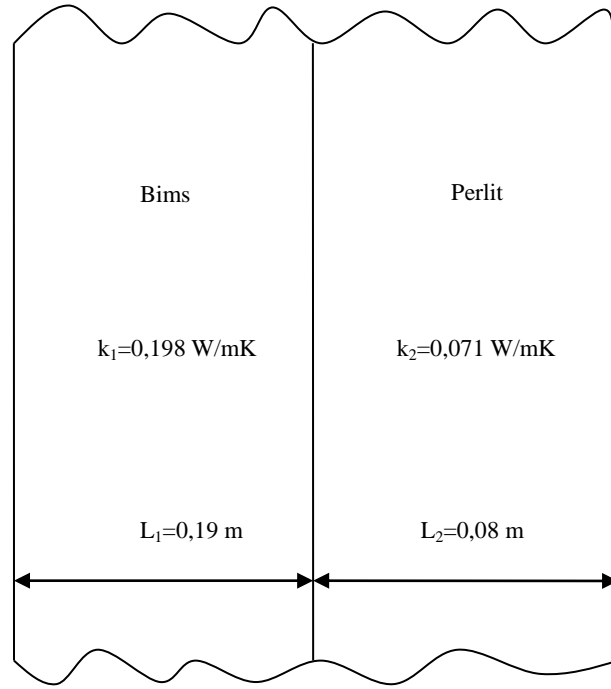
**Şekil 5:**  
6 cm EPS ve 8 cm perlit için termal görüntü (<http://www.persanyapi.com.tr> (Erişim Tarihi: 2012, 2013 kış sezonu)).

 Makine ve Malzeme Laboratuvarı KUMLAB	<b>TÜRKAK</b> <b>TÜRK AKREDİTASYON KURUMU</b> TURKISH ACCREDITATION AGENCY tarafından akredite edilmiş <b>MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ</b> <b>Isı Transferi Laboratuvarı</b> <b>Deney Raporu</b> Test Report	 Test TS EN ISO/IEC 17025 AB-0472-T
<b>ISI TRANSFERİ LABORATUARI</b> <b>DENEY RAPORU</b> Test Report		
<b>Deney Numune Numarası</b> Number of Test Item	Persan-1, Persan-2	
<b>Numune Üretim Tarihi</b> Product Date of Test Item	-	
<b>Bildirilen Numune yoğunluğu,</b> cg/m <sup>3</sup> Declared density of Test Item	-	
<b>Ölçülen Numune yoğunluğu, kg/m<sup>3</sup></b> Conditioned density of Test Item	-	
<b>Numune Kütle Değişimi</b> Test Item Mass Change	-	
<b>Bildirilen Numune Kalınlığı, mm</b> Declared Thickness of Test Item	-	
<b>Ölçülen Numune Kalınlığı, mm</b> Measurement Thickness of Test Item	-	
<b>Cihazdaki Numune Kalınlığı, mm</b> Thickness of Test Item at Device	9.09 mm - 19.46 mm	
<b>Kalınlık Değişimi</b> Thickness Change of Test Item	-	
<b>Deneydeki Isı Akışı, W/m<sup>2</sup></b> Heat Flux at the Test	-	
<b>Ölçüm Sıcaklıkları, °C</b> Test Temperatures	15 °C , 5 °C	
<b>Yüzeyler Arası Sıcaklık Farkı, °C</b> Difference Temperatures between two faces	10 °C	
<b>Isıl İletkenlik, W/mK</b> Thermal Conductivity	0.06119 W/mK - 0.05540 W/mK	
<b>Isıl Direnç, m<sup>2</sup>K/W</b> Thermal Resistant	-	
<b>Gözenek Oranı, %</b> Porosity	-	
<b>Test Yöntemi</b> Test Method	Isı akış sayacı	
<b>Ortam Sıcaklığı °C</b> Room Temperature	-	
<b>Ölçüm Belirsizliği</b> Uncertainty	-	
<b>Açıklamalar</b> Remarks	-	



Bu rapor, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürsüz raporlar geçersizdir.  
This report shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Testing reports without signature and seal are not valid.

**Şekil 6:**  
*Perlit ısı yalıtım sıvasının Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine ve Malzeme Laboratuvarı (KÜMLAB) sonuçları.*

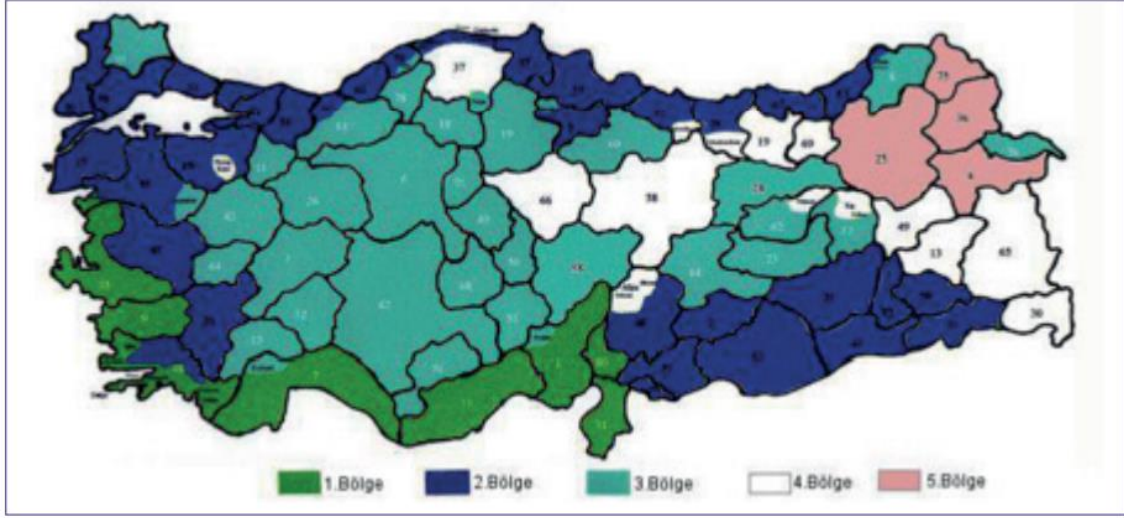


**Şekil 7:**  
Deney düzeneğindeki bir duvarın kalınlığının şematik gösterimi.

Şekil 7’de verilen değerler ve Eşitlik 7 ile birlikte toplam ısı geçirgenlik katsayısı  $U = 0,479 \text{ W/m}^2\text{K}$  bulunmaktadır. Bu sonuçla TS 825’e göre Tablo 3’te gösterilen 3. bölgede bulunan Erzincan ili için tavsiye edilen dış duvarın ısı geçirgenlik katsayısı ( $U$ )  $0,48 \text{ W/m}^2\text{K}$  değerine çok yakın bir değer yakalanmıştır.

**Tablo 3. Bölgelere Göre En Fazla Değer Olarak Kabul Edilmesi Tavsiye Edilen  $U$  Değerleri (TS 825, 2013).**

	$U_{\text{Dış duvar}}$ ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )	$U_{\text{Tavan}}$ ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )	$U_{\text{taban}}$ ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )	$U_{\text{Pencere}}$ ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )
1. Bölge	0,66	0,43	0,66	1,8
2. Bölge	0,57	0,38	0,57	1,8
3. Bölge	0,48	0,28	0,43	1,8
4. Bölge	0,38	0,23	0,38	1,8
5. Bölge	0,36	0,21	0,36	1,8



**Şekil 8:**

*Derece gün bölgelerine göre illerimiz (TS 825, 2013).*

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

2005 yılında perlit ısı yalıtım sıvası, Türkiye’de satılan yaklaşık, 1,4 milyon m<sup>3</sup> EPS (ekspande polistren), 750000 m<sup>3</sup> XPS (ekstrüde polistren), 400000 m<sup>3</sup> PU, 1,8 milyon m<sup>3</sup> camyünü, 650000 m<sup>3</sup> taşıyününden oluşan 5 milyon m<sup>3</sup>’lük yalıtım malzemesindedir (Kulaksızoğlu, 2006). Bu çalışmada, 1,4 milyon m<sup>3</sup> ile en çok tercih edilen yalıtım malzemelerinden biri olmasından dolayı EPS’nin, Erzincan ilindeki yapılarda daha çok tercih edilen perlit ile uygulamalı olarak ısı yalıtım performansları karşılaştırılmıştır.

Şekil 2’deki grafik eğrisine ve Tablo 4’teki verilere bakıldığında 6 cm kalınlıktaki EPS yalıtım malzemesinin, 3 cm, 4 cm, 6 cm ve 7 cm kalınlıklardaki perlit ısı yalıtım malzemesinden daha iyi ısı yalıtım performansına sahip olduğu görülmektedir.

Deney sonuçlarından; Türkiye’nin TS 825 standardının 3. bölgesinde yer alan Erzincan ilinde duvar örgü elemanı olarak bims ve 6 cm kalınlıktaki EPS veya yine örgü elemanı olarak bims ve 8 cm kalınlıktaki perlit ısı yalıtım sıvasının dış duvar yüzeylerine uygulanmasının ısı geçirgenlik değeri açısından bu standarda uyduğu ve 6 cm kalınlıktaki EPS ile 8 cm kalınlıktaki perlit ısı yalıtım malzemelerinin ısı yalıtım kapasitelerinin denk olduğu belirlenmiştir.

EPS öncelikli olarak yalıtım için kullanılmaktadır. Bunun yanında çatılarda, zeminlerde ve birçok mühendislik uygulamalarında tercih edilmektedir. EPS’nin son yıllarda tercih edilme nedenlerini sıralayacak olursak;

- İçerisindeki yüksek hava miktarı sayesinde yüksek ısı yalıtımı sağlar.
- Maliyeti oldukça düşüktür.
- Basınca olan dayanımı yüksektir.
- Kalınlığı zamanla incelmez.
- Hafif olması ve uygulanışı kolaydır.
- Ozon tabakasına zarar veren bir madde açığa çıkarmaz.
- Sonsuz ömürlüdür ve geri dönüşümü olan bir malzemedir.
- Hiçbir kimyasal maddeyle tepkimeye girmez.
- Düşük buhar geçirgenliğine ve su tutmama özelliğine sahiptir (Tan, 2017).

Yapılarda perlitin kullanılması olarak ısı ve ses yalıtım amaçlı serbest dolgu uygulamaları;

- ✓ Alçı ve çimento gibi bağlayıcılarla karıştırılmadan doğrudan serbest olarak duvar ve döşemelerde kullanılır,
- ✓ Çürümez, böcek ve bakteriden etkilenmesi söz konusu değildir.

Isı yalıtım betonları ve hafif beton uygulamaları;

- ✓ İnşaat sektöründe en yaygın kullanım şekli, yalıtım özelliğine sahip ısı yalıtım betonu yapımıdır,
- ✓ Çoğunlukla açık ve kapalı çatılarda, zemine oturan döşemelerde, ara kat döşemelerde ve alt yüzü dış etkilere açık döşemelerde uygulanmaktadır,
- ✓ Isı yalıtım betonu katmanı iklim bölgelerine göre istenen ısı yalıtımının sağlanması amacıyla değişik kalınlıklarda yapılabilir.

Isı yalıtıcı sıva uygulamaları;

- ✓ Diğer bir kullanım alanı da ısı ve ses yalıtım amaçlı sıva yapımıdır,
- ✓ Klasik inşaat işlemlerine ilave bir işlem gerektirmeksizin normal kaba sıva yerine kullanılmaktadır,
- ✓ Hafifliği, yangına karşı koruyuculuğu, nefes alan bir malzeme olması nedeniyle sağlıklı ortamlar oluşturmaktadır.

Binalarda komple perlitli bir ısı izolasyonu yapıldığında %50 düzeyinde enerji tüketiminde tasarruf sağlanabilir ve insan sağlığına uygun koşullar yaratılır (İstanbul Bülten, 2003).

## TEŞEKKÜR

Bu makale Erzurum Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenen 10.01.08 numaralı “Binalarda ısı yalıtımının enerji tasarrufuna etkisinin termal kamera ile incelenmesi” isimli proje kapsamında hazırlanmıştır. Yazarlar, destekleri nedeniyle Erzurum Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

1. Aitcin, P.C. (1998) High-Performance Concrete. *E and FN SPON*, 650p., London and Newyork. doi: 10.4324/9780203475034
2. Akıncı, H. (2007) Günümüzde Uygulanan Isı Yalıtım Malzemeleri, Özellikleri, Uygulama Teknikleri Ve Fiyat Analizleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
3. Anwar Hossain, K.M. (2004) Properties of Volcanic Pumice Based Cement and Lightweight Concrete, *Cement and Concrete Research*, 34, 283-291p. doi: 10.1016/j.cemconres.2003.08.004
4. Arı, K. (2009) Dolgulu Duvar Blokları İmalı ve Isı İletim Katsayılarının Karşılaştırılması, *Doktora Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
5. Azizi, S. (2007) Perlit Katkılı Hafif Betonların Mekanik Özellikleri ve Isı Yalıtımı, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
6. Chandra, S. and Berntsson, L. (2003) Lightweight Aggregate Concrete. 430p., *Noyes Publications*. U.S.A.
7. İnşaat Yapılar İstatistiği, (2009) Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK).
8. İstanbul Bülten, (2003). Enerji Tasarrufunda Perlit ve Yalıtım, ETİ Holding A.Ş. Perlit Maden Müdürlüğü, 37-38,67.
9. Koçu, N., Korkmaz, S.Z. (2003) Konya ve Çevresindeki Yapılarda Isı Yalıtımı Uygulamalarının TS 825'e Göre Değerlendirilmesi ve Çevre Kirliliğine Etkisi, *Yalıtım ve Enerji Yönetmeliği Kongresi*, Eskişehir.

10. Kotan, T. (2013) Binalarda Kullanılan Farklı Isı Yalıtım Malzemelerinin Isı İletkenlik Katsayılarının Erzincan İli Şartlarında Termokupl ve Termal Kamera İle İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Erzincan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan.
11. Kulaksızoğlu, Z. (2006) Isı Yalıtım Sektör Araştırması, İstatistik Şubesi, Ankara.
12. Kürekçi, A., Bardakçı, A. T., Çubuk, H. ve Emanet, Ö. (2012) Türkiye'nin Tüm İlleri İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, Sayı 131, 5-21.
13. Neville, A.M. (1994) Properties of Concrete. Jhon Wiley and Sons.inc. *Fourth edition*, 800p., New York.
14. Papadopoulos, A. M. (2005) State Of The Art in Thermal Insulation Materials and Aims for Future Developments, *Energy and Buildings*, 37, 77-86. doi: 10.1016/j.enbuild.2004.05.006
15. Paralı, D. (2009) Bina Duvarlarında Uygulanan Isı Yalıtım Sistemlerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
16. Persan Çatı-Cephe-Yalıtım Sistemleri. Erişim Adresi: <http://www.persanyapi.com.tr> (Erişim Tarihi: 2012, 2013 kış sezonu), Erzincan.
17. Rubacı, E. (2006) Konutlarda Enerji Tasarrufu, *İzolasyon Dünyası*, 58, 54-55.
18. Short, A. and Kinniburgh. (1978) Lightweight Concrete. *Applied Science Publishers Ltd*, 443p., London, U.K.
19. Tan, H., (2017) Farklı Nem ve Gözeneklilik Değerleriyle EPS Yalıtım Malzemesinin Isıl İletkenliğinin Deneysel ve Sayısal İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
20. TS 825 (Aralık, 2013) Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı.
21. Ulusu İ. (2007) Ham Perlit Agregası Kullanılarak Yüksek Dayanımlı Hafif Beton Üretilebilirliğinin Araştırılması, *Doktora Tezi*, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, s.57, Erzurum.

