
YAPILARDA YAYGIN KULLANILAN ISI YALITIM MALZEMELERİNİN PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN DUVAR KESİTLERİ ÜZERİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

*Nazife ÖZER **
*Seden ACUN ÖZGÜNLER ***

Alınma: 29.06.2018 ; düzeltme:13.09.2018 ; kabul: 06.04.2019

Öz: Fosil yakıtlardan kaynaklanan sera gazı emisyonları endüstri devriminden günümüze insanlık tarihinde hiç olmadığı kadar artış göstermiştir. Özellikle 1973'teki petrol krizinden bu yana enerjinin verimli kullanılması önem kazanmıştır. Ülkemizde en fazla enerji tüketimi konut ve hizmet sektöründe olmaktadır. Bu bağlamda yapılarda enerji tasarrufu sağlayan ısı yalıtım uygulamaları önem kazanmıştır. Isı yalıtım malzemelerinin ilk yatırım maliyeti fazla olsa da yapı ömrü boyunca fosil yakıtların kullanımlarını azaltıp, yapı kabuğunda meydana gelecek don hasarı, nem hasarı gibi problemlerin önüne geçer. Günümüzde iyi bir ısı yalıtım uygulaması için iyi işçiliğin yanı sıra kullanılacak malzemelerin özellikleri de iyi bilinmelidir. Bu bağlamda yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemeleri incelenmiş ve özellikleri ortaya koyulmuştur. Daha sonra sistemler yaklaşımına dayalı seçim yöntemi olan Arıoğlu Yöntemi ile duvar kesitleri üzerinde performans değerlendirmesi yapılmıştır. Değerlendirme metodu sırasıyla, sistem açılım düzeyinin belirlenmesi, işlevsel gereksinimlerin belirlenmesi, malzemenin beklenen özelliklerin, amaç ve zorunlulukların, ölçütlerin, önem ağırlıklarının belirlenmesi, yarar puanlamasının yapılması, seçeneklerin kullanım ve değişim değerlerinin belirlenmesi ve seçeneklerin değerlendirilmesidir. Bu çalışmanın doğru yerde doğru ısı yalıtım malzemesinin seçiminde faydalı olacağı, bir rehber niteliği taşıyacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapı malzemesi, Isı yalıtım, Enerji tasarrufu, Malzeme seçim yöntemi, Arıoğlu Yöntemi

Evaluation of Performance on The Wall Sections of Insulation Materials Used in Construction

Abstract: Emissions of greenhouse gases from fossil fuels have increased day by day from the industrial revolution to an ever-greater extent in human history. Especially since the 1973 oil crisis, the efficient use of energy has become quite important. In Turkey, the high energy consumption is in the residential and service sectors. In this context, thermal insulation applications providing energy saving have gained importance. Even if the initial investment cost is high for thermal insulation, during the lifetime of the building, it helps to reduce the use of fossil fuels and prevent moisture damage in building shells. For this reason, the properties of the materials to be used for a good thermal insulation application should be well

* Nazife ÖZER İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 34437, İstanbul.

** Seden ACUN ÖZGÜNLER İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 34437, İstanbul.
İletişim Yazarı: Nazife ÖZER (onaln15@itu.edu.tr)

known. In this context, commonly used thermal insulation materials are investigated, and their properties are presented and evaluated with Arıoğlu Method on wall sections. Steps of evaluation method are respectively determining system resolution level, determining functional requirements, determining characteristics expected in the material, determining purpose and necessities, determining criteria, determining important weights, determining benefit values, total usage value and variation values and evaluation of alternatives.

Keywords: Building materials, Thermal insulation, Energy saving, Material selection method, Arıoğlu Method

1. GİRİŞ

Küresel enerji tüketimi 35 yıl öncesine göre %30 kadar artmıştır ve 2030’lu yıllarda bu ihtiyacın %60 sınırını aşması tahmin edilmektedir (Çakıllı, 2013). Türkiye’de 2013 yılında en fazla enerji tüketen sektör, nihai enerji tüketiminin %35’ini gerçekleştiren konut ve hizmet sektördür. Konut sektöründeki bu fazla tüketim, enerjinin verimli kullanılmasını ve tasarrufunu sağlayan ısı yalıtım uygulamalarının önemini arttırmaktadır. Isı yalıtım malzemeleri ilk yatırım maliyeti yüksek olsa da uzun vadede ekonomik yarar getirmektedir. Yapılara doğru bir şekilde yalıtım uygulanması ilerleyen süreçte yapı kabuğunda ortaya çıkabilecek don hasarı, nem hasarı, küflenme gibi yapı hasarlarını engeller ve insan sağlığı için konforlu yaşam alanları oluşturur (Kulaksızoğlu, 2006). 19. yüzyılın sonlarında sanayi devrimi ile gelen aşırı enerji tüketimi ve fosil yakıtların fiyatındaki aşırı yükselme dünya çapında enerji krizine neden olmuştur. Bu dönemde enerji tasarrufu bilinci ve ısı kayıplarının hesaplanmaya başlaması sonucunda ısı yalıtım malzemelerinin endüstriyel üretimi ve kullanımı başlamıştır. 1950’li yıllarda yalıtım malzemesi sektöründe plastiklerin kullanımı oldukça artmıştır. 2000 yılından sonra plastik köpük malzemelerin üretiminde kullanılan gazların çevresel etkilerinin farkedilmesi sonucu yeniden doğal malzemelere dönüş başlamıştır. Günümüzde arojeller ya da vakum yalıtım panelleri gibi ileri teknoloji ürünlerini araştırma ve geliştirme faaliyetleri devam etmektedir (Bozasky, 2010) (Tablo 1).

Tablo 1. Isı yalıtım malzemelerinin tarihsel gelişim süreci (Bozasky, 2010).

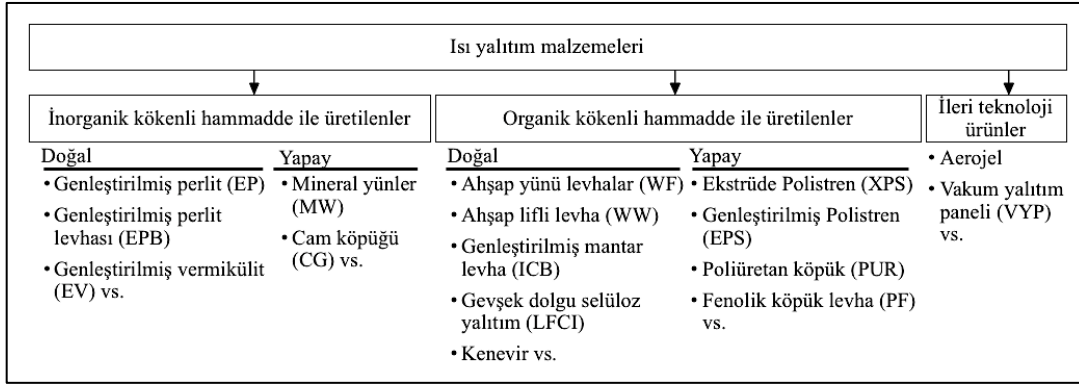
Tarih	Gelişim Sebebi	Gelişme	Yalıtım malzemesi
M.Ö. 7000 ve öncesi	Göçebe yaşam	Kıyafet için malzeme ihtiyacı	Hayvan derileri, kürk, yün
M.Ö. 7000- M.S. 1870	Yerleşik yaşam	-Dayanıklı malzeme gereksinimi -Bitkisel lifler	Toprak, ahşap, tuğla Saman, deniz yosunu, saz
1870-1950	-Endüstri devrimi -Isı kaçış hesabı yapılması	İlk kullanılan doğal yalıtım malzemeleri <u>Tuğla duvar elemanlarının gelişimi</u> İlk yapay yalıtım malzemesi üretimi	Saz, mantar, ahşap yünü ve keten levhalar, selüloz yalıtımlar Delikli tuğla, gazbeton Asbest, taşyünü, camyünü, geliştirilmiş cam, geliştirilmiş kil ve perlit
1950-2000	Plastiklerin yaygınlaşması	-Yapay malzemelerin yaygınlaşması -Plastik köpükler	Polistren, poliüretan, polyester, polietilen, fenolik, formaldehit ve melamin köpükler
2000 sonrası	Fosil yakıtlardan kaynaklanan CO ₂ salınımları sonucu iklim değişikliği ve küresel ısınma	Doğal malzeme pazarının canlanması <u>İleri teknoloji ürünlerin geliştirilmesi ve üretilmesi</u>	Selüloz yalıtımlar, mantar, saman balyası, ahşap yünü, koyun yünü vs. Saydam yalıtım malzemeleri, vakum yalıtım panelleri, arojeller vs.

Türkiye’de ısı yalıtımı uygulaması ile ilgili yapılan ilk düzenleme 1989 yılında kabul edilen ve 2000 yılından itibaren zorunlu hale getirilen TS 825 numaralı “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardıdır. 2000 yılında “Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği” yürürlüğe girmiş, 2001 yılında “Yapı Denetimi Uygulama Usul ve Esasları Yönetmeliği” ile ülkemizde 19 pilot ilde ilk ısı yalıtım uygulama denetimi başlamıştır. 2008 yılında “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği” yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik kapsamında binalar için enerji kimlik belgesi

alınması zorunlu hale getirilmiştir. 90'lı yıllarda Türkiye'deki konutların doğramalarının çift cama dönüştürülmesi ile enerji tasarrufu bilincinin yapı alanında ilk adımlarının atıldığı söylenebilir (Sezer, 2005). Dünyada ısı yalıtım sektörü yaklaşık 200 yıl önce başlamasına rağmen ülkemizde ilk ısı yalıtım malzemesi üretimi 1967 yılında yapılmıştır. Ancak bu yıllarda Türkiye'de konutlarda bu tür malzemeler kullanılmıyordu. Daha sonra sanayinin gelişmesiyle polimer esaslı köpükler, lifli ve sürme esaslı malzemelerin üretimine başlanmıştır (İzocam Diyalog, 2015). Günümüzde iyi bir ısı yalıtım uygulaması için kullanılacak malzemelerin özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu bağlamda yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemeleri incelenmiş ve Arıoğlu Yöntemi kullanılarak örnek duvar kesitleri üzerinde performans özellikleri değerlendirilmiştir.

2. ISI YALITIM MALZEMELERİ

Isı yalıtım malzemeleri farklı sıcaklıktaki iki ortam arasında ısı geçişini kontrol etmek amacıyla kullanılan ısı iletkenlik katsayısı $0.1 \text{ W/m}^{\circ\text{C}}$ 'den düşük malzemelerdir (Akıncı, 2007) (Toydemir ve diğ., 2000). Düşük ısı iletkenliği şüphesiz ısı yalıtım malzemelerinin en önemli özelliğidir. Ancak basınç dayanımı, yangın davranışı gibi özellikler yapılacak uygulamaya bağlı olarak önem kazanır. Isı yalıtım malzemelerinde aranan termik özellikler; düşük ısı iletkenlik, yangın dayanımı, fiziksel özellikler; düşük birim hacim kütle, su emme, buhar difüzyon direnci, mekanik özellikler; yeterli basınç dayanımı olarak sayılabilir. Bunlara ek olarak kimyasal etkilere dayanıklılık, parazit barındırmama ve parazitlere dayanıklılık, çürümezlik, işlenebilirlik ve düşük maliyet ısı yalıtım malzemelerinde aranan özelliklerdendir. Isı yalıtım malzemeleri literatürde çok değişik şekillerde sınıflandırılmıştır. Bu çalışma kapsamında ısı yalıtım malzemeleri Şekil 1'de verildiği gibi hammadde kökenine göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma içerisinde ayrıca ileri teknoloji ile üretilen malzemelere de yer verilmiştir.



Şekil 1:

Isı yalıtım malzemelerinin sınıflandırılması (Pfundstein ve diğ., 2008).

2.1. Genleştirilmiş Perlit (EP) ve Genleştirilmiş Perlit Levhası (EPB)

Perlit silisli volkanik kayalardan üretilir. Diğer camsı volkanik kayalardan farkı $900-1200^{\circ}\text{C}$ arası yumuşama sıcaklıklarına ulaştığında hacminin 5-20 kat arası artmasıdır. Türkiye'de bolca bulunan perlit, ısı yalıtım uygulamalarında dökme veya levha şeklinde kullanılır (Pfundstein ve diğ., 2008) (Rashad, 2016). Levha üretimi için selülozik liflerle karıştırılıp bağlayıcı olarak nişasta eklenir. Daha sonra basınç altında şekillendirilir. Su geçirimsizlik için bitüm veya reçine emülsiyonları eklenebilir. Ses yalıtımı için mineral yün (MW) katmanı ile birleştirilebilir. Yüksek basınç dayanımı gerektiren uygulamalarda kullanılır (TSE, 2013). Genleştirilmiş perlit (EP) ayrıca harç, sıva ve beton bloklarda agrega olarak kullanılmasının yanı sıra ısı yalıtımı amacıyla yapılarda, soğutma odalarında ve yüksek ısı yalıtımı gerektiren uygulamalarda dökme şeklinde yapı boşluklarına uygulanır (Berge, 2009).

2.2.Genleştirilmiş Vermikülit (EV)

Vermikülit alüminyum-demir-magnezyum silikat bileşimli kil mineralidir. Renksiz ve yeşil, grimsi beyaz, sarımsı kahverengi, kahverengi ile bronz renklerde olabilen, yarı saydam özelliktedir. Ticari anlamda ise vermikülit, genleşme özelliğine sahip bazı mika grubu minerallerini de kapsayan genel bir terim olarak kullanılmaktadır. Vermikülit granülleri 1000 °C ve üzeri sıcaklıklarda ısıtıldığında taş katmanları arasındaki su aniden buharlaşarak, granüllerin hacminin 15-20 kat arası artmasına neden olmaktadır. Genleştirilmiş vermikülit (EV) yapılarda gevşek dolgu şeklinde ısı yalıtım amacıyla kullanıldığı gibi, içerisine bitüm ve çeşitli sentetik yapıştırıcılar katılıp, kalıplanarak levha şeklinde de üretilmektedir (Pfundstein ve diğ., 2008) (Ehsani, 2015). Vermikülit petrol rafinerisi, çimento fabrikası, güç santrali gibi yapılarda çalışma sıcaklığının yüksek olması ve iyi yalıtım özellikleri nedeniyle tercih edilir (Toksoy, 1997).

2.3.Mineral yünler (MW)

Mineral yün (MW), liflerden üretilmiş birçok inorganik yalıtım malzemesinin genel adıdır. Hammaddelere bağlı olarak genellikle taşıyünü, camyünü ve cüruf yünü gibi farklı alt gruplara ayrılır. Mineral yün üretimi için en sık kullanılan hammadde diyabaz, dolomit, granit, bazalt, kireç taşı vb. doğal taşlardır. Bunun yanı sıra endüstriyel atık olarak kabul edilen yüksek fırın cürufu da kullanılır. Amorf yapısı nedeniyle, mineral yün mükemmel ses ve ısı yalıtımı özelliklerine sahiptir. Çoğu kayacın erime sıcaklığı 1300-1600°C aralığındadır. Fırınlarda eriyik malzeme 1400-1600°C aralığında homojen bir yapıya ulaşır. Daha sonra bu malzeme dönen bir diskteki deliklerden merkezkaç kuvveti ile geçirilir ve su buharı püskürtülerek lif haline getirilir. Bu işlem lifleri hızlıca soğutur ve onları camlaştırır. Üretilen lifler bantlarla fırına taşınır ve 200-250°C kürlenir. Bu işlem malzemeyi stabil hale getirir. İsteğe bağlı olarak reçineli ve reçinesiz olarak üretilirler (Pfundstein ve diğ., 2008) (Sirok ve diğ., 2008). Mineral yünler (MW) yapı boşluklarına gevşek dolgu şeklinde, ahşap çerçeve sistemler dahil hafif strüktürel sistemlerde, eğimli sıcak çatılarda ve düz çatılarda, döşeme yalıtımında kullanılır (Lyons, 2014).

2.4.Cam köpüğü (CG)

Cam köpüğü veya hücreli camı ısı yalıtım malzemesi kuvars kumu, dolomit, kalsiyum ve sodyum karbonattan oluşur. Üretiminde atık camlarda kullanılabilir. Şişirici olarak karbon kullanılır. Karışım 1400 °C sıcaklığa ısıtılıp camlaştırılır. Daha sonra soğutulup kırılır ve toz haline getirilir. Oluşan toz tekrar 1000 °C üzerinde kalıplarda ısıtılırken karbon eklenir. Karbon oksitlenerek karışımı köpürten gaz baloncuklarını oluşturur ve malzemenin gözenekli bir yapıda olmasını sağlar. Daha sonra soğutulur ve boyutlandırılıp, depolanır. Cam köpüğü (CG) şişirici gaz, alev geciktirici veya bağlayıcı içermez. Kapalı gözeneklidir, yüksek basınç dayanımı sahiptir ancak noktasal yükler karşısında kırılıp gürdür. Bu nedenle uygulanacağı yüzey düzgün olmalı, sıcak bitüm ile kaplanmalı ve malzeme yerleştirildikten sonra tüm boşluklar bitüm ile doldurulmalıdır. Kemirgen ve böceklere karşı dirençlidir (Pfundstein ve diğ., 2008). Cam köpüğü (CG) genel olarak düz çatı yalıtımında kullanılır. Çerçeve sistemler ile yapılan bölme duvarlarda ve özellikle ağır yüklere maruz kalacak döşeme yalıtımında kullanılır. Ayrıca toprakaltı yapıların ve yeşil çatıların yalıtımı içinde uygundur (Woolley, 2005) (Hornbostel, 1991).

2.5.Ahşap yünü levha (WF)

Ahşap yünü levhalar yumuşak veya sert ağaçların işlenmesi sırasında oluşan ahşap liflerinin bağlayıcısız veya bağlayıcı olarak lateks veya parafin emülsiyonu kullanılmasıyla üretilir. Yangına ve böceklere karşı koruyucu katkı olarak boraks eklenir. Bazı türlerinde bitüm veya doğal reçine emülsiyonları ile su itici özellikler verilebilir. Üretim şekli kuru ve ıslak olmak

üzere iki şekilde olabilir. Ahşap lifler öğütüldükten sonra kuru üretim için lateks yapıştırıcı eklenir, ıslak üretim için su ve diğer malzemeler eklenerek hamur haline getirilir, basınçla şekillendirilir ve kurutulur. Islak üretimde esas olan ahşabın içinde var olan reçinenin bağlayıcı olmasıdır. Bağlayıcı malzemeye bağlı olarak keçe, şilte gibi değişik şekillerde üretilir. Yapıda çatı, duvar ve döşeme yalıtımında kullanılır (Pfundstein ve diğ., 2008) (Gellert, 2010).

2.6. Ahşap lifli levha (WW)

Ahşap lifli levhalar yumuşak ağaçların işlenmesi sırasında oluşan uzun ahşap lifleri ve bağlayıcı olarak çimento veya manyezi kullanılmasıyla üretilir. Ahşap endüstrisinde ortaya çıkan makine atıkları manyezi veya çimento süspansiyonu ile karıştırılarak kalıplanır ve kuruduktan sonra kesilerek şekillendirilir. Piyasada polistren ısı yalıtım malzemeleri ile kompozit hale getirilmiş türleri de mevcuttur. Levha yüzeyi pürüzlü yapısı gereği sıva ve harç uygulamaları için uygundur. Geri dönüşümü mümkün değildir (Pfundstein ve diğ., 2008). İyi ısı yalıtım ve yüksek yangın dayanımı nedeniyle sanayi yapılarında, ofis ve atölye gibi yapıların çatı, duvar, zemine oturan döşeme yalıtımlarında kullanılır. Isı yalıtım amacıyla polimer ısı yalıtım malzemeleri ile birleştirilip tiyatro ve soğuk hava depolarında kullanılmaktadır (Kalaycıoğlu ve diğ., 2012).

2.7. Genleştirilmiş mantar levha (ICB)

Genleştirilmiş mantar granülleri herhangi bir yapıştırıcı eklenmeden granüllerdeki doğal reçine ile bağlanır. Bu nedenle tamamen doğaldır. Bitüm ve formaldehit reçine emdirilmiş türleri de vardır. Granüller otoklavda 300-350 °C sıcaklıkta genleştirilir ve basınç altında 20 dakika kadar şekillendirilir. Granüllerin hücre duvarları gerilir ve çeper kalınlığı azalır. Bu işlem sırasında granüllerin hacmi %100 ün üzerinde genişler ve granüller içindeki doğal reçineler bağlayıcılık kazanır (Pfundstein ve diğ., 2008) (Knapić ve diğ., 2016). Özel ve kamu binalarında çatı, duvar, zemin ve tavanlarda ısı yalıtımı olarak kullanılır. Endüstriyel yapılarda soğutma odalarının, depolama tanklarının ve boruların yalıtımında kullanılır (Pereira, 2007).

2.8. Gevşek dolgu selüloz yalıtım (LFCI)

Gevşek dolgu selüloz yalıtım (LFCI); atık kâğıt, inorganik yangın geciktirici, böceklenmeyi ve çürümeyi önleyici katkıları ile üretilir. Isı iletkenlik katsayısı 0,040-0,045 W/m.°C arasındadır. Gevşek dolgu olduğu için basınç dayanımı yoktur. E sınıfı alevlenici malzeme olarak sınıflandırılır. Çatı boşluklarına veya duvarda çerçeveler arası boşluklara ıslak veya kuru püskürtme şeklinde gevşek dolgu yalıtım olarak uygulanır (Schiavoni ve diğ., 2016) (Hurtado ve diğ., 2016) (Gellert, 2010).

2.9. Kenevir

Kenevir ısı yalıtım malzemesi bir standarda bağlanmamıştır. Kenevir bitkisi liflerinden ve hasat sonrası kalan kısımlardan üretilir. İstenilen ürüne bağlı olarak yangın geciktirici olarak borik tuzu veya su geçirimsiz hale getirmek için bitüm eklenebilir. Kenevir yalıtım malzemesinin nem tutma eğilimi fazladır. Nem içeriği arttıkça malzemenin ısı iletkenlik katsayısı artar. Neme, kemirgenlere, böceklere ve suya karşı korunmalıdır. Düşük basınç dayanımı nedeniyle yük altında kalmayacağı çatı duvar ve normal kat döşemesi alt yüzeylerinde, ahşap çerçeve sistem arasında kullanılır (Pfundstein ve diğ., 2008) (Schiavoni ve diğ., 2016).

2.10. Ekstrüde polistren köpük levha (XPS)

1941 yılında Amerikan Savunma Bakanlığı nehirleri geçmek için yüzdürme amaçlı su geçirmeyen yüksek basınç dayanımına sahip hafif köpük malzeme üretimi gelişmelerini finanse etmiştir. Daha sonraları üretilen malzemenin iyi ısı yalıtım özelliği gösterdiğini görmüşlerdir. Ekstrüde polistren köpük levha (XPS) yaklaşık olarak 200 °C sıcaklıkta eritilmiş polistrene HFC, CO₂ gibi genleştirici gazlar, yangın geciktirici olarak HBCD (hexabrom cyclododecane) eklenerek bir ekstrüzyon makinasından geçirilmesiyle üretilir. Soğuduktan sonra istenilen boyutlarda ebatlandırılır, paketlenir ve depolanır. Önceleri ekstrüde polistren köpük levha (XPS) üretiminde şişirici gaz olarak halojenli kloroflorokarbonlar (CFC 12, CFC 142b) kullanılıyordu. Yeni düzenlemeler sonrası klorin içermeyen şişirici gazlar (HFC 134a, CO₂, HFC 152a) kullanılmaktadır (Pfundstein ve diğ., 2008) (Jelle, 2011). Kapalı gözenekli yapısı sayesinde su emmesi çok düşüktür. Zemine oturan ve zemin altı döşemelerde uygulanabilir. Taşınması, depolanması ve uygulanması kolaydır. Bu iyi özelliklerinin yanı sıra yangın dayanımı diğer ısı yalıtım malzemelerine göre düşüktür. E sınıfı normal alevlenici malzeme olarak sınıflandırılır (Pfundstein ve diğ., 2008). Kapalı gözenekli bünye yapısı, düşük su emilimi ve düşük buhar geçirgenliği özelliklerinden dolayı daha çok eğimli çatılarda ve sandviç duvarların yalıtımında kullanılır. Yüksek basınç dayanımı gerektiren zeminaltı yalıtımlarda ve döşemelerde kullanılır (Lyons, 2014).

2.11. Genleştirilmiş polistren köpük levha (EPS)

Genleştirilmiş polistren yalıtım malzemesi üretilirken polistren, şişirici gaz olarak pentan (C₅H₁₂) ve alevlenmeyi geciktirici olarak HBCD (Hexabrom cyclododecane) eklenerek üretilir. Polistren tanecikleri pentan ve su buharı ile ısıtılarak genleştirilir, daha sonra kurutma ve olgunlaştırma sürecinde genleşen tanecikler içindeki pentan gazı yerine hava dolmaya başlar. Kalıplara alınan genleştirilmiş tanecikler yine buharla ısıtılarak ikinci kez genleştirilmesi ve taneciklerin birbirine kaynaşması sağlanır. Kalıplamadan sonra soğutulan blok şeklindeki malzeme istenilen ebatlarda kesilerek paketlenir ve depolanır (Pfundstein ve diğ., 2008). Genleştirilmiş polistren köpük levha (EPS) düz çatılarda kullanılabildiği gibi eğimli çatılarda mertek altında veya üzerinde, duvarların dıştan yalıtımında, sandviç duvarlarda ve döşeme yalıtımında kullanılır (Lyons, 2014).

