



**HAVA BOŞLUĞUNUN İZOLELİ ESNEK HAVA KANALININ ISIL
DİRENCİNE ETKİSİ**

İrem ŞENEL YOLCU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirim, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İrem ŞENEL YOLCU

21/05/2024

HAVA BOŞLUĞUNUN İZOLELİ ESNEK HAVA KANALININ ISIL DİRENCİNE ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

İrem ŞENEL YOLCU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2024

ÖZET

Bu çalışmada, enerji verimliliğinin ve yalıtım etkinliğinin önemli bir ölçüsü olan “termal direnç” üzerinden ilerlenerek, endüstriyel olarak birçok alanda kullanılan esnek hava kanallarının esnekliğini yitirmeden ve kullanım zorluğuna neden olmadan istenen ısı ve ses izolasyonunun sağlanması ve buna bağlı olarak da yoğuşmanın kontrol altına alınması konusunda çalışılmıştır. Kritik izolasyon kalınlığı göz önünde bulundurularak cam yünü, elastomerik kauçuk köpük ve iğnelenmiş cam yünü ile çalışmalar teorik ve deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada var olan diğer çalışmalardan farklı olarak ise hava boşluğu, izolasyon katmanlarına eklenerek hava kanalının ısıl direncinin artırılması hedeflenmiştir. Böylece, yalıtkan malzemenin katı kısmına oranla hava boşluğu, yalıtkanlık değerini artırmaktadır. Havanın tercih edilme sebebi ise maliyetsiz olması, en kolay bulunan ve en çevre dostu yalıtım malzemesi olmasıdır. Buna bağlı olarak, farklı kalınlıklarda hava boşlukları ve izolasyon kalınlıkları ile çalışılarak ısıl iletkenlik ve ısıl direnç ölçümleri yapılmıştır. Bu kompozit yapı ile hava kanallarının en büyük dezavantajlarından birisi olan yoğuşmanın kontrol altına alınması için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Düz serilmiş esnek hava kanalının farklı iç ortam şartlarında geliştirilen kompozit yapıyla 1 metre hava kanalında sıcaklık testleri yapılmıştır. Hava boşluğunun izoleli esnek hava kanallarında ısıl direnci önemli ölçüde olumlu yönde etkilediği sonucuna varılmıştır. Geliştirilen bu ürün aynı zamanda ses yalıtımı da sağladığından akustik ölçümler de gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada, hem ısı hem de ses performansı iyileştirilmiş çevre dostu bir ürün geliştirilmiştir.

Bilim Kodu : 91207
Anahtar Kelimeler : Hava boşluğu, hava kanalı, ısıl direnç, izolasyon malzemesi, sürdürülebilir enerji
Sayfa Adedi : 83
Danışman : Doç. Dr. Duygu UYSAL

EFFECT OF AIR GAP ON THE THERMAL RESISTANCE OF INSULATED
FLEXIBLE AIR DUCT

(M. Sc. Thesis)

İrem ŞENEL YOLCU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2024

ABSTRACT

In this study, by proceeding through "thermal resistance", which is an important measure of energy efficiency and insulation effectiveness, flexible air ducts used in many industrial areas are aimed at providing the desired heat and sound insulation and accordingly, controlling condensation, without losing their flexibility and causing difficulty in use has been studied. Considering the critical insulation thickness, studies were carried out theoretically and experimentally with glass wool, elastomeric rubber foam and needled glass wool. In this study, unlike other existing studies, it is aimed to increase the thermal resistance of the air duct by adding the air gap to the insulation layers. Thus, the air gap compared to the solid part of the insulating material increases the insulation value. The reason why air is preferred is that it is inexpensive, the most easily available and the most environmentally friendly insulation material. Accordingly, thermal conductivity and thermal resistance measurements were made by working with different thicknesses of air gaps and insulation thicknesses. With this composite structure, studies have been carried out to control condensation, which is one of the biggest disadvantages of air ducts. Temperature tests were carried out on a 1 meter air duct with the composite structure developed for a flat-laid flexible air duct under different indoor environmental conditions. It was concluded that the air gap significantly positively affects the thermal resistance in insulated flexible air ducts. Since this developed product also provides sound insulation, acoustic measurements were also carried out. Therefore, in this study, an environmentally friendly product with improved both heat and sound performance was developed.

Science Code : 91207

Key Words : Air duct, air gap, insulation material, sustainable energy, thermal resistance

Page Number : 83

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Duygu UYSAL

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezim boyunca beni her anlamda yönlendirip, yol gösteren, bilgi ve tecrübelerini aktaran değerli hocam Doç. Dr. Duygu UYSAL'a teşekkür ederim.

Isıl iletkenlik çalışmaları boyunca tecrübeleri ile hep bana destek olan Dr. Betül BAŐKAYA'ya ve şefim Seyhan KARAKURT'a teşekkür ederim.

Deneysel çalışmada kullanmış olduğum ürünlerin testlerini gerçekleştirerek geliőtirmemi sağlayan çalışmış olduğum AFS BORU'ya bana açtıkları yol ve destekleri için teşekkür ederim.

İzolasyon malzemeleri tedariğim sırasında desteklerini esirgemeyen KNAUF INSULATION ve HİMERPA'ya katkıları için teşekkür ederim.

