

**ERZİNCAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

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

Temel KOTAN

Yrd. Doç. Dr. Hamit MERMERKAYA

FİZİK ANABİLİM DALI

**ERZİNCAN
2013**

Her Hakkı Saklıdır

Yrd. Doç. Dr. Hamit MERMERKAYA danışmanlığında Temel KOTAN tarafından hazırlanan bu çalışma 04/09/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı Fizik Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Hamit MERMERKAYA *imza: Hamit Mermerkaya*

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAYA *imza: Mehmet Kaya*

Üye : Yrd. Doç. Dr. Çağrı ÇIRAK *imza: Çağrı Çirak*

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Recep Polat
Prof. Dr. Recep POLAT

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans

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

Temel KOTAN

Erzincan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hamit MERMERKAYA

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 nedenle genleştirilmiş perlitin ısı yalıtım performansının artırılması çalışmaları devam etmektedir.

Bu çalışmada Erzincan ilinde mevcut bina boyutlarının yarısı boyutlarında bir deney odası yapılmış ve günümüzde ısı yalıtım malzemesi olarak en çok kullanılan EPS ile genleştirilmiş perlitin ısı yalıtım performansının karşılaştırılması deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerin değerlendirilmesi sonucu 8 cm'lik genleştirilmiş perlit ile 6 cm'lik EPS ısı yalıtım malzemesi eşit ısı yalıtım kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Genleştirilmiş perlitin ısı yalıtım performansının yalıtım yapılacak değerlerde olması ve diğer yalıtım malzemelerine kıyasla daha farklı üstün özelliklere sahip olması nedeni ile alternatif ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılabilir olduğu görülmüştür.

2013, 81 sayfa

Anahtar Kelimeler: Isı Yalıtımı, Genleştirilmiş Perlit, Enerji Verimliliği, Enerji Tasarrufu

ABSTRACT

Master Thesis

**THE INVESTIGATION OF HEATING CONDUCTION COEFFICIENTS OF
DIFFERENT HEATING ISOLATION MATERIALS USED IN BUILDINGS IN
CIRCUMSTANCE OF ERZINCAN PROVINCE USING THERMOCOUPLE AND
THERMAL CAMERA**

Temel KOTAN

Erzincan University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Hamit MERMERKAYA

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 perlite 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 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. Therefore, the studies about the increasing of the isolation performance of expanded perlite has been continuing.

In this study an experiment chamber in half size of existing building in Erzincan has been built and EPS heating isolation performance of mostly used as heating isolation material is compared to and expanded perlite. As output of experiments done, it is determined that 8 cm of expanded perlite has the same heating isolation capacity as EPS does. Since expanded perlite has heating isolation performance as high as a regular heating isolation material and compared to them it has distinct superior properties, it is considered to be used as alternative heating isolation material.

2013, 81 pages**Keywords:** Heating isolation, Expanded Perlite, Energy Efficiency, Energy Saving

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarımı özenle yönlendiren, bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAYA'ya teşekkürü bir borç bilir, bu günlere gelmemde en büyük pay sahibi olan değerli aileme, çalışmalarımda esin kaynağım olan ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocalarım Sayın Yrd. Doç. Dr. İsmet ULUSU ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Hamit MERMERKAYA ile Sayın Öğr. Gör. İlker FIRAT ve Sayın Kimya Müh. Ufuk HAN'a emeklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu makale Erzincan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenen 10.01.08 numaralı “Binalarda Isı Yalıtımının Enerji Tasarrufuna Etkisinin Termal Kamera İle İncelenmesi”, isimli proje kapsamında hazırlanmıştır. Destekleri nedeniyle Erzincan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkür ederim.

Temel Kotan

Eylül, 2013

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
Simgeler	vi
Kısaltmalar	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	18
2.1. Isı ve Sıcaklık Kavramı	18
2.2. Isı Geçişinin Esasları	18
2.2.1. Kondüksiyon (Isı İletimi).....	19
2.2.2. Konveksiyon (Isı Taşınımı)	22
2.2.3. Radyasyon (Isı Işınımı)	23
2.3. Malzemelerin Isı İletim Katsayıları	24
2.4. Düzlem Duvarlarda Sürekli Isı İletimi	32
2.5. Isıl Direnç Kavramı	35
2.6. Çok Katmanlı Düzlem Duvarlar	37
2.7. Çok Katmanlı İki Ayrı Düzlem Duvardaki Isı İletimi	40
3. MATERYAL ve YÖNTEM	43
3.1. Deney Düzeneği	43
3.2. Termokupllar ve Çalışma Prensibi.....	46
3.3. Termal Kameralar ve Çalışma Prensibi	49
3.4. Deney Malzemesi ve Özellikleri.....	50

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	52
4.1. Deneysel Sonuçların Analizleri.....	52
4.2. Sayısal Sonuçların Analizleri.....	57
4.3. Deneysel ve Sayısal Sonuçların Yorumları ve Öneriler	62
KAYNAKÇA.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	67

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simgeler

$^{\circ}\text{C}$: Santigrat Derece
d	: Yapı bileşeninin kalınlığı (m)
ε	: Isıl ışınımı yayma oran katsayısı
h	: Isı taşınım (konveksiyon) katsayısı ($\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$)
$h_{\text{dış}}$: Dış ortam ısı taşınım katsayısı
$h_{\text{iç}}$: İç ortam ısı taşınım katsayısı
Hz	: Frekans (Hertz)
k	: Isı iletim katsayısı, (W/mK)
K	: Kelvin
μ	: Buhar Geçirgenlik Direnci
ρ	: Yoğunluk
Pa	: Basınç (Pascal)
Q	: Isı
R	: Isıl geçirgenlik direnci ($\text{m.K}/\text{W}$)
$T_{\text{dış}}$: Dış ortam sıcaklığı
$T_{\text{iç}}$: İç ortam sıcaklığı
U_{D}	: Dış duvarın ısıl geçirgenlik katsayısıdır ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
W	: Watt

Kısaltmalar

CEN	: Avrupa Norm Sertifikasyonu
EURIMA	: Avrupa Mineral ve Yün Yalıtım Malzemeleri Üreticileri Birliği
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
ISO	: Uluslararası Standartlar Birliği

KEP	: Kilogram Petrol Eşdeğeri
MTA	: Maden Tetkik Arama
NETD	: Termal Duyarlık
TMMOB	: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜRKAK	: Türk Akreditasyon Kurumu

TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1. 2035 Yılı Enerji Talebinde Enerji Kaynaklarının Payı, UEA (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2011).	1
Tablo 1.2. Ülkelerin toplam enerji tüketimlerinin sektörlere göre dağılımı (İzoder, 2010)	4
Tablo 1.3. Türkiye’de Sektörlere Göre Enerji Tüketim (Makine Mühendisleri Odası, 2005)	5
Tablo 1.4. TS 825’e göre tavsiye edilen minimum yalıtım kalınlıkları (Resmi Gazete, 2009).	6
Tablo 1.5. Konutlardan çıkan yıl bazında toplam CO ₂ emisyonları (Akıncı 2007). ...	7
Tablo 1.6. Ülkemizde Konut Sektörü Enerji Tüketimi (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2010).	9
Tablo 3.1. Termokuplların sıcaklık-milivolt çıkış eğrileri ve harf kodları.....	47
Tablo 3.2. Termokupl çeşitleri standart isimleri (MEGEB, 2007).	48
Tablo 3.3. Perlit agregasını kimyasal bileşenleri.....	51

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Örnek yapının üç boyutlu tasarımı	17
Şekil 2.1. Düzlem duvarda bir boyutlu ısı iletimi	19
Şekil 2.2. Yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayısının sıcaklıkla değişimi	22
Şekil 2.3. Levha üzerindeki akışta hız ve sıcaklık dağılımları	23
Şekil 2.4. Üç boyutlu ısı iletimi	26
Şekil 2.5. Silindirik eksenlerde üç boyutlu ısı iletimi	30
Şekil 2.6. Küresel eksenlerde üç boyutlu ısı iletimi	31
Şekil 2.7. Sürekli şartlarda düzlem duvarda sıcaklık dağılımı	32
Şekil 2.8. Düzlem duvarda bir boyutlu ısı iletimi	34
Şekil 2.9. Isıl ve elektriksel direnç kavramları arasındaki benzerlik	36
Şekil 2.10. Bir yüzeyde taşınım direncinin şematik gösterimi	37
Şekil 2.11. İki katmanlı kompozit duvardaki ortam sıcaklığına göre ısı transferinin şematik gösterimi	38
Şekil 2.12. İki katmanlı kompozit duvardaki yüzey sıcaklığına göre ısı transferinin şematik gösterimi	40
Şekil 2.13. Duvar1 ve Duvar2 ile oluşan kompozit duvardaki ısı transferinin şematik gösterimi	40
Şekil 2.14. Duvar1 ve Duvar3 ile oluşan kompozit duvardaki ısı transferinin şematik gösterimi	41
Şekil 3.1. Yapı planı	43
Şekil 3.2. Örnek Yapının inşa süreci	45
Şekil 3.3. Termokuplun yapısı	46

Şekil 4.1. 3 cm perlit ve EPS için sıcaklık değerleri ve sıcaklık eğrisi	53
Şekil 4.2. 4cm perlit ve EPS için sıcaklık değerleri ve sıcaklık eğrisi	53
Şekil 4.3. 6 cm perlit ve EPS için sıcaklık değerleri ve sıcaklık eğrisi	54
Şekil 4.4. 7 cm perlit ve EPS için sıcaklık değerleri ve sıcaklık eğrisi	55
Şekil 4.5. EPS ve 8 cm perlit için sıcaklık değerleri ve sıcaklık eğrisi.....	57
Şekil 4.6. EPS ve 8 cm perlit için termal görüntü.....	57
Şekil 4.7. 3 cm'den 8 cm'e kadar perlitin, EPS'nin ve iç ortam sıcaklıklarının değerleri.....	58
Şekil 4.8. Perlit ısı yalıtım sıvasının Türkak ısı transferi laboratuvarı deney raporu sonuçları	60
Şekil 4.9. Deney düzeneğindeki bir duvarın kalınlığının şematik gösterimi	61
Şekil 4.10. Isı yalıtım malzemelerindeki ısı köprüsü oluşumunun termal kamera ile incelenmesi.....	63

1. GİRİŞ

Enerji, bir cisim ya da sistemin iş yapabilme kapasitesidir ve değişik şekillerde karşımıza çıkar: Örneğin; ısı enerjisi, ışık enerjisi, mekanik enerji, elektrik enerjisi, kimyasal enerji ve nükleer enerji vb. şekillerde olabilir. Enerji kaynakları genelde yenilebilir ve yenilenemeyen (tükenen) olmak üzere iki grupta toplanırlar. Yenilebilir enerji, sürekli ve tekrar tekrar kullanılabilen enerjidir. Örneğin; güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi gibi. Yenilenemeyen enerji ise, kullanılan ama kısa zamanda yeniden oluşmayan enerji olarak tanımlanır. Bunlar genelde petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıtlardır. Günümüzde fosil yakıtlar dünya enerji ihtiyacının önemli bir bölümünü karşılamakta ve bu yakıtların kullanım hızı da sürekli artmaktadır. Özellikle kalkınma eğilimi yüksek olan ülkelerin fosil yakıt talepleri oldukça fazladır. Bu taleplere paralel olarak fosil yakıt rezervleri artış göstermemektedir. Fosil yakıtların Dünya enerjisindeki payını ve artış hızını aşağıdaki Tablo 1.1’de daha net görebiliriz.

Tablo 1.1. 2035 Yılı Enerji Talebinde Enerji Kaynaklarının Payı, UEA (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2011).

	Kömür %	Petrol %	Doğalgaz %	Nükleer %	Biyokütle ve çöp gazı %	Diğer yenilebilir Kaynaklar %
Mevcut politikalar senaryosu	29,61	27,227	22,982	5,759	9,327	2,626
Yeni politikalar senaryosu	24,178	27,385	23,158	7,145	11,266	4,068
450 senaryosu	15,576	24,689	21,575	11,191	15,663	7,808

Enerjinin ekonomik ve sosyal kalkınmanın önemli bileşenlerinden biri olduğu, yaşam standartlarının yükseltilmesinde hayati bir rol oynadığı bilinmektedir. Sürdürülebilir

bir kalkınmanın sürekli ve kaliteli bir enerji arzıyla mümkün olacağı da çok bilinen bir diğer husustur. Sürdürülebilir kalkınmanın enerjiyle olan bağlantısı, çok uzun bir süre boyunca enerjinin tüketicilere güvenli biçimde sunulması ekseninde ele alınmış, enerji-kalkınma ilişkisi bu çerçevede değerlendirilmiştir. Ancak, hâlihazırda en önemli enerji kaynağı olan fosil yakıtların (kömür, petrol, doğalgaz) gittikçe ve süratle azalmakta oluşu, diğer yandan bu kaynakların oluşturduğu çevresel problemler, hem bu kaynakların rasyonel ve ekonomik biçimde kullanımı olgusunu, hem de enerji verimliliği kavramını gündeme getirmiş, sürdürülebilir kalkınmayla ilgili çalışmalara bu konuların dâhil edilmesi sonucunu doğurmuştur (Resmi Gazete, 2003).

Fosil yakıtların Dünya’da ki enerji ihtiyacını karşılama payı % 80 seviyelerindedir. Hatta Tablo 1.1’deki 450 senaryosuna (Atmosferde bir milyon partikül içerisinde 450 partikül sera gazı hedefine) göre bile enerji gereksiniminde fosil yakıtlara bağımlılık % 61,84 seviyesine ancak düşürülebilmekte bu oran ise hala çok yüksek bir değer göstermektedir.

Enerji ihtiyacı gelişmiş ülkelerde yani sanayisi ve yaşam standartları yüksek ülkelerde en yüksek seviyededir. Buda enerji ile kalkınmanın ve refah bir yaşam sürebilmenin doğru orantılı bir şekilde arttığını göstermektedir. Fakat günümüzde hala en çok enerji ihtiyacının karşılandığı fosil yakıtlar zamanla azalma, maliyetinde artış, çevre kirliliği vb. olumsuz etkileri sebebiyle enerjinin mümkün olduğunca verimli kullanılmasının gerekliliğini göstermektedir. Enerji verimliliği ise, 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 (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2010). Enerji verimliliği için tüm Dünya’da başta gelişmiş ülkeler doğal olarak enerjiye en fazla ihtiyaç duyup tüketen ülkeler olmak üzere bu konuda çeşitli çalışmalar; yasal önlemler, yıllık planlar ve birçok halkı bilinçlendirme çalışmaları yaparak enerjiyi mümkün olduğunca verimli kullanmayı amaçlamışlardır. Bunun bir kanıtı olarak WEC (World Energy Council)’in 2012 Dünya

Enerji Üçlemesi Raporu (Gerçekçi Olma Zamanı – Sürdürülebilir Enerji Politikası Davası) kapsamında yer alan ve Doha'da açıklanan indekste ülkeler iklim ve enerji performanslarına göre sıralandı. 22 farklı bölgeyi ve 90 ülkeyi inceleyen WEC Enerji Sürdürülebilirliği İndeksi, 2012 yılında en iyi ilk 10 ülkenin sırasıyla İsveç, İsviçre, Kanada, Norveç, Finlandiya, Yeni Zelanda, Danimarka, Japonya, Fransa ve Avusturya olduğunu bildirdi. Bu ülkeler iklim şartları ve gelişmişlik düzeylerine göre düşünüldüğünde sıralamanın böyle olması şaşırtıcı bir sonuç değildir.

Türkiye fosil yakıtlar bakımından komşu ve çevresindeki ülkelere göre fakir bir ülkedir. Türkiye'de fosil yakıt olarak linyit rezervleri (11,6 milyar ton) ve taş kömürü rezervleri (1,3 milyar ton) vardır. Bu madenlerimizi ise ısınma ve termik santrallerde elektrik enerjisi için kullanılmaktadır. Türkiye'nin önemini Rusya ve Ortadoğu ülkelerindeki petrol ve doğal gaz rezervlerinin ve bu ülkelerin ithalat yaptığı Avrupa ülkelerinin merkezinde yer alması stratejik olarak arttırsa da enerjide dışa bağlı olması ekonomik olarak büyük külfet getirmektedir.

Enerjinin verimli kullanılmasının sağlanması ve etkin bir enerji verimliliği programının uygulanması, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi, enerji verimliliği konusunda bir bilinç oluşturulması ile uluslararası yükümlülüklerin yerine getirilmesi için gerekli kanuni düzenlemelerin yapılması Türkiye'de zorunluluk arz etmiştir. Bu sebeplerden dolayı Enerji Bakanlığı tarafından enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılması amacı ile 18.04.2007 tarihinde onaylanarak yürürlüğe giren 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu bazı yükümlülükler getirmektedir. Bu bağlamda, 26510 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe girmiştir (Enerji Verimliliği Kanunu, 2007)

Kanun ile;

- Binaların yıllık maksimum enerji tüketim miktarları (kWh/m²) belirlenecek,
- Yapı tesisatları düzenli olarak denetlenecek,
- Yapılarda ısı yalıtımı standartları yasaya göre değişecek,

- Her binanın bir enerji pasaportu olacak,
- Binalarda enerji izleme yöntem ve sistemleri kullanılmaya başlanacak,
- Kanun kapsamına giren endüstriyel işletmelerde ve binalarda enerji yönetimi ile ilgili faaliyetleri yerine getiren enerji yöneticileri bulundurulacaktır.

ÜLKE	KONUT	ENDÜSTRİ	ULAŞTIRMA	DİĞER
ABD(2004)	39	33	28	-
AB(2006)	39	28	30	3
TÜRKİYE(2008)	36	32	20	12

Tablo 1.2. Ülkelerin toplam enerji tüketimlerinin sektörlere göre dağılımı (İzoder, 2010).

Enerji verimliliğinde en önemli payı ısı yalıtımı oluşturmaktadır. Tablo 1.2’de görüldüğü gibi Dünya’da harcanan enerjinin üçte birinden fazlası konutlarda tüketilmekte ve bu tüketilen enerjinin büyük bir kısmı ise ısınma amaçlı kullanılmaktadır. Bu sebepten sanayi ve konutlarda ısı yalıtımı enerji verimliliği açısından çok önemlidir.

Ülkemizde ise konutlarda ısı yalıtımının önemini Tablo 1.3’deki toplam enerjinin kullanım dağılım grafiğinden anlayabiliriz.

Tablo 1.3’de görüldüğü gibi enerji tüketiminin sektörlere göre dağılımına bakıldığında % 41’lik pay ile konut ve bina ısıtması ilk sırayı alır. Bu oranı, % 33 pay ile sanayi sektörü izler. Isı yalıtımının, uygulandığı yerlere bağlı olarak, % 85 oranında enerji tasarrufu sağladığı tespit edilmiştir (Makine Mühendisleri Odası, 2005).

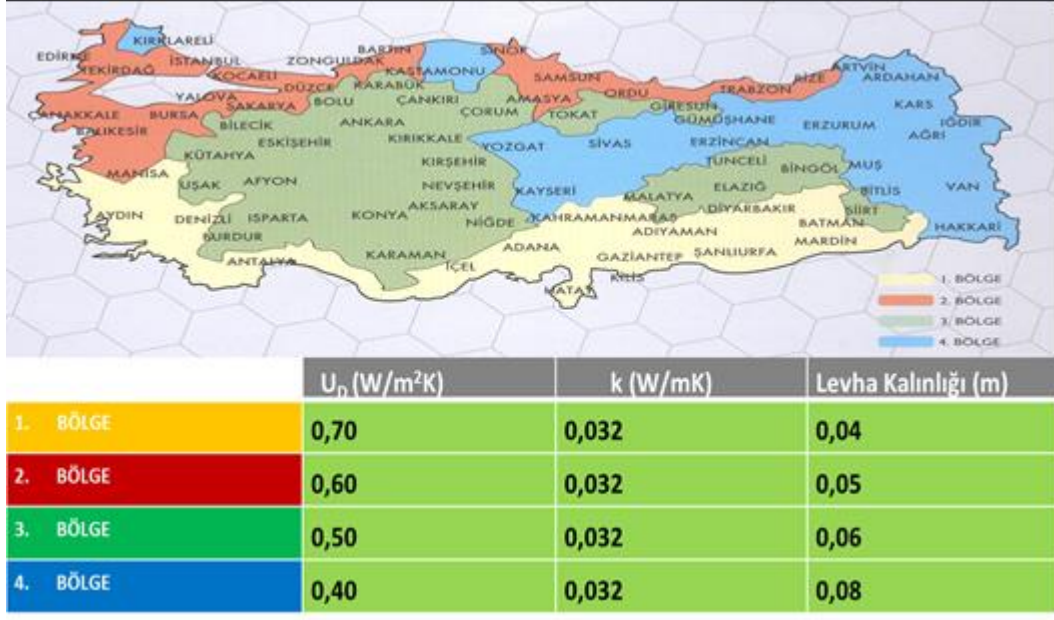
Tablo 1.3. Türkiye’de Sektörlere Göre Enerji Tüketim (Makine Mühendisleri Odası, 2005).

	KONUT	SANAYİ	ULAŞIM	TARIM	DİĞER
Enerji Tüketimi	41%	33%	20%	20%	

Ülkemizde toplam enerjinin % 41’lik enerji tüketimi payı ile ilk sıradaki konutlarda ısı yalıtımı yaparak ülkeye en fazla enerji tasarrufunu sağlayabilir. Konutlarda tüketilen enerjinin % 80’i ısınmaya harcanmaktadır. Bu nedenle güneş mimarisi önemsenerek uygulanmalı, öncelikle büyük şehirlerden başlanarak yeni yapılmakta olan binalarda yönlendirme ve yalıtıma büyük önem verilmeli, fazla bir ek maliyet getirmeden % 30’lara varan ısı kazancı sağlayan mimari özellikler kullanılmalıdır. Bu konuda ilgili meslek odaları ile işbirliği yapılarak bilinçlendirme kampanyaları düzenlenmelidir (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2007).

Isı yalıtımının önemi ve gereksinimi paralelinde ülkemizdeki binaların yalıtılmasıyla ilgili standart TS-825’tir. Bu standart en son 1994’te revizyon programına alınmış ve revizyonu 29 Nisan 1998 tarihinde tamamlanmıştır. TS-825 binalarda ısı yalıtım kuralları standardı, TS Teknik Kurulu’nda kabul edilerek yürürlüğe girmiştir. Bu standardın yürürlüğe girmesiyle, 1985’te yayınlanmış olan eski standart yürürlükten kaldırılmıştır. Bu standart ülkemizi aşağıdaki Tablo 1.4’te de görüldüğü gibi iklimsel olarak bölgelere ayırıp yalıtım kalınlıklarına bir standart da getirmiştir.

Tablo 1.4. TS 825'e göre tavsiye edilen minimum yalıtım kalınlıkları (Resmi Gazete, 2009).



TS-825 standardının amacı;

- Yeni yapılacak bir binaya ait çeşitli tasarım seçeneklerine bu standart da açıklanan hesap metodunu ve değerlerini uygulayarak, ideal enerji performansını sağlayacak tasarım seçeneğini belirlemek,
- Mevcut binaların ısıtma enerjisi tüketimlerini belirlemek,
- Mevcut bir binaya yenileme projesi uygulamadan önce, uygulanabilecek enerji tasarruf tedbirlerinin sağlayacağı tasarruf miktarlarını belirlemek,
- Bina sektörünü temsil edebilecek muhtelif binaların enerji ihtiyacını hesaplayarak, bina sektöründe gelecekteki enerji ihtiyacını millî seviyede tahmin etmek.

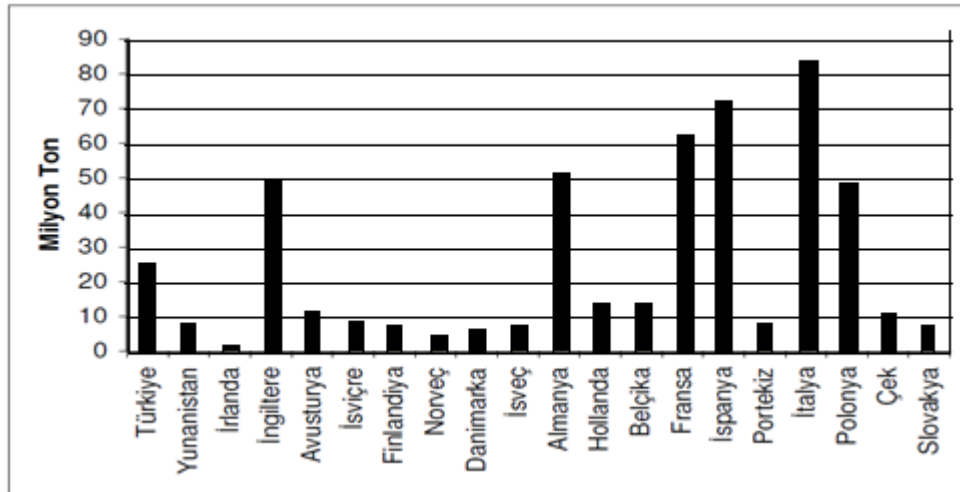
TS-825 standardının kapsamı ise;

- Konut olarak kullanılacak binalar,
- Büro ve idari binalar, tiyatrolar, kongre ve konser salonları, kültür merkezleri,
- Eğitim yapıları, kütüphaneler, spor tesisleri, öğrenci yurtları,

- Hastaneler, huzur evleri, bakım evleri, doğum evleri ve kreşler, ceza evleri ve kışla binaları,
- Konaklama tesisleri,
- Alışveriş merkezleri, iş hanları, banka ve borsa binaları,
- Genel kullanım amaçları dolayısıyla iç sıcaklıkları asgari 15 °C olacak şekilde ısıtılan iş yerleri,
- Yukarıda belirtilen amaçların birkaçına yönelik olarak veya bunlara benzer amaçlar için kullanılan binalar (Resmi Gazete, 1999).

Binaların her geçen gün enerji ihtiyacının ve sayısının artması bunun tersine en çok tüketilen enerji kaynakları olan fosil yakıtların tükenmesine bağlı olarak binalarda enerji korunumunun sağlanmasını ve enerji korunumunu gerekli kılmaktadır. Aksi halde karşımıza çıkması olası sorunların başında; yapıların ömürlerinin azalması, havaya bırakılan SO₂, NO_x ve CO₂ parçacıkları ve diğer emisyonlara bağlı olarak insan sağlığının bozulması ve küresel ısınma, ısı kayıplarına bağlı olarak harcanan yakıt giderlerinin artması gibi sorunlar çıkmaktadır. Yukarıda belirtilen havaya bırakılan gazlar sonucu meydana gelen hava kirliliği EURIMA (European Association of Insulation Manufacturers) tarafından araştırılmış ve konutlardan çıkan yıl bazında toplam CO₂ emisyonlarının miktarları belirlenmiştir (Bkz. Tablo 1.5.).

Tablo 1.5. Konutlardan çıkan yıl bazında toplam CO₂ emisyonları (Akıncı, 2007).



Ülkemizde halkımızın küresel ısınma, iklim değişikliği vb. çevresel etkilerde ısı yalıtımının önemi hakkında yeterli bilgisi olmadığı görülmektedir. İnsanların, binalarda yalıtımı geliştirme konusunda gösterecekleri kişisel çabaların CO₂ emisyonlarını azaltmak açısından taşıyacağı önemin farkında olmadıkları açıkça ortadadır. Bu nedenle binalarda yalıtım standartlarının yükseltilmesi için yoğun bir çaba gösterilmesi gerekmektedir (Koçu ve Korkmaz, 2005).

Bu bilgiler ışığında da Dünya’da küresel bir hareket olan Kyoto Protokolü anlaşması 1992’de Rio de Janeiro (Brezilya)’da gerçekleştirilen Dünya Zirvesi’nde Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) olarak kabul edilen uluslararası bir anlaşmadır. Protokolün ana amacı, atmosferdeki sera gazı yoğunluğunun, iklime tehlikeli etki yapmayacak seviyelerde dengede kalmasını sağlamaktır. Protokol, sera gazı emisyonunu azaltma amacı doğrultusunda sanayileşmiş ülkelere bir dizi bağlayıcı hedefler öngörmüştür. BMİDÇS, emisyonun azaltılması için teşvik edici uygulamalar, Protokol ise zorlayıcı yaptırımlar öngörmektedir. Türkiye ise bu protokolü, TBMM tarafından 5 Şubat 2009 tarihinde 5835 sayılı kanun ile onaylanmıştır. 16 Şubat 2009’da Cumhurbaşkanı Abdullah Gül tarafından onaylanan kanun, 17 Şubat 2009 tarih ve 27144 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Hâlihazırda Protokolde 2008–2012 yılları arasında gerçekleştirilmesi öngörülen yükümlülükler, Türkiye için hiçbir bağlayıcılık teşkil etmemektedir. 2012 sonrası için öngörülecek yükümlülükler, Aralık 2009’da Kopenhag (Danimarka)’da gerçekleştirilecek 15. Taraflar Konferansı’nda tüm taraf ülkelerin müzakereleri neticesinde saptanacak ve bu yükümlülükler, 2012 sonrasında Türkiye için de bağlayıcı olacaktır (Petfrom, 2009).

Dünya genelinde enerji tüketimi son 25 yılda kişi başına sadece % 5 kadar artmış olmakla beraber, Türkiye’de son 25 yıldaki artış oranı % 100 rakamının üzerindedir. Türkiye’nin enerji üretimi resmi rakamlara göre 1990 yılında toplam ihtiyacının % 50 kadarını karşılarken; günümüzde sadece % 30’unu karşılayabilmektedir. Ülkemizde

enerji tüketiminin ortalama % 41'i konutlarda, % 33'ü sanayide, % 20'si ulaşımda, % 5'i tarımda ve % 1'i diğer alanlarda kullanılmaktadır. Tüketilen tüm bu enerjinin yaklaşık % 85'i ısıtma amaçlı kullanılmaktadır (TÜBİTAK, 2005). Tablo 1.6'da görüldüğü gibi ülkemizde kullanılan enerji türlerinde en büyük yoğunluk genellikle ısı amaçlı olarak kullanılan fosil yakıtlardan elde edilen enerji türlerinde görülmektedir.

Tablo 1.6. Ülkemizde Konut Sektörü Enerji Tüketimi (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi 2010).

Yıllar	2008	2009	2010
Taş Kömürü (Bin Ton)	1881	2050	4084
Briket (Bin Ton)	160	160	160
Linyit (Bin Ton)	3805	3830	3855
Asfaltit (Bin Ton)	200	200	200
Petrol (Bin Ton)	2557	2552	2548
Doğal Gaz(106 m ³)	7869	8826	8594
Güneş (Bin TEP)	305	315	330
Jeotermal Isı (Bin TEP)	1442	1588	1750
Odun (Bin Ton)	12231	11743	11275
Hayvan ve Bitki Art. (Bin Ton)	4725	4605	4493
Elektirik (GWh)	79050	86250	94093
Toplam (Bin TEP)	25720	27300	29019

Isı yalıtım malzemeleri; ısı geçişine karşı koyarak mevcut ısının uzun süre korunmasını sağlayan düşük ısı iletkenliğine sahip ürünlerdir. Isı yalıtım malzemelerinin en temel özelliği (k) ısı iletim katsayısıdır.

Bir malzemenin birbirine paralel iki yüzeyinin sıcaklıkları arasındaki fark $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğunda, yüzeyin birim alanından (1 m^2) ve bu alana dik yöndeki birim kalınlıktan (1 m), 1 saatte geçen ısı miktarı ısı iletim katsayısıdır. Bu özellik malzemenin ısı yalıtım özelliğini belirler. Isı iletim katsayısı yükseldikçe malzemenin ısı yalıtım özelliği azalır.

ISO ve CEN Standardına göre ısı iletim katsayısı $0,065\text{ W/mK}$ değerinden küçük olan malzemeler ısı yalıtım malzemesi olarak tanımlanır. Diğer malzemeler yapı malzemesi olarak kabul edilir.

Isı yalıtım malzemelerin de, katı elemanlar arasındaki hava hücrelerinin çokluğu, yalıtkanlık değerini arttırsa da diğer özelliklerini farklı yönlerde etkileyebilir. Örneğin, gözeneklerin çok artması ısı tutuculuk değerini arttırmakta, ancak basınç dayanımını azaltmaktadır. Bu nedenle, ısı yalıtkanlarından beklenen en önemli özellik, ısı iletkenlik değerinin küçük olmasının yanı sıra, yapıda kullanmak için gerekli ve aşağıda açıklanacak olan niteliklere de sahip olmasıdır. Bu özellikler, kullanım yerinin koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterir. Ancak ısı yalıtım malzemelerinin seçiminde ve malzemede aranacak özelliklerin belirlenmesinde, kullanma yerindeki geçerli koşulların ana rolü oynadığı söylenebilir. Zaman zaman bu istekler birbiriyle çelişse de optimum bir çözüm her zaman bulunabilir. Doğru bir seçim yapabilmenin en önemli şartı, kullanılacak malzemeyi her yönü ile tanımak ve bu malzemenin uygulama özelliklerini iyi bilmektir (Oral ve Altun, 2005). Sonuç olarak ısı yalıtım malzemelerinde olması gereken özellikler şöyledir;

- Isı İletim Katsayısı (W/mK): $0,065\text{ W/mK}$ değerinden küçük olmalıdır.
- Yoğunluk (kg/m^3): Malzemenin birim hacminin (1 m^3) kütesine yoğunluk adı verilir. Isı yalıtım malzemelerinde yoğunluk ısı iletim katsayısını pek etkilememekle birlikte malzemenin stabilitesi ve mekanik dayanımı yoğunlukla direkt ilgilidir. Genellikle ısı yalıtım malzemelerinin yoğunlukları geniş bir skalada değişiklik gösterebilir. Ancak ideal olan, boyutsal kararlılık ve mekanik dayanım açısından en uygun yoğunlukların

kullanılmasıdır. Dolayısıyla malzeme seçimi yapılırken konuda uzman kişilere danışılmalıdır.

- Yangın Sınıfı (DIN 4102, BS476): Genelde bu tür malzemelerin yanmaz olması ve yangının yayılmasına neden olmayacak nitelikte olması gerekir. Buna göre yapı ve yalıtım malzemelerinin yangın sırasında ki davranışlarını ölçmek için çeşitli deney metotları geliştirilmiştir. Bu deneylere tabi tutulan malzemenin davranışı ölçülür ve sınıflandırılır. Bu deney ve sınıflandırmalar Almanya'da DIN 4102, İngiltere'de BD 476 standardı ile belirlenmiştir.

- Sıcaklık Dayanımı (°C): Her ısı yalıtım malzemesinin özelliklerini kaybetmeye başlayıp deforme olmaya başladığı bir sıcaklık noktası bulunur. Bu nedenle malzemenin uygulandığı yerde maruz kalacağı sıcaklık önceden belirlenmeli ve bu sıcaklığa uygun malzeme seçilmelidir.

- Mekanik Dayanım (kPa): Isı yalıtım malzemelerinin mekanik dayanımları genellikle, malzemede % 10 deformasyon oluşturan basma gerilmesi değeri olarak kabul edilir. Bunun yanı sıra bazı malzemelerin çekme gerilmeleri de basma gerilmeleri ile birlikte mekanik dayanım özelliği olarak verilebilir.

- Buhar Difüzyon Direnci: Su buharı sıcaklığa ve bağıl neme bağlı olarak, kısmi buhar basıncı yüksek olandan düşük olana doğru ilerler ve ilerlerken de bir direnç ile karşılaşır. Her malzeme, kalınlığına bağlı olarak buhar difüzyonuna karşı koyar. Bu direncin, havanın su buharı difüzyon direncine oranı su buharı difüzyon direnç katsayısıdır. Malzemenin su buharını tamamen geçirmesi halinde $\mu=1$, hiç geçirmesi halinde ise $\mu=\infty$ (sonsuz) dur. $\mu=10\ 000 - 100\ 000$ arasındaki malzemelere de buhar kesici malzeme denir (Makine Mühendisleri Odası, 2005). Isı yalıtım malzemelerinde, detaya göre değişmekle birlikte, genellikle buhar difüzyon direnci yüksek olması idealdir.

- Su Emme: Isı yalıtım malzemelerinin işlevlerini yerine getirebilmeleri için nemlenmemeleri ve ıslanmamaları gerekmektedir. Islanmaları durumunda malzemelerin kuru ve hareketsiz hava içeren boşlukları su ile dolduğunda yalıtım görevini yerine getiremez hale gelir. Bu durumdan kaçınmak için; su emme özelliğinin hiç olmaması istenir (Makine Mühendisleri Odası, 2005).

• Boyutsal Kararlılık100: Isı yalıtım malzemelerinin boyutsal kararlılıkları olmalıdır. Yani malzeme uygulandığı andaki boyutlarını zaman içerisinde veya termal ve mekanik etkilerle kaybetmemelidir. Başka bir ifadeyle, malzemelerin sıcaklık veya basınçla şekil değiştirmeleri çok az olmalıdır.

Başlıca Isı Yalıtım Malzemeleri;

- Cam Yünü (TS 901 EN 13162)
- Taş Yünü (TS 901 EN 13162)
- Ekstrude Polistren (XPS) (TS 11989 EN 13164)
- Ekspande Polistren (EPS) (TS 7316 EN 13163)
- Poliüretan (PUR) (TS EN 13165)
- Ahşap Yünü Levhalar (TS EN 13168)
- Cam Köpüğü (TS EN 13167)
- Fenol Köpüğü (TS EN 13166)
- Genleştirilmiş Mantar Levhalar (TS EN 13170)

Isı İletim Katsayısı Düşük Olan Ancak Isı Yalıtım Malzemesi Olmayan Yapı Malzemeleri:

- Perlit ve perlitli sıva
- Ponza taşı
- Bims bloklar
- Zotugla
- Gazbeton

Malzemelerde, genel olarak, yalıtımı sağlayan havadır. Dolayısıyla, yalıtım malzemesinin performansı, havanın ısı iletim katsayısı olan 25 mW/mK değeri ile sınırlıdır. Bu sınırlamayı aşabilmek için, aşağıdaki teknolojilerin esas alındığı yeni teknikler geliştirilmiştir.

- Mikro gözenekli yapılar
- Vakum teknolojileri

- Özel gaz dolgular

Isı yalıtım Malzemelerinin Isı İletim Katsayılarına Göre Sınıflandırılması;

- Alışlagelmiş Yalıtım Malzemeleri: $l > 20$ mW/mK,
- Mikro Gözenekli Yalıtım Malzemeleri: $10 < l < 20$ mW/mK,
- Vakum Paneller: $l < 10$ mW/mK.

Isı yalıtımı yapmadan önce ısı yalıtımının faydalarını bilmek gerekir bunlar;

- Çevrenin korunmasına katkı sağlar,
- Enerji tüketimini azaltır,
- Isıl konfor sağlar,
- Sağlıklı yaşam sunar,
- İlk yatırım ve işletme maliyetlerini azaltır.

Isı yalıtımı yaparak binanın ömrünü uzatmak, kullanıcıya sağlıklı, konforlu mekânlar sunabilmek ve bina kullanım aşamasında yakıt ve soğutma giderlerinde büyük kazanım sağlamak mümkündür. Binaların ısıtılması amacıyla büyük oranda fosil yakıtlar kullanılır. Fosil yakıtların yakılması sonucu yanma ürünü olarak açığa çıkan gazlar, hava kirliliğine ve küresel ısınmaya neden olur. Isı yalıtımı uygulamaları ile konfor koşullarının oluşturulmasında kullanılan enerji miktarının azalması, küresel ısınma ve hava kirliliğinin artmasını önler. Yapılarda kurallara uygun şekilde gerçekleştirilen ısı yalıtımının bireyler ve ülkeler açısından pek çok yararı vardır. Bunların en önemlisi ısı yalıtımının enerji tasarrufuna olan katkısıdır. Enerji tasarrufunda ise en önemli unsur, kullanacağımız ısı yalıtım malzemelerinin uygulanmasından sonra ısı yalıtım değerlerinin verimliliği ve uygulandıktan sonra deforme olmaması yani ısı yalıtım değerinin zamana bağlı olarak değişmemesidir.

Mevcut yalıtım malzemelerinin; sağlık için zararlı kimyasallar içermesi, yangın dayanımının düşük olması, ömürlerinin yapı ömrüne göre çok kısa olması, yapının hava almasını engellemesi ve uygulandığı duvar yüzeyinde yoğunlaşma sonucu nem,

bakteri ve mantar oluşturarak ortamı bozması gibi olumsuz özelliklere sahip olmaları, alternatif yalıtım malzemelerini araştırmaya yöneltmiştir.

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 bulunurlar. Pomza, scoria ve perlit bilinen en eski hafif agregalardandır. Romalılar bu agregaları yapılarında yaygın olarak kullanmışlardır (Chandra and Berntsson, 2003; Neville, 1994; Aitcin, 1998). Volkanik kökenli hafif agregaların büyük çoğunluğu puzolanik aktiviteye sahiptir (Chandra and Berntsson, 2003). Efes ve Milâs'taki tarihi eserlerin bozulmadan günümüze kadar ulaşmasının, buradaki yapılarda kullanılan kayaç ve bağlayıcıların puzolanik aktiviteye sahip olmaları ile mümkün olacağını bilinmektedir. Puzolanik aktiviteye sahip olan hafif agregalar, özellikle çimentonun hidrasyonu sonucu açığa çıkan serbest kireç ile reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği olan kalsiyum silikat hidrati 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 and Kinniburg, 1978; Chandra and Berntsson, 2003; Anwar Hossain, 2004). Pomza ve perlit eriyik halindeki silisin (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 katılaşması sonucu gözenekli ve boşluklu bir yapıda olmasıdır. Boşluklar küçük ve bir birleriyle bağlantıları yoktur (Anwar Hossain, 2004; Chandra and 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 eder. Ticari kullanımda ise perlit elverişli bir sıcaklığa kadar ısıtıldığında genişleyen ve

gözenekli bir hale gelen volkanik orijinli ve doğal olarak oluşan bir camdır. Perlit belirli bir tane iriliğinde özel formlarda 900–1 100⁰C arasında ısıtıldığında hacmini yaklaşık 7 ile 20 katı kadar genişletmekte ve mısır gibi patlayarak yoğunluğu 30 ile 240 kg/m³ 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 hidretasyonu 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 ve K.M., 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. Bu özelliklere dikkate alınarak perlit ısı yalıtım sıvası ile, ısı yalıtım malzemelerinde 2005'te Türkiye'de satılan yaklaşık, 1,4 milyon m³ EPS (ekspande polistren), 750 000 m³ XPS (ekstrüde polistren), 400 000 m³ PU, 1,8 milyon m³ camyünü, 650 000 m³ taşyününden oluşan 5,0 milyon m³'lük yalıtım malzemesinden (Kulaksızoğlu, 2006). 1,4 milyon m³ ile en çok tercih edilen yalıtım malzemelerinden biri olmasından dolayı EPS'nin uygulamalı olarak karşılaştırılmasının sonuçları yorumlanmıştır.

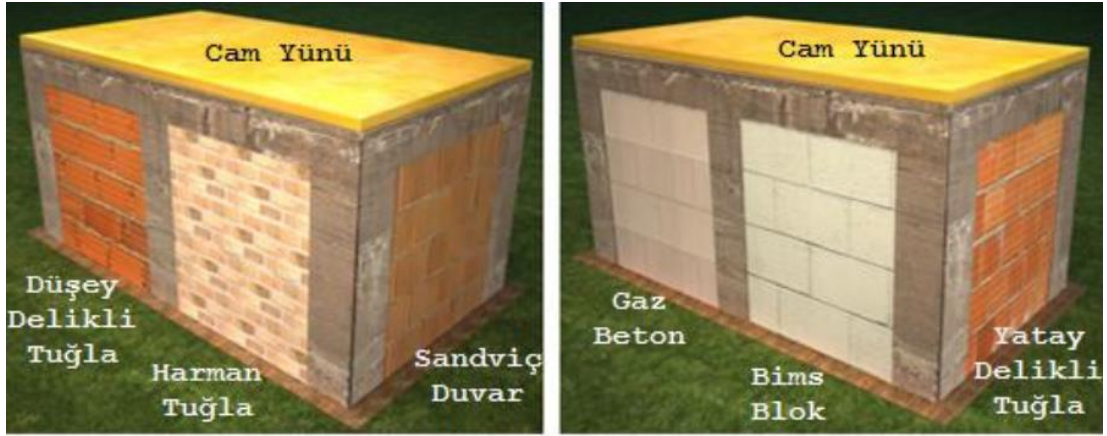
Hakan Akıncı yüksek lisans çalışmasında bu malzemeler (EPS, perlit)'in uygulanmasında ve sonuçların teorik olarak yorumlanmasının üç ana bölümde incelendiği tez çalışmasında birinci bölümde, ısı yalıtımının yapılar, ülke ekonomisi ve çevre kirliliği bakımından önemi ve gerekliliğine değinilmiştir. İkinci bölümde ise, ısı yalıtımında kullanılan malzemeler ve özellikleri incelenmiş ve ısı yalıtımında

malzeme seçim kriterleri belirtilmiştir. Üçüncü bölümde malzeme seçimine müteakip ısı yalıtım işleminin yapılarda uygulanması konusu incelenmiştir. Her üç bölümde de ısı yalıtımı konusunda teorik ısı transferi denklemlerine değinilmemiş, çalışmada pratik uygulamalar üzerine durulmuştur. Türkiye’de ısı transferi konusundaki temel teknik terimler ve ısı yalıtımı konusunda baz alınan standartlar TS 825 esas alınarak verilmiştir (Akıncı, 2001). Böylece deneyde kullanılacak EPS (Genleştirilmiş polistren)’nin ve perlitli ısı yalıtım malzemelerinin teknik özellikleri hakkında bilgi edinerek uygulamalı sonuçları ile teorik sonuçlar arasında bir karşılaştırma ve yorum yapılmıştır.

Özel ve Pıhtılı (2007), duvar yönünün yalıtım kalınlığına etkisini incelemiş ve özellikle dıştan yalıtımlı duvarlardaki bina yönünün yalıtım kalınlıklarına olan etkisi ısı kazanç ve kaybı açısından üç il için detaylı olarak araştırmışlardır. Yapılan çalışmada, güneşin simetrik hareketinden dolayı ısı akısı grafiklerinde aynı değişimi gösteren doğu ve batıya bakan duvarların ısı kazanç ve kayıpları, güneşe bakan duvarlarından fazla olduğu için bu yöndeki duvarlara (doğu ve batı) daha kalın yalıtım malzemesi yerleştirmek gerektiği ve bu durum özellikle doğu ve batı cephesinin geniş olduğu binalarda oldukça kazanç getireceği sonucuna varmışlardır. Bizde bu yön farkından oluşacak ısı farklarını göz ardı etmek için birbirine paralel doğu ve batıya bakan duvarlara aynı özelliklerde ve koşullarda çapraz olarak duvar oluşturularak deney süresince değerler aynı koşullarda ve aynı anda alınmıştır.

Ferhat Aydın vd. ise makalelerinde, ülkemizde en çok tercih edilen duvar çeşitlerinin ısı yalıtım performansını deneysel olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla gerçek yapı özellikleri taşıyan 1/3 ölçeğinde küçültülmüş betonarme karkas bir yapı imal edilerek, kolon açıklıkları altı farklı duvar elamanı ile örülmüştür.

Bu malzemeler aşağıdaki şekilde de gösterildiği gibi konut üretiminde yoğun şekilde kullanılan; yatay delikli tuğla, düşey delikli tuğla, bims, gaz beton, harman tuğla ve sandviç duvar uygulamalarıdır.



Şekil 1.1. Örnek yapının üç boyutlu tasarımı

Sonuç olarak en iyi ısıyı yalıtın duvar elemanı olarak sandviç duvar bulundu fakat yalıtımsız duvar elemanı çeşitlerinden hepsinin TS 825'te ikinci bölgede olan Sakarya ili için tavsiye edilen maksimum (Bkz. Tablo 1.4.) değerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu nedenle yapının bulunduğu bölge, kullanılan duvar çeşidi ve kalınlıkları göz önüne alındığında tüm duvarlarda ısı yalıtımı yapılmasının gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada Erzincan ili iklim şartlarında duvar örgü elemanlarıyla birlikte ısı yalıtım malzemesi olarak uygulanan EPS ile yalıtım malzemesi olarak geliştirilen geliştirilmiş perlitin ısı yalıtım performansının karşılaştırılması deneyleri yapılarak geliştirilmiş perlitin Erzincan ili için TS 825'te tavsiye edilen standartlara uygunluk durumu araştırılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

Kullanılan malzemelerin ısı karakteristiklerinin bilinmesi ısı aktarımında oldukça önemlidir. Her ısıtma soğutma sisteminin tasarımında kullanılan malzemelerin ısı iletim katsayılarının bilinmesi gerekir. Yapı malzemelerinin ısı iletim katsayıları yapıların ısı yüklerini etkiler (Özkaya, 1991). Etkili bir yalıtımda malzemenin ısı iletim katsayısı düşük olmalıdır.

2.1. Isı ve Sıcaklık Kavramı

Isı, iki sistem arasında sıcaklık farkından dolayı gerçekleşen enerji geçişi diye tanımlanmaktadır. Başka bir anlatımla, enerji geçişi sadece sıcaklık farkından dolayı gerçekleşmişse ısı diye tanımlanır. Termodinamiğin ikinci kanununa göre ısı, herhangi bir zorlama olmaksızın sıcak bir ortamdan daha soğuk bir ortama doğru kendiliğinden akar. Termodinamik, bu ısı geçişinin nasıl ve ne hızda olduğunu açıklamaz. Çünkü termodinamikte zaman bir değişken olarak ele alınmaz. Termodinamik denge durumundaki sistemler ile ilgilenir. Geçen ısı doğrudan doğruya ölçülemez ve gözlenemez, ama meydana getirdiği tesirler gözlenebilir ve ölçülebilir. Sıcaklık ise herhangi bir noktada ölçülen bir değer olup bir maddenin moleküllerinin kinetik enerjisinin ölçüsüdür (Çengel, 1996; Yüncü ve Kakaç, 1999).

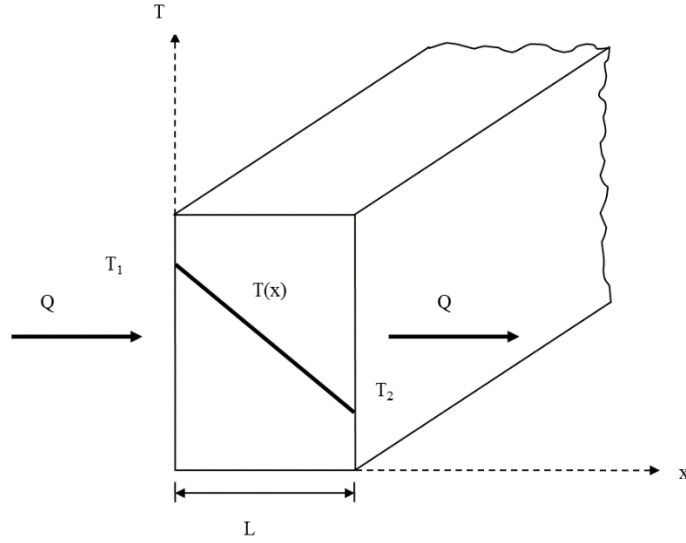
2.2. Isı Geçişinin Esasları

Isı geçişi üç şekilde; iletim (kondüksiyon), taşınım (konveksiyon) ve ışıınım (radyasyon) olarak gerçekleşmektedir. Isı geçişi hangi yolla gerçekleşirse gerçekleşsin herhangi bir zorlama olmadığı zaman yönü yüksek sıcaklıktaki ortamdan, düşük sıcaklıktaki ortama doğru olmaktadır (Çengel, 1996; Yüncü ve Kakaç, 1999).

2.2.1. Kondüksiyon (Isı İletimi)

Bir malzemenin yapısı içinde veya bağlantılı bulunduğu farklı ısıdaki bir malzeme ile moleküler yapıdaki kinetik enerji iletişimidir. Özellikle katı cisimlerde, hareket etmeyen sıvı ve gaz akışkanlarda görülür (Eriç ve M., 1982).

Isı geçi işlemlerini, uygun an denklemi ile nicelemek mümkündür. Bu eşitlikler, birim zamanda aktarılan enerji miktarını hesaplamak için kullanılabilir. Isı İletimi için an eşitliği Fourier yasası olarak bilinir.



Şekil 2.1. Düzlem duvarda bir boyutlu ısı iletimi

Şekil 2.1’de görülen T(x,t) sıcaklık dağılımına sahip bir boyutlu düz duvar için an eşitliği aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$q_x = -k \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

Isı akısı q_x (W/m^2), ısı geçişi doğrultusuna dik birim yüzeyden, birim zamanda x doğrultusunda geçen ısıdır ve bu doğrultudaki sıcaklık gradyanı (dT/dx) ile doğru orantılıdır. Orantı katsayısı k ise ısı iletim katsayısı (W/mK) olarak adlandırılan bir aktarım özelliğidir ve duvar malzemesi ile ilişkilidir. Eksi işareti, ısı geçişinin, sıcaklığın azaldığı yönde gerçekleşmesinin bir sonucudur (Halıcı ve Gündüz, 1998; Yüncü ve Kakaç, 1999). Şekil 2.1’de gösterildiği gibi, sıcaklık dağılımının doğrusal olduğu sürekli rejimde, sıcaklık gradyanı;

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (2.2)$$

olarak ifade edilebilir ve ısı akısı da;

$$q_x = -k \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (2.3)$$

ve ya,

$$q_x = k \frac{T_1 - T_2}{L} = k \frac{\Delta T}{L} \quad (2.4)$$

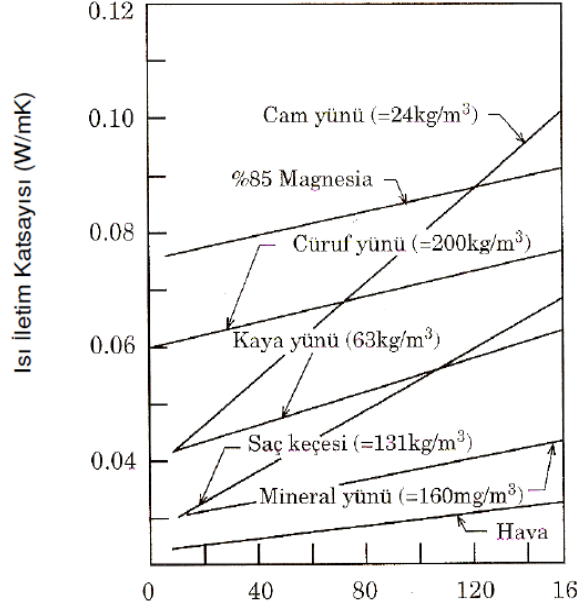
olarak yazılabilir. Bu eşitliğin, ısı akısını, yani birim yüzeyden, birim zamanda geçen ısayı verdiği dikkat edilmelidir. Böylece, yüzey alanı A olan düz bir duvardan birim zamanda geçen ısı akısı ile alanın çarpımına eşittir (Halıcı ve Gündüz, 1998; Yüncü ve Kakaç, 1999).

$$Q = q_x \cdot A \quad (2.5)$$

Isı iletim katsayısı birim kalınlıkta sıcaklık artışı için iletilen ısı geçiş hızı olup malzemeye göre değişmektedir. Basınca göre değişim, sıcaklığa göre değişimden daha az olması nedeniyle ihmal edilebilir. Bu nedenle, ısı iletim katsayısı sıcaklığın bir fonksiyonu olarak kabul edilebilir.