2.12. Poliüretan sert köpük levha (PUR)

Poliüretan izosiyanat, birden fazla hidroksil grubu içeren poliöl reçinesi ve yangın geciktirici katkıları ile üretilir. HFC, CO₂ veya C₆H₁₂ gibi şişirici gazlarla genleştirilir (Jelle, 2011). Karışım üretim hattında genleştirilirken alt ve üst yüzeyine isteğe bağlı olarak esnek bitüm kaplama, metal folyolar veya kompozit kaplamalar yapıştırılır. Kaplamasız olarak kullanıldığında yangına elverişli hale gelir. Düz çatılarda, eğimli çatı ve döşemelerde kullanılır. Diğer bir uygulama alanı olarak sandviç panellerde, çatılarda, cephelerde ve endüstriyel yapılarda kullanılır. Ayrıca yüksek basınç dayanımı ve ses yalıtımı özellikleri sayesinde ağır yüklere maruz kalan endüstriyel döşemelerde kullanılır (Pfundstein ve diğ., 2008),

2.13. Fenolik köpük levha (PF)

Fenolik köpük levhalar (PF), fenol reçinesi ve şişirici olarak pentan gazının kullanılması ile üretilir. Fenol reçinesi ve şişirici malzeme karıştırılır, taşıyıcı bir bant üzerinde kontrollü ve sürekli bir işlemle köpürtülür. Yapışkan haldeki köpüğün her iki yüzü cam elyaf ile kaplanır ve kurutulur. İlk kez 1970'li yıllarda üretilen bu köpükleri pek az üretici üretir ve yapılarda ısı yalıtımı olarak diğer köpük ısı yalıtım malzemeleri kadar kullanılmazlar. Kapalı gözenekli yapısı sayesinde ısı iletkenlik değeri düşüktür. Ağır yüklere maruz kalan zeminlerde kullanılır. Kolay kesilir (Pfundstein ve diğ., 2008).

2.14. Aerojel

Aerojeller, insanın bildiği en hafif katı maddelerden biridir. Bir polimerin bir çözücü ile bir jel oluşturmak üzere birleştirilmesi ve daha sonra jelin içindeki sıvının uzaklaştırılması ve havayla değiştirilmesi ile oluşturulurlar. Bu malzemeler nano boyutta boşluklar içerir ve %90-98 aralığında gözenekliliğe sahiptir. Dolayısıyla birim hacim kütlesi çok düşüktür. Silika, çeşitli metal oksitler, organik polimerler, karbon ve metaller gibi değişik maddelerden elde edilebilirler (Yılmaz, 2013) (Aeronautics, 2011). Yapıda kullanılan şiltelerin ısı iletkenliği 0,017-0,021 W/m. °C değerleri arasında olduğundan mükemmel ısı yalıtım özelliği gösterir. Yaklaşık 1200 °C sıcaklığa kadar dayanıklıdır. Nem ve küf oluşumuna karşı dirençlidir ve ultraviyole ışınlarına uzun süre maruz kaldığında renk kaybı yaşamaz. Kullanım süresi boyunca uzun dönemde özelliklerini kaybetmez. Bu üstün özelliklerine rağmen pahalı olduğu için tercih edilme oranı düşüktür (Pfundstein ve diğ., 2008). Yapıdaki uygulama alanları iç ve dış duvarlar, döşemeler, tavan ve çatı, teras ve balkon, pencere ve kapı olarak sayılabilir (Aspen Aerogels, 2016)

2.15. Vakum yalıtım paneli (VYP)

Vakum yalıtım panelleri (VYP) gaz geçirmez bir muhafaza ve havanın boşaltılmış olduğu açık gözenekli rijit bir çekirdeği kapsar. Kapalı gözenekli malzemeler vakumlama sırasında gözenekler arasındaki gaz ve su buharının atılmasına engel olur bu durum yalıtım panelinin konvansiyonel ısı transferini arttırır. Çekirdek malzemesi olarak aerojel, ısıl işleminden geçirilmiş silika, açık gözenekli poliüretan ve cam lifi gibi malzemeler kullanılır. Panelin zamanla ısı yalıtım özelliklerini kaybetmemesi için hava ve neme karşı korunaklı olması gerekir. Bu nedenle bir koruyucu zarf ile kaplanırlar (Kalnæs ve Jelle, 2014). Isı iletkenlik değeri $\leq 0,0053$ W/m.°C'dir. Bu değerler geleneksel ısı yalıtım malzemelerinden 5-10 kat daha azdır. Çekirdek malzemesine bağlı olarak, hasar görmüş olsa bile yalıtım paneli düşük ısı iletkenlik sağlayabilir. Standart üretim boyutları dışına çıkınca iki kat kadar maliyet artışı olabilmektedir (Pfundstein ve diğ., 2008). Yapıda duvar, döşeme, tavan, çatı, dış cephe, pencere yalıtımı ve hazır prefabrik beton panel uygulamalarında kullanılır (Bayrakçı ve diğ., 2011).

Çalışma kapsamında ele alınan ısı yalıtım malzemelerinin özellikleri Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Isı yalıtım malzemelerinin özellikleri.

Malzeme	Özellik										
	Isı iletkenlik (W/m.°C)	Yangın dayanım sınıfı	Birim hacim kütle (kg/m ³)	Ort. Su emilimi	Buhar difüzyon direnci	Basınç dayanımı (kPa)	Kimyasallara dayanıklılık	Parazitlere dayanıklılık	Çürümezlik	İşlenebilirlik	Maliyet
EP	0,060	A1	90 490	Yüksek	3 5	—	+++	+++	o	+++	Orta
EPB	0,045 0,070	C-D	150 210	Yüksek	3 5	200 300	+++	+++	o	+++	Yüksek
EV	0,046 0,070	A1	70 160	Yüksek	3 4	—	+++	+++	o	+++	Orta
Camyünü	0,035 0,050	A1-A2	15 150	Yüksek	1	15 80	+++	+++	o	+++	Orta
Taşyünü	0,035 0,050	A1	20 200	Yüksek	1	15 80	++	+++	o	+++	Orta
CG	0,045 0,060	A1	100 150	Düşük	∞	700 1700	+++	+++	o	+++	Yüksek
WF	0,065 0,090	B	360 460	Yüksek	2 5	40 200	++	++	•	+++	Orta

(+++): iyi, (++) : orta, (+) : kötü, (o) : Çürümez, (•) : Çürüyebilir, (—): Bilgi yok, Yararlanılan kaynaklar: (Pfundstein ve diğ., 2008), (Rashad, 2016), (TSE, 2013), (Knapic ve diğ., 2016), (Schiavoni ve diğ., 2016), (Hurtado ve diğ., 2016), (Akelçi, 2016)

Tablo 2. (devamı) Isı yalıtım malzemelerinin özellikleri.

Malzeme	Özellik										
	Isı iletkenlik (W/m.°C)	Yangın dayanım sınıfı	Birim hacim kütle (kg/m ³)	Ort. Su emilimi	Buhar difüzyon direnci	Basınç dayanımı (kPa)	Kimyasallara dayanıklılık	Parazitlere dayanıklılık	Çürümezlik	İşlenebilirlik	Maliyet
WW	0,035 0,070	B	110 450	Yüksek	5	150 200	++	++	•	++	Orta
ICB	0,045 0,055	E	90 490	Orta	5 10	100 200	++	+++	o	+	Düşük
LFCI	0,040 0,045	E	30 80	Yüksek	1 2	—	+	+++	•	+++	Orta
Kenevir	0,040 0,050	E	20 68	Yüksek	1 2	—	+	+	•	+++	—
XPS	0,030 0,040	E	≥25	Düşük	80 250	150 700	+	+++	o	+++	Orta
EPS	0,035 0,040	E	≥15	Düşük	20 100	60 200	+	+++	o	+++	Orta
PUR	0,030 0,040	B-C	≥30	Düşük	30 100	100 500	+++	+++	o	+++	Orta
PF	0,022 0,040	C	40	Düşük	60	120	++	+++	—	+++	Orta
Aerojel	0,017 0,020	C	60 80	Yüksek	5	>80	—	+++	o	+++	Yüksek
VYP	≤ 0.0053	—	210	Düşük	∞	≥150	—	+++	o	+	Yüksek

(+++): iyi, (++): orta, (+): kötü, (o): Çürümez, (•): Çürüyebilir, (—): Bilgi yok, Yararlanılan kaynaklar: (Pfundstein ve diğ., 2008), (Rashad, 2016), (TSE, 2013), (Knapic ve diğ., 2016), (Schiavoni ve diğ., 2016), (Hurtado ve diğ., 2016), (Akelçi, 2016)

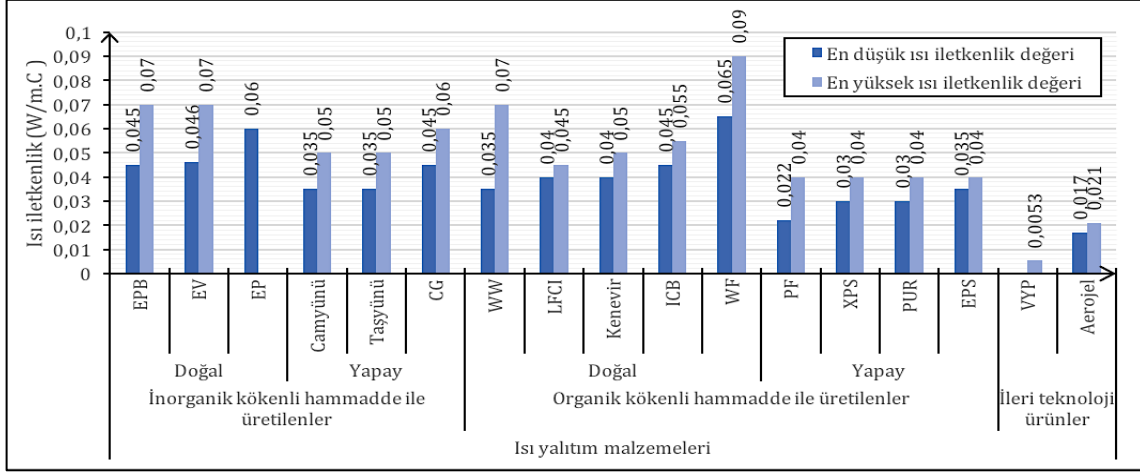
3. ISI YALITIM MALZEMELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde, anlatımı yapılan ısı yalıtım malzemelerinin türlerine göre ısı iletkenlik, yangın dayanımı, birim hacim kütle, su emilimi, buhar difüzyon direnci, basınç dayanımı, kimyasal etkilere dayanıklılık, parazit barındırmama ve parazitlere dayanıklılık, çürümezlik, işlenebilirlik ve maliyet özellikleri açısından karşılaştırmaları yapılmıştır.

3.1. Isı iletkenlik

Şekil 2’de verilen sütun grafikte ısı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek ısı iletkenlik değerleri verilmiş ve en düşük ısı iletkenlik değerine göre sıralanmıştır. İnorganik kökenli doğal olan malzemeler, yapay olanlara göre daha yüksek ısı iletkenlik göstermektedir. Genleştirilmiş perlit (EP) ve genleştirilmiş vermikülit (EV) ısı yalıtım malzemelerinin üretimleri benzerdir ve gevşek dolgu şeklinde uygulanır. Genleştirilmiş perlit (EP) bağlayıcı ile levha haline (EPB) getirilebilir. Levha haline getirilince birim hacim kütlesi artar ancak ısı iletkenlik özelliği değişmez. Mineral yünler (MW), cam köpüğüne (CG) göre daha düşük ısı iletkenlik göstermektedir. Cam köpüğü (CG) farklı olarak kapalı gözenekli bünye yapısına sahiptir. Isı iletkenlik, birim hacim kütle ve maliyet dışındaki özellikler bakımından mineral yünlerden (MW) daha üstün özelliktedir. Organik kökenli doğal olan malzemeler, yapay olanlara göre daha yüksek ısı iletkenlik göstermektedir. Ahşap lifli levha (WW), gevşek dolgu selüloz yalıtım (LFCI), kenevir ve genleştirilmiş mantar levha (ICB) benzer ısı iletkenlik değerine sahiptir ancak gevşek dolgu selüloz yalıtım (LFCI) farklı olarak gevşek dolgu şeklinde çatı aralarına veya yapı boşluklarına püskürtülerek uygulanmaktadır. Ancak ısı iletkenlik değeri liflerin

zamanla çökmesi sonucu zamanla yükselebilmektedir. Organik kökenli yapay ısı yalıtım malzemeleri genelde köpük şeklindedir ve ileri teknoloji ürünler hariç diğer ısı yalıtım malzemelerine göre daha düşük ısı iletkenliğine sahiptir. Vakum yalıtım paneli (VYP) ve aerojel ileri derecede düşük ısı iletkenlik göstermektedir ancak çok maliyetli olduklarından yapıda pek fazla tercih edilmezler.



Şekil 2:
Isı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek ısı iletkenliği.

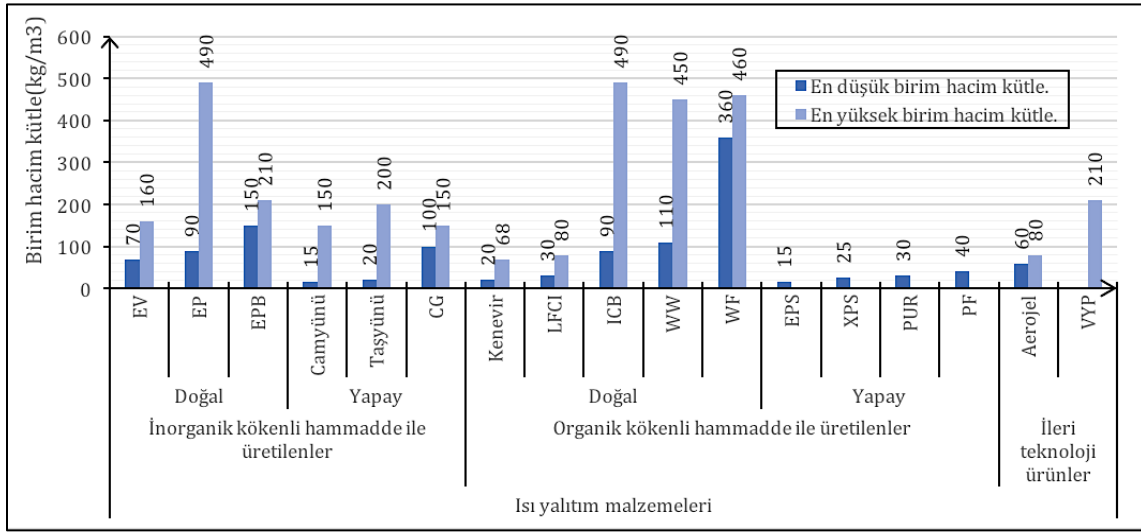
3.2. Yangın dayanımı

Günümüzde ısı yalıtımının uygulanma şekilleri veya yangın güvenliğinin göz ardı edilmesi yangın anında ek tehlikeler getirebilmektedir. Organik köpük, selüloz ve organik bağlayıcı içeren ısı yalıtımların hepsi yanıcıdır. Genel olarak inorganik kökenli hammadde ile üretilen ısı yalıtım malzemelerinin organik kökenlilere göre daha iyi yangın dayanımı gösterdiği görülmektedir (Tablo 2). Organik kökenli ısı yalıtımlar yangın anında zehirli gaz salınımı yaparlar. Poliüretan köpükler hidrojenyanit (HCN) ve izosiyanit gazı salınımı yaparak HCN zehirlenmesine neden olurken, genişletilmiş polistren köpük levha (EPS) stiren ve polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) salınımı yapar. Fenolik köpük levhanın (PF) ise yangın anında tutuşması nerdeyse imkansızdır ancak formaldehit salımı yapar. Genleştirilmiş mantar levha (ICB) yüksek ısıya maruz kaldığında fenol ve polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) salınımı yaparken yangın anında ayrıca alkol, aldehit ve asetik asit salınımı yapmaktadır (Eriç, 2011). Gevşek dolgu selüloz yalıtım (LFCİ) ise içerdiği borik asit tuzları nedeniyle, yangın anında su ile söndürülmesi durumunda borik tuzların yer altı sularını kirletme riski bulunmaktadır (Pfundstein ve diğ., 2008).

3.3. Birim hacim kütle

Günümüzde düşük birim hacim kütle ısı yalıtım malzemelerinde aranan bir özelliktir ve yüksek boşluk hacmiyle, dolayısıyla düşük ısı iletkenlik ile ilişkilendirilir. Isı yalıtım malzemelerinde genelde tercih edilen yoğunluk değeri 20-100 kg/m³ arasındadır. Daha düşük yoğunluklarda radyasyon (ışınım) yoluyla ısı iletimi artarken, daha yüksek yoğunluklarda taşınım yoluyla ısı iletimi artmaktadır (Pfundstein ve diğ., 2008). Isı yalıtım malzemelerinin tüm türleri piyasada çok değişik yoğunluklarda üretilebilmektedir. Kullanım yerine göre birim hacim kütle önem kazanmaktadır. Örneğin; üstü açık döşemelerde cam yünü kullanılacaksa 60 kg/m³'ten, polistren köpükler kullanılacaksa 30 kg/m³'ten yüksek birim hacim kütleyle sahip türleri tercih edilir (Strother ve Turner, 1990). Şekil 3'te verilen sütun grafikte ısı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek birim hacim kütleleri verilmiş ve en düşük değere göre

sıralanmıştır. İnorganik kökenli ısı yalıtımlarda genel olarak yapay olanlar doğal olanlara oranla daha düşük birim hacim kütleyle sahiptir. Genleştirilmiş perlit levhaların (EPB) birim hacim kütlesi genleştirilmiş perlite (EP) göre yüksek olmasına rağmen aynı ısı iletkenlik özelliği gösterir. Genleştirilmiş vermikülit (EV), genleştirilmiş perlit (EP) ürünlerine göre daha düşük birim hacim kütleyle sahiptir. Mineral yünler (MW), cam köpüğüne (CG) göre daha düşük birim hacim kütleyle sahiptir. Mineral yünler (MW) basınca maruz kaldığında kalınlık kaybına uğrar ve birim hacim kütlesi artar. Dolayısıyla ısı yalıtımı özelliğini kaybeder. Cam köpüğü (CG) için böyle bir durum söz konusu değildir. Organik kökenli doğal ısı yalıtımlar genel olarak (kenevir ve gevşek dolgu selüloz yalıtım (LFCİ) hariç), yapay ısı yalıtım köpüklerine göre daha yüksek birim hacim kütleyle sahiptir. Bu durum organik kökenli yapay ısı yalıtımlara çok iyi ısı yalıtım özelliği kazandırmaktadır.



Şekil 3:

Isı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek birim hacim kütlesi.

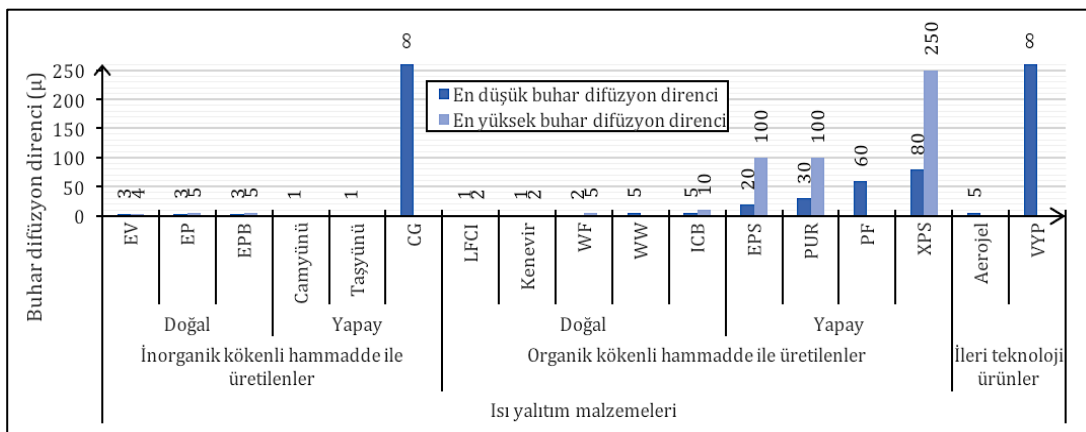
3.4. Su emilimi

Isı yalıtım malzemeleri bünyelerine su aldıkları zaman ısı yalıtım özelliğini kaybederler. Çünkü hava boşluklarına dolan suyun ısı iletkenlik değeri havaya göre 20 kat daha fazladır. Dolayısıyla su emilimi genellikle ısı iletkenlik değerinin yükselmesi ile bağlantılıdır (Pfundstein ve diğ., 2008). Bu nedenle ısı yalıtım malzemelerinde su emilimi istenmeyen bir özelliktir. İnorganik kökenli doğal ısı yalıtım malzemelerinin su emmesi yüksektir. Genleştirilmiş perlit (EP) ürünleri üretilirken su itici özellik vermek için içerisine sentetik reçine veya bitüm emülsiyonları eklenebilir. Genleştirilmiş vermikülitin (EV) su itici içermeyen türleri su ve nemden korunmalıdır. İnorganik kökenli yapay ısı yalıtım malzemesi olan mineral yünler (MW) ve cam köpüğü (CG) yapıları gereği hafiftir. Ancak cam köpüğü (CG) kapalı gözenekli yapısı sayesinde bünyesine su almazken, lifli yapıdaki mineral yünler (MW) bünyelerine çok fazla su alır bu nedenle su ve nemden korunmaları gerekmektedir. Mineral yünler (MW)'in üretimi sırasında içerisine su itici kimyasallar eklenebilir. Organik kökenli doğal ısı yalıtım malzemelerinin su emilimi, yapay olanlara göre daha yüksektir (Tablo 2). Ahşap lifli levha (WW) ve ahşap yünü levha (WF) bünyesine su alınca şişme yaparlar bu nedenle sudan korunmalıdırlar. Gevşek dolgu selüloz yalıtım (LFCİ) hidrofilik özelliktedir ve su ile şişme yapar. Kesinlikle su ve neme karşı korunmalıdır. Kenevirin su emmesi yüksektir ancak üretilirken içine su itici olarak bitüm katılabilir. Organik kökenli yapay ısı yalıtım malzemelerinin su emilimi çok düşüktür. Ekstrüde polistren köpük levha (XPS) nerdeyse hiç su

emmediği için yeraltı suyuna maruz kalacak yerlerde ek bir koruyucu katman gerektirmeden uygulanan tek ısı yalıtım malzemesidir. Fenolik köpük levhaların (PF) su emmesi çok düşüktür ancak metallerle bir arada kullanıldığında ve neme maruz kaldığında fenol içerisindeki sülfonik asit çözünerek metal yüzeyde korozyona neden olur. Bu nedenle metallerle direkt temasından kaçınılmalıdır (Pfundstein ve diğ., 2008). İleri teknoloji ürünü vakum yalıtım panelleri (VYP) su geçirimsiz sayılabilir. Koruyucu zarflar ile çevrelenmiş çekirdek malzemesi açık gözenekli yapıdadır. Bu nedenle koruyucu zarfın taşıma ve montaj sırasında zarar görmesi malzemenin bünyesine su almasına dolayısıyla ısı iletkenlik değerinin yükselmesine neden olacaktır.

3.5. Buhar difüzyon direnci

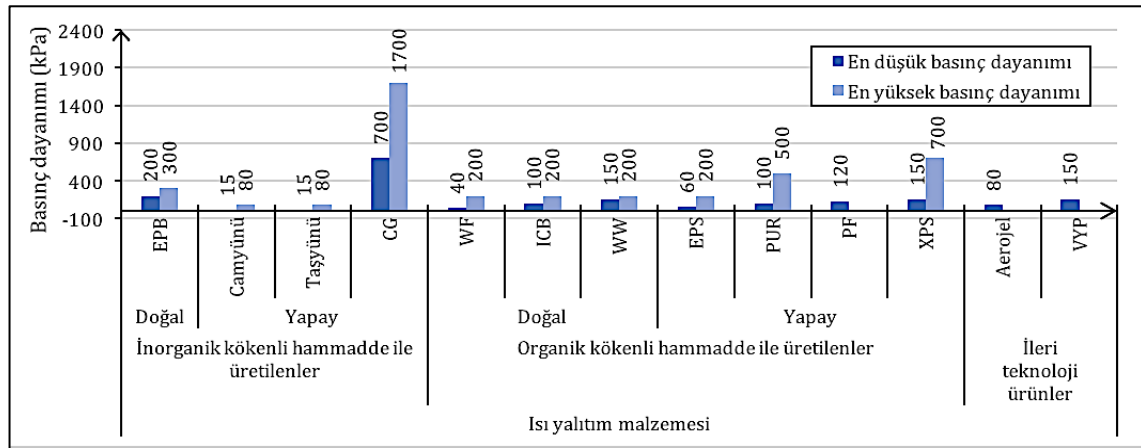
Duvarlarda ısı yalıtımın içte veya dışta kullanılması durumuna göre malzemenin buhar difüzyon direnci önem kazanmaktadır. Isı yalıtım malzemesi buhar basıncının daha düşük olduğu dış kısımda kullanılacaksa μ değerinin daha düşük olması istenir. Eğer buhar basıncının yüksek olduğu iç kısımda kullanılacaksa μ değerinin yüksek olması istenir veya kesit içinde buhar kontrolünün yapılması gerekir. Aksi durumda su buharı ısı yalıtım üzerinde yoğunlaşacak ve malzemenin ıslanıp ısı yalıtım özelliğini kaybetmesine, çürümeye vb. neden olacaktır (Toydemir ve diğ., 2000). Şekil 4'te verilen sütun grafikte ısı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek buhar difüzyon dirençleri verilmiş ve en düşük değere göre sıralanmıştır. İnorganik kökenli doğal ve yapay ısı yalıtım malzemelerinin genel olarak buhar difüzyon direnci düşüktür ve su buharına fazla bir direnç göstermeden içinden geçmesine izin verecek şekilde açık gözenekli yapıdadır. Cam köpüğü (CG) diğerlerinin aksine kapalı gözenekli yapısı nedeniyle buharın geçişine izin vermez. Bu nedenle buhar difüzyon direnci sonsuz (∞) olarak kabul edilmektedir. Cam yünü ve taşyünü gibi mineral yünler (MW) buhar geçirimsiz hale getirilmek için yüzeyleri alüminyum folyo ile kaplanabilir. Organik kökenli doğal ısı yalıtım malzemeleri yapay olanlara göre daha düşük μ değerine sahiptir. Yapay olanlar ayrıca diğer ısı yalıtım malzemelerine göre (Vakum yalıtım paneli (VYP) ve cam köpüğü (CG) hariç) su buharının geçişine daha fazla direnç gösterir. İhtiyaç durumunda poliüretan sert köpük levhanın (PUR) yüzeyleri buhar geçirimsiz kaplamalar ile kaplanabilir. Aerojeller su buharının geçişine izin verecek bünye yapısına sahiptir. Vakum yalıtım paneli (VYP) buhar geçirimsizdir bu nedenle μ değerleri sonsuz (∞) kabul edilir ancak koruyucu zarfının zarar görmesi durumunda açık gözenekli yapısı nedeniyle buhar geçirimli bir hale dönüşecektir.



Şekil 4:
Isı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek buhar difüzyon direnci.

3.6. Basınç dayanımı

Isı yalıtım malzemeleri için minimum basınç dayanımı gerekliliği kullanıldığı kesite göre değişmektedir. Üzerine yük gelen döşeme kesitlerinde ısı yalıtım malzemesinin noktasal yüklerle karşı yeterli mukavemette olması ve/veya korunması gerekmektedir. Örneğin; yüke maruz kalan toprak temaslı perde duvar yalıtımında veya ters teras çatı yalıtımında basınç mukavemetinin 300 kPa'dan yüksek olması istenmektedir (TSE, 2013). Şekil 5'te verilen sütun grafikte ısı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek basınç dayanımları verilmiş ve en düşük değere göre sıralanmıştır. Genleştirilmiş perlit levha (EPB) ısı yalıtım malzemesi mineral yünlere (MW) göre daha yüksek basınç dayanımına sahiptir. Cam köpüğü (CG) ise tüm ısı yalıtımlara göre yüksek basınç dayanımı göstermektedir ancak noktasal yüklerle karşısında oldukça kırılımandır. Bu nedenle uygulanacağı yüzey düzgün olmalı, sıcak bitüm ile kaplanmalı ve yerleştirildikten sonra tüm boşluklar bitüm ile doldurulmalıdır (Pfundstein ve diğ., 2008). Organik kökenli yapay ısı yalıtımlar genel olarak doğal olanlara göre daha yüksek basınç dayanımına sahiptir. Ekstrüde polistren köpük levha (XPS) yüksek basınç dayanımına sahip olduğu için genelde zemin altı uygulamalarda tercih edilmektedir. Poliüretan sert köpük levha (PUR) yüksek basınç dayanımı nedeniyle ağır yük taşıyan endüstriyel döşemelerde tercih edilmektedir. Vakum yalıtım paneli (VYP) yüksek basınç dayanımı gerektiren uygulamalarda tercih edilmese de, yüksek basınç dayanımına sahiptir (Pfundstein ve diğ., 2008). Aerojellerin yapıdaki uygulamaları şilte şeklinde olduğundan basınç dayanımı düşüktür.



Şekil 5:

Isı yalıtım malzemelerinin en düşük ve en yüksek basınç dayanımı.

3.7. Kimyasallara karşı dayanıklılık, parazit barındırmama ve çürümezlik

Yapı malzemelerinde olduğu gibi ısı yalıtım malzemelerinin de kimyasallara, parazitlere karşı dayanıklı olması, parazit barındırmaması ve çürümez nitelikte olması istenir. Isı yalıtım malzemeleri türlerine ve bünye yapılarına bağlı olarak böceklenir veya bazı kimyasallara karşı duyarlı olabilir. Bitkisel kökenli ısı yalıtım malzemeleri parazitlerin barınmasına ortam hazırlayabilir (Akıncı, 2007). Organik kökenli yapay ısı yalıtım malzemeleri kimyasallara karşı diğer ısı yalıtım malzemelerine oranla daha duyarlıdır. Poliüretan sert köpük levha (PUR) yapıştırıcılardaki çözücülere karşı iyi direnç gösterirken; yakıtlara, mineral yağlara, seyreltik asitlere ve alkalilere belirli bir derece direnç gösterebilir. Ekstrüde polistren köpük levha (XPS) çözücü, yapıştırıcı ve mineral yağlar karşısında yüzeyi zarar görebilir ve hatta bu kimyasalların yüksek konsantrasyonları karşısında tamamen eriyebilir. Genleştirilmiş polistren köpük levha (EPS) yakıtlara, çözücülere ve madeni yağlara karşı oldukça duyarlı olmasına karşın asit ve

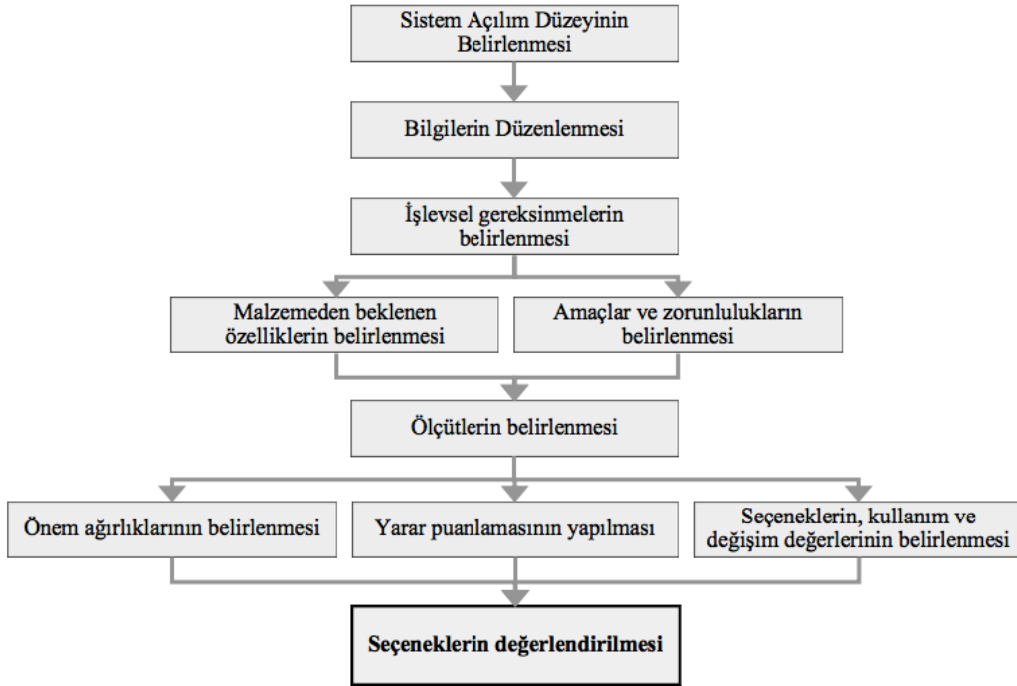
alkalilerden önemli ölçüde etkilenmez. Ayrıca gevşek dolgu selüloz yalıtım (LFCİ) malzemesi de asit ve alkalilerden etkilenir (Pfundstein ve diğ., 2008).

3.8. İşlenebilirlik ve maliyet

Isı yalıtım malzemeleri uygulanırken değişik aletlerle kesme, delme gibi işlemlerin kolayca yapılabilmesi istenir. Güç işlenen malzemeler işçilik maliyetini artırır (Toydemir ve diğ., 2000). Genleştirilmiş mantar levha (ICB) esnek yapıda olduğu için kesilmesi zordur. Vakum yalıtım panelinin (VYP) uygulama esnasında kesilmesi mümkün değildir. Koruyucu zarf zarar gördüğünde ısı yalıtım özelliğini kaybeder. Bu nedenle kurulum öncesinde ve sırasında herhangi bir hasara karşı korunmalıdır. Yapı malzemeleri seçilirken malzemenin beklenen performans için gerekli özellikleri sağlamanın yanı sıra ekonomik olması da beklenir. Isı yalıtım malzemelerinde yoğunluk arttıkça maliyetinde arttığı görülmektedir. Cam köpüğü (CG), arojel ve vakum yalıtım paneli (VYP) üstün ısı yalıtım özellikleri gösterirken oldukça pahalı malzemelerdir. Bu nedenle yapılarda pek fazla tercih edilmezler.

4. YAYGIN KULLANILAN ISI YALITIM MALZEMELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada değerlendirme yöntemi olarak, Arıoğlu (1993) yöntemi seçilmiştir. Anlatımı yapılan ısı yalıtım malzemeleri Arıoğlu Yöntemi kullanılarak örnek duvar kesitleri üzerinde değerlendirilmiştir. Değerlendirme yöntemi Şekil 6'da özetlenmiştir.

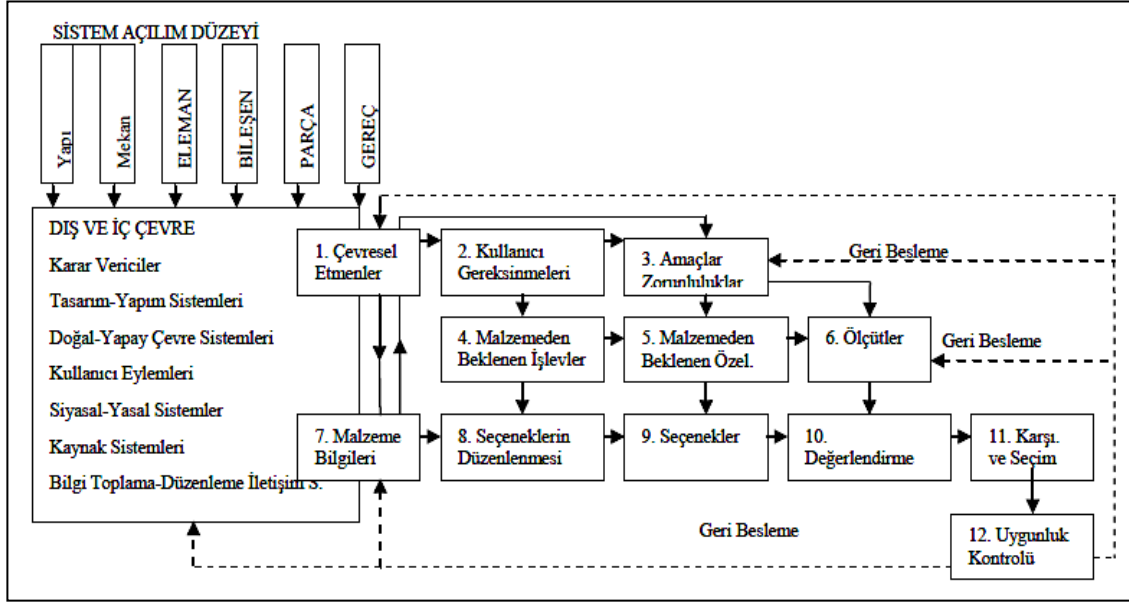


Şekil 6:

Değerlendirme yönteminin akış şeması.

Arıoğlu (1993); bilimsel bir yaklaşım olan sistemler yaklaşımına dayalı olarak “Yapı Malzemeleri Seçim Yöntemi” ve “Yapı Malzemesi Bilgi İletişim Sistemi” geliştirmiştir. Sistemler yaklaşımı malzeme seçiminde kullanılabilir diğer yöntem ve yaklaşımlara göre daha geniş kapsamlıdır. Sistemler yaklaşımında esas olan bir bütünü oluşturan parçalarının bütünden farklı olduğu teorisidir. Bu bakış açısında yapı malzemesi seçilirken sistem açılım

düzeyindeki tüm alt ve üst sistemlerden etkilenir. Sistemler yaklaşımına dayalı malzeme seçim sistemi şeması Şekil 7’de verilmiştir (Arioğlu, 1993).



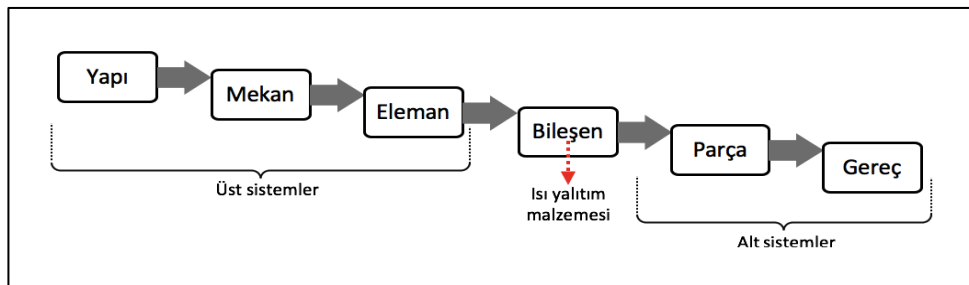
Şekil 7:
Yapı malzemesi seçim sistem şeması (Arioğlu, 1993).

4.1. Sistem açılım düzeyinin belirlenmesi

Yapı malzemelerinin seçiminde sistemler yaklaşımına göre altı farklı sistem açılım düzeyi bulunmaktadır. Bunlar; yapı, mekân, eleman, bileşen, parça ve gereçtir. Bu sistem açılım düzeyi hiyerarşisinde seçilen herhangi bir düzey, üst sistemlerden etkilerken, alt sistemleri etkilemektedir. Bu durumu Arioğlu (1993) şu şekilde açıklamaktadır:

“Sınırlamalar, sistem dışında bulunan, fakat eylemini etkileyen, sınırlayan üst sistemler ve çevredir. Alt sistemler, sistemin içeriğini oluşturan her türlü nesne, olgu ve bilgiyi kapsayan ve her biri ayrı girdi-çıkış süreçleriyle tanımlanan ‘sistem değişkenleri’ ile geri besleme ve kontroldür.”

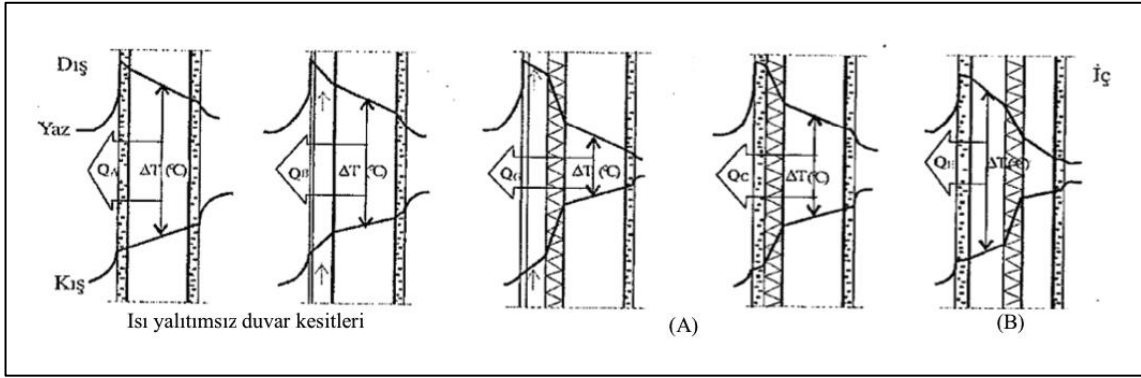
Bu çalışma kapsamında ısı yalıtım malzemelerinin değerlendirilmesi bileşen düzeyinde ele alınmıştır (Şekil 8). Bileşenler, tanımlı bir geometrik bir biçimi olmayan kütsel temel ürünlerin özel bir işlev için biçimlendirilmesi sonucu oluşturulan parçaların bir araya getirilmesiyle oluşan ve yapı bütünü içerisinde belirli bir işlevi olan özel kümeler olarak tanımlanmaktadır (Arioğlu, 1993).



Şekil 8:
Isı yalıtım malzemesi seçimi için belirlenen sistem açılım düzeyi.

4.2. Bilgilerin düzenlenmesi ve seçeneklerin belirlenmesi

Duvarlar literatürde farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmalar, statik durumlarına, binadaki yerlerine, üretim yöntemine, yüklendiği işlevin önceliğine ve kesit sistemine göre olabilmektedir. Binadaki yerlerine göre duvarlar iç duvarlar ve dış duvarlar olmak üzere iki gruba ayrılır (Toydemir ve diğ., 2000). Duvarlar dış kaplama, çekirdek ve iç kaplamadan oluşan üç ana katmandan meydana gelir. Bu katmanların her biri kesitte farklı bir malzeme ile temsil edilebileceği gibi bazen tek bir malzeme (örneğin mimari beton) üç katmanın niteliklerini de bünyesinde barındırabilmektedir. Duvar çekirdeği taşıyıcı özellik gösteren bir malzemeden (örneğin doğal taş) oluşabileceği gibi; düşey taşıyıcılar içeren ve taşıyıcı özellik göstermeyen bir malzemeden (örneğin betonarme taşıyıcılı tuğla dolgu duvar) oluşabilmektedir (Toydemir ve diğ., 2000). Her bir katmanın kendi görevini üstlenmesi nedeniyle iki yüzü kaplamalı duvarlar ideal olarak nitelendirilir. İki yüzü kaplamalı dış duvarlardaki seçilen beş örnek kesit için, her bir katmanın malzemeleri aynı kalınlık ve malzemeden olduğu kabul edilerek ısı yalıtımlı ve yalıtımsız olarak ısı kayıpları açısından yapılan değerlendirmeleri Şekil 9'da verilmiştir.



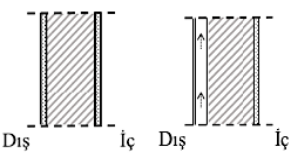
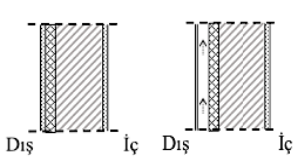
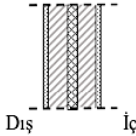
Şekil 9:

İki yüzü kaplamalı beş tip dış duvarda yaz ve kış dönemine ait ısı kayıpları ve sıcaklık gradyanları (Toydemir ve diğ., 2000).

Bu değerlendirmeye göre ısı yalıtım malzemesi kullanılmayan kesitte ısı kaybının en çok olduğu, hava yastığı bulunan kesitte ise ilk kesitine göre %25 daha az ısı kaybı olduğu görülmektedir. Diğer yalıtımlı tüm kesitlerde ısı kaybının yalıtımsız kesitlere göre daha az olduğu görülmektedir. İç yüzey sıcaklıkları açısından ısı yalıtımlı kesitlerin konfor koşullarını sağladığı, dış yüzey sıcaklıkları yönünden aynı şekilde ısı yalıtımlı kesitlerde ısı kaybı az olduğu için dış yüzey sıcaklığı en düşük değerlerdedir. Isı yalıtım katmanı iç yüzeyde olduğu durumda iç ortam ön ısıtma süresinin daha az olduğu, ısı yalıtım katmanı dış yüzeyde olduğunda ön ısıtma süresinin daha uzun olacağı söylenebilir. Bu bağlamda ısı biriktirme kapasiteleri açısından uzun süreli kullanılacak mekanları çevreleyen duvarlarda ısı yalıtımın dıştan, kısa süreleri ısıtılması gereken mekanlarda ise içten ısı yalıtım yapılması konfor koşulları ve ekonomik yönden etkili olacaktır. Isı yalıtımın iç yüzeyde kullanılması durumunda yoğuşma problemleri meydana gelebileceği için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir (Toydemir ve diğ., 2000).

Şekil 9'da verilen duvar tipleri için oluşturulan bilgi tablosu Tablo 3'te verilmiştir. Bu tabloya göre duvarların ısı yönünden özellikleri ve kullanılacak ısı yalıtım malzemesinin taşıması gereken özellikler verilmiştir. Bu çalışma kapsamında ısı yalıtım uygulaması yapılması zorunlu olan zemin üstü dıştan yalıtımlı dış duvarlar ele alınacaktır. Çalışmanın ikinci bölümünde anlatılan ve Tablo 2'de özetlenen ısı yalıtım malzemelerine ait bilgiler ışığında seçilen duvar kesitleri için ısı yalıtım malzemesi özelliklerinin önem ağırlık puanlaması yapılmıştır.

Tablo 3. Seçilen duvar kesitleri, ısıl yönden performans özellikleri ve ısı yalıtım malzemesinden bu kesitlere göre beklenen gereksinimler.

DIŞ DUVAR KESİTİ			ISI YALITIM MALZEMESİNDEN BEKLENEN GEREKSİNİMLER
KODU	ŞEKLİ	ISIL PERFORMANSI	
-		<ul style="list-style-type: none"> •Isı tutuculuğu yetersiz •Isı biriktirmesi yetersiz •Ön ısınma süresi uzun •İç yüzey-ortam sıcaklık farkı fazla 	-
A		<ul style="list-style-type: none"> •Isı tutuculuğu yeterli •Isı biriktirmesi yeterli •Ön ısınma süresi uzun •İç yüzey-ortam sıcaklık farkı yeterli 	<ul style="list-style-type: none"> •Isı iletkenlik katsayısı düşük olmalı •Birim hacim ağırlığı düşük olmalı •Yangın dayanımı yüksek olmalı •Su emilimi düşük olmalı veya suya karşı korunmalı •μ değeri düşük olmalı
B		<ul style="list-style-type: none"> •Isı tutuculuğu yeterli •Isı biriktirmesi yeterli •Ön ısınma süresi kısa •İç yüzey-ortam sıcaklık farkı yeterli 	<ul style="list-style-type: none"> •Isı iletkenlik katsayısı düşük olmalı •Birim hacim ağırlığı düşük olmalı •Su emilimi düşük olmalı veya suya karşı korunmalı •Nem kontrolü yapılmalı

4.3. İşlevsel gereksinimler ile amaç ve zorunlulukların belirlenmesi

Arıoğlu Yöntemi içerisinde tanımlanan işlevsel gereksinimler kullanıma ilişkin ve yapıma ilişkin olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kullanıma ilişkin olan gereksinimler kullanıcıya bağlı, diğer ürünlere bağlı, ısı, ses, ışık, su ve diğer sıvılarla, elektrikle, düşey ve yatay yük ve kuvvetlerle, yangın ile ilgili, diğer gereksinimler ve servis ömrü ile ilgili olmak üzere 12 temel başlık altında sınıflandırılmıştır. Yapıma ilişkin olan gereksinimler ise yapım sistemiyle ilgili, yasa ve kurumlara bağlı ve teknolojiye bağlı gereksinimler, maliyetle ilgili gereksinimler gibi alt başlıklara ayrılmaktadır (Arıoğlu, 1993). Çalışma içerisinde ısı yalıtım malzemesinden beklenen işlevsel gereksinimler Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Isı yalıtım malzemesinden beklenen işlevsel gereksinimler.

Isı yalıtım malzemesi için işlevsel gereksinimler	
<p>1. Kullanıcıya bağlı gereksinimler</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nemden etkilenmeme veya korunma • Su sızmalardan etkilenmemesi veya korunma • Yangına dayanıklı olma • Kendi yükünü ve kullanma yüklerini taşıma • Çürümeme ve böcek barındırmama • Yeterli servis ömrüne sahip olması 	<p>2. Yapıma bağlı gereksinimler</p> <ul style="list-style-type: none"> • Taşıyıcı sistem elemanlarına uygunluk • Yasa ve yönetmeliklere uygunluk <ul style="list-style-type: none"> ○ Enerji Verimliliği Kanunu ○ TS 825 ○ Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği ○ Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği • Kalifiye işçilik gerektirmeme • Toplam maliyeti uygun olma

Amaçlar, temel amaçlara ve seçimde rol alan karar vericilerin amaçlarına bağlı olarak belirlenir. Zorunluluklar ise amaçlara ulaşmak için hangi sınırların kullanılacağını ve nasıl ulaşılabileceğinin belirlenmesidir (Arıoğlu, 1993). Bu bağlamda Arıoğlu Yöntemi içerisinde amaç ve zorunluluklar için ayrı ayrı kontrol listeleri oluşturulmuştur. Çalışma içerisinde ısı yalıtım malzemesinden beklenen amaç ve zorunluluklar Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Amaç ve zorunluluklar listesi.

Amaç ve zorunluluklar	
1. Amaçlar	2. Zorunluluklar
<ul style="list-style-type: none"> Isı yalıtımı sağlama Kullanımda ve yapımda ekonomi sağlama Uygulamasının kolay olması Sağlık ve konfor koşullarına uyma Bulunabilir olma Standartlara uygun olma 	<ul style="list-style-type: none"> Yasalar ve yönetmelikler <ul style="list-style-type: none"> Enerji Verimliliği Kanunu TS 825 Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği Standartlar <ul style="list-style-type: none"> TS EN 13162+A1, TS EN 13163+A2, TS EN 13164+A1, TS EN 13165+A2, TS EN 13166, TS EN 13168, TS EN 13171+A1, TS EN 13170+A1, TS EN 14316-1, TS EN 13169+A1, TS EN 14317-1, TS EN 13167+A1, TS EN 15101

4.4. Malzemeden beklenen özelliklerin, ölçütlerin ve önem ağırlıklarının belirlenmesi

Isı yalıtım malzemelerinden beklenen kullanıma ve yapıma bağlı özellikler Tablo 6’da, beklenen özelliklere ait ölçütler ve ölçü aralıkları Tablo 7’de verilmiştir. Isı iletkenlik, birim hacim kütle, su emilimi doğrudan malzemenin ısı yalıtım özelliğini etkilediği için “zorunlu” özellikler olarak alınmış. Zorunlu özellikler dışında kalan ve ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenliğini doğrudan etkilemeyen özellikler “koruyucu” özellikler olarak belirlenmiştir. Malzemenin kullanılabilirliğine yönelik olan, uzun dönem performansını etkileyen ve malzemenin değerlendirmesinde kolaylık sağlayacak özelliklerden kimyasallara dayanıklılık, parazitlere dayanıklılık ve işlenebilirlik özellikleri “isteğe bağlı” özellikler olarak belirlenmiştir, Isı yalıtım malzemesinin taşınması gereken özellikler bakımından “zorunlu”, “koruyucu” ve “isteğe bağlı” özelliklerin önemlilik derecesine göre önem puanlaması yapılmıştır. Önem ağırlıklarının belirlenmesinde yapılan önem puanlamasında toplam %100 olacak şekilde sırasıyla; %50, %30, ve %20 olarak belirlenmiştir. Doğrudan ekonomiklik amacına yönelik olan maliyet özelliği değişim değeri hesaplanmasında kullanılmıştır ve önem ağırlığı %10 olarak belirlenmiştir. Daha sonra bu özelliklerin önem katsayısı belirlenmiştir (Tablo 8).

Tablo 6. Isı yalıtım malzemelerinden beklenen kullanıma ve yapıma bağlı özellikler.

Malzemeden beklenen özellikler	
1. Kullanıma bağlı özellikler	2. Yapıma bağlı özellikler
<ul style="list-style-type: none"> Isı iletkenliği düşük olmalı (<0,1 W/m.°C) Dışta kullanılacak ısı yalıtım malzemesinin buhar difüzyon direnci düşük olmalı, içte kullanılacak ısı yalıtım malzemesinin buhar difüzyon direnci yüksek olmalı Yeterli basınç dayanımına sahip olmalı ve yeterli rijitlikte olmalı Birim hacim ağırlığı düşük olmalı (20-100 kg/m³) Yangın dayanımı yüksek olmalı Su emmesi düşük olmalı Servis ömrü uzun olmalı 	<ul style="list-style-type: none"> Yapımı basit araçlarla yapılmalı ve işçiliği az olmalı Bulunabilir olmalı Standartlara uygun olmalı Maliyeti düşük olmalı

Tablo 7. Ölçütler ve ölçü aralıkları.

Özellik	Birim	<0,1	0,07-0,1	0,05-0,07	0,03-0,05	<0,03
Isı iletkenlik	W/m.°C	<0,1	0,07-0,1	0,05-0,07	0,03-0,05	<0,03
Birim hacim kütle	kg/m ³	>100	70-100	50-70	30-50	<30
Yangın dayanımı	Dayanım sınıfı	E-F	D	C	B	A
Buhar difüzyon direnci	μ	∞	>10	5-10	3-5	1-3
Basınç dayanımı	kPa	<100	100-200	200-500	500-700	>700
Ortalama su emilimi		Yüksek		Orta		Düşük
Kimyasallara dayanıklılık		Kötü		Orta		İyi
Parazitlere dayanıklılık		Kötü		Orta		İyi
İşlenebilirlik		Kötü		Orta		İyi
Maliyet		Yüksek		Orta		Düşük
Çürümezlik		Çürür			Çürümez	

Tablo 8. Önem ağırlığının belirlenmesi.

Ölçütler		Önem ağırlığı (%)	Önem katsayısı
Isı iletkenlik	Zorunlu	50	20
Birim hacim kütle			15
Su emilimi			15
Yangın dayanımı	Koruyucu	30	10
Buhar difüzyon direnci			10
Basınç dayanımı			10
Kimyasallara dayanıklılık	İsteğe bağlı	20	5
Parazitlere dayanıklılık			5
Çürümezlik			5
İşlenebilirlik			5
Toplam			100
Maliyet			10
Toplam			10

4.5. Yarar puanlamasının yapılması

Seçilen duvar kesitleri için ısı yalıtım malzemelerinin özellikleri üzerinden yarar puanlaması yapılmıştır. Bu puanlama için Tablo 2’de ki özellik tablosu kullanılmıştır. Tablo 3’te verilen A ve B kesitleri için ısı yalıtım malzemelerinin yarar puanları Tablo 9’da değişen ölçek cetvellerinde verilmiştir. Bu tabloya göre ısı iletkenlik, birim hacim kütle, yangın dayanımı, buhar difüzyon direnci ve basınç dayanımı özelliklerinin yarar puanlaması 1-5 aralığında; su emilimi, kimyasallara dayanıklılık, parazitlere dayanıklılık, işlenebilirlik ve maliyet özelliklerinin yarar puanlaması 1-3 aralığında; çürümezlik özelliğinin yarar puanlaması 1-2 aralığında değişen ölçek cetvelinde değerlendirilmiştir.

Tablo 9. Yarar puanlaması.

Yarar puanı	1	2	3	4	5
Ölçüt aralığı	<0,1	0,07-0,1	0,05-0,07	0,03-0,05	<0,03
Isı iletkenlik (W/m.°C)			EP WF WW	EPB ICB XPS EV LFCI EPS MW Kenevir PUR CG	PF Aerojel VYP
Yarar puanı	1	2	3	4	5
Ölçüt aralığı	>100	70-100	50-70	30-50	<30
Birim hacim kütle (kg/m ³)	EPB WW CG VYP WF	EP ICB	EV Aerojel	LFCI PF	MW EPS Kenevir PUR XPS
Yarar puanı	1	2	3	4	5
Ölçüt aralığı	E-F	D	C	B	A
Yangın dayanımı	ICB XPS LFCI EPS Kenevir	EPB	PUR PF Aerojel	WF WW	EP EV MW VYP* CG
Yarar puanı	1	2	3	4	5
Ölçüt aralığı	∞	>10	5-10	3-5	1-3
Buhar difüzyon direnci (∞)	CG VYP	XPS PUR EPS PF	ICB	EP WF EPB WW EV Aerojel	MW LFCI Kenevir
Yarar puanı	1	2	3	4	5
Ölçüt aralığı	<100	100-200	200-500	500-700	>700
Basınç dayanımı (kPa)	MW Kenevir* Aerojel EP* LFCI* EV*	WF EPS WW PF ICB VYP	EPB	XPS PUR	CG
Yarar puanı	1	2	3	4	5
Ölçüt aralığı	Yüksek	Orta	Düşük		
Ortalama su emilimi	EP MW LFCI EPB WF Kenevir EV WW Aerojel	ICB	CG PUR XPS PF EPS VYP		

(*): Tahmini

Tablo 9. (devamı) Yarar puanlaması.

Yarar puanı	1	2	3	4	5
Ölçüt aralığı	Kötü	Orta	İyi	—	—
Kimyasallara dayanıklılık	LFCI XPS Kenevir EPS	WF PF WW Aerojel* ICB VYP*	EP MW EPB CG EV PUR		
Yarar puanı	1	2	3	4	5
Ölçüt aralığı	Kötü	Orta	İyi	—	—
Parazitlere dayanıklılık	Kenevir	WF WW	EP CG XPS PF EPB ICB EPS Aerojel EV LFCI PUR VYP MW		
Yarar puanı	1	2	3	4	5
Ölçüt aralığı	Kötü	Orta	İyi	—	—
İşlenebilirlik	ICB VYP	WW	EP CG XPS PF EPB WF EPS Kenevir EV LFCI PUR Aerojel MW		
Yarar puanı	1	2	3	4	5
Ölçüt aralığı	Yüksek	Orta	Düşük	—	—
Maliyet	EPB CG Aerojel VYP	EP WW EPS EV LFCI PUR MW XPS PF WF	ICB Kenevir*		
Yarar puanı	1	2	3	4	5
Ölçüt aralığı	Çürür	Çürümez	—	—	—
Çürümezlik	WW WF LFCI Kenevir	EP CG PUR EPB ICB PF* EV XPS Aerojel MW EPS VYP			

(*) : Tahmini

4.6. Değerlendirme

Yarar puanlaması yapılan ısı yalıtım malzemelerinin önem ağırlığı dikkate alınarak kullanım değeri ve değişim değeri hesaplanmıştır (Tablo 10).

Tablo 10. Malzemelerin kullanım ve değişim değeri hesabı.

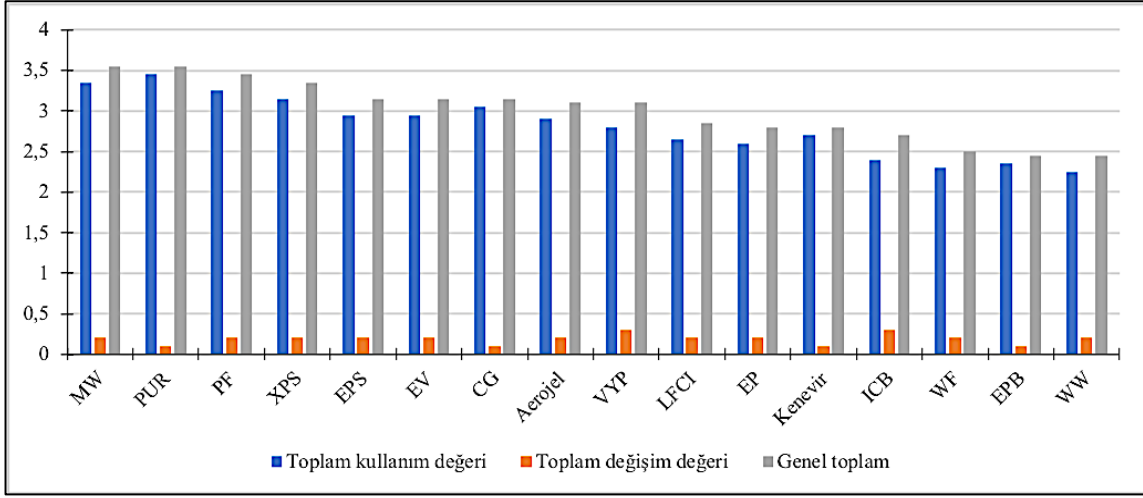
Özellik	Malzeme	EP	EPB	EV	MW	CG	WF	WW	ICB	LFCI	Kenevir	XPS	EPS	PUR	PF	Aerojel	VYP
		Isı iletkenlik	0,60	0,80	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	1,00	1,00
Birim hacim kütle	0,30	0,15	0,45	0,75	0,15	0,15	0,15	0,30	0,60	0,75	0,75	0,75	0,75	0,60	0,45	0,45	0,15
Ortalama su emilimi	0,15	0,15	0,15	0,15	0,45	0,15	0,15	0,30	0,15	0,15	0,45	0,45	0,45	0,45	0,15	0,45	0,45
Yangın dayanımı	0,50	0,20	0,50	0,50	0,50	0,40	0,40	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,30	0,30	0,30	0,30	0,50
Buhar difüzyon direnci	0,40	0,40	0,40	0,50	0,10	0,40	0,40	0,30	0,50	0,50	0,20	0,20	0,20	0,20	0,40	0,10	0,10
Basınç dayanımı	0,10	0,10	0,10	0,10	0,50	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,40	0,20	0,40	0,20	0,10	0,20	0,20
Kimyasallara dayanıklılık	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,10	0,10	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,15	0,10	0,10	0,10	0,10
Parazitlere dayanıklılık	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,10	0,10	0,15	0,15	0,05	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Çürümezlik	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,05	0,05	0,10	0,05	0,05	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
İşlenebilirlik	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,10	0,05	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,05
Toplam kullanım değeri	2,60	2,40	3,00	3,40	3,10	2,30	2,30	2,40	2,70	2,70	3,20	3,00	3,50	3,30	2,90	2,80	2,80
Maliyet	0,20	0,10	0,20	0,20	0,10	0,20	0,20	0,30	0,20	0,10	0,20	0,20	0,10	0,20	0,20	0,20	0,30
Toplam değişim değeri	0,20	0,10	0,20	0,20	0,10	0,20	0,20	0,30	0,20	0,10	0,20	0,20	0,10	0,20	0,20	0,20	0,30
Genel toplam	2,80	2,45	3,15	3,55	3,15	2,50	2,45	2,70	2,85	2,80	3,35	3,15	3,55	3,45	3,10	3,10	3,10

Malzemedden beklenen özelliklere göre belirlenen ölçütler ile her bir malzemelerin yarar puanları belirlenmiştir. Yarar puanlaması ile farklı birimlere sahip bu özelliklerden skorlar elde edilmiş ve malzemelerin toplam değeri belirlenmiştir. Elde edilen toplam değer çalışmada bahsi geçen duvar kesitlerinde kullanılacak ısı yalıtım malzemesinin seçiminde karar vericiye malzemelerin tüm özelliklerini görüp önemlilik faktörüne göre karar vermesini sağlayacak sayısal verilerdir. Tablo 10'da malzemelerin verilen özellikler için kullanım ve değişim değerleri hesaplanırken; Tablo 8'de her bir özellik için belirlenen önem katsayıları; malzemelerin Tablo 9'da verilen ilgili özellik için sağladığı yarar puanı ile çarpılmıştır ve malzemelerin her bir özellik için ayrı ayrı kullanım değeri hesaplanmıştır. Malzemenin toplam kullanım değeri her bir özellik için hesaplanan kullanım değerleri toplamına eşittir. Değişim değeri sadece maliyet üzerinden hesaplanmıştır.

5. SONUÇ

Isı yalıtım malzemeleri enerji korunumu açısından önemli malzemelerdir. Önceleri yaygın olan yapım sistemine göre kalın yapılan dış duvarların sağladığı konfor koşullarını daha ince kesitlerde sağlamak için doğru kalınlıkta ve türde ısı yalıtım malzemesi tercih edilmelidir. Ancak tüm özellikler açısından mükemmel bir ısı yalıtım malzemesi yoktur. Üstün özellik gösteren malzemeler ise günümüz koşullarında yüksek maliyet getirdiği için yaygın olarak tercih edilmezler. Genel olarak ısı yalıtım malzemeleri 0,03-0,05 W/m.°C ısı iletkenlik değerine sahiptir. Organik kökenli yapay ısı yalıtım malzemeleri diğer malzemelere göre nispeten daha düşük ısı iletkenliğe, su emilimine ve birim hacim kütleyle sahiptir. Ancak bu malzemeler kimyasallara karşı daha duyarlıdır ve düşük yangın dayanımına sahiptir. İnorganik kökenli yapay ısı yalıtım malzemeleri düşük ısı iletkenliğe ve birim hacim kütleyle, yüksek yangın dayanımına sahiptir ancak yüksek su emilimi gösterir. Bu nedenle suya karşı korunmalıdır. Cam köpüğü (CG) inorganik kökenli lifli yapay ısı yalıtımlardan farklı olarak rijit köpük şeklindedir ve kapalı gözenekli yapısı sayesinde düşük su emilimine sahiptir. Ancak bu malzeme ileri teknoloji ürünlere benzer olarak yüksek maliyeti nedeniyle pek fazla tercih edilmez. Isı yalıtım malzemeleri seçilirken tüm özelliklerinin dikkate alınması ve doğru yerde doğru teknikte uygulamasının yapılması gerekir. 4. Bölümde zemin üstü dıştan yalıtımlı bir dış duvar üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Arıoğlu Yöntemi ile değerlendirme yapılırken 3. Bölümde verilen malzeme özellikleri ile sınırlı kalınmıştır. Günümüzde sürdürülebilir malzemelerin kullanımı önem kazandığı göz önüne alınırsa değerlendirme yapılırken malzemelerin yaşam döngü değerlendirmeleri de dikkate alınabilir. Değerlendirme yapılırken bulunabilirlik dikkate alınmamış ve genel bir değerlendirme yapılmıştır. Karar vericinin seçim yapmak istediği yapının bulunduğu bölge dikkate alınarak bulunabilirlik özelliği önem kazanabilir.

Arıoğlu Yöntemine göre duvar kesitleri üzerinde yapılan değerlendirmede malzemelerin toplam kullanım, değişim değeri ile bu skorların genel toplamlarının büyükten küçüğe göre sıralaması Şekil 10'da verilmiştir. Yapılan değerlendirme kapsamında maliyet hariç diğer özellikler bakımından en yararlı malzemelerin sırasıyla poliüretan sert köpük levha (PUR), mineral yünler (MW), fenolik köpük levha (PF), ekstrüde polistren köpük levha (XPS), cam köpüğü (CG), genleştirilmiş polistren köpük levha (EPS) ve genleştirilmiş vermikülit (EV), arojel, vakum yalıtım paneli (VYP) olduğu görülür. Maliyet dahil toplam skora göre en yararlı malzemeler sırasıyla mineral yünler (MW) ve poliüretan sert köpük levha (PUR), fenolik köpük levha (PF), ekstrüde polistren köpük levha (XPS), genleştirilmiş polistren köpük levha (EPS), genleştirilmiş vermikülit (EV), cam köpüğü (CG), arojel, vakum yalıtım paneli (VYP) olduğu görülmektedir (Şekil 10). Bu yöntemde karar vericinin dikkate alacağı özellikler, bu özelliklerin önemlilik kararı sonucunda kullanım ve değişim değerleri farklılık gösterecektir.



Şekil 10:

Malzemelerin toplam kullanım, değişim değeri ile bu skorların genel toplamlarının büyükten küçüğe göre sıralaması.

Görülüyor ki, beklenen tüm performanslar açısından tam not alan tek bir malzeme henüz yoktur. Bu nedenle yalıtım sektöründe çeşitli ARGE projeleri ile tüm bu performans kriterlerine tam olarak cevap verebilecek bir ürünün geliştirilmesi üzerine çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmanın doğru yerde doğru ısı yalıtım malzemesinin seçiminde faydalı olacağı, bir rehber niteliği taşıyacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Aeronautics (2011) Aerogels: Thinner, Lighter, Stronger. Erişim Adresi: <https://www.nasa.gov/topics/technology/features/aerogels.html> (Erişim Tarihi: 23.06.2017)
2. Akelçi, B. (2016) Kentsel Dönüşüm Kapsamında Dıştan Isı Yalıtım Uygulamalarının İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
3. Akıncı, H. (2007) Günümüzde Uygulanan Isı Yalıtım Malzemeleri Özellikleri Uygulama Teknikleri ve Fiyat Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
4. Arıoğlu, N. (1993) Yapı Ürünlerinin Seçimi İçin Bir Yöntem, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
5. Aspen Aerogels (2016) Spaceloft European Data Sheet, Erişim Adresi: https://www.aerogel.com/_resources/common/userfiles/file/Data%20Sheets/Spaceloft-European-Datasheet-EN.pdf (Erişim Tarihi: 07.11.2017).
6. Bayrakçı, H. C., Davraz, M., Başpınar, E., (2011). Yeni Nesil Isı Yalıtım Malzemesi: Vakum Yalıtım Paneli, SDÜ Teknik Bilimler Dergisi, 1(2), 1-12, 2011.
7. Berge, B. (2009) The Ecology of Building Materials, Architectural Press, Italy.
8. Bozasky, D. 2010 The historical development of thermal insulation materials, Periodica polytechnic, 41(2),49-56. doi: 10.3311/pp.ar.2010-2.02
9. Çakıllı, H. (2013) TRC2 Bölgesi (Diyarbakır-Şanlıurfa) Yalıtım Sektörü Raporu, Şanlıurfa Yatırım Destek Ofisi.

10. Ehsani, İ. (2015) Bir Vermikülitin Fiziksel, Kimyasal Ve Isıl Özellikleri Üzerine Sülfürik Asit Liçinin Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
11. Eriç, M. (2011) Yapı Fiziği ve Malzemesi, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
12. Gellert, R. (2010) Materials for Energy Efficiency and Thermal Comfort in Buildings, Woodhead Publishing Series in Energy, (p.229-256), eBook ISBN: 978184569927.
13. Hornbostel, C. (1991) Construction Materials: Types, Uses and Applications Second Edition, Published by John Wiley & Sons, New York.
14. Hurtado, P. L., Rouilly, A., Vandenbossche, V. and Raynaud, C. (2016) A review on the properties of cellulose fibre insulation, Building and Environment, 96, 170-177. doi:10.1016/j.buildenv.2015.09.031
15. İzocam Diyalog (2015) Türkiye’de yalıtımın temelleri İzocam ile atıldı, Ocak-Şubat-Mart Sayısı, 18-23, Erişim Adresi: <https://www.izocam.com.tr/userfiles/files/basin-odasi/diyalog/ocak-subat-mart-2015.pdf> (Erişim Tarihi: 07.11.2017).
16. Jelle, B. P. (2011). Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities, Energy and Buildings, 43, 2549–2563. doi:10.1016/j.enbuild.2011.05.015
17. Kalaycıoğlu, H., Yel, H., Çavdar, A.D. (2012) Çimentolu Odun Yünü Kompozitleri ve Kullanım Alanları, Kastamonu Üni., Orman Fakültesi Dergisi, 12 (1): 122-133.
18. Kalnæs, S. E., Jelle, B. P. (2014) Vacuum insulation panel products: A state-of-the-art review and future research pathways, Applied Energy, 116, 355–375. doi:10.1016/j.apenergy.2013.11.032
19. Knapic, S., Oliveira, V., Machado, J. S. and Pereira H. (2016). Cork as a building material: a review, European Journal of Wood and Wood Products, 74, 775-791. doi: 10.1007/s00107-016-1076-4
20. Kulaksızoğlu, Z. (2006) Isı Yalıtım Sektör Araştırması, İstanbul Ticaret Odası, İstanbul. Erişim Adresi: <http://www.ito.org.tr/itoyayin/0016985.pdf> (Erişim Tarihi: 07.11.2017).
21. Lyons, A. (2014) Materials for Architects and Builders Fifth Editions, Published by Routledge / Taylor & Francis, Routledge, Oxon.
22. Pereira, H. (2007). Cork Biology Production and Uses, Chapter 11, (p. 243-261), Elsevier Science, eBook ISBN: 9780080476865.
23. Pfundstein M., Gellert R, Spitzner M. H. , Rudolphi A. (2008) Insulating materials : principles, materials, applications, Published by Edition Detail, Germany.
24. Rashad, A. M. (2016) A synopsis about perlite as building material – A best practice guide for Civil Engineer, Construction and Building Materials, 121, 338–353. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.06.001
25. Schiavoni, S., D'Alessandro, F., Bianchi, F. and Asdrubali, F. (2016) Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 62, 988–1011, 2016. doi: 10.1016/j.rser.2016.05.045
26. Sezer, F. Ş. (2005) Türkiye’de Isı Yalıtımının Gelişimi ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri, Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, Cilt 10, Sayı 2.
27. Sirok, B., Blagojevic, B. and Bullen, P. (2008) Mineral wool production and properties, England. eBook ISBN: 9781845694456

28. Strother, E.F., Turner, W.C. (1990) Thermal Insulation Building Guide, Robert E. Krieger Publishing Company, Florida.
29. Toksoy, F. (1997) Vermikülit: Mineraloji, Jeolojik Oluşum, Endüstriyel Kullanım ve Türkiye'deki Durumu, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, (s.123-139). İzmir.
30. Toydemir, N., Gürdal, E., Tanaçan L. (2000) Yapı elemanı tasarımında malzeme, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
31. TSE (2013) Binalarda Isı Yalıtım Kuralları (TS 825).
32. Woolley, T., Kimmins, S., Harrison, P., and Harrison, R. (2005) Green Building Handbook Volume 1, Taylor & Francis Group e-Library.
33. Yılmaz, Y. (2013) Farklı Başlangıç Maddeleri Kullanılarak Sol-jel Yöntemiyle Monolitik Silika Aerojel Ve Silika Aerojel Sentezi Ve Karakterizasyonu, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