Yüksek lisans tezi boyunca her zaman, her konuda sonsuz desteklerini, güvenlerini hissettiğim, başarabileceğime hep inanan sevgili aileme ve kız kardeşlerime sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. ESNEK KANALLARDA ISI AKTARIMI- YALITIMI.....	5
2.1. Isı Aktarımı	5
2.1.1. Isı iletim katsayısı	7
2.1.2. Isıl direnç.....	9
2.1.3. Isı geçirgenlik katsayısı.....	10
2.2. Esnek Hava Kanalları.....	10
2.2.1. Esnek hava kanalı avantajları.....	11
2.3. Yoğuşma	12
2.4. Isı Yalıtımı	13
2.4.1. Yalıtımın çevre için önemi.....	13
2.4.2. Isı Yalıtım malzemelerinden beklenen özellikler	14
2.4.3. Isı yalıtım özelliğinde etkili olan yapısal özellikler	15
2.4.4. İzolasyon malzemelerinde kritik izolasyon kalınlığı	18
2.5. Isı Yalıtım Malzemeleri	19
2.5.1. Cam yünü	19

	Sayfa
2.5.2. Elastomerik kauçuk köpüğü.....	21
2.5.3. İğnelenmiş cam yünü	23
2.5.4. Ekspande polistren (EPS).....	24
2.5.5. Ekstrüde polistiren köpük (XPS)	25
2.6. Havalandırmanın Önemi	26
2.6.1. İç ortam hava kalitesi (IAQ)	26
2.7. Esnek Hava Kanallarında Isıl Direncin Önemi.....	27
3. GENEL BİLGİ VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	29
4. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	37
4.1. Çalışılan İzolasyon Malzemeleri.....	40
4.1.1. Cam yünü	40
4.1.2. Elastomerik kauçuk köpük.....	42
4.1.3. İğnelenmiş cam yünü	44
4.1.4. Hava	45
4.2. İzolasyon Malzemelerinin Isıl İletkenlik Ölçümleri	46
4.3. Isı Aktarım Katsayısı ve Kritik İzolasyon Kalınlığı Hesabı	47
4.3.1. Hava termal direnç-ısı aktarım hesapları	51
4.4. Çok Katmanlı Borunun Deneysel ve Teorik Termal Direnç Ölçümleri	54
4.4.1. Elastomerik kauçuk köpük ve hava termal direnç-ısı aktarım hesapları ..	56
4.4.2. Cam yünü ve hava termal direnç-ısı aktarım hesapları.....	57
4.4.3. İğnelenmiş cam yünü ve hava termal direnç-ısı aktarım hesapları	59
4.4.4. Cam yünü termal direnç-ısı aktarım hesapları	61
4.4.5. Deneysel ölçümler sonuç	63
4.5. Sese Karşı Yalıtım Deneyleri.....	67
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	71

Sayfa

6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ, MALİYET ANALİZİ VE ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR	79
EKLER.....	81
EK-1. Isıl ölçümlerinin yapıldığı “FOX 600” ve “FOX 801” cihazı	82
ÖZGEÇMİŞ	83



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Çeşitli maddelerin ısı iletim katsayısı değerleri.....	9
Çizelge 4.1. Deneysel çalışmada geliştirilen ürün özellikleri.....	37
Çizelge 4.2. Geliştirilen ürünün deneysel çalışma planı.....	38
Çizelge 4.3. Knauf cam yünü teknik özellikleri	40
Çizelge 4.4. Optiflex levha teknik özellikleri	44
Çizelge 4.5. İzolasyon malzemeleri ve ısıl iletkenlik sonuçları.....	46
Çizelge 4.6. Çalışılan izolasyon malzemeleri ve ısıl çalışma değerleri	47
Çizelge 4.7. İzolasyon kalınlıklarına göre ısı aktarımı değişimi	52
Çizelge 4.8. Elastomerik kauçuk köpük ve deneysel termal direnç değerleri	56
Çizelge 4.9. Cam yünü ve deneysel termal direnç değerleri.....	58
Çizelge 4.10. İğnelenmiş cam yünü ve deneysel termal direnç değerleri.....	60
Çizelge 4.11. Cam yünü-25 mm deneysel termal direnç değerleri.....	62
Çizelge 4.12. Cam yünü-50 mm deneysel termal direnç değerleri.....	63
Çizelge 4.13. Çalışılan ürünlerin ısıl direnç-ısı aktarımı kıyası.....	65

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Isı aktarım mekanizmaları	6
Şekil 2.2. Çeşitli maddelere ait k değerinin şematik gösterimi.....	8
Şekil 3.1. Radyasyon, iletim ve taşınımın hava boşluğundaki ısı aktarımına etkisi	29
Şekil 3.2. Geleneksel (elyaf ve köpük) yalıtımında ısı aktarım mekanizmaları	30
Şekil 4.1. Kritik izolasyon kalınlığı hesabı için hava kanalı gösterimi	47
Şekil 4.2. Hava boşluğu kullanılarak tasarlanan hava kanalı gösterimi	51
Şekil 4.3. İzolasyon kalınlığına göre ısı aktarımı değişimi.....	53
Şekil 4.4. Çok katmanlı silindirik koordinatlarda ısı aktarımı ölçümleri	54
Şekil 4.5. Elastomerik kauçuk köpük yalıtımı ile termal direnç-ısı aktarımı ölçümleri.....	56
Şekil 4.6. Cam yünü yalıtımı ile termal direnç-ısı aktarımı ölçümleri	58
Şekil 4.7. İğnelenmiş cam yünü yalıtımı ve hava ile termal direnç-ısı aktarımı ölçümleri.....	60
Şekil 4.8. Sadece 25 mm izolasyon malzemesi kullanılarak termal direnç-ısı aktarımı ölçümleri.....	61
Şekil 4.9. Sadece 50 mm izolasyon malzemesi kullanılarak termal direnç-ısı aktarımı ölçümleri.....	62
Şekil 4.10. Isı izoleli ürün ses izdüşüm grafiği.....	69
Şekil 4.11. Geliştirilen ses ve ısı izoleli ürünün ses izdüşüm grafiği	70

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. İzoleli esnek hava kanalı katmanları.....	11
Resim 2.2. Yoğuşma sonucu kanalın ve yalıtımının deformasyonu.....	12
Resim 2.3. İzolasyon malzemesinde hava boşluğu şematik gösterim	14
Resim 2.4. Cam yününün yapısı	20
Resim 2.5. Elastomerik kauçuk köpüğünün mikro yapısı	22
Resim 2.6. İğnelenmiş cam yünü yapısı	23
Resim 2.7. Ekspande polistren üretim hattı	25
Resim 2.8. Ekstrüde polistiren köpük (XPS).....	25
Resim 3.1. Tesisatın yüzeyindeki yoğuşma	33
Resim 3.2. İzolasyon malzemesinin yüzeyinde olan yoğuşma.....	34
Resim 3.3. Malzeme bünyesinde olan yoğuşma.....	34
Resim 3.4. Yoğuşma olayı olmayan tesisat	35
Resim 4.1. Deneysel çalışmada geliştirilen ürün	37
Resim 4.2. Sıcaklık dayanım cihazında test ölçümü.....	39
Resim 4.3. Testo cihazı ile yüzey sıcaklık ölçümü.....	39
Resim 4.4. Ecose teknolojisi ile üretilen cam yünü	41
Resim 4.5. Çalışılan ECOSOFT cam yünü rulosu.....	42
Resim 4.6. Elastomerik kauçuk köpük rulosu	43
Resim 4.7. İğnelenmiş cam yünü levhası.....	45
Resim 4.8. Sıcaklık dayanımında 25 mm izoleli kauçuk köpük ve 25 mm hava boşluğu takılı iken	57
Resim 4.9. TESTO cihazı ile yüzey sıcaklık okuma	59
Resim 4.10. Sıcaklık dayanımı giriş ve çıkış sıcaklıkları	64
Resim 4.11. Standart ısı izoleli ürün iç yapısı	67
Resim 4.12. Geliştirilen ısı ve ses izoleli ürün iç yapısı	68

Resim	Sayfa
Resim 4.13. Standart ısı izoleli ürün görseli	68
Resim 4.14. Geliştirilen ses ve ısı izoleli ürün görseli.....	68



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
°C	Sıcaklık, Celcius
Δr	İzolasyon Kalınlığı, mm
μ	Su Buharı Difüzyon Direnç kat sayısı
h	Isı Taşınım Katsayısı, W/m ² .K
k	Isı İletim Katsayısı, W/m.K
K	Sıcaklık, Kelvin
m	Metre, m
m²	Alan, Metrekare
q	Isı Aktarım Hızı, W
R	Isıl Direnç, m ² .K/W
U	Isı Geçirgenlik Katsayısı, W/m ² .K
W	Isı aktarım hızı birimi
Ø	Çap, mm

Kısaltmalar	Açıklamalar
EPS	Ekspande Polistren Köpük
HVAC	Isıtma, Havalandırma, İklimlendirme
IAQ	İç Hava Kalitesi
LCA	Yaşam Döngüsü Analizi
OYK	Optimum Yalıtım Kalınlığı
XPS	Ekstrude Polistren Köpük

1. GİRİŞ

Enerji verimliliği, birtakım faaliyetlerde daha az enerji tüketimi ile daha iyi sonuçlar elde etmeyi amaçlar. Bu hedefi sağlayabilmek için enerji kaynaklarının çok daha verimli kullanılması gerekmektedir. Doğal enerji kaynaklarının gücünden yararlanarak tükenebilen kaynakların kullanımı azaltılabilir. Bu sayede, çevresel sürdürülebilirlik, yakıt tüketiminin azalması sonucunda maliyetten tasarruf, kaynakların faydalı korunması, sera gazlarının önlenmesi sonucunda emisyonların azaltılması, karbon ayak izinin düşürülmesi gibi birçok olumlu etkisi olmaktadır.

Enerji verimliliği, farklı birçok alanda uygulanabilir. Bu alanların başında enerjinin büyük bir kısmının ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma amacıyla tüketildiği binalar gelmektedir. Binalar iyi yalıtıldığında ısı kaybı azalarak enerji verimliliği artmaktadır. Daha iyi yalıtım, daha az enerji tüketimi anlamına gelir ve ısıtma/soğutma sistemlerinin daha verimli çalışması için çok büyük önem arz etmektedir. Yalıtım malzemelerinden maksimum verimi aldıkça enerji verimliliği de olumlu bir şekilde etkilenecektir. Bu yüzden yapılarda ve havalandırma sektöründe doğru ve etkin yalıtım büyük önem arz etmektedir.

Havalandırma sektörünün vazgeçilmez bir parçası olan esnek hava kanalları, genellikle ısıtma, soğutma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistemlerinde kullanılan bir tür hava taşıma boruları veya kanallarıdır. Bu tür kanallar, esnek ve oldukça kullanım alanı geniş olan alüminyum, polyester, polietilen, PVC, poliüretan gibi farklı özelliklerdeki malzemelerden yapılabilmektedir ve kullanım alanına göre farklı ebatlarda ve uzunluklarda bulunabilmektedir. Esnek yapıları sayesinde, bu kanallar farklı alanlara rahatça dönebilir ve şekillendirilebilirler. Yüksek esneklikleri, zorlu alanlardaki uygulamalarda bile avantaj sağlar ve montaj esnasında daha az zorluk yaşanmasını sağlarlar. Aynı zamanda bu yapısı sayesinde taşıma kolaylığı sağlamasının yanında maliyetten tasarruf sağlamaktadırlar.

Bu esnek hava kanalları genellikle küçük ve orta ölçekli ticari binalarda veya evlerde kullanılır. HVAC sistemlerinde hava taşıma işlevini yerine getirirken, kanal bağlantıları ve hava akışını yönlendirme gibi faaliyetleri de yerine getirmektedirler. Özellikle iş yerleri, alışveriş merkezleri, kütüphaneler, okullar, hastaneler, temiz odalar, sinemalar gibi insanların vakit geçirdiği birçok alanda kullanılması gerekli olan kanallardır. İç ortam hava

kalitesini sağlamada büyük rolleri bulunmaktadır. İnsanların sağlığını tehdit eden dış ortamdaki daha zararlı kirleticilerin iç ortamlarda bulunduğu yerlerde konforu sağlamanın yanı sıra özellikle solunum ile ilgili olarak insan sağlığını korumaktadırlar.

İzoleli esnek hava kanalları, ısıtma, soğutma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistemlerinde kullanılan, izole edilmiş ve esnek yapıya sahip hava taşıma boruları veya kanallarıdır. Bu tür kanallar, genellikle ısı kaybını azaltmak, enerji verimliliğini artırmak, kullanım kolaylığı sağlamak ve yoğuşmayı önlemek amacıyla tasarlanmıştır. Isı izolasyonunu sağlamanın yanında, gürültü kirliliğini önlemek amacıyla ses izolasyonunu da sağlayacak şekilde ürünler üretilmektedir.

İzoleli esnek hava kanalları, iç kısımlarının genellikle yalıtım malzemesiyle kaplandığı ve özellikle ses veya ısı izolasyonunu sağlayan hava kanallarıdır. Bu yalıtım malzemeleri genellikle cam yünü, polyester elyaf veya benzeri yalıtım materyalleridir. Yalıtım, kanalın iç yüzeyinde oluşabilecek kondenzasyonu önler ve ısı kaybını minimize eder. Bu sayede enerji tasarrufu sağlanmış olur ve HVAC sistemlerinin daha verimli çalışmasını sağlar. İstenen yalıtım performansının sağlanmasının yanı sıra ürünün küf ve mantarlara karşı deforme olmasından yapıyı muhafaza etmektedir.

İzoleli esnek hava kanalları, esnek yapıları sayesinde farklı şekillerde bükülebilir ve dönebilir, bu özelliği sayesinde birçok farklı yapıya uygundur. Bunun yanı sıra, bu kanallar sıkıştırıldığında bile yalıtım özelliklerini koruyabilirler. Bu tür hava kanalları, ticari binalar, endüstriyel tesisler veya bazı ev uygulamaları gibi birçok alanda kullanılabilir. Isıtma, havalandırma ve klima sistemlerinde hava taşıma işlevini yerine getirirken, aynı zamanda izolasyon özellikleri sayesinde enerji verimliliğine de büyük ölçüde katkıda bulunmuş olurlar.

Isıl direnç, bir malzemenin veya yapı bileşeninin ısı aktarımına karşı koyma yeteneğini tanımlar. Isıl direnç, genellikle ısı iletkenliği, kalınlık ve malzemenin yapısal özellikleri gibi faktörlere bağlı olarak belirlenir. Isıl direnci, binalarda ısı yalıtımını değerlendirilirken ve malzeme seçiminde önemli bir faktördür. Daha yüksek ısı direnci genellikle daha iyi yalıtım sağlar, böylece enerji tasarrufu yapılabilir ve iç mekanlarda istenilen sıcaklık seviyesini korumak daha etkili olabilir. Özellikle Amerika ve Avrupa ülkelerinde “R” değeri olarak bilinen termal direncin yüksek olmasının önemi artmıştır ve yalıtım

performansında aranılan en önemli kriter haline gelmiştir. Isıl direncin yüksek olması ise, düşük ısı iletim katsayısına ve izolasyon malzemesinin kalınlığına bağlıdır.

Hava boşluğu, izolasyonun daha etkili olması için kullanılacak bir yöntemdir. İki veya daha fazla yüzey arasında hava boşluğu bırakmak, ısı aktarımını azaltmak için kullanılabilir. İzolasyon malzemesiyle kaplanmış bir alanın dış yüzeyi ve iç yüzeyi arasında bırakılan hava tabakası, ısı aktarımını engeller. Bu hava boşluğu, ısı yalıtımını artırmak ve daha iyi bir termal performans sağlamak için kullanılabilir.

Özellikle yapı izolasyonunda, duvarlar veya çatılar gibi bölgelerde hava boşlukları oluşturmak, daha iyi bir ısı yalıtımı elde etmek için uygulanabilecek bir yöntemdir. Bu boşluklar, ısı akışını engelleyerek iç ortamlardaki sıcaklığın dış sıcaklıklardan daha az etkilenmesine yardımcı olabilir.

Hava boşlukları ayrıca ses yalıtımında da kullanılabilir. İki yüzey arasında hava boşluğu bırakmak, ses dalgalarının geçişini azaltır ve izolasyon için daha iyi bir akustik performans sağlayabilir.

Bu çalışmada enerji verimliliğinin ve yalıtım etkinliğinin önemli bir ölçüsü olan “termal direnç” üzerinden ilerlenerek, birçok alanda kullanılan esnek hava kanallarının ve izolasyon malzemelerinin ısı performansının iyileştirilmesi konusunda çalışılmıştır.

Ülkemizde kullanılan esnek hava kanallarında, kanalın esnekliğini yitirmeden ve kullanım zorluğu sağlamadan istenen ısı izolasyonun sağlanması ve buna bağlı olarak da yoğuşmanın kontrol altına alınması konusunda çeşitli zorluklar mevcuttur.

Bu çalışmada, yalıtım etkinliğinin ve enerji verimliliğinin önemli bir ölçüsü olan “termal direnç” üzerinden ilerlenerek, iklimlendirme sistemlerinin vazgeçilmez parçası esnek hava kanallarında kritik izolasyon kalınlığı göz önünde bulundurularak çeşitli izolasyon malzemeleri incelenmiştir. Çalışılan ürünlerin ısı direnç değerleri ve ısı aktarım hızları hesaplanmıştır. Yoğuşmayı önlemek için yapıya uygun izolasyon malzemelerinin seçilmesinin yanı sıra çalışılan ürünlere ince bir polietilen bariyer ilave edilmiştir. Polietilen, buhar bariyeri görevi görerek yapıda oluşabilecek kondenzasyonu önlemesi amacıyla hava kanalına dahil edilmiştir. Aynı zamanda elastomerik kauçuk köpük gibi su

buharı difüzyon direnç katsayısı yüksek olan malzemeler seçilerek tek başına yoğuşmayı önleyebilecek performansa sahip malzemeler çalışmada kullanılmıştır.

Esnek hava kanallarının yapısına uygun olacak ve sürdürülebilirliğe olumlu katkısı olacak malzemeler araştırılmış, bunun sonucunda çalışılacak izolasyon malzemeleri olarak organik malzemelerle imal edilmiş çevre dostu olan cam yünü, esnek ve kapalı hücre formunda olan, su buharı difüzyon direnç katsayısı çok yüksek olan elastomerik kauçuk köpük ve sık yapısıyla mekanik etkilere karşı dayanıklı olan, yüksek sıcaklıklara dayanıklı iğnelenmiş cam yünü seçilmiştir. Aynı zamanda, hava boşluğu da bu izolasyon katmanına eklenerek katı kısma oranla boşluğun etkisi ve havanın düşük ısı iletim katsayısının hava kanallarındaki ısı direnci artırdığı gözlenmiştir.

Bu çalışmada geliştirilen ürünler hem ısı hem de ses izolasyonunu sağlayan ürünlerdir. Aynı zamanda, çevre dostu malzemelerden imal edilen, yanmaya karşı direnç performansları yüksek olan, yoğuşmayı önleyen, esnek ve sürdürülebilir ürünlerdir. Bu kompozit yapıdaki izolasyon malzemelerinin, hava kanallarının ısı aktarımına etkileri de gözlenmiştir. Hedeflenen maksimum termal direnç, bu çalışmada iğnelenmiş cam yünü ve hava boşluklu üründe sağlanmıştır.

2. ESNEK KANALLARDA ISI AKTARIMI- YALITIMI

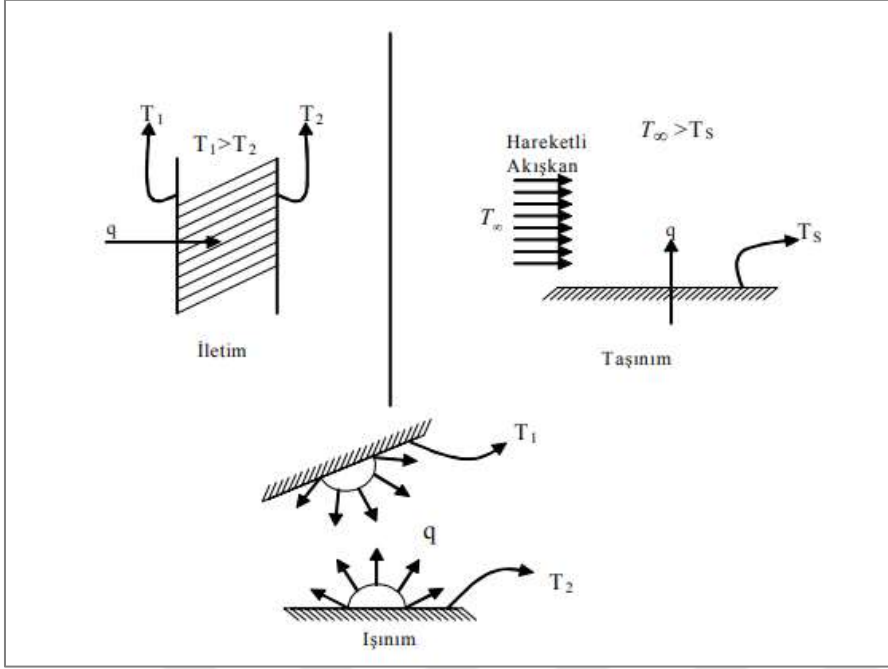
2.1. Isı Aktarımı

Isı aktarımı, maddelerin arasında olan sıcaklık farkları sonucunda oluşan enerji aktarımını hesaplayan bir bilimdir. Termodinamikte, bu aktarılan enerjinin aslında ısı olarak tanımlandığını gösterir. Termodinamik, aktarılan ısı enerjisine ek olarak değişimin gerçekleştiği hızı da hesaplayabilmektedir. Bu sayede, ısı aktarımı ve termodinamik arasındaki fark, ısı aktarımı hızını açığa çıkarmaktadır. Dengede olan sistemlerle ilgilenen termodinamik, sistemdeki bir dengeden diğerine gerekli olan enerjiyi de hesaplamak için kullanılmaktadır (Holman, 2010).

Termodinamiğin 2. Yasasına göre, iki ortam arasında sıcaklık farkı olduğu durumda, ısı yüksek sıcaklıktan daha düşük sıcaklıktaki ortama geçmektedir. Isının geçişi ortam sıcaklıklarına, aralarındaki sıcaklık farkına ve yüzeylerin özelliklerine de bağlıdır (Yeşilata,v2007).

Isı, bir noktadan başka bir noktaya üç farklı mekanizma ile geçiş yapabilmektedir.

1. İletim (Kondüksiyon)
2. Taşınım (Konveksiyon)
3. Işınım (Radyasyon)



Şekil 2.1. Isı aktarım mekanizmaları (Yeşilata, 2007)

İletim (kondüksiyon) ile ısı aktarımı, hareketsiz bulunan maddelerin sıcaklık farkında dolayı moleküllerin hareket etmesi ile oluşan ısı aktarımıdır. Bu durum, Fourier Isı İletim Yasası ile (2.1)'deki formüldeki gibi açıklanır. Yüzeyden belirli bir zamanda geçen ısı miktarı, sıcaklık gradyanı ile doğru orantılı olmaktadır.

$$\frac{q}{A} = -k \cdot \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

Fourier Yasasındaki formülde yer alan sembollerin anlamları aşağıdaki gibidir.

q: ısı aktarım hızı (W) , A: alan (m²) , T: sıcaklık (K)

x: uzaklık (m) , k: ısı iletim katsayısı (W/m.K) , q/A: ısı akısı (W/m²)

Taşınım (konveksiyon) ile ısı aktarımında ortamda akışkanlar mevcuttur ve hareket halinde olan akışkanların temas halinde oldukları yüzeyler, akışkanın sıcaklığından farklı olması sonucunda açığa çıkan ısı aktarımıdır. Bu durum, Newton'un Soğuma Yasası ile (2.2)'de yer alan formüldeki gibi açıklanır. Konveksiyon ile aktarılan ısı miktarı, yüzey sıcaklığı ve akışkanın sıcaklıkların farkı ile doğru orantılı olmaktadır (Holman, 2010).

$$q = h \cdot A \cdot (T_S - T_\infty) \quad (2.2)$$

Newton'un Soğuma Yasasındaki formülde yer alan sembollerin anlamları aşağıdaki şekildedir.

q: ısı aktarım hızı (W), A: alan (m²) , h: ısı taşınım katsayısı (W/m².K) ,

T_S: yüzey sıcaklığı (K) , T_∞: akışkan sıcaklığı (K)

Işınım (radyasyon) ile ısı aktarımında elektromanyetik dalgalar mevcuttur ve bu fotonlar sayesinde ortaya çıkan ısı aktarımıdır. Bu olay, Stefan-Boltzmann Işınım Yasası ile (2.3)'te yer alan formüldeki gibi açıklanır. Sıcaklık farkı bulunan iki ortam arasındaki ışınım, iki ortamdaki sıcaklıkların dördüncü kuvvetlerinin arasındaki fark ile doğru orantılı olmaktadır (Yeşilata,2007).

$$q = A_1 \cdot \epsilon \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

Stefan-Boltzmann Işınım Yasasındaki formülde yer alan sembollerin anlamları aşağıdaki gibidir.

q: ışınım ile ısı aktarımı (W) , A₁: 1.ortamın yüzey alanı (m²) , ε: ışınım katsayısı

σ: Stefan-Boltzmann katsayısı , T₁: 1. ortamın sıcaklığı (K) , T₂: 2.ortamın sıcaklığı (K)

2.1.1. Isı iletim katsayısı

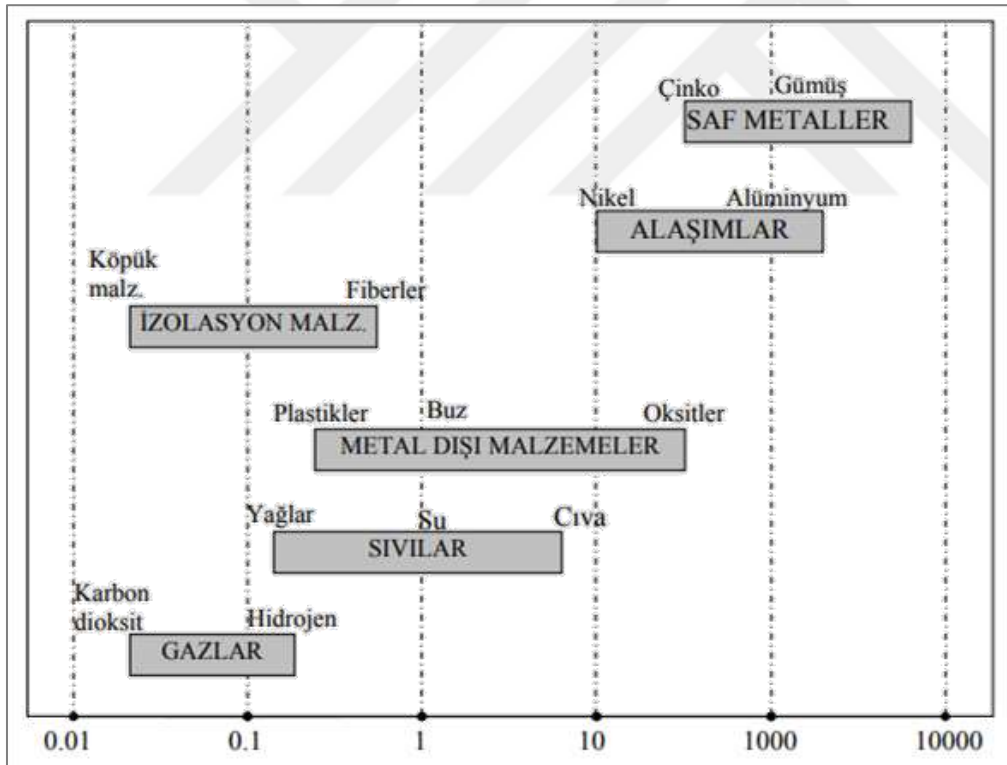
Isı iletim katsayısı, literatürde genellikle k veya λ olarak simgelenir. Birimi “W/m.K” olarak tanımlanır. Malzemenin yapısı, nemi, sıcaklığı, ısı yönü gibi özelliklere bağlı olarak değişmektedir. Farklı malzemelerin ısıl iletkenliğini belirlemek için deneysel ölçümler yapılmaktadır. Isı iletim katsayısı gazlarda düşük iken, katı metallerde ise yüksektir (Yeşilata, 2007).

Isı iletim katsayısı (k) arttıkça ısı geçişi artmaktadır. Isı geçişinin iyi olmasının istenildiği durumlarda ısı iletim katsayısı yüksek olan malzemeler kullanılabilir, yalıtım özelliği

kazandırılmak istenen durumlarda ise, ısı iletim katsayısı küçük olan ısı yalıtım malzemeleri kullanılmalıdır.

Isı iletim katsayısı, k , maddelerin fiziksel özelliğini yansıtır ve genellikle sıcaklığa bağlı bir fonksiyon olarak bağlantı kurulmaktadır. Isı iletimlerinde sıcaklık farkı söz konusu olduğu için ısı iletim katsayısı da burada önem kazanmaktadır. Malzeme cinsi, sıcaklık ve ısı iletim katsayısının ilişkisini etkilemektedir. Örnek olarak, izolasyon malzemelerinde, alaşımlarda sıcaklıkla birlikte k değeri artarken, metallerde sıcaklık arttıkça k değeri düşmektedir. Gazlarda k değeri sıcaklık arttıkça artarken, sıvılarda ise tam tersi olarak sıcaklıkla birlikte k değeri düşmektedir (Yeşilata, 2007).

Bununla ilgili olarak, Şekil 2.2’de sıcaklık 300 K iken malzemelerin k değerlerinin şematik gösterimi yer almaktadır.



Şekil 2.2. Çeşitli maddelere ait k değerinin şematik gösterimi (Yeşilata, 2007)

Çeşitli maddelere ait ısı iletim katsayısı olan k değerlerine ise Çizelge 2.1’de yer verilmiştir. Bu çizelgede, izolasyon malzemelerinin k değerleri çok düşükken, metallerde ise bu değer yüksek olduğu gözlemlenebilmektedir.

Çizelge 2.1. Çeşitli maddelerin ısı iletim katsayısı değerleri (URL 1)

Malzeme Cinsi	k (W/m.K)
Hava	0,0242
Katı köpük	0,026
Taş yünü	0,029
Kağıt	0,13
Sert kauçuk	0,151
Zeytin yağı	0,168
İnsan derisi	0,37
Su	0,569
Tuğla	0,72
Cam	0,78
Bor	27,6
Kurşun	35,3
Çelik	45,3
Nikel (Saf)	90,7
Alüminyum (Saf)	202
Altın	317
Bakır (Saf)	388
Gümüş	429
Elmas	2300

2.1.2. Isıl direnç

Isıl direnç, malzemelerin ısı iletim katsayısı (k) ile ters orantılıdır. Düşük ısı iletim katsayısına (k) sahip malzemeler yüksek ısı geçirgenlik direncine (R) sahip olduğu için yüksek ısı yalıtım performansı sağlamış olurlar. Isıl geçirgenlik direnci aşağıdaki formül ile hesaplanır (Shircliffe,1972).

- Isıl geçirgenlik direnci (R) = İzolasyon kalınlığı (d) / Isı iletim katsayısı (k)
“R=d/k” olarak ifade edilir.
- Birimi, SI birim sistemine göre “m² K/W” olarak ifade edilmektedir.

Yalıtım performansının önemli bir faktörü olan ısı direnci etkileyen en önemli parametreler, izolasyon kalınlığı ve ısı iletim katsayısıdır.

Formülden de çıkarım yapılabileceği gibi, ısı geçirgenlik değeri, izolasyon kalınlığı ile doğru, ısı iletim katsayısı ile ters orantılıdır. Dolayısıyla, ısı iletim katsayısı düşük ve izolasyon kalınlığı yüksek olan malzemelerin R değerinin yüksek olacağı çıkarılabilir.

2.1.3. Isı geçirgenlik katsayısı

Isı geçirgenlik katsayısı, birim m² başına kaybedilen ısıyı tanımlar. İç ve dış sıcaklık farkına bağlıdır.

Sembölü “U” ile gösterilir. SI birim sistemine göre birimi W/m².K'dir. İzolasyon uygulamalarında, R değerinin yüksek, R değeri ile ters orantılı olan ısı geçirgenlik katsayısının ise düşük olması gerekmektedir (Shircliffe,1972).

$$U \left(\frac{W}{m^2.K} \right) = \frac{1}{R} = \frac{k (W/m.K)}{\Delta r (m)} \quad (2.3)$$

2.2. Esnek Hava Kanalları

Düşük ve orta basınçlı, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri için geliştirilmiş, yalıtımsız veya yalıtımlı (ısı veya ses izoleli) hava kanallarına denir.

İnsanların çok olduğu yerlerin havası birden kirlenmekte ve aşırı ısınmaktadır. Değişen koşullar ve aranılan kriterler için, esnek hava kanallarında geniş bir ürün çeşitliliği vardır. (Termal özellik, akustik performans, anti-mikrobiyal özellik vb.)

Havalandırma sistemleri için bunlara örnek olarak oteller, imalathaneler, düğün salonları, okullar, hastaneler, iş yerleri, alışveriş merkezleri vb. gibi birçok yer verilebilir. Bu gibi yerlerin gerekli konforunun sağlanması için havalandırma tesisatı döşenmektedir.

Esnek hava kanalları genellikle sarmal, yüksek gerilimli bir çelik tel ile güçlendirilmiş çok katlı alüminyum ve polyester filmin laminasyon işlemi ile yapılır. Kanal genellikle 1 veya 2 inç kalınlığında (25 mm /50 mm) cam yünü şiltesi ile yalıtılır.

Esnek kanalın dış yüzeyi genellikle alüminyum folyo veya diğer buhar bariyeri çeşitleri ile su buharının yalıtım tabakasına nüfuz etmesini önlemek için kaplanır. Esnek kanalların iç

çapı genellikle 2 ila 20 inç arasında değişir. Esnek hava kanalları olabildiğince kısa olmalı ve akış direncini minimize etmek için uzunluğu tamamen gerdirilerek kullanılmalıdır.



Resim 2.1. İzoleli esnek hava kanalı katmanları

2.2.1. Esnek hava kanalı avantajları

Esnek hava kanallarının rijit borulara kıyasla birçok avantajı vardır.

- Maksimum esneme, bükülme ve sıkıştırılabilme özellikleri en büyük avantajlarındanıdır.
- Esnek hava kanalları kullanılarak redüksiyon bağlantıları minimize edilir, fitting ve dirseklerin azalması maliyetleri düşürür. Aynı zamanda, basınç kayıplarını azalttığı için sistemin verimliliğini artırır, sistemin daha sessiz çalışmasını sağlar.
- Asma tavan uygulamalarında ağırlık rijit sisteme göre oldukça hafifler.
- Sıkıştırılabilme özelliği, paketleme, depolama ve nakliyatta taşınabilme kolaylığından dolayı ekonomik olarak da avantajlar sağlamaktadır.
- Esneklik özelliği ise montaj kolaylığı sağlamakla birlikte yer ve zaman tasarrufu da sağlamaktadır.
- Olası darbelere karşı absorblayıcıdır. Esnek yapısından dolayı eski haline döner.
- Sisteme müdahale gerektiğinde çalışma daha kolay ve ekonomiktir.
- Havalandırma kanalları izoleli olarak hazır bulunabileceği için ayrıyeten izolasyon işlemine gerek duyulmadan, kendinden izoleli olarak monte edilebilir.
- Değişen koşullar ve aranılan kriterler için, esnek hava kanallarında geniş bir ürün çeşitliliği vardır.(Termal özellik, akustik performans, anti-mikrobiyal özellik vs.)

- Akustik rijit kanallar oldukça maliyetli iken; esnek kanalların akustik versiyonları daha ekonomiktir, başarılı akustik konfor şartları sağlanır.

2.3. Yoğuşma

Binalarda enerji verimliliği için öncelikle doğru bir yalıtım gerekmektedir, bu sayede yapılarıdaki yoğuşma gibi önemli problemler önlenmektedir.

Yoğuşma, belirli bir yüzeydeki gazın sıvıya dönüşme olayıdır. Bir gazın sıcaklığı düşürüldüğünde, gaz moleküllerinin kinetik enerjisi azalır ve aralarındaki çekim kuvveti artar, sonucunda sıvı damlacıkları oluşur.

Yoğuşmanın önlenmesi için iç mekanlardaki nem ve sıcaklık seviyelerini kontrol etmek gerekir. İyi bir havalandırma, ısıtma sistemi kullanılarak sıcaklık ve nem istenen seviyelerde tutulabilir. İzolasyon malzemeleri kullanılarak yoğuşma önlenir. Yoğuşma olduğunda, tesisatlarda korozyona ve yapıda deformasyona neden olmaktadır.



Resim 2.2. Yoğuşma sonucu kanalın ve yalıtımının deformasyonu (MEGEP, 2008)

Yoğuşma olmaması için yapılması gerekenler:

- Uygun izolasyon malzemesi seçilmelidir.
- Yoğuşma olmaması için gerekli minimum yalıtım kalınlığı doğru hesaplanmalıdır.
- Seçilen malzemenin su buharı difüzyon direnç katsayısı yeteri kadar yüksek olmalıdır.
- Tesisatta hava sızdırmazlığı kontrol edilmelidir, sızıntı varsa önlenmelidir.

2.4. Isı Yalıtımı

Isı, sıcaklık farkına bağlı olarak yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru geçer. Isı yalıtımı, bu sıcaklık geçişlerini önlemek için kullanılan bir yöntemdir.

Isı yalıtımı, ısı kayıplarını önleyerek enerji tasarrufu sağlar. İç mekan konforunu artırır. Doğru malzeme seçimi ile yoğuşma olayı önlenir. Böylece, malzemedeki deformasyon önlenir.

Enerji tasarrufunun yanı sıra yakıt tasarrufu sayesinde maliyetler azalır, daha az enerji kullanımı ile sera gazı emisyonlarını azaltarak olumlu çevresel etkilere sebep olur. Aynı zamanda, iç mekan konforunu artırır (Kon, 2013).

Amerikan Isıtma Soğutma İklimlendirme Mühendisleri Birliği olan ASHRAE, ısıtma-soğutma sistemlerini tanımlayan HVAC sistemlerinde, enerji verimliliği, iç ortam hava kalitesi, sürdürülebilirlik gibi alanlarda çalışarak ve hava kanallarındaