

Soğutma Panellerinde Kullanılabilecek Yeni Tip Kompozit Yalıtım Malzemelerin Sayısal İncelenmesi

Mustafa KILIÇ*¹ Mehmet YANARDAĞ¹

¹Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 21.09.2020

Kabul tarihi: 23.10.2020

Öz

Enerji tasarrufu, ısıtma ve soğutma sisteminde karşılaşılan en önemli problem sahalarından birisidir. Soğutma panellerinde ısı kaybının azaltılması; işletme maliyetinin azaltılması, sistem veriminin artırılması ve enerji tasarrufu açısından büyük öneme sahiptir. Bu sebeple bu çalışmada; bir endüstriyel soğuk hava deposunun soğutma panelinde kullanılabilecek yeni tip yalıtım malzemelerinin farklı konfigürasyonlar için ısı performansını sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmada iki farklı çözüm yaklaşımı incelenmiştir. Birinci yaklaşımda; yalıtım malzemeleri tabakalar halinde kullanılmış ve üç farklı konfigürasyon oluşturulmuştur. İkinci yaklaşımda; poliüretan (PU) esaslı homojen yapılu kompozit yalıtım malzemelerinin ısı performansı incelenmiştir. Sayısal çalışmada; Ansys Fluent 19.3 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği programı kullanılmıştır. Sonuç olarak; Magpan-PU tabakalı yapısının (Konfigürasyon-2), yalnızca PU köpük kullanılma durumuna (Konfigürasyon-1) göre ısı kaybında %9,3'lük bir azalmaya sebep olduğu belirlenmiştir. Poliüretan esaslı homojen yapılu kompozit yalıtım malzemeleri karşılaştırıldığında ise; %5 Silika aerojel katkılı PU köpük malzemenin, yalnızca PU köpük malzeme kullanılması durumuna göre ısı performansında %19,9 artış gösterdiği, %1 nanokil içeren PU köpük malzeme kullanılma durumunda ise, ısı performansında %9,8 azalma tespit edilmiştir. Model sonuçlarının, fiziksel durumu iyi bir şekilde temsil edebildiği, homojen yapıyı farklı tip yalıtım malzemelerinin modellenmesinde farklı parametreler için kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji tasarrufu, Yalıtım malzemesi, Kompozit yapı, Sayısal Modelleme

Numerical Analysis of New Type Composite Insulation Materials for Cooling Panels

Abstract

Energy saving is an important problem area in heating and cooling systems. Reducing heat loss from cooling panels is crucial for reducing operating cost, increasing system efficiency and energy saving. For his reason in this paper, the thermal performance of new type of insulation materials for an industry cold storage is numerically investigated for different configurations. Two different solution methods are used. For the first method, insulation materials are used in layers in three different configurations. For the second method, thermal performance of PU based homogeneous composite insulation materials is numerically investigated. Ansys Fluent 19.3 CFD program is used for numerical analysis. As a result; using Magpan-PU composite insulation material (configuration-2) causes a reduction of 9.3% on heat loss

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Mustafa KILIÇ, mkilic@atu.edu.tr

according to the reference PU foam (configuration -1). For comparing PU based homogeneous composite insulation materials, using 5% doped silica aerogel PU causes an increase of 19.9% on the thermal performance of insulation material and using 1% doped nano-clay PU causes a decrease of 9.8% on the thermal performance of insulation material. It is determined that model results can represent the physical process and can be used for modeling different type of insulation materials for different parameters.

Keywords: Energy saving, Insulation material, Composite structure, Numerical modelling

1. GİRİŞ

Günümüzde, endüstride kompozit yapılı yalıtım malzemelerinin soğuk hava depolarında kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Soğuk hava depolarında iç ve dış sıcaklıklar arasındaki farkın yüksek olması, enerji tasarrufu açısından kullanılan yalıtım malzemesinin ısı direncinin önemini bir kat daha arttırmaktadır. Yalıtım malzemelerinin ısı direncinin artırılması, enerji tasarrufu sağlamakta, bu durum ise doğru bir yalıtım malzemesi konfigürasyonu ile mümkün olabilmektedir. Soğuk hava depolarının yalıtım malzemelerinin uygun şekilde belirlenmesi ve doğru bir tasarımla, %8'den %72'e kadar enerji tasarrufunun sağlanmasında önemli bir potansiyele sahip olduğu değerlendirilmektedir [1]. Uygun yalıtım malzemelerinin seçiminin enerji tasarrufu yanında diğer bir önemli kriteri ise maliyet etkin olmasıdır. Bu kapsamda; yalıtım malzemesi geri ödeme süresinin 0-6 yıl arasında olduğu varsayılmaktadır [2].

Yalıtım malzemelerinin konfigürasyonu, her bir malzemenin yalıtım kalınlığı, malzeme tipi ve malzemenin konumu gibi bileşenlerden oluşur. Böylece yalıtım direnci artırılmaya ve enerji kaybı azaltılmaya çalışılır. Enerji kaybındaki bu azalma, yalıtım malzemesinden geçen ısı transferi miktarı kadardır ve yalıtım malzemesinin termal performansını belirler. Bu sebeple, tabakalar halinde ısı yalıtım malzemesinin uygulanması ile ısı kaybının azaltılacağı ve yalıtım malzemesinin ısı performansının artırılacağı öngörülmektedir [3].

Soğuk hava depolarında yalıtım malzemesi olarak son zamanlarda faz değiştiren malzemeler (PCM) kullanılmaya başlamıştır. PCM termal özellikleri sebebiyle, erime ve donma sırasında yüksek

miktarda enerji depolar, depolanan bu enerji sistemden olan ısı kaybını azaltır. Zalba ve arkadaşları (2003) PCM'nin termofiziksel özelliklerinin faz değiştirme enerjisinden faydalanarak termal kararlılığın artırılacağı ve daha verimli sistemler tasarlanacağı belirtilmiştir [4].

Poliüretan (PU) köpük yalıtım malzemesi, düşük ısı iletim katsayısı ile son zamanlarda endüstride birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Endüstride kullanılan PU yalıtım malzemesinin tercih edilme sebebi; fiyatının ucuz olması, enerji kaybının az olması (düşük ısı iletim katsayısı sebebiyle) ve bakımı kolaylığıdır. PU yalıtım malzemesinin termal iletkenliği 760 torr gaz basıncı altında 0,00682-0,00915 W/mK'e kadar düşürülebilmektedir [5]. Amaral ve arkadaşları [6] parafin ve kalsiyum karbonat kullanarak, ticari PU materyaline kıyasla düşük termal iletkenlik ve yoğunluk artışına sahip bir malzemeyi deneysel olarak sentezlemiştir.

Fiberglas, polietilen, polystiren vb. gibi birçok yalıtım malzemesi düşük ısı iletim katsayısı nedeniyle ısı kaybını azaltmak için ticari uygulamalarda kullanılmaktadır.

Yalıtım malzemelerinde aranan bir başka önemli özellik ise, yangın gibi çevresel etkilere karşı dayanımının yüksek olmasıdır. Bu nedenle, yangından korunmak için; yalıtım malzemelerinin tutuşma süresinin ve sıcaklığının yükseltilmesi gerekmektedir. Bu sebeple; bu çalışmada endüstride yangına karşı dayanımı yüksek bir yalıtım malzemesi olan Magpan malzemesi seçilmiş ve ısı performansını incelenmiştir.

Sevindir ve arkadaşları [7] yatırım, işletme ve bakım maliyetleri için en uygun yalıtım kalınlığını tespit etmeye çalışmıştır. Bu çalışmada, toplam ısı

transfer oranı ve enerji maliyeti dikkate alınarak farklı sıcaklıklardaki en uygun ısı yalıtım kalınlığı belirlenmeye çalışılmıştır. Yalıtım malzemesinin verimi, toplam ısı aktarım hızı dikkate alınarak hesaplanmalıdır.

Abdou ve arkadaşları [8] sıcaklık artışına bağlı olarak ısı iletim katsayısındaki değişimi incelemiştir. Daha yüksek çalışma sıcaklıklarının daha yüksek termal iletkenliğin nedeni olduğu belirlemiştir.

Ahmed ve arkadaşları [9] bir soğuk hava deposunun, geleneksel yalıtım yönteminin PCM'ler kullanılarak iyileştirilmesini deneysel olarak araştırmıştır. PCM ısı transfer kaybını azalttığını gözlemlemiştir. Isı transferi miktarındaki azalmanın %11,3-43,8 aralığında olduğunu tespit etmiştir.

Li ve arkadaşları [10], soğuk hava tünellerinde havadaki nemin ısı yalıtımına etkilerini incelemiştir. Isı iletiminin havadaki neme bağlı olduğunu, soğuk havada yalıtım malzemesi içindeki suyun donması sonucu, ısıl direnci azalttığını tespit etmiştir.

Huang ve arkadaşları [11] PCM kullanılarak yalıtımlı bir kapta sıcak değişimini incelemiştir. Düşük sıcaklıklarda yalıtımın ısıl performansının arttığını tespit etmişlerdir.

Michel ve arkadaşları [12] çok katmanlı, kompozit yapılı yalıtım malzemelerinin PU-PCM formunun bileşenleri üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Kompozit tabakanın yalıtım duvarı içindeki konumunun da önemli olduğunu tespit etmişlerdir.

Kozak ve arkadaşları [13], soğuk hava depo yalıtım malzemeleri performansını PCM kullanılarak sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Şekil değiştirme sürecinde ısıl iletimindeki değişimleri ve PCM'nin etkilerini ortaya koymuşlardır.

Laguerre ve arkadaşları [14] başlangıç sıcaklığı -5 °C ve ortam sıcaklığı 30 °C olan PCM malzemesinin ısıl performansını deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. CFD analizi ve

deneysel sonuçlarının karşılaştırılması sonucunda şekil değiştiren PCM malzemesinin yaklaşık 32 saatlik bir süre için ısıyı depolayabildiğini tespit etmişlerdir.

Choi ve arkadaşları [15] farklı PU yoğunluğu ile termal iletkenlik artışının ısı transferine etkilerini deneysel ve teorik olarak incelemiştir. PU'nun yoğunluğunun artması ile ısıl iletkenliğinin de arttığını tespit etmişlerdir.

Serrano ve arkadaşları [16] sert poliüretan (RPU) köpüklere mikrokapsüller eklenerek sentezlenen yalıtım malzemelerinin ısı kaybını etkisini incelemiştir. Farklı oranlarda % 0-%50 eklenen mikrokapsüllerin standart sert poliüretan köpüklere göre ısı kaybını azalttığı tespit edilmiştir.

Amaral ve arkadaşları [17], mikrokapsüller eklenen PCM'lerin sentezlenmesi ile oluşturulan yalıtım malzemelerinin termal özelliklerini incelemiştir. Çalışmada melaminli ve melamin içermeyen genişletilebilir grafitli sert PU köpük malzemenin üç farklı form kullanılmıştır. PU ve mikrokapsül ilaveli PCM'lerin termal performans karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, HPU köpüklerine melamin ve genişletilmiş grafit ilavesinin, hem gizli ısı depolama kapasitesini, hem de termal iletkenliğini arttırdığını tespit etmişlerdir.

Estravis ve arkadaşları [18], hücresel yapıda modifikasyonlar ile üretilen ağırlıkça farklı konsantrasyonlarda (%0, %1, %3, %5) üretilen nanokil ilaveli sert poliüretan malzemenin ısı iletim katsayısını incelemiştir. En düşük ısı iletim katsayısının 1% nanokil ilave edilmesi ile sağlandığını tespit etmişlerdir ($k=33,30 \text{ mW/mK}$).

Nazeran ve arkadaşları (2017) [19] silika aerojel takviyeli PU köpük nanokompozit yalıtım malzemesi sentezleyerek ısıl performansını incelemiştir. Silika arojelin konsantrasyonu ağırlıkça %1-5 oranında kullanılmıştır. PU köpük malzemeye silika aerojel eklenmesinin daha düzgün hücre yapısına neden olduğunu belirlemiştir. Silika aerojel içeriği arttıkça termal iletkenliğin azaldığı ve ısıl direncinin arttığı gözlemlenmiştir. En küçük termal iletkenlik,

ağırlıkça %5 silika aerjel $k=0,0171$ W/mK kullanılarak ölçülmüştür.

Wi ve arkadaşları [20] ısı iletim katsayısını azaltmak için PU köpük malzemeye ilave edilen aerjel ve grafitin etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak, aerjel takviyeli PU köpük malzemenin ısı iletim katsayısının %20 oranında azaltılabildiğini tespit etmiştir.

Septevani ve arkadaşları [21] sert poliüretan köpük malzemeye nanokristaller ilave edilmiş, ultrasonizasyon yöntemi kullanılarak termal iletkenliği azaltılmaya çalışılmıştır. PU köpük malzemeye ağırlıkça %0,4 oranında nanokristal ilave edildiğinde ısı iletim katsayısının, referans PU köpük malzemeye göre %5 azaltılabileceğini tespit etmişlerdir.

Piszczyk ve arkadaşları [22] referans PU köpük malzemenin poligliserol takviyesi ile yangına karşı direncini arttırırken ısı performansının nasıl değiştiğini incelemiştir. Referans PU köpük malzemeye %35 oranında poligliserol ve poliölün ilave edilmesi durumunda ısı iletim katsayısının sırası ile %0,8 arttığı ve %1,1 azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, PU'nun tutuşma sıcaklığının 250 °C'den 300-340 °C aralığına kadar arttırılabildiği tespit edilmiştir.

Cao ve arkadaşları [23] referans PU köpük malzemeye farklı oranlarda grafen ekleyerek, yangına karşı direncini arttırırken ısı performansının nasıl değiştiğini incelemişlerdir. Hazırlanan grafen takviyeli PU köpük malzemenin yangına karşı direnci artarken, ısı performansının %12,2 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Du ve arkadaşları [24] dopamin katkılı siyah fosfor nanoplakalara işlenmiş polietilen glikol esaslı poliüretan malzemenin moleküler yapısındaki değişimler sayesinde, hem yangına karşı daha dayanıklı, hem de enerji depolama malzemesi olarak kullanılabileceğini tespit etmişlerdir. Malzemenin enerji dönüşüm veriminin %88,5 ve ısı iletim katsayısındaki artışın %69,4 olarak belirlemiştir.

Zhao ve arkadaşları [25] zirkonyum katkılı PU köpük malzemenin ısı karakterinin ve geçirgenliği değişimini incelemiştir. Hazırlanan malzemenin, ısı kararlılığının ve sıvı tutma kabiliyetinin arttığını tespit etmişlerdir.

Andersons ve arkadaşları [26] Biyolojik yağ asitlerinden ürettikleri PU köpük malzemenin ısı analizini yapmıştır. Geri dönüştürülebilir biyolojik esaslı PU malzemenin, fasıl yakıt esaslı referans PU köpük malzeme ilke benzer ısı ve mekanik özellikleri gösterdiğini belirlemiştir.

Zeng ve arkadaşları [27] yaptıkları çalışmada PU malzemeyi fosfor ve bazı biyolojik yağlar ile karıştırarak hem çevreye karşı zarar vermeyen hem de yangına karşı daha dirençli yalıtım malzemeleri geliştirebileceklerini tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada, endüstriyel soğuk hava deposunun soğutma panelinde kullanılabilecek yeni tip yalıtım malzemelerinin farklı konfigürasyonlar için ısı performansı sayısal olarak incelenmiştir. Literatür incelendiğinde, genellikle PU köpük malzemeye yapılan bazı ilave malzemeler ile malzeme özelliklerinin nasıl değiştiği incelenmiştir. Bu çalışmanın literatürde yer alan çalışmalardan farkı; iki farklı yaklaşımla (tabakalı yapıya sahip kompozit yalıtım malzemesi oluşturma ve homojen yapılı kompozit yalıtım malzemesi oluşturma) oluşturulan kompozit yapılı yalıtım malzemelerinin ısı dirençlerinin ve ısı performanslarının incelenmesidir. Bu amaçla; soğutma paneli duvarının bir bölümünün ısı yalıtım performansını, çalışma koşullarını ve yalıtım malzemesinin termal iletkenliğini değerlendirmek için Ansys Fluent 19.3 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği programı kullanılarak, sayısal olarak ısı transfer modellemesi yapılmıştır. Yalıtım malzemesinin seçiminde, termal iletkenliğinin yanı sıra uygun maliyeti sebebiyle piyasada en çok kullanılan PU köpük malzeme kullanılmıştır. Tabakalı kompozit yalıtım malzemesi için farklı tipte yalıtım malzemeleri katmanlar halinde kullanılmıştır. Homojen yapılı kompozit yalıtım malzemelerinde ise; malzemenin çevre şartlarına karşı direncini ve yangına karşı direncini arttırmak için katkı malzemeleri ilave edilerek, PU köpük malzeme

sentezlenmiştir. Bu kapsamda; a. Farklı tip yalıtım malzemelerinin tabakalar halinde kullanılmasının ısı transferine etkisi, b. Poliüretan esaslı homojen yapılu kompozit yalıtım malzemeleri kullanılmasının ısı transferine etkisi incelenmiştir.

2. SAYISAL MODEL VE MATEMATİKSEL FORMÜLASYON

Bu çalışmada, bir endüstri soğuk hava deposunda kullanılması öngörülen PU yalıtım malzemesinin termal iletkenliğini azaltarak enerji tasarrufu olarak sayısal olarak araştırılmıştır.

Enerji denklemi (Eşitlik 1);

$$\dot{Q}_{giriş} - \dot{Q}_{çıkış} = \frac{dE_{Duvar}}{dt} \quad (1)$$

$\frac{dE_{Duvar}}{dt} = 0$ Sürekli halde duvar içerisindeki zamana bağlı enerji değişimi olmayacaktır (Eşitlik 2).

$$\int_{x=0}^L \dot{Q}_{cond,Duvar} dx = - \int_{T=T_1}^{T_2} kAdT \quad (2)$$

Burada k ısı iletim katsayısı ve A duvarın yüzey ısı iletimine dik yüzey alanıdır (Eşitlik 3).

$$\dot{Q}_{cond,Duvar} = -kA \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (3)$$

L nerede yüksekliktir. Duvarın termal direnci (Eşitlik 4);

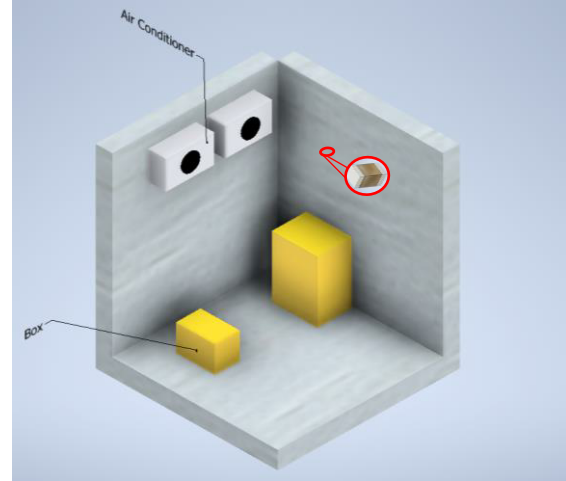
$$R_{Duvar} = \frac{L}{kA} \quad (4)$$

Duvardan ısı iletimi (Eşitlik 5);

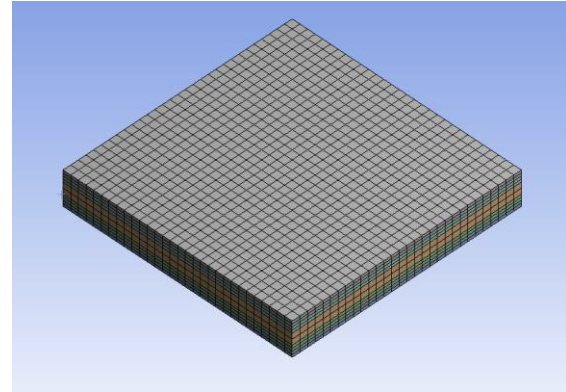
$$\dot{Q}_{cond,Duvar} = \frac{T_1 - T_2}{R_{Duvar}} \quad (5)$$

Sayısal model, Ansys Fluent 19.3 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği programı kullanılarak oluşturulmuştur. Program sonuçları; bir soğuk hava deposundaki gerçek sıcaklık sınır şartlarına göre ve sürekli halde ısı transferi olacak şekilde oluşturulmuştur. Şekil 1, analiz için kullanılan

soğuk hava deposu panel kesitini ve Şekil 2'de, analiz için kullanılan yalıtım malzemesi hücre yapısı gösterilmiştir.



Şekil 1. Soğuk hava deposu panel kesiti



Şekil 2. Yalıtım malzemesi hücre yapısı

Sayısal modelde, yalıtım malzemesi boyutları 1x1x0,1 m (uzunluk x genişlik x yükseklik) olarak alınmıştır. Soğuk hava deposu iç ve dış sıcaklıkları -5 °C ve 24 °C olarak alınmıştır. Temel yalıtım malzemesi poliüretan köpük malzemesi olarak belirlenmiştir. Tabakalı yalıtım malzemesinin tasarımında, özellikleri iyileştirilmiş MAGPAN malzeme ile yanmaya karşı malzeme direncini arttıracak cam elyafının etkisi incelenmiştir. Homojen yapılu kompozit yalıtım malzemeleri kullanılması durumunda ise, farklı katkı maddeleri PU yalıtım malzemesi içerisinde farklı oranlarda

homojen bir şekilde karıştırılmış ve bunların malzemenin ısı direncine ve malzemenin ısı kaybına olan etkisi incelenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Bu çalışmada, soğuk hava depolarında kullanılabilecek olan yalıtım malzemelerinin ısı performansı sayısal olarak incelenmiştir. Isıl direncin artırılması ve enerji tasarrufu sağlamak için iki farklı yöntem kullanılarak 9 farklı yalıtım malzemesi sayısal olarak karşılaştırılmıştır.

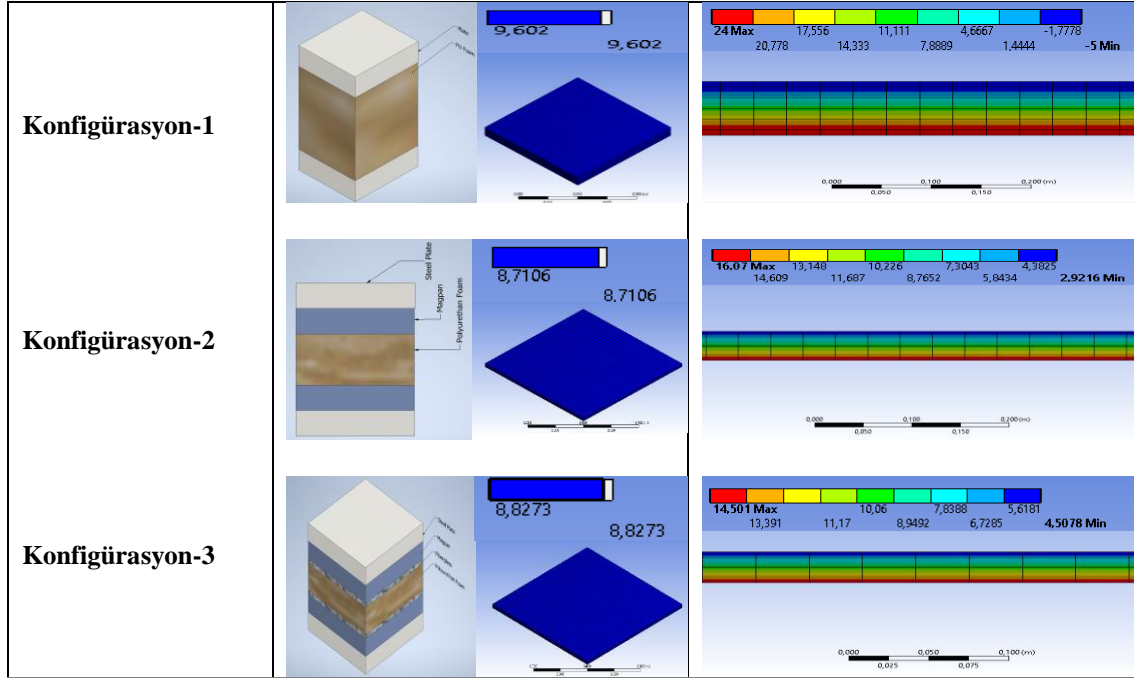
3.1. Farklı Tip Yalıtım Malzemelerinin Tabakalar Halinde Kullanılmasının Isı Transferine Etkisi

Soğuk hava depo yalıtım malzemelerinin ısı direncinin artırılmasının, malzemenin ısı performansının artışında önemli olduğu bilinmektedir. Bu sebeple; bu çalışmanın birinci aşamasında çok katmalı yalıtım malzemeleri kullanarak her tabakada geçişinde ısı direncin artırılması ve ısı kaybının azaltılması hedeflenmiştir. Bu çalışmada referans malzeme PU köpük malzeme olarak alınmış, yangına karşı direnci yüksek olan Magpan malzeme ile PU köpük tabakalar halinde incelenmiş, son durumda ise; Magpan-cam elyafı-PU köpük yalıtım malzemesi tabakalar halinde kullanılmıştır. Toplam ısı kaybını karşılaştırmak için 3 farklı konfigürasyon öngörülmüştür. Yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayıları; saf PU köpük için $k=0,0265$ W/mK, Magpan için $k=0,022$ W/mK ve cam elyafı için $k=0,032$ W/mK olarak belirlenmiştir. Bu çalışma için Magpan malzeme ve cam elyafı yangına karşı yüksek

dayanımı (tutuşma süresi uzun ve tutuşma sıcaklığının yüksek olması) ve yüksek ısı dirence sahip olmaları sebebiyle seçilmiştir. Çalışmada 3 farklı konfigürasyon şu şekilde belirlenmiştir. **Konfigürasyon-1'de;** soğuk hava deposu yalıtım malzemesinin referans yapısı temel alınmıştır. 20 mm kalınlığında sac levhalar arasında 80 mm poliüretan köpük malzeme kullanıldığı öngörülmüştür. **Konfigürasyon-2'de;** yalıtım malzemesinin yangına karşı direncini arttırmak maksadıyla; 20 mm kalınlığında sac levhalar arasında, 2x20 mm Magpan malzeme arasında, 40 mm PU köpük kullanıldığı öngörülmüştür. **Konfigürasyon-3'de;** hem yangına karşı direncini arttırmak hem de ısı direnci arttırmak için; 20 mm kalınlığında sac levhalar arasında, 2x20 mm Magpan malzeme arasında, 2x5 mm cam elyafı arasında, 30 mm PU köpük kullanıldığı öngörülmüştür. Şekil 3'de tabakalı modellerin kesitleri, ısı akıları ve yalıtım malzemesinde oluşan sıcaklık dağılımları gösterilmiştir. Sonuç olarak; Farklı tip yalıtım malzemelerinin tabakalar halinde kullanılması durumunda; yalnızca PU köpük malzeme kullanılma durumuna göre; Magpan-PU köpük birlikte kullanılmasında ısı kaybında %9,3 azalma olduğu ve Magpan-cam elyafı-PU köpük birlikte kullanılması durumunda ise; ısı kaybında %8,3 azalma olduğu tespit edilmiştir. En iyi ısı performansı, Magpan-PU köpük birlikte kullanılması durumunda elde edilmiştir. Konfigürasyon-3'te öngörülen tabakalı yapının, yangına karşı direnci arttırmasına rağmen, konfigürasyon-2'ye göre ısı dirençte azalmaya sebep olduğu tespit edilmiştir. Tablo 2'de farklı tip tabakalı yalıtım malzemelerinin termofiziksel özellikler ve ısı kaybı değerleri sunulmuştur.

Tablo 2. Yalıtım malzemelerinin termofiziksel özellikler ve ısı kaybı değerleri

	Malzeme	K (W/mk)	L (m)	Alan (m ²)	İç Sıcaklık (°C)	Dış Sıcaklık (°C)	Q (W)
Konfig. 1	Poliüretan	0,0265	0,08	1	-5	24	9,6
Konfig. 2	Magpan	0,022	0,02	1	-5	24	8,7
	Poliüretan	0,0265	0,04				
Konfig. 3	Magpan	0,022	0,02	1	-5	24	8,8
	Poliüretan	0,0265	0,03				
	Cam Elyafı	0,032	0,005				



Şekil 3. Farklı tabakalı yapıdaki yalıtım malzemeleri için ısı akıları ve sıcaklık dağılımları

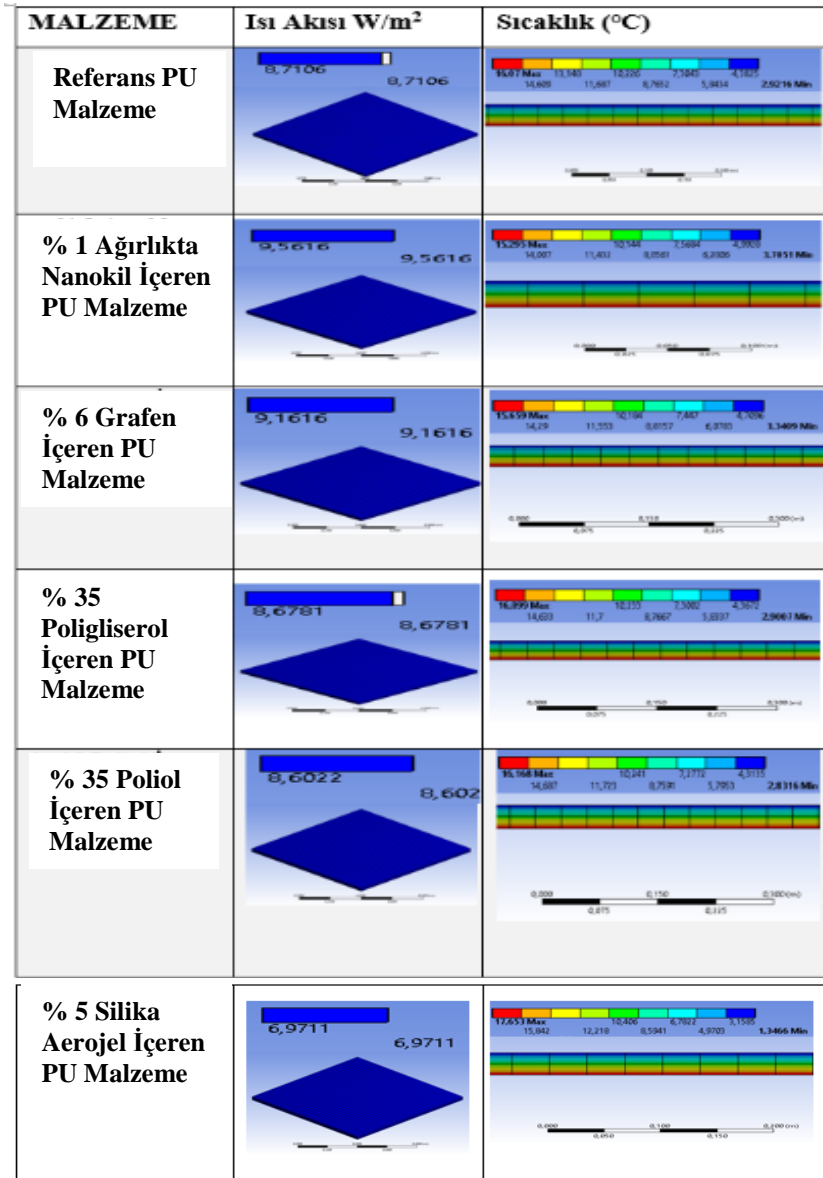
3.2. Poliüretan Esaslı Homojen Yapılı Kompozit Yalıtım Malzemeleri Kullanılmasının Isı Transferine Etkisi

Çalışmanın ikinci aşamasında; poliüretan esaslı homojen yapıları kompozit yalıtım malzemeleri kullanılması durumunda ısı transferindeki ve ısı kaybındaki değişim incelenmiştir. Bu maksatla; PU köpük malzemeye farklı oranlarda katkı maddeleri eklenerek, hem termal özellikleri iyileştirilmeye çalışılmış, hem de ısı iletim katsayısı azaltılmaya çalışılmıştır. Sayısal modeli oluşturmak için; literatürde yer alan [18,19,22,23] farklı oranlarda, farklı katkı maddeleri ilave edilerek sentezlenmiş PU köpük malzemelerin ısı özellikleri kullanılmıştır. Tablo 3'te farklı tip homojen yapıları yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayıları sunulmuştur. Homojen yapıları yalıtım malzemelerinden olan ısı transferi sayısal modelde modellenerek, referans PU köpük malzeme ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4'te, farklı tip yalıtım malzemeleri için elde edilen ısı akısı ve sıcaklık dağılımı değerleri sunulmuştur.

Sonuç olarak; Poliüretan içeren (%35) PU köpük malzeme ise referans PU köpük malzemeye göre sırası ile %0,4 ve %1,2 değerinde daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. Nanokil takviyeli (%1) PU köpük ile Grafen takviyeli (%6) PU köpük malzemenin referans PU köpük malzemeye göre sırası ile %9,8 ve %5,1 daha düşük bir performans gösterdiği tespit edilmiştir. Bu durum PU köpük malzemeye nanokil ve grafen eklenerek, mekanik dayanımının ve yangına karşı dayanımının artırılmasına karşılık ısı direncin azaldığı ve ısı kaybının arttığı tespit edilmiştir. Poligliserol içeren (%35) PU köpük malzeme ile bu iki malzemenin referans PU köpük malzeme ile yaklaşık aynı ısı performansını gösterdiği değerlendirilebilir. Referans PU köpük malzemeye göre en iyi ısı performansını ise, silika aerojel içeren (%5) PU köpük malzeme %19,9 artış ile göstermiştir. Yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı azaltıldığında yalıtım performansının arttığı ve ısı kayıplarının azaldığı tespit edilmiştir.

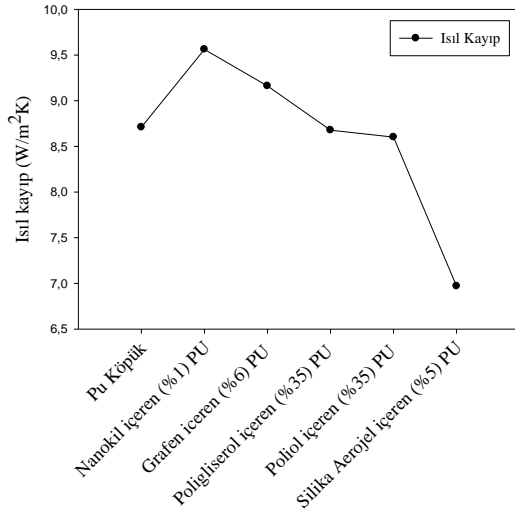
Tablo 3. Homojen yapılı kompozit yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayıları

Malzeme	Isı İletim Katsayısı W/mK
PU	0,0265
% 1 nano kil içeren PU [18]	0,0330
%5 silika aerojel içeren PU [19]	0,0170
%35 poligliserol içeren PU [22]	0,0263
%35 poliöl içeren PU [22]	0,0258
%6 grafen içeren PU [23]	0,0298



Şekil 4. Farklı tip kompozit yalıtım malzemelerinde meydana gelen ısı akıları ve sıcaklık dağılımı

Şekil 5'te poliüretan esaslı homojen yapıları farklı tip kompozit yalıtım malzemelerinden olan ısı kayıp değerleri sunulmuştur. Diğer kompozit yapıları yalıtım malzemelerine kıyasla en iyi yalıtım performansını %5 Silica Aerojel içeren PU köpük malzeme göstermiştir.



Şekil. 5. Farklı Tip yalıtım malzemelerinin ısı kayıp değerleri

4. SONUÇ

Bu çalışmada, bir endüstriyel soğuk hava deposundan olan ısı kaybının azaltılması ve enerji tasarrufunun artırılması amacıyla, farklı konfigürasyonlarda oluşturulmuş yalıtım malzemelerinin ısı performansı sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmada ısı transferi yüzey alanları ve yalıtım malzemesi toplam kalınlığı sabit tutulmuş, ısı iletim katsayısındaki değişim temel parametre olarak ele alınmıştır. Sonuç olarak;

a) Farklı tip yalıtım malzemelerinin tabakalar halinde kullanılması durumunda; yalnızca PU köpük malzeme kullanılması durumuna göre; Magpan-PU köpük birlikte kullanıldığında ısı kaybında %9,3'lük bir azalma olduğu ve Magpan-camelyafı-PU köpük birlikte kullanılması durumunda ise; ısı kaybında %8,3'lük bir azalma olduğu tespit edilmiştir.

b) Poliüretan esaslı homojen yapıları kompozit yalıtım malzemeleri kullanılması durumunda; referans yalıtım malzemesi olarak, PU köpük malzemesi alınmıştır. Nanokil takviyeli (%1) PU köpük ile Grafen takviyeli (%6) PU köpük malzemenin referans PU köpük malzemeye göre sırası ile %9,8 ve %5,1 daha düşük bir performans gösterdiği tespit edilmiştir. Poligliserol içeren (%35) PU köpük malzeme ile Poliol içeren (%35) PU köpük malzeme ise referans PU köpük malzemeye göre sırası ile %0,4 ve %1,2 değerinde daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. Bu iki malzemenin referans PU köpük malzeme ile yaklaşık aynı ısı performansı gösterdiği değerlendirilebilir. Referans PU köpük malzemeye göre en iyi ısı performansı ise, silika aerojel içeren (%5) PU köpük malzeme %19,9 artış ile göstermiştir.

c) Bu çalışma sonuçları göz önüne alındığında; gelecekte farklı tip homojen yapıları kompozit yalıtım malzemelerinin tasarımı, mekanik davranışı, çevresel etkilere karşı dayanımının artırılması ve ısı performansı incelenebilir, ısı kayıplarının azaltılması, verimlilik artışı ve maliyetin düşürülmesi ile ilgili çözümler araştırılabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Evans, J.A., Hammond, E.C., Gigiel, A.J., Foster, A.M., Reinholdt, L., Fikiin, K., Zilio, C., 2014. Assessment of Methods to Reduce the Energy Consumption of Food Cold Stores. *Applied Thermal Engineering*, 62(2), 697-705.
2. Dylewski, R., Adamczyk, J., 2016. Study on Ecological Cost-effectiveness for the Thermal Insulation of Building External Vertical Walls in Poland. *Journal of Cleaner Production*, 133, 467-478.
3. Xie, T., He, Y.L., Tong, Z.X., 2016. Analysis of Insulation Performance of Multilayer Thermal Insulation Doped with Phase Change Material. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 102, 934-943.
4. Zalba, B., Marin, J.M., Cabeza, L.F., Mehling, H., 2003. Review on Thermal Energy Storage

- with Phase Change: Materials, Heat Transfer Analysis and Applications. *Applied Thermal Engineering*, 23(3), 251-283.
5. Wu, J.W., Sung, W.F., Chu, H.S., 1999. Thermal Conductivity of Polyurethane Foams. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 42(12), 2211-2217.
 6. Amaral, C., Pinto, S.C., Silva, T., Mohseni, F., Amaral, J.S., Amaral, V.S., Vicente, R., 2020. Development of Polyurethane Foam Incorporating Phase Change Material for Thermal Energy Storage. *Journal of Energy Storage*, 28, 101177.
 7. Sevindir, M.K., Demir, H., Ağra, Ö., Atayılmaz, Ş.Ö., Teke, İ., 2017. Modelling the Optimum Distribution of Insulation Material. *Renewable Energy*, 113, 74-84.
 8. Abdou, A.A., Budaiwi, I.M., 2005. Comparison of Thermal Conductivity Measurements of Building Insulation Materials Under Various Operating Temperatures. *Journal of Building Physics*, 29(2), 171-184.
 9. Ahmed, M., Meade, O., Medina, M.A., 2010. Reducing Heat Transfer Across the Insulated Walls of Refrigerated Truck Trailers by the Application of Phase Change Materials. *Energy Conversion and Management*, 51(3), 383-392.
 10. Li, Y., Sun, Y., Qiu, J., Liu, T., Yang, L., She, H., 2020. Moisture Absorption Characteristics and Thermal Insulation Performance of Thermal Insulation Materials for Cold Region Tunnels. *Construction and Building Materials*, 237, 117765.
 11. Huang, L., Piontek, U., 2017. Improving Performance of Cold-chain Insulated Container with Phase Change Material: An Experimental Investigation. *Applied Sciences*, 7(12), 1288.
 12. Michel, B., Glouannec, P., Fuentes, A., Chauvelon, P., 2017. Experimental and Numerical Study of Insulation Walls Containing a Composite Layer of PU-PCM and Dedicated to Refrigerated Vehicle. *Applied Thermal Engineering*, 116, 382-391.
 13. Kozak, Y., Farid, M., Ziskind, G., 2017. Experimental and Comprehensive Theoretical Study of Cold Storage Packages Containing PCM. *Applied Thermal Engineering*, 115, 899-912.
 14. Laguerre, O., Aissa, M.B., Flick, D., 2008. Methodology of Temperature Prediction in an Insulated Container Equipped with PCM. *International Journal of Refrigeration*, 31(6), 1063-1072.
 15. Choi, S.W., Jung, J.M., Yoo, H.M., Kim, S.H., Lee, W.I., 2018. Analysis of Thermal Properties and Heat Transfer Mechanisms for Polyurethane Foams Blown with Water. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 132(2), 1253-1262.
 16. Serrano, A., Borreguero, A.M., Garrido, I., Rodríguez, J.F., Carmona, M., 2016. Reducing Heat Loss Through the Building Envelope by Using Polyurethane Foams Containing Thermoregulating Microcapsules. *Applied Thermal Engineering*, 103, 226-232.
 17. Amaral, C., Vicente, R., Eisenblätter, J., Marques, P.A.A.P., 2017. Thermal Characterization of Polyurethane Foams with Phase Change Material. *Ciência & Tecnologia dos Materiais*, 29(2), 1-7.
 18. Estravis, S., Tirado-Mediavilla, J., Santiago-Calvo, M., Ruiz-Herrero, J.L., Villafaña, F., Rodríguez-Pérez, M.Á., 2016. Rigid Polyurethane Foams with Infused Nanoclays: Relationship Between Cellular Structure and Thermal Conductivity. *European Polymer Journal*, 80, 1-15.
 19. Nazeran, N., Moghaddas, J., 2017. Synthesis and Characterization of Silica Aerogel Reinforced Rigid Polyurethane Foam for Thermal Insulation Application. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 461, 1-11.
 20. Wi, S., Berardi, U., Di Loreto, S., Kim, S., 2020. Microstructure and Thermal Characterization of Aerogel-graphite Polyurethane Spray-foam Composite for High Efficiency Thermal Energy Utilization. *Journal of Hazardous Materials*, 122656.
 21. Septevani, A.A., Evans, D.A., Annamalai, P.K., Martin, D.J., 2017. The Use of Cellulose Nanocrystals to Enhance the Thermal Insulation Properties and Sustainability of Rigid Polyurethane Foam. *Industrial Crops and Products*, 107, 114-121.
 22. Piszczyk, Ł., Strankowski, M., Danowska, M., Hejna, A., Haponiuk, J.T., 2014. Rigid Polyurethane Foams from a Polyglycerol-based

- Polyol. *European Polymer Journal*, 57, 143-150.
23. Cao, Z.J., Liao, W., Wang, S.X., Zhao, H.B., Wang, Y.Z., 2019. Polyurethane Foams with Functionalized Graphene Towards High Fire-Resistance, Low Smoke Release, Superior Thermal Insulation. *Chemical Engineering Journal*, 361, 1245-1254.
 24. Du, X., Qiu, J., Deng, S., Du, Z., Xu C., Wang, H., 2021. Flame-retardant and Solid-solid Phase Change Composites Based on Dopamine-decorated BP Nanosheets/Polyurethane for Efficient Solar-to-thermal Energy Storage, *Renewable Energy*, 164, 1-10.
 25. Zhao, J., Xu, L., Su, Y., Yu, H., Liu, H., Qian, S., Zheng, W., Zhao, Y., 2021. Zr-MOFs Loaded on Polyurethane Foam by Polydopamine for Enhanced Dye Adsorption, *Journal of Environmental Science*, 11, 177-188.
 26. Andersons, J., Kirpluks, M., Cabulis, P., Kalnins, K., Cabulis, U., 2020. Bio-based Rigid High-density Polyurethane Foams as a Structural Thermalbreak Material, *Construction and Building Material*, 260-120471.
 27. Zeng, S., Xing, C., Chen, L., Xu, L., Li, B., Zhang, S., 2020. Green Flame-retardant Flexible Polyurethane Foam Based On cyclodextrin, *Polymer Degradation and Stability*, 178,109170.