Maddelerin fiziksel ve metalürjik özelliklerinin, ısı iletim katsayılarına etkileri için aőaęıdakiler söylenebilir;

- Saf metallerde ısı iletim katsayısı sıcaklık arttıkça azalır,
- Alaşımlarda ve yalıtım malzemelerinde ısı iletim katsayısı, sıcaklık arttıkça artar,
- Nem, genellikle bütün malzemelerin ısı iletim katsayılarını arttırır,
- Saf bir maddenin ısı iletim katsayısı, eğer içerisine başka bir bileően ilave edilirse azalır,
- Gazlarda sıcaklık arttıkça gaz moleküllerinin hareketi arttığından dolayı ısı iletim katsayısı artmaktadır,
- Sıvılarda sıcaklık arttıkça, çoğu sıvının ısı iletim katsayısı azalmakla birlikte bazı sıvılarınki artmaktadır. Suyun ısı iletim katsayısı, 140 C sıcaklığa kadar artmakta daha sonra azalmaya baőlamaktadır,
- Isı yalıtım malzemelerinde, yoğunluk ve sıcaklık arttıkça ısı iletim katsayısı artar (Halıcı ve Gündüz, 1998).

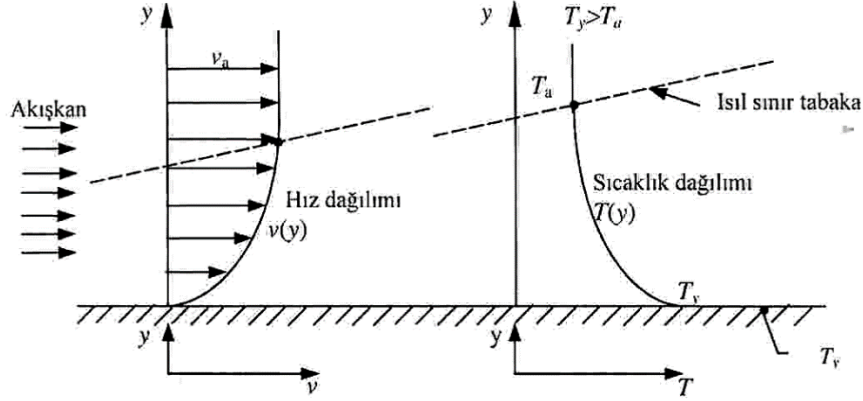


Şekil 2.2. Yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayısının sıcaklıkla değişimi

2.2.2. Konveksiyon (Isı Taşınımı)

Molekülleri serbestçe hareket edebilen, sıvı veya gaz (hava) içinde ısıl enerjileri fazla olan moleküllerin, özgül ağırlıklarının düşük olması sebebiyle yer değiştirmesi, sıvı veya gaz (hava) içinde, ısının bir noktadan başka bir noktaya gitmesini sağlar. Şekil 2.2'de belirtildiği gibi sıcak moleküllerin, daha soğuk moleküllere yer değiştirmesi suretiyle ısının aktarılması olayına konveksiyon-ısı taşınımı denir (Cengiz Özel, 2001).

Taşınım ile ısı geçişi, akışın türüne göre sınıflandırılır. Akış bir fan, bir pompa veya atmosferik rüzgârlar gibi bir dış etki ile oluyorsa, zorlanmış taşınım söz konusudur. Buna karşın doğal (veya serbest) taşınım da akış, akışkan içindeki sıcaklık değişimlerinin neden olduğu yoğunluk farklarından kaynaklanan kaldırma kuvvetleri ile ilişkilidir.



Şekil 2.3. Levha üzerindeki akışta hız ve sıcaklık dağılımları

Şekil 2.3’de görüldüğü gibi T_y sıcaklığındaki yüzey ile temasta bulunan T_a sıcaklığındaki akışkan arasındaki ısı geçişi ifadesi 1701 senesinde Newton tarafından verilmiştir. Bu ifade;

$$q = h(T_y - T_a) \quad (2.6)$$

şeklinde gösterilir. Burada, taşınım ile ısı akışı q (W/m^2), yüzey ve akışkan sıcaklıkları arasındaki fark ($T_y - T_a$) ile doğru orantılıdır. Bu ifade; Newton’un Soğutma Yasası olarak bilinir ve orantı katsayısı h (W/m^2K) da ısı taşınım katsayısı olarak adlandırılır. Bu değer, yüzey geometrisine, akışkan hareketinin türüne ve akışkanın bazı termodinamik ve aktarım özelliklerine göre belirlenen sınır tabakadaki koşullara bağlıdır (Halicı ve Gündüz, 1998; Yüncü ve Kakaç, 1999).

2.2.3. Radyasyon (Isı Işınımı)

Isı enerjisinin herhangi bir ara taşıyıcıya ihtiyaç olmadan, ışınım yoluyla (dalga boyları ışığınkinden daha büyük olan elektro-manyetik dalgalar halindeki ısı geçiş şekline) bir maddeden diğer maddeye nakline radyasyon-ısı ışınımı denir (Dağsöz ve A. K., 1995).

$$E_b = \sigma T_y^4 \quad (2.7)$$

Burada E_b , yüzeyin yayma gücü (W/m^2), T_y ise yüzeyin mutlak sıcaklığı (K) ve σ , Stefan-Boltzmann sabitidir ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$).

Böyle bir yüzey, ideal ışınım yayıcı veya siyah cisim olarak adlandırılır. Gerçek bir yüzeyin yaydığı ısı akısı, aynı sıcaklıkta bulunan bir siyah cismin yaydığından daha azdır ve aşağıdaki eşitlik ile verilir:

$$E_b = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad (2.8)$$

Burada;

ε , yayma oranı olarak adlandırılır ve yüzeyin bir ışınım özeliğidir. $0 \leq \varepsilon \leq 1$ aralığında değerler alan bu özellik, bir yüzeyin, siyah cisme göre nedenli etkin enerji yaydığından bir ölçüsüdür.

2.3. Malzemelerin Isı İletim Katsayıları

İletim, başka bir deyişle yayılma ile ısı geçişi, bir ortamda sıcaklık farkı nedeniyle enerji geçişini göstermekte ve fiziksel mekanizmasının rastgele atomik veya moleküler hareketlilikte olduğunu ifade etmektedir.

Anlık iletim (enerji yayılımı) denklemi veya diğer adıyla Fourier yasası örneğin x yönünde aşağıdaki gibidir.

$$Q_x = kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.9)$$

Isının her zaman azalan sıcaklık yönünde geçmesi nedeniyle eksi işaretinin kaçınılmaz olduğu hatırlatılmalıdır. Isı akısı yöne bağlı bir büyüklük olduğundan, iletim denklemi (Fourier yasası) daha genel bir ifade ile aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Q = -k\nabla T = -k \left(i \frac{\partial T}{\partial x} + j \frac{\partial T}{\partial y} + k \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (2.10)$$

Burada;

∇ , üç boyutlu del operatörü,

$T(x,y,z)$, skaler sıcaklık dağılımıdır.

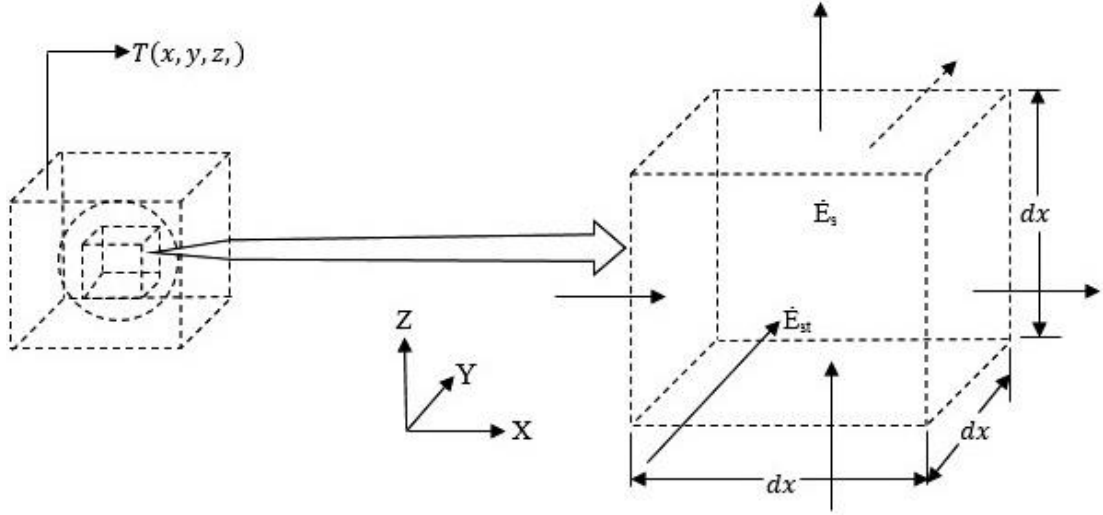
Isı akısı vektörü izotermal yüzeylere dik olduğundan Fourier yasasının diğer bir yazım biçimi aşağıdaki gibidir.

$$q_n = -k \frac{\partial T}{\partial n} \quad (2.11)$$

Diferansiyel bir kontrol hacmi tanımlandıktan sonra, ilgili ısı geçiş türleri belirlenmekte ve uygun an denklemleri yazılmaktadır. Sonuç, verilen sınır koşulları için, çözümü ortamdaki sıcaklık dağılımını sağlayan bir diferansiyel denklemdir.

İçinde kütle hareket olmayan ve $T(x,y,z)$ sıcaklık dağılımının dikdörtgen (kartezyen) eksen takımında gösterildiği homojen bir ortam ele alınsın.

x , y ve z eksenleri üzerindeki kontrol yüzeylerinin her birine dik ısı iletimi sırasıyla q_x , q_y ve q_z terimleri ile gösterilir. Karşı yüzeylerdeki ısı iletimi ise yüksek mertebeden terimlerin atıldığı Taylor seri açılımı ile ifade edilir.



Şekil 2.4. Üç boyutlu ısı iletimi

$$Q_{x+dx} = Q_x + \frac{\partial Q_x}{\partial x} dx \quad (2.12)$$

$$Q_{y+dy} = Q_y + \frac{\partial Q_y}{\partial y} dy \quad (2.13)$$

$$Q_{z+dz} = Q_z + \frac{\partial Q_z}{\partial z} dz \quad (2.14)$$

Sözel olarak, $x+dx$ 'deki ısı iletimi, x 'teki değer ile dx uzunluğundaki değişimin toplamı olarak verilmektedir.

Ortam içinde ısıl enerji üretimi ile ilgili olarak enerji kaynağı terimi de bulunabilir. Bu terim aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\dot{E}_s = \dot{q} dx dy dz \quad (2.15)$$

Burada;

\dot{q} ortamın birim hacimdeki, birim zamanda üretilen ısı enerjidir (W/m^3).

Ayrıca kontrol hacmine malzeme tarafından depolanan ısı iç enerjide değişimler olabilir. Malzemede bir faz değişimi olmuyorsa gizli ısı etkileri yoktur ve enerji depolama terimi,

$$\dot{E}_{st} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dx dy dz \quad (2.16)$$

olarak yazılır.

Burada;

$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t}$ ortamın ısı enerjisinin birim hacimde, birim zamanda değişimidir.

Enerji korunumun an eşitliği:

$$\dot{E}_i + \dot{E}_g - \dot{E}_o = \dot{E}_{st} \quad (2.17)$$

biçimindedir. Düzenlenirse aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$Q_x + Q_y + Q_z + \dot{q} dx dy dz - Q_{x+dx} - Q_{y+dy} - Q_{z+dz} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dx dy dz \quad (2.18)$$

İlgili denklemler yerine yazılırsa aşağıdaki 2.19 eşitliği elde edilir.

$$-Q_x + \frac{\partial Q_x}{\partial x} dx - Q_y + \frac{\partial Q_y}{\partial y} dy - Q_z + \frac{\partial Q_z}{\partial z} dz + \dot{q} dx dy dz = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dx dy dz \quad (2.19)$$

Isı iletimi Fourier yasası ile yazılabilir:

$$Q_x = -k dy dz \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.20)$$

$$Q_y = -k dx dz \frac{\partial T}{\partial y} \quad (2.21)$$

$$Q_z = -k dx dy \frac{\partial T}{\partial z} \quad (2.22)$$

Bu 2.20, 2.21 ve 2.22 eşitlikleri, 2.19 eşitliğinde yazılır ve bu eşitlik $dx dy dz$ 'e bölünürse, Kartezyen (dikdörtgen) koordinatlarda ısı yayılım denkleminin genel biçimi elde edilir.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.23)$$

Eşitlikte görülen her bir terimin fiziksel önemi açık olarak kavramalıdır.

Örneğin, $\partial/\partial x$ ($k \partial T/\partial x$) terimi, x yönünde kontrol hacmine net iletim akısını belirtmektedir. dx ile çarpıldığında ise aşağıdaki 2.24 eşitliği elde edilir.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx = Q_x - Q_{x+dx} \quad (2.24)$$

k (W/Km), ısı iletim katsayısı sabit ise ısı yayılım denklemi (ısı denklemi),

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.25)$$

olup, burada;

$$\alpha = \frac{k}{(\rho c_p)} \quad \text{ısı yayılım katsayısıdır.}$$

Sürekli rejim için depolanan enerjide değişim olmayacağından,

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{k} = 0 \quad (2.26)$$

Ayrıca, ısı geçişi bir boyutlu ise örneğin x yönünde ise ve ısı üretimi yoksa,

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) = 0 \quad (2.27)$$

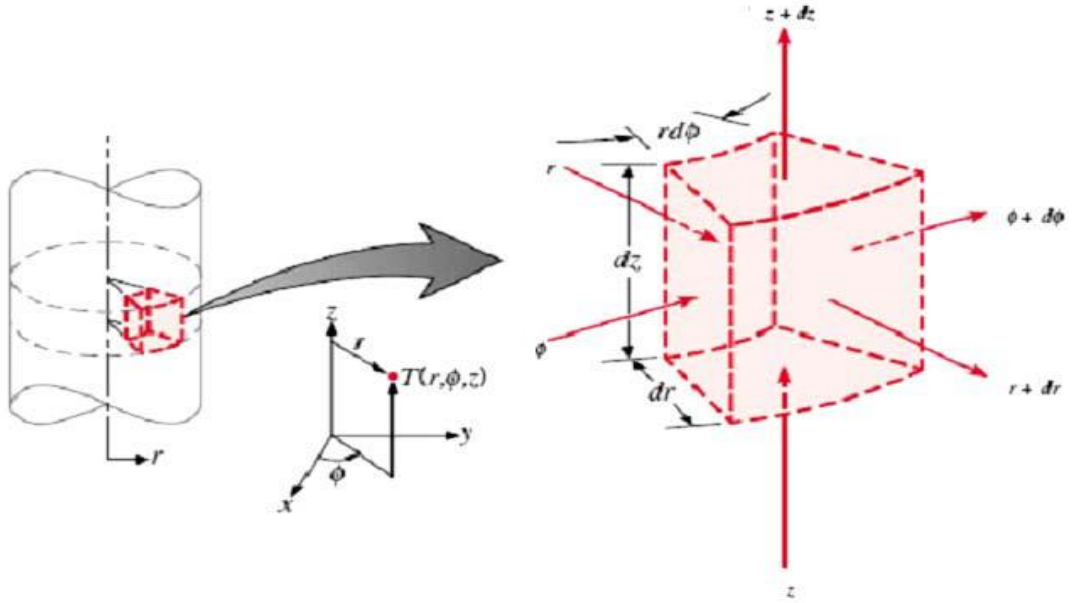
olur. Bu sonuçtan yapılacak önemli bir gözlem, ısı üretiminin olmadığı bir boyutlu sürekli rejim için, geçiş yönünde ısı akısının sabit olduğudur ($\partial Q_x / dx = 0$).

Silindirik Eksenler:

$$Q = -k \nabla T = -k \left(i \frac{\partial T}{\partial x} + j \frac{\partial T}{\partial y} + k \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (2.28)$$

burada;

$$q_r = -k \frac{\partial T}{\partial r} \quad , \quad q_\phi = -\frac{k}{r} \frac{\partial T}{\partial \phi} \quad , \quad q_z = -k \frac{\partial T}{\partial z} \quad (2.29)$$



Şekil 2.5. Silindirik eksenlerde üç boyutlu ısı iletimi

Sırasıyla radyal, açısal ve eksensel yönlerde ısı akısı bileşenleridir.

Diferansiyel kontrol hacmine enerji dengesi uygulanarak ısı eşitliğinin aşağıdaki genel şekli elde edilir.

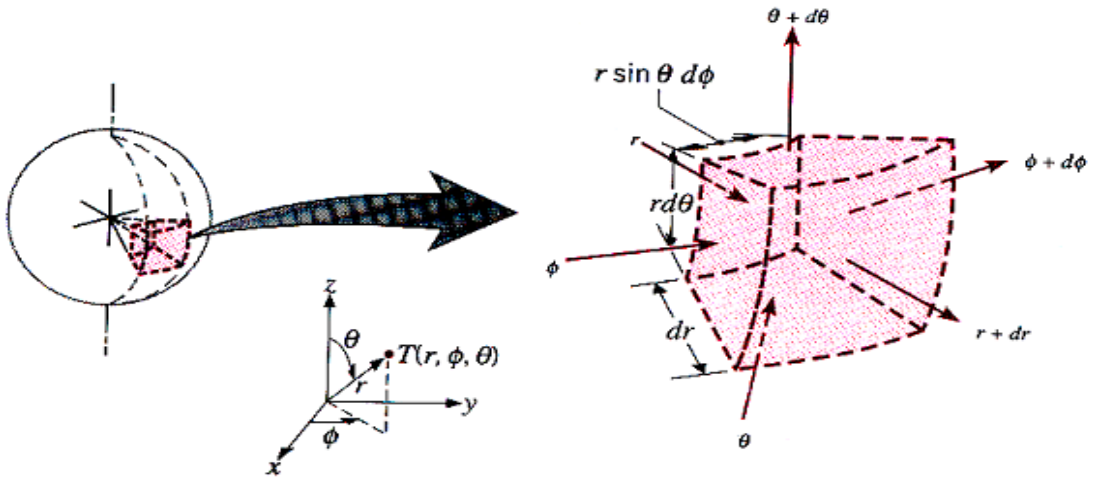
$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(kr \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(kr \frac{\partial T}{\partial \phi} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(kr \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.30)$$

Küresel Eksenler:

$$q = -k \nabla T = -k \left(i \frac{\partial T}{\partial r} + j \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial \theta} + k \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial T}{\partial \phi} \right) \quad (2.31)$$

burada,

$$q_r = -k \frac{\partial T}{\partial r} \quad , \quad q_\theta = -\frac{k}{r} \frac{\partial T}{\partial \theta} \quad , \quad q_\phi = -k \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial T}{\partial \phi} \quad (2.32)$$



Şekil 2.6. Küresel eksenlerde üç boyutlu ısı iletimi

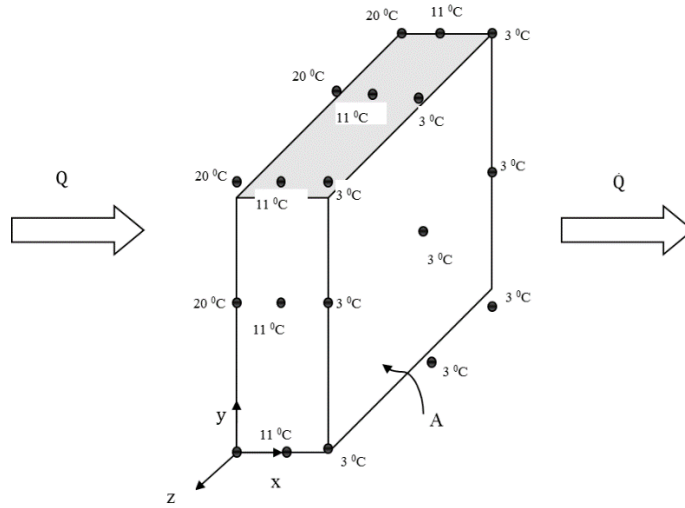
Diferansiyel kontrol hacmine enerji dengesi uygulanarak ısı eşitliğinin aşağıdaki genel şekli elde edilir.

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(kr^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(k \frac{\partial T}{\partial \phi} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(k \sin \theta \frac{\partial T}{\partial \theta} \right) + \dot{q} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.33)$$

Fourier yasasında sıcaklık gradyanınının K/m biriminde olması gerektiği bilinmelidir. Bu nedenle, açısal eksenlerde gradyan hesaplanırken yay uzunluğundaki diferansiyel değişme cinsinden ifade edilmelidir.

2.4. Düzlem Duvarlarda Sürekli Isı İletimi

Bir kış gününde bir evin duvarlarındaki sürekli ısı iletimi dikkate alınsın. Isının sürekli olarak duvardan dışarı doğru kaçtığı bilinmektedir. Duvardaki ısı transferinin duvar yüzeyine dik doğrultuda olduğu ve diğer doğrultularda ısı transferinin önemli olmadığı sezgilerle hissedilir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Sürekli şartlarda düzlem duvarda sıcaklık dağılımı

Belirli bir doğrultudaki ısı transferine, o doğrultudaki sıcaklık gradyanı yol açar. Sıcaklığın değişmediği doğrultularda ısı transferi olmaz. Duvarın iç ve dış yüzeylerinde çeşitli yerlerde ölçülen sıcaklıklar, bir duvar yüzeyinin neredeyse izotermal olduğunu doğrular. Yani duvar yüzeyinin hem sağ ve sol kenarlarında hem de alt ve üstünde sıcaklıklar neredeyse hep aynıdır. Bu yüzden üstten alta veya soldan sağa doğru ısı transferi yoktur; fakat duvarın iç ve dış yüzeyleri arasında önemli sıcaklık farkı ve dolayısıyla iç yüzeyden dış yüzeye doğru kayda değer ısı transferi vardır.

Duvarın kalınlığının az olması bu doğrultuda sıcaklık gradyanının büyük olmasına sebep olur. Ayrıca bir evin iç ve dış tarafındaki hava sıcaklıkları değişmiyorsa, o halde bu evin duvarındaki ısı transferi sürekli ve tek boyutlu olarak modellenebilir. Bu durumda duvardaki sıcaklık yalnızca bir doğrultuya (mesela x doğrultusu) bağlı olur ve $T(x)$ olarak gösterilebilir.

$$\left(\begin{array}{c} \text{Duvarın} \\ \text{içine olan ısı} \\ \text{transfer hızı} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Duvardan} \\ \text{dışarı olan ısı} \\ \text{transfer hızı} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Duvarın} \\ \text{enerjisindeki} \\ \text{değişme hızı} \end{array} \right)$$

veya

$$Q_{\text{içeri}} - Q_{\text{dışarı}} = \frac{\partial E_{\text{duvar}}}{\partial t} \quad (2.34)$$

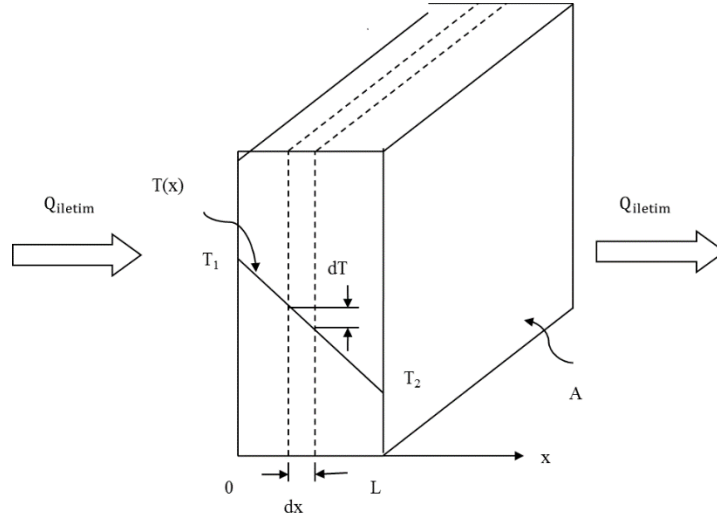
Fakat sürekli işlemde $\partial E_{\text{duvar}} / \partial t = 0$ 'dır; çünkü duvarın hiçbir noktasının sıcaklığı zamana bağlı olarak değişmez. Bu yüzden duvarın içine olan ısı transfer hızı, duvardan dışarı olan ısı transfer hızına eşit olmalıdır. Bir başka deyişle duvardaki ısı transfer hızı sabit olmalıdır ($Q_{\text{iletim,duvar}} = \text{sabit}$).

Kalınlığı L ve ortalama ısı iletkenliği k olan bir düzlem duvar göz önüne alınsın. Duvarın iki yüzeyi T_1 ve T_2 sabit sıcaklıklarında tutulmaktadır. Duvarda tek boyutlu sürekli ısı iletimi için sıcaklık $T(x)$ şeklindedir. Bu durumda duvar için Fourier ısı iletim kanunu,

$$Q_{\text{iletim,duvar}} = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (W) \quad (2.35)$$

olarak yazılabilir; burada $\dot{Q}_{\text{iletim,duvar}}$ iletim ısı transfer hızını, A ise sabit duvar alanını göstermektedir. Dolayısıyla $\partial T / \partial x = \text{sabit}$ tir ki bu duvarda sıcaklığın x ile

doğrusal olarak değişeceği anlamına gelir. Yani sürekli şartlarda duvardaki sıcaklık dağılımı düz bir doğrudur (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Düzlem duvarda bir boyutlu ısı iletimi

Eşitlik 2.35 değişkenlerine ayrılır ve $T(0) = T_1$ 'in olduğu $x = 0$ 'dan, $T(L) = T_2$ 'nin olduğu $x = L$ 'ye kadar integre edilirse,

$$\int_{x=0}^L Q_{\text{iletim,duvar}} dx = - \int_{T=T_1}^{T_2} kAdT \quad (2.36)$$

bulunur. İntegraller alınır ve tekrar düzenlenirse,

$$Q_{\text{iletim,duvar}} = kA \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (\text{W}) \quad (2.37)$$

Bir düzlem duvardaki ısı iletim hızı, ortalama ısı iletim katsayısı, duvar alanı ve sıcaklık farkı ile doğru orantılı fakat duvarın kalınlığı ile ters orantılıdır.

2.5. Isıl Direnç Kavramı

Bir düzlem duvarda ısı iletimi için eşitlik 2.37,

$$Q_{\text{iletim,duvar}} = \frac{T_1 - T_2}{R_{\text{duvar}}} \quad (\text{W}) \quad (2.38)$$

şeklinde yeniden düzenlenebilir; burada,

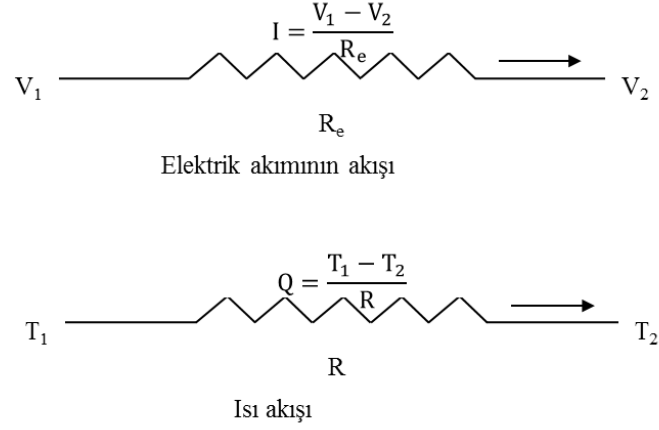
$$R_{\text{duvar}} = \frac{L}{kA} \quad (^\circ\text{C/W}) \quad (2.39)$$

değeri, ısı iletimine karşı duvarın ısıl direnci veya basitçe duvarın iletim direncidir. Bir ortamın ısıl direnci ortamın geometrisine ve ısıl özelliklerine bağlıdır.

Bu ısı transferi denklemi,

$$I = \frac{V_1 - V_2}{R_e} \quad (2.40)$$

olarak yazılan I elektrik akımının akışı bağıntısının benzeridir; burada $R_e = L/\sigma_e A$ olup elektrik direnci ve $V_1 - V_2$ ise direnç üzerindeki gerilim farkıdır (σ_e , elektriksel iletkenliktir). Böylelikle, bir katmandaki ısı transfer hızı, elektrik akımına, ısıl direnç, elektrik direncine ve sıcaklık farkı katmandaki gerilim farkına karşılık gelir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Isıl ve elektriksel direnç kavramları arasındaki benzerlik

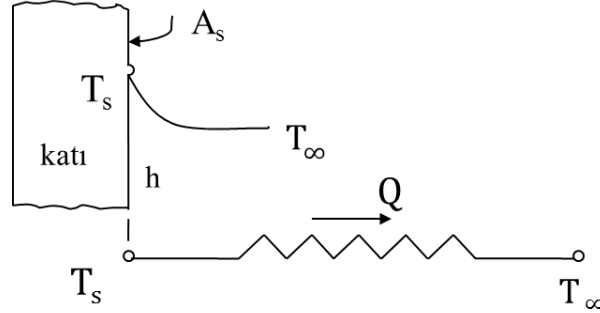
Alanı A_s ve sıcaklığı T_s olan bir katı yüzeyden, yüzeyden yeterince uzakta sıcaklığı T_∞ olan bir akışkana h taşınım ısı transfer katsayısıyla olan taşınım ısı transferi incelendiğinde, taşınım ısı transfer hızı için taşınım formülü $\dot{Q}_{\text{taşınım}} = hA_s(T_s - T_\infty)$ Newton'un soğutma kanunu,

$$Q_{\text{taşınım}} = \frac{T_s - T_\infty}{R_{\text{taşınım}}} \quad (\text{W}) \quad (2.41)$$

şeklinde yeniden düzenlenebilir; burada,

$$R_{\text{taşınım}} = \frac{1}{hA_s} \quad (^\circ\text{C/W}) \quad (2.42)$$

değeri ısı taşınımına karşı yüzeyin ısıl direnci veya duvarın taşınım direncidir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Bir yüzeyde taşınım direncinin şematik gösterimi

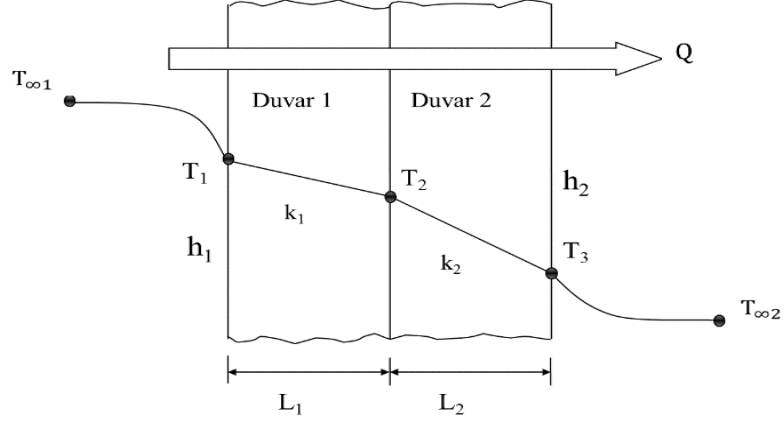
2.6. Çok Katmanlı Düzlem Duvarlar

Uygulamada çoğu kez farklı malzemelerden çok katmanlı düzlem duvarlarla karşılaşılır. Isıl direnç kavramı, kompozit duvarlardaki sürekli ısı transfer hızını bulmak için de kullanılabilir. İki katmandan oluşan (yalıtımlı tuğla duvar gibi) bir düzlem duvar göz önüne alalım. Bu iki katmanlı kompozit duvardaki sürekli ısı transfer hızı,

$$Q = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{toplam}} \quad (2.43)$$

olarak yazılabilir (Şekil 2.11); burada R_{toplam} toplam ısıl direnç olup şöyle tanımlanır:

$$R_{toplam} = R_{taşınım,1} + R_{duvar,1} + R_{duvar,2} + R_{taşınım,2} = \frac{1}{h_1 A} + \frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_2}{k_2 A} + \frac{1}{h_2 A} \quad (2.44)$$



Şekil 2.11. İki katmanlı kompozit duvardaki ortam sıcaklığına göre ısı transferinin şematik gösterimi

Şekil 2.12'deki gibi yüzeylerin sıcaklık değerleri (T_1 ve T_3) ile de çalışılmış ise çok katmanlı düzlem duvarlar için ısı eşitliği;

$$Q = \frac{T_1 - T_3}{R_{toplam}} \quad (2.45)$$

Buradaki toplam direnç ise;

$$R_{toplam} = R_{duvar,1} + R_{duvar,2} + \dots + R_{duvar,n} = \frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_2}{k_2 A} + \dots + \frac{L_n}{k_n A} \quad (2.46)$$

şeklinde bulunur.

Burada;

$$U_D = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (2.47)$$

şeklinde verilir.

U_D : Dış duvarın ısıl geçirgenlik katsayısıdır (W/m^2K)

Eşitlik 2.46 ve 2.47'yi birleştirip bir eşitlik olarak yazarsak;

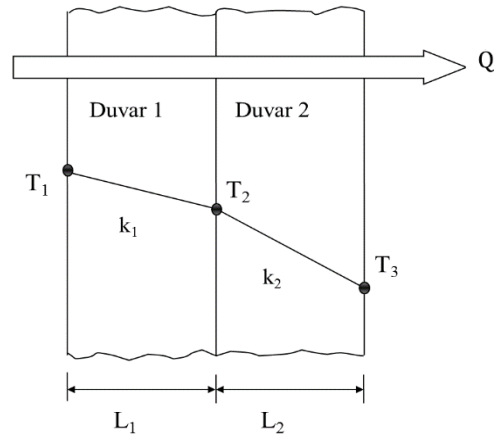
$$U_D = \frac{1}{\frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_2}{k_2 A} + \dots + \frac{L_n}{k_n A}} \quad (2.48)$$

U_D değerinin en açık ifade edilebilen hali yazılır (Mahlia vd., 2006).

Eşitlik 2.45 ve 2.46'yı birleştirip bir eşitlik olarak yazarsak;

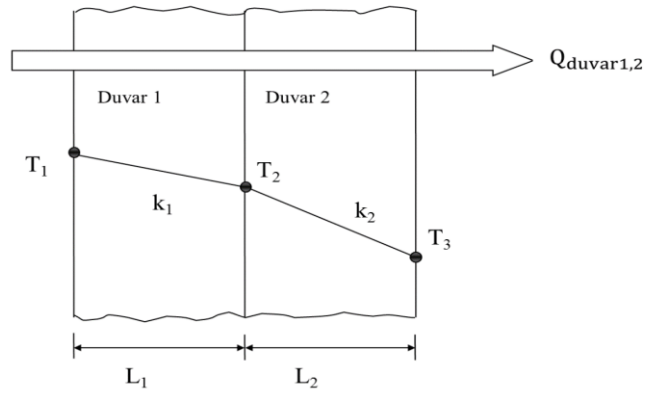
$$Q = \frac{T_1 - T_3}{\frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_2}{k_2 A} + \dots + \frac{L_n}{k_n A}} \quad (2.49)$$

şeklinde kompozit duvardaki yüzey sıcaklığına göre ısı transferinin genel bir eşitliği olan eşitlik 2.49'u elde ederiz.



Şekil 2.12. İki katmanlı kompozit duvardaki yüzey sıcaklığına göre ısı transferinin şematik gösterimi

2.7. Çok Katmanlı İki Ayrı Düzlem Duvardaki Isı İletimi



Şekil 2.13. Duvar1 ve Duvar2 ile oluşan kompozit duvardaki ısı transferinin şematik gösterimi

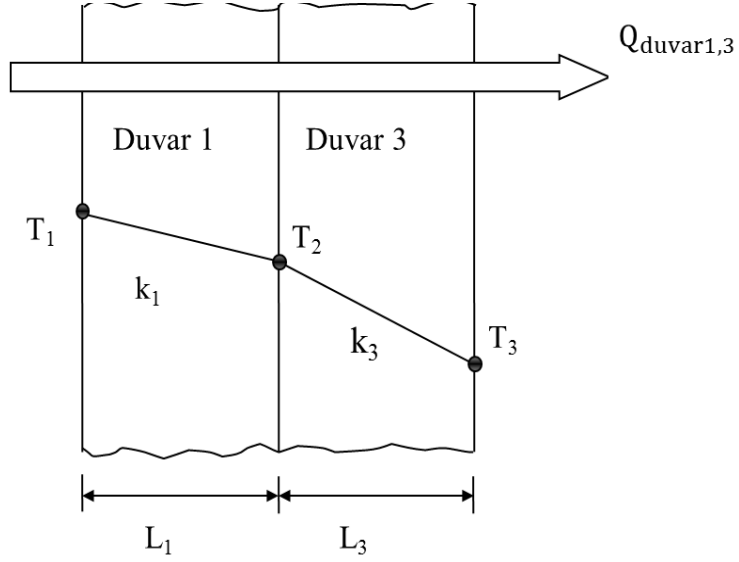
Eşitlik 2.49'yi şekil 2.13'e göre yazarsak;

$$Q_{duvar1,2} = \frac{T_1 - T_3}{\frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_2}{k_2 A}} \quad (2.50)$$

Aynı eşitliği aşağıdaki şekil 2.14 için yazarsak;

$$Q_{duvar1,3} = \frac{T_1 - T_3}{\frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_3}{k_3 A}} \quad (2.51)$$

şeklinde eşitlik 2.50 ve 2.51'yi elde ederiz.



Şekil 2.14. Duvar1 ve Duvar3 ile oluşan kompozit duvardaki ısı transferinin şematik gösterimi

Eşitlik 2.50 ve 2.51'deki sıcaklık farkının ($T_1 - T_3$) eşit olması sağlanırsa her iki duvar konfigürasyonunda gerçekleşen ısı akışı, $Q_{\text{duvar1,2}} = Q_{\text{duvar1,3}}$ eşit olduğu söylenir. Yani buradan Duvar1,3'e (perlit izolasyonlu duvara) ait ısı geçişi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$Q_{\text{duvar1,2}} = Q_{\text{duvar1,3}} = \frac{T_1 - T_3}{\frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_3}{k_3 A}} \quad (2.52)$$

Buradan k_3 (perlitin ısı iletim katsayısı);

$$k_3 = L_3 \left/ \left[\frac{(T_1 - T_3) \cdot A}{Q_{\text{duvar1,2}}} - \left(\frac{L_1}{k_1} \right) \right] \right. \quad (2.53)$$

şeklinde eşitlik 2.53 olarak elde edilir.

Deney odasının farklı izolasyon malzemeleri (perlit ve EPS) ile yapılmış duvarlarının ısı transfer yüzeyleri ve iç, dış yüzey sıcaklıkları eşit olduğu için her iki duvardan gerçekleşen ısıları birbirine eşittir ve 2.53 eşitliğinde 2.50 eşitliğindeki $Q_{\text{duvar1,2}}$ yerine yazılırsa,

$$k_3 = L_3 / \left[\frac{(T_1 - T_3) \cdot A}{\frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_2}{k_2 A}} - \left(\frac{L_1}{k_1} \right) \right] \quad (2.54)$$

ve gerekli sadeleştirmeleri yapılırsa,

$$k_3 = L_3 / \left[\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} - \left(\frac{L_1}{k_1} \right) \right] \quad (2.55)$$

şeklinde eşitlik 2.55 elde edilir. Paydalar eşitlenir ise son olarak,

$$k_3 = \left(\frac{k_2 L_3}{L_2} \right) \quad (2.56)$$

2.56 eşitliği elde edilir.

Böylece çok katmanlı iki ayrı düzlem duvardaki ısı iletiminin ısı geçişleri eşit ise en açık haliyle genel olarak eşitlik 2.54 ile ifade edilebilir. 2.54 eşitliğindeki değişkenlerden sadece kullandığımız ısı yalıtım malzemesi ve bu ısı yalıtım malzemelerinin kalınlıkları sabit değil (diğer değişkenler sabit veya aynı) ise bu seferde 2.56 eşitliğini kullanarak şekil 2.14'teki 3. duvarın ısı iletim katsayısı hesaplanabilir.

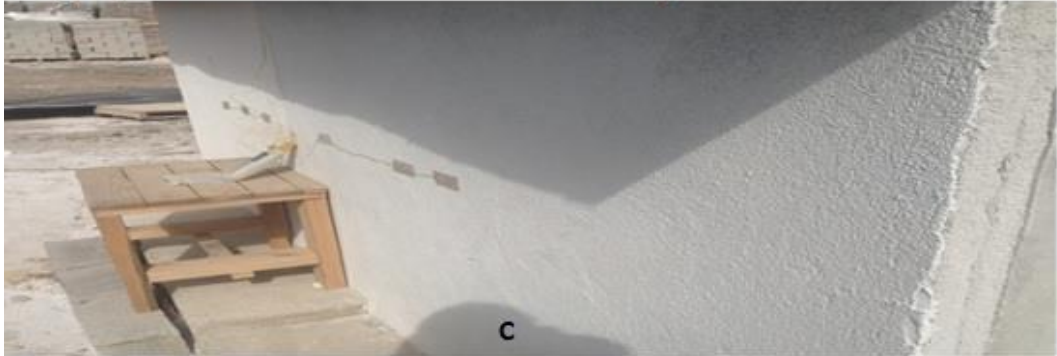
Duvar yüzeylerinin ortasına yerleştirilen içerden üç ve dışarıdan beş termokupl ile deney verileri alınmıştır. Dışarıdaki termokupllardan dört tanesi her bir duvar yüzeyinin sıcaklığını, bir tanesi ise dış ortamın (havanın) sıcaklığını ölçmek için kullanılmıştır. İçerdeki termokupllardan iki tanesi ile perlit ve EPS'nin iç yüzey sıcaklıkları ölçülmüş ve diğeri ile de iç ortam sıcaklığı değerleri alınmıştır. Ayrıca termal kamera ile de ölçümler aynı anda alınmıştır. Ortam sıcaklığının ve deney düzeneğinin sıcaklığının stabil olması doğal olarak da elde edilen sonuçların mümkün olduğunca karalı olması için termal kamera ve termokuplar ile alınan tüm sonuçlar akşam ve güneş etkisinin olmadığı bir zaman diliminde alınmıştır. Isı yalıtım elemanlarının karşılıklı doğu batı yönünde konularak da yön farkından kaynaklanacak sapmaları minimuma indirmek amaçlanmıştır.



A: Yapının bims örülü
doğu cephesi



B: Yapının bims örülü
batı cephesi



C:Yapının yarısı EPS ve diğer yarısı perlit ile yalıtılmış
doğu cephesindeki 8cm'lik perlit kesiti



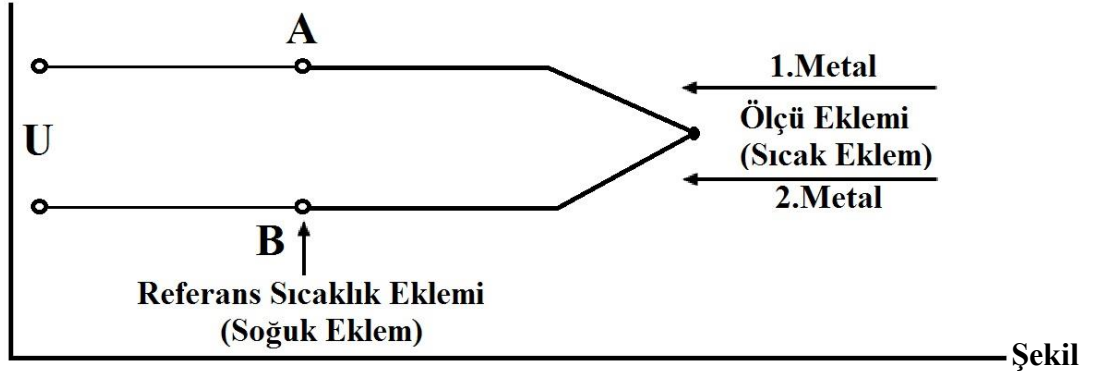
D: Yapının yarısı EPS ve
diğer yarısı perlit ile
yalıtılmış batı
cephesindeki EPS kesiti.

Şekil 3.2. Örnek Yapının inşa süreci

3.2. Termokupllar ve Çalışma Prensibi

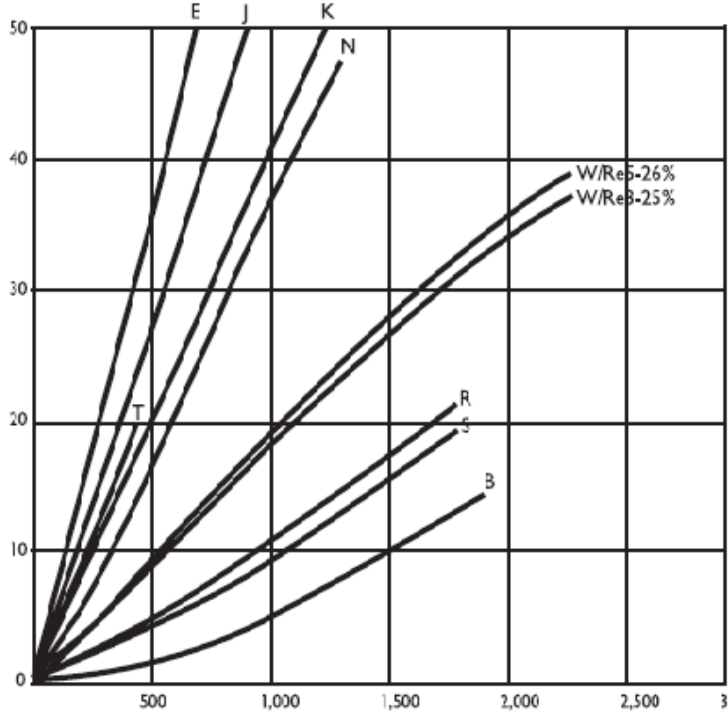
Termokuplların çalışma prensibi; Bütün iletkenler ısıtıldıklarında içlerinde bulunan elektronlarda bir hareketlenme meydana gelir. Ancak bu hareketlenme çeşitli iletkenler arasında farklılık gösterebilir. Bu maddenin ayırt edici özelliklerinden biridir. Biz de iletkenlerin bu farklarından yararlanarak sıcaklık ölçümü yapabiliriz.

Yüksek sıcaklıkların ölçülmesinde termometreler kullanılamaz. Termokupllar eksi 200 °C'den 2320 °C'ye kadar çeşitli proseslerde yaygın olarak kullanılır. Termokupllar demir konstantan ve bakır konstantan gibi iki farklı metalin birleşme noktası ısıtıldığında şekil 3.3'teki gibi bu iki metal uçları arasında potansiyel bir fark meydana gelir, prensibine göre çalışır. Oluşan potansiyel farkın değeri, iki ayrı metalin ısınma sonucundaki sıcaklık ve soğukluk farkına bağlıdır. İşte oluşan bu potansiyel fark kullanılarak istenilen sıcaklık değerleri ölçülür. (T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2012)



3.3. Termokuplun yapısı

Aşağıdaki Tablo 3.1'te değişik malzemelerden yapılmış ve harf olarak kodlanmış termokuplların sıcaklık-milivolt çıkış eğrilerini görmekteyiz.

Tablo 3.1. Termokuplların sıcaklık-milivolt çıkış eğrileri ve harf kodları.

		KONPANZASYON	
		(+)	(-)
		Nikel Krom veya Kromel	Nikel veya Alümel
	K	Demir	Constantan veya Bakır Nikel W
		Bakır	Constantan veya Bakır Nikel V
T		Bakır	Constantan veya Bakır Nikel T
J		Demir	Constantan veya Bakır Nikel J
N		Silisyum Nikel veya Nikrosil	Magnezyum Nikel-Silisyum veya Nikrosil
E		Nikel Krom veya Kromel	Constantan veya Bakır Nikel E
R		Platin %13 Rodyum	Platin
S		Platin %10 Rodyum	Platin
B		Platin %30 Rodyum	Platin %30 Rodyum

Bu termokuplların sıcaklık limitlerini ve standart kodlarını aşağıdaki Tablo 3.2'deki gibi sıralayabiliriz.

Tablo 3.2. Termokupl çeşitleri standart isimleri.

	DIN 43710	DIN 43710 IEC 584	Santigrat Derece Aralıkları
1) Cu-Const	U	T	-200 ~ 300 °C
2) Fe-Const	L	J	-200 ~ 800 °C
3) Cr-Al		K	-200 ~ 1200 °C
4) NiCr-Ni		K	-200 ~ 1200 °C
5) Cr-Const		E	-200 ~ 1200 °C
6) Nikrosil-Nisil		N	0 ~ 1200 °C
7) Pt%10Rh-Pt		S	0 ~ 1500 °C
8) Pt%13Rh-Pt		R	0 ~ 1600 °C
9) Pt%18Rh-Pt		B	0 ~ 1800 °C
10) Tn-Tn%26Re		W	0 ~ 2000 °C

Bu elementlerin tellerinin sıcaklık-mV eğrilerini inceleyecek olursak doğrusal olmadıklarını görürüz. Termokupl sıcaklık-mV eğrileri incelendiğinde her birinin sıcaklık ölçümü açısından diğerine nazaran daha uygun olduğu bölgeler vardır. Örneğin 0–800 °C sıcaklık ölçümü yapabilen Fe-Const ile 0–1 200 °C’ye kadar ölçüm yapabilen NiCr-Ni eleman tellerinin mV eğrisi karşılaştırıldığında 300-600 °C arasında Fe-Const, NiCr-Ni’e nazaran daha doğrusaldır. Bu nedenle bu aralıkta Fe-Const ile çalışma tercih edilir. Yine aynı yaklaşımla PtRh-Pt termokupl için 800–1600 °C arası uygun bir çalışma bölgesidir. 800 °C’nin altında doğrusallık çok bozuktur (MEGEB, 2007).

Uygulamada Model: TM-946 olan K/J tip, 4 kanallı termokupl kullanılmıştır. K-tipi termokupllar; sıcaklık değişimleri 0,1 °C hassasiyetli ölçü alabilen, -200 °C ile 1 300 °C arasında sıcaklıkları ölçebilen bir cihazdır.

3.3. Termal Kameralar ve Çalışma Prensipleri

Termal kamera, çeşitli uygulamalarda kullanılan alanların ya da parçaların normalin üzerindeki sıcaklıklarını ya da soğukluklarını ölçebilen çok pahalı tanı cihazıdır. Bu cihazlar objelerden yayılan termal enerjiyi ölçmeye yarayan lenslerden ve algılayıcılardan oluşur. Termal kamera, kızılötesi dalga boyu spektrumunda, ekipmanla doğrudan temas gerçekleştirmeksizin sıcaklık modellerini algılayan bir cihazdır. Görüntüleme yöntemi olarak gözle görülmeyen IR enerjiyi (ısıyı) esas alan ve görüntünün genel yapısını IR enerjiye göre oluşmuş renkler ve şekillerin belirlendiği görüntüleme sistemidir. Termal kameralar çıplak gözle tespit edilmeyen ancak ciddi sonuçlara yol açabilen küçük problemleri görmemizi sağlar (Çalışan ve Türkoğlu, 2011).

Termal kamerayla çekilen ısı resimleri çok sıcak bölgeleri açık renkle, soğuk bölgeleri ise koyu renk ile göstererek problemin kaynağını rahatlıkla belirlemeye yardımcı olur. Termal kameralar görüntü alınan alanın durumunu siyah-beyaz veya renkli gösterirler. Renkli olarak gösterdiği durumlarda ortam sıcaklığına göre ortam sıcaklığına göre maviden sarıya kırmızı rengi kullanarak geçer. Mavi alanlar en soğuk bölgeleri, sarı alanlar ise en sıcak bölgeleri gösterir (Çalışan ve Türkoğlu, 2011).

Termografi ve termal görüntüleme elektrikli ekipmanları ve süreç ekipmanlarını denetlemek, sağlık, savunma ve bina incelemeleri için kullanılabilir. Bina incelemeleri çatıdaki rutubeti, hava sızıntısına yönelik olarak bina yalıtımını incelemelerini ve binadaki nemi içerir (Çalışan ve Türkoğlu, 2011).

Bu çalışmada termal görüntüler için Testo 875 markalı, 160x120 piksel, termal duyarlılığı (NETD): < 80mK ve görüntü yenileme hızı: 9 Hz termal kamera kullanılmıştır.

3.4. Deney Malzemesi ve Özellikleri

Bu çalışmada malzeme olarak; Türkiye’de yaygın olarak kullanılan EPS yalıtım levhası ile uzun ömürlü perlit ısı yalıtım sıvası kullanılmıştır.

EPS'nin özellikleri; Polistren sert köpük, yapay organik bir ısı yalıtım malzemesi olup, ilk kez 1952 yılında Alman BASF firması tarafından üretilmiş ve Styropor adı altında dünyaya yayılmıştır. Zamanla Shell, Höchst, CdF Chemie gibi diğer firmalar tarafından da üretilerek değişik marka adları almasına karşılık Türkiye’deki adı Styropor olarak kalmıştır. Styropor termo-plastik bir malzemedir. Ülkemizde ilk olarak 1960’lı yılların başında soğuk hava depoları ile ticari buzdolabı üreticilerinin ihtiyacını karşılamak üzere üretilmeye başlanmış ve çok uzun yıllar (1986’ya kadar) kullanılmıştır (Akıncı, 2001).

Diğer ülkelerde başlangıcından itibaren inşaatlarda da kullanılan bu malzeme, Türkiye’de ancak 1986’dan sonra inşaatlara girebilmiştir. Bugün diğer ülkelerde olsun, Türkiye’de olsun inşaatlarda en çok kullanılan yalıtım malzemelerinin öncülerindedir. Bunun nedeni, her türlü ısı yalıtım malzemesinin en ucuzu oluşu ve sahip olduğu teknik özelliklerdir (TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 2005).

EPS (Expandable Polistren) mamülleri beyaz renkte olup beyaz renkli levhalar halindedir. Levha boyutları 500x1000 olabileceği gibi daha büyük ölçülerde de üretilmektedirler. Günümüzde piyasada çeşitli tür Styropor grupları mevcuttur. Her bir grupta bulunan tipler tane büyüklüğü, işlenme özellikleri ve kullanma maksatlarına göre değişiklik gösterir. Bunlar;

- Styropor P : Standart köpük maddesi için,
- Styropor F : Zor alev alan köpük maddesi için,
- Styropor H : Doymuş karbonhidratlara dayanıklı köpük maddesi için,

- Styropor G : Renkli köpük maddesi elde etmek için,

şeklindedir.

Perlit ısı yalıtım sıvasının özellikleri ise; Erzincan Molla Köy ham perlit agregasının genişletilmesi sonucu elde edilen birim hacim ağırlığı 80-90 kg/m³ genişletilmiş perlit agregası, toplam malzeme ağırlığının % 20'si kadar çimento, malzeme ağırlığı kadar su, malzeme ağırlığının % 1 kadar akışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici katkı malzemeleri kullanılarak elde edilen plastik kıvamdaki harcın duvar yüzeyine uygulanması ile elde edilen yalıtım sıvası kullanılmıştır. Elde edilen sıvanın hava kuru birim hacim ağırlığı 160 kg/m³'tür. Sıva uygulaması bittikten sonra yüzeyi pürüzsüz hale getirmek, sıvanın aşınma ve darbe dayanımını artırmak için genişletilmiş perlit, çimento, akışkanlaştırıcı ve su katılarak elde edilen harç ile yaklaşık 5 mm kalınlığında bir tabaka oluşturulur.

Perlitin kimyasal bileşenleri tablo 3.3'de görülmektedir.

Tablo 3.3. Perlit agregasını kimyasal bileşenleri (İsmet ULUSU, 2007).

Bileşenler	MTA ₁ (%)	MTA ₂ (%)	MTA ₃ (%)	MTA ₄ (%)	Genel Perlit
SiO ₂	74,600	73,710	74,80	73,860	71-75
TiO ₂	0,027	0,036	0,032	0,037	0,01
Al ₂ O ₃	13,200	12,980	12,910	12,910	12,50-16
Fe ₂ O ₃	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 ₂ O	3,100	3,300	3,220	3,110	3,20
K ₂ O	3,140	3,180	3,200	4,200	4-5
P ₂ O ₅	0,004	0,005	0,003	0,002	0,00375
Kızdırma Kaybı(%)	2,370	2,830	2,850	2,230	2,502

Bu değerler dünya genelinde perlit için verilen analiz sonuçlarıyla oldukça benzerlik göstermektedir. Oluşan çok küçük farklar perlitin oluŐum zamanı ve yerinden kaynaklanabilmektedir. Perlit makroskopik olarak gri renkli, ince-orta taneli, kristalli, camsı parlaklık sunan hamurlu, akma yapılı ve peridotik dokuludur (İsmet ULUSU, 2007).

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

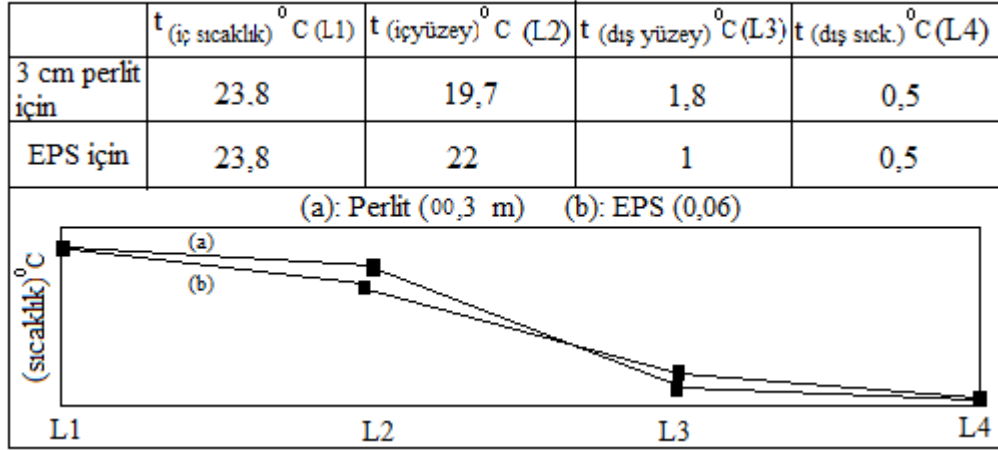
4.1. Deneysel Sonuçların Analizleri

Yapılan çalıŐmanın deneysel kısmı termokupllardan alınan ve kısmen termal kamera çekimlerinin analizlerinden oluŐmaktadır. 2012-2013 yılı kış sezonu boyunca farklı günlerde, farklı i ve dış ortam sıcaklıklarında, deney düzeneğinin i ve dış duvar yüzeylerinin sıcaklık değerleri llmŐtir.

6 cm kalınlığında sabit EPS ile sırasıyla 3 cm, 4 cm, 6 cm, 7 cm ve 8 cm kalınlığında perlit ısı yalıtım sıvasının ısı yalıtım değerlerinin karşılaştırılması gözlemlenmiştir.

3 cm perlit için:

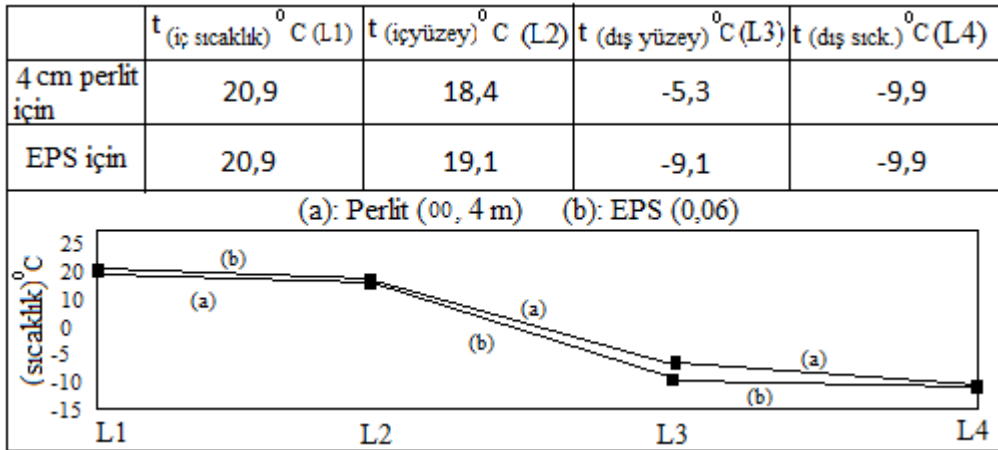
Şekil 4.1'de 3 cm perlit için, iç ortam sıcaklığı 23,8 °C dış ortam sıcaklığı 0,5 °C olduğu zaman termokupllarla alınan i yüzey ve dış yüzey sıcaklıkları gösterilmektedir.



Şekil 4.1. 3 cm perlit ve EPS için sıcaklık değerleri ve sıcaklık eğrisi

Şekil 4.1'deki sıcaklık eğrisine bakarak EPS'nin çok daha iyi bir ısı yalıtımı yaptığını görmekteyiz. Çünkü duvarın dış yüzeyinin sıcaklığı dış ortam sıcaklığına ne kadar yakınsa iç ortamdaki gelen ısıyı dışarıya o kadar az iletmiş olur. Aynı şekilde iç duvar yüzeyinin sıcaklığı iç ortam sıcaklığı olan 23,8 °C'ye yakınlığı (22 °C) malzemenin dış ortamdaki soğuk hava etkisini o kadar çok engellediği (direnç oluşturduğu) söylenebilir.

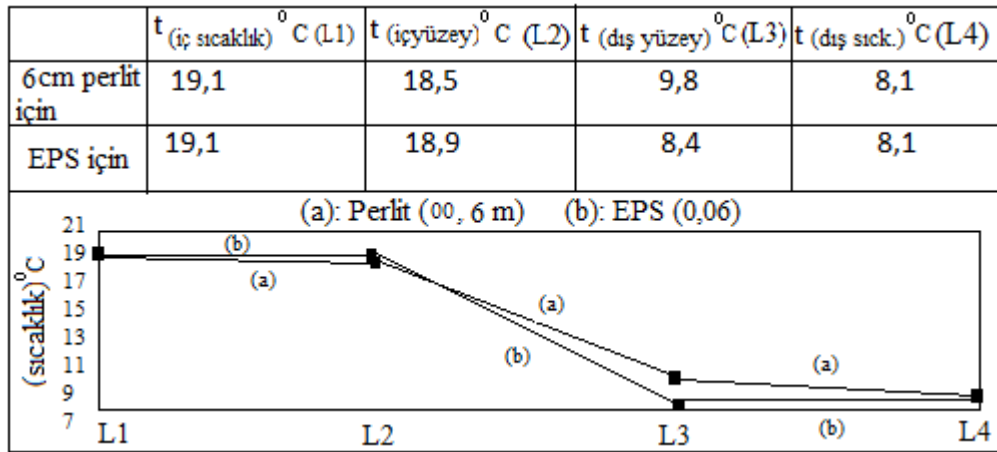
4 cm perlit için:



Şekil 4.2. 4 cm perlit ve EPS için sıcaklık değerleri ve sıcaklık eğrisi

Perlitin kalınlığının 1 cm arttırılarak yapılan deneyin sonuçları görüldüğü şekil 4.2’de EPS’nin ısı direncinin yine yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

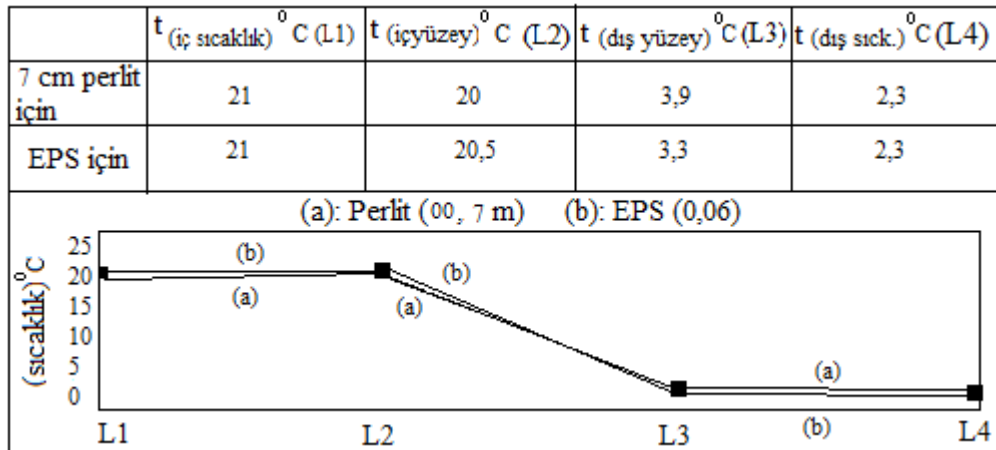
6 cm perlit için:



Şekil 4.3. 6 cm perlit ve EPS için sıcaklık değerleri ve sıcaklık eğrisi

EPS ile aynı kalınlıkta yani 6 cm perlit ısı yalıtım sıvası ile deney düzeneğimizi hazırladığımızda önceki kalınlıklar (3 cm ve 4 cm)’daki değerlerden daha iyi bir perlit performansı gözlemlenmiş olsa da şekil 4.3’te görüldüğü gibi EPS’nin ısı yalıtım performansı daha iyidir.

7 cm perlit için:

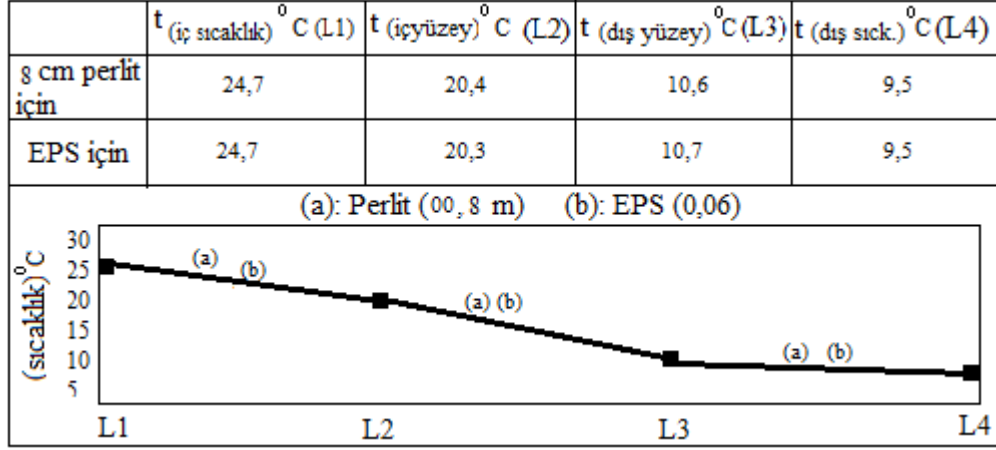


Şekil 4.4. 7 cm perlit ve EPS için sıcaklık değerleri ve sıcaklık eğrisi

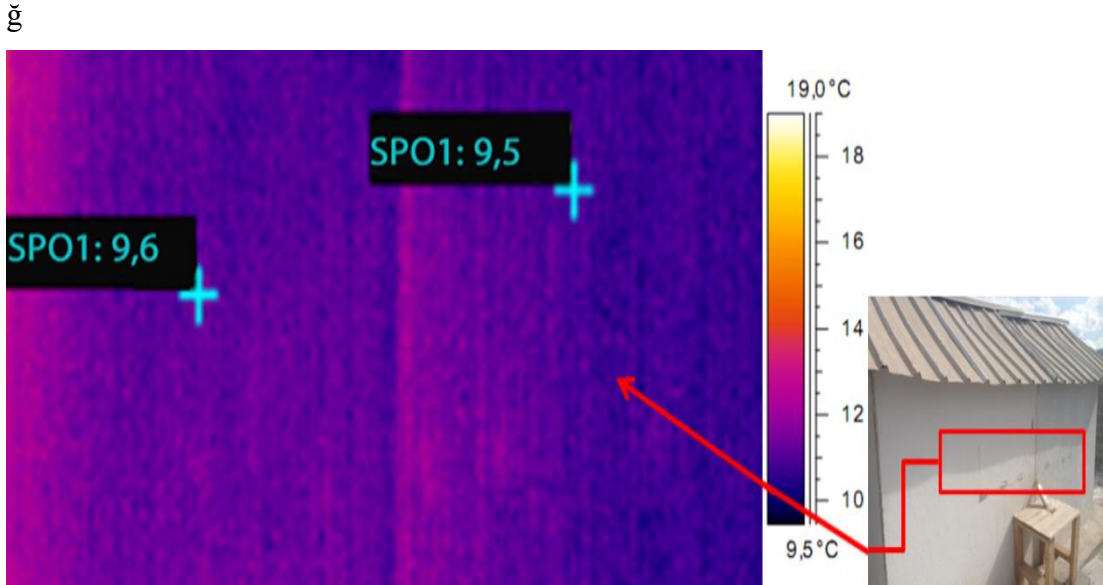
Şekil 4.4'te görüldüğü gibi perlitin ve EPS'nin çizgileri neredeyse çakışık ve birbirine çok yakın değerlerdedir aynı şekilde iki malzemenin de iç ve dış yüzey sıcaklıklarının dış ortam ve iç ortam sıcaklıklarına yakınlığı kullandığımız malzemelerinin ısı yalıtım performanslarının yüksekliğini gösterir. Fakat EPS'den 1 cm kalınlıkta bile EPS'nin ısı yalıtım performansına çok yaklaşmış ama yetişilememiştir.

8 cm perlit için:

Son olarak 8 cm kalınlığında Şekil 4.5'te de görüldüğü gibi perlit ısı yalıtım sıvası ile 6 cm de sabit olan EPS'nin ısı performans değeri yakalanmıştır.



Şekil 4.5. EPS ve 8 cm perlit için sıcaklık değerleri ve sıcaklık eğrisi

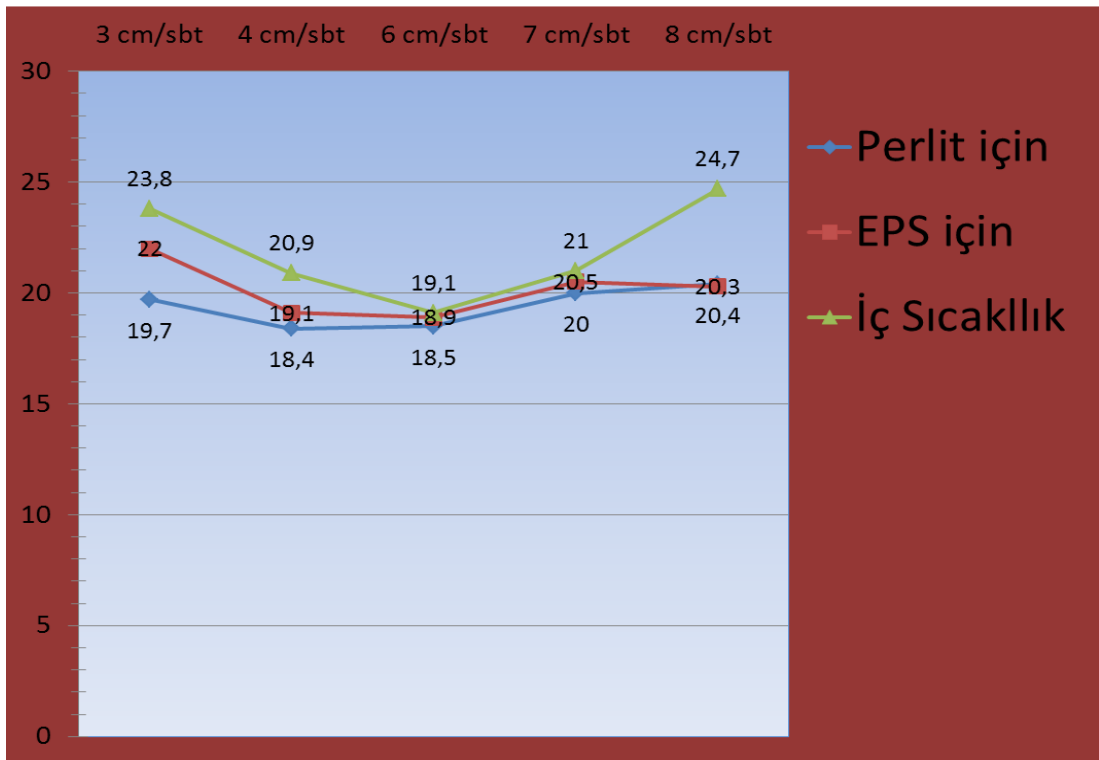


Şekil 4.6. EPS ve 8 cm perlit için termal görüntü

4.2. Sayısal Sonuçların Analizleri

Perlit ısı yalıtım sıvası deney sonuçları itibariyle şekil 4.7’de de görüldüğü gibi 8 cm kalınlıkta EPS ile aynı iç ve dış yüzey sıcaklığı değerlerini yakalamıştır. Bu sebepten sayısal analiz yaparken bu kalınlıktaki sonuçları kullanılacaktır.

	3 cm/sbt	4 cm/sbt	6 cm/sbt	7 cm/sbt	8 cm/sbt
İç Yüzey Perlit için	19,7	18,4	18,5	20	20,4
İç Yüzey EPS için	22	19,1	18,9	20,5	20,3
İç Sıcaklık	23,8	20,9	19,1	21	24,7



Şekil 4.7. 3 cm'den 8 cm'e kadar perlitin, EPS'nin ve iç ortam sıcaklıklarının değerleri

8 cm deki sayısal sonuçları kullanırken, çözümlerinin kolaylaştırılması amacıyla aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Malzeme izotropdur. Yani ısı iletim katsayısı malzeme içindeki her doğrultuda aynı kalmaktadır.
- Isı akımı zamandan bağımsızdır. ($\frac{dT}{dx} = 0$)
- Yapı içersin de ısı üretimi yoktur. ($q=0$)
- Malzemelerin yoğunluk ve özgül ısıları değişmemektedir.
- Taban ve tavandan ısı kaybı olmamaktadır.

- k , ısı iletim katsayısı sıcaklıktan, yönden bağımsızdır ve çok tabakalı sistemlerde bir tabaka içinde sabittir (Kılınç, 2011).

Bu kabuller ile eşitlik 2.54'ü yazarak perlit ısı yalıtım sıvasının ısı yalıtım katsayısını (k)'yı bulabiliriz. Denkleme değerlerini yazarsak;

$$k_3 = \left(\frac{k_2 L_3}{L_2} \right) \text{ ise } k_3 = \left(\frac{\left(\frac{0,053W}{mK} \right) \cdot (0,08m)}{(0,06m)} \right)$$

k_2 : EPS'nin ısı iletim katsayısı (W/mK),



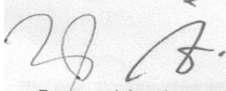
L_2 : EPS'nin kalınlığı (m),

L_3 : Perlit ısı yalıtım sıvasının kalınlığı (m),

olmak üzere 2.54 eşitliğinin sonucu olarak,

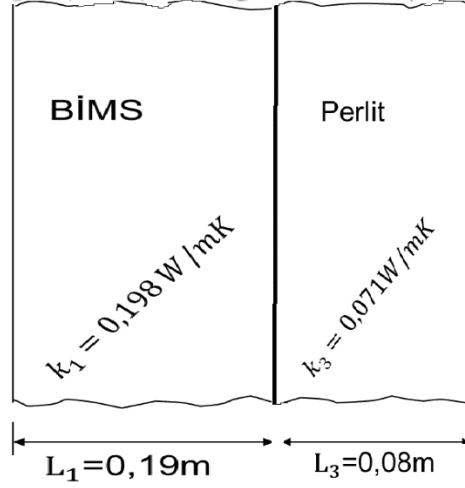
$$k_3 = 0,071 W/mK$$

şeklinde perlit ısı yalıtım sıvasının ısı iletim katsayısı bulunur. Bu ısıl iletkenlik değeri (k_3) şekil 4.8'deki gibi Türkak tarafından akredite edilmiş ısı transferi deney laboratuvarları sonuçları ile % 0,1 kadarlık bir farklılık göstermektedir. Bu sonuçta hazırlanan deney düzeneğinin ve sonuçlarının, laboratuvar ortamındaki sonuçlar ile kıyaslanabilirliğini göstermektedir.

 Makine ve Malzeme Laboratuvarı KUMLAB	TÜRKAK TÜRK AKREDİTASYON KURUMU TURKISH ACCREDITATION AGENCY tarafından akredite edilmiş MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ Isı Transferi Laboratuvarı Deney Raporu Test Report	 Test TS EN ISO/IEC 17025 AB-0472-T
ISI TRANSFERİ LABORATUARI DENEY RAPORU Test Report		
Deney Numune Numarası Number of Test Item	Persan-1, Persan-2	
Numune Üretim Tarihi Product Date of Test Item	-	
Bildirilen Numune yoğunluğu, kg/m ³ Declared density of Test Item	-	
Ölçülen Numune yoğunluğu, kg/m ³ Conditioned density of Test Item	-	
Numune Kütle Değişimi Test Item Mass Change	-	
Bildirilen Numune Kalınlığı, mm Declared Thickness of Test Item	-	
Ölçülen Numune Kalınlığı, mm Measurement Thickness of Test Item	-	
Cihazdaki Numune Kalınlığı, mm Thickness of Test Item at Device	9.09 mm - 19.46 mm	
Kalınlık Değişimi Thickness Change of Test Item	-	
Deneydeki Isı Akısı, W/m ² Heat Flux at the Test	-	
Ölçüm Sıcaklıkları, °C Test Temperatures	15 °C , 5 °C	
Yüzeyler Arası Sıcaklık Farkı, °C Difference Temperatures between two faces	10 °C	
Isıl İletkenlik, W/mK Thermal Conductivity	0.06119 W/mK - 0.05540 W/mK	
Isıl Direnç, m ² K/W Thermal Resistant	-	
Gözenek Oranı, % Porosity	-	
Test Yöntemi Test Method	Isı akış sayacı	
Ortam Sıcaklığı °C Room Temperature	-	
Ölçüm Belirsizliği Uncertainty	-	
Açıklamalar Remarks	-	
 Bu rapor, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mührsüz 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 4.8. Perlit ısı yalıtım sıvasının Türkak ısı transferi laboratuvarı deney raporu sonuçları

TS 825'teki yalıtım kalınlıklarının deneyin yapıldığı il olan Erzincan'a uygunluğunu görmek için U_D değerlerine bakarsak;



Şekil 4.9. Deney düzeneğindeki bir duvarın kalınlığının şematik gösterimi

Şekil 4.9’da gözüktüğü gibi değerleri eşitlik 2.48’de yerine yazarsak;

$$U_D = \frac{1}{0,19/0,198} + \frac{1}{0,08/0,071}$$

işleminin sonucu olarak,

$$U_D = 0,479 \text{ W/m}^2\text{K}$$

bulunur.

Bu sonuçla TS 825’e göre Erzincan ili için tavsiye edilen minimum dış duvarın ısı geçirgenlik katsayısı (U_D) değerlerini Tablo 1.4’te de gösterilen $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ değerine çok yakın bir değer yakalanmıştır. İç duvar sıvasının da hesaba katılması sonucu Erzincan ili için tavsiye edilen U_D değeri elde edilebilir.

4.3. Deneysel ve Sayısal Sonuçların Yorumları ve Öneriler

Deney sonuçlarından; Türkiye'nin TS 825'te 4. bölgesinde yani en soğuk bölgesinde yer alan Erzincan ilinde duvar örgü elemanı olarak bims ve 6 cm EPS veya yine örgü elemanı olarak bims ve 8 cm perlit ısı yalıtım sıvasının dış duvar yüzeylerine uygulanmasının ısı yalıtım değeri performans açısından yeterli yani ısı yalıtım malzemesi olarak da kullanılabileceği gözlemlenmiştir. Konut, iş yeri vb. yapılarda; bims'e nazaran daha iyi ısı yalıtım performansı veren 20 cm gaz beton (ts 824'e göre $k= 0,11 \text{ W/mK}$) ile perlit ısı yalıtım sıvasının birlikte kullanılması sonucu perlit ısı yalıtım sıvasının kalınlığı 4. bölgedeki illerde 5 santimetreye kadar düşürülebilir. Bunun için eşitlik 2.48'deki U_D denklemini yazarsak;

$$U_D = \frac{1}{0,2/0,11} + \frac{1}{0,05/0,071}$$

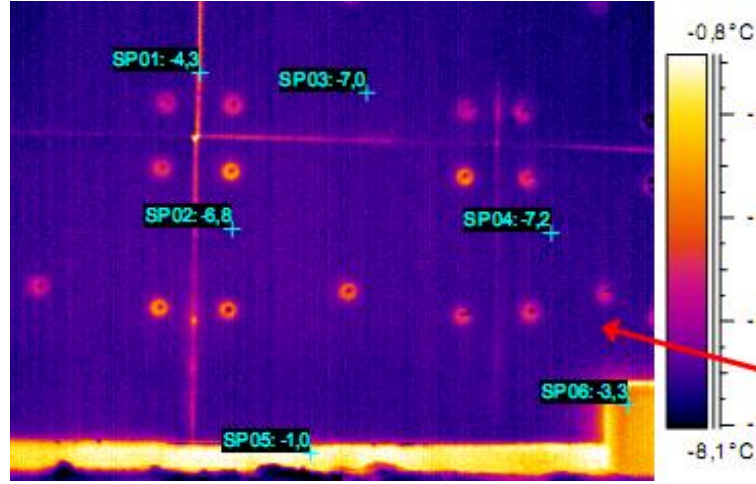
$$U_D=0,396 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Şeklinde TS 825'te 4. bölge için önerilen U_D değerini 5 santimetrede yakalayarak; malzemedен, iş gücünden, paradan ve zamandan tasarruf edilebilir.

Bunların yanında perlit ısı yalıtım sıvasının;

- Ortama kimyasal bir salınımda bulunmaması,
- Hava geçirgen olmasından dolayı ortam havasını sürekli kullanılabilir boyutta tutması,
- Perlitin puzolanik aktiviteye sahip olmasından dolayı sıva tabakasının sürekli dayanım kazanmasını sağlayarak malzemeyi uzun ömürlü kılması,

- Diğer yalıtım malzemeleri ve taşıyıcı elemanların malzemesine göre çok yüksek yangın dayanımına sahip olması sebebiyle yapıların yangın dayanımlarını artırması,



Şekil 4.10. Isı yalıtım malzemelerindeki ısı köprüsü oluşumunun termal kamera ile incelenmesi

- Tek parça olarak yani sıva olarak duvar örgü elemanının yüzeyine uygulandıkları için diğer ısı yalıtım malzemelerindeki şekil 4.10'da görüldüğü gibi uygulama hatalarından kaynaklanan ısı kaçakları ve ek yerlerindeki ısı köprülerinin olmaması, gibi birçok farklı üstün özellikleri sahip olması nedeni ile alternatif ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılabilir olduğu görülmüştür.

KAYNAKÇA

- Aitcin, P.C., 1998. High-Performance Concrete. *E and FN SPON*, 650p., London and Newyork.
- Akıncı, H., 2001, Günümüzde Uygulanan Isı Yalıtım Malzemeleri, Özellikleri, Uygulama Teknikleri Ve Fiyat Analizleri. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Y. Lisans Tezi, s16-140, Sakarya.
- Altınışik K., 2006, Isı yalıtımı, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara.
- Anwar Hossain, K.M., 2004. Properties of Volcanic Pumice Based Cement and Lightweight Concrete. *Cement and Concrete Research*, 34, 283-291p.
- Avrupa Birliği Müktesebatının Üstlenilmesine İlişkin Türkiye Ulusal Programı, *AB Genel Sekreterliği*, 25178 mükerrer sayılı Resmî Gazete, 24 Temmuz 2003.
- Bayındırlık ve İskân Bakanlığında Mecburi Standart Tebliği, *23725 Sayılı Resmi Gazete*, 14 Haziran 1999.
- Chandra, S. and Berntsson, L., 2003. Lightweight Aggregate Concrete. 430p., *Noyes Publications*. U.S.A.
- Çalışan M. ve Türkoğlu İ., 5-7 Ekim 2011, "Termal Kameralar ve Uygulamaları", *Elektrik-Elektronik Bilgisayar Sempozyumu (FEEB 2011)*, s46-49, Elazığ.
- Çengel, Y. A., Michael, A. B., 1996. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Türkçesi: Derbentli, T., *McGraw Hill-Literatür Yayıncılık*, İstanbul.
- Dağsöz, A. K., 1995. Türkiye’de Derece-Gün Sayıları Ulusal Enerji Tasarruf Politikası, Yapılarda Isı Yalıtımı. İ.T.Ü. Makine Fakültesi Isı Geçişi ve Ekonomisi Birimi, *Alp Tekin Yayınları*, 270s., İstanbul.
- Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, *2007-2008 Türkiye Enerji Raporu*, s104-100.
- İZODER (Isı, Ses ve Su İzolasyoncuları Derneği), Dünyada Binalarda Enerji Verimliliği Stratejileri ve Türkiye’de Yapılması Gerekenler: *2010-2023 Isı Yalıtımı Planlama Raporu*, Haziran 2010, 5s., İstanbul.
- Dünyada ve Türkiye’de Enerji Görünümü, *T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*, 2012, 7s.

Enerji Verimliliği Kanunu, Kanun No. 5627, Sayı: 26510, Tarihi: 18.4.2007, **Ankara**.

Eriç M., 1982. Malzeme Bilimi ve Yapı Fiziği Soruları, Devlet Güzel Sanatlar Akademisi Mimarlık Fakültesi, **Maket Kitapevi Yayınları**, Cilt I, 132s., İstanbul.

Halıcı F., Gündüz M., 1998, Örneklerle ısı geçişi, **Nil Matbaacılık**, Sakarya.

Hossain, Anwar, K.M., 2004., Properties of Volcanic Pumice Based Cement and Lightweight Concrete. **Cement and Concrete Research**, 34, 283-291p.

Kılınç Ferhat, 2011. Sivas İçin Farklı Yalıtım Malzemelerinin Isı Kaybına Olan Etkilerinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, **Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**, Yüksek Lisans Tezi, Sivas.

Neville, A.M., 1994. Properties of Concrete. Jhon Wiley and Sons.inc. **Fourth edition**, 800p., New York.

Özel Cengiz, 2001, Isparta Yöresinde Üretilen Yapı Malzemeleri ile Bölge Şartlarına Uygun Dış Konstrüksiyon Detay Önerileri. **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Y. Lisans Tezi, 23s., Isparta.

Özel M., PIHTILI K. (2007). Duvar Yönünün Yalıtım Kalınlığına Etkisi, **Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Cilt 22, No 1, s.95–101.

Özeren Y., ‘Para Kazandıran Konfor’, **İnşaat & Malzeme Dergisi**, Altan Matbaacılık, Ekim - 2005.

Özkaya, M. G. 1991. Plaka Metodu ile Yapı ve Yalıtım Malzemelerinin Isı İletim Katsayılarının Ölçülmesi. **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Y.Lisans Tezi, s.59, Ankara.

Short, A. and Kinniburgh., 1978. Lightweight Concrete. **Applied Science Publishers Ltd**, 443p., London, U.K.

TMMOB Makine Mühendisleri Odası, ‘Yalıtım’, **MMO Yayın No: 2005/399**, s.7-15, 2005.

TÜBİTAK, Enerji Ve Doğal Kaynaklar Raporu, **Vizyon 2005 Teknoloji Öngörü Projesi**, Ankara, 2005.

TS 825 - Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, **RG.27291-Temmuz 2009 - TS 825 (revize'nin tadilatı)**, s.30.

T.M.I. Mahlia (a), B.N. Taufiq (a), Ismail (b), H.H. Masjuki (a). (a: **Department of Mechanical Engineering, University of Malaya**, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia, b:

Department of Physics, University of Syiah Kuala, 23111 Darussalam, Banda Aceh, Indonesia). 2006. Correlation between thermal conductivity and the thickness of selected insulation materials for building wall. s184.

Ulus İsmet, 2007. Ham Perlit Agregası Kullanılarak Yüksek Dayanımlı Hafif Beton Üretilirliğinin Araştırılması, *Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Anabilim Dalı*, Doktora Tezi, s.57, Erzurum.

Yalıtım, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, *MMO Yayın No: 2005/399*, 2005, s.7-15.

Yüncü H., Kakaç S., 1999, Temel ısı transferi, *Bilim Kitapevi*, Ankara.

14 Haziran 1999 Tarih ve 23725 Sayılı Resmi Gazetede yer alan, Bayındırlık ve İskân Bakanlığında Mecburi Standart Tebliği Petfrom; Kyoto Protokolünün Türkiye enerji sektörüne muhtemel etkileri.

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Sakarya'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Sakarya'da tamamladı. 2010 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Yüksek lisansını 2013 yılında tamamladı.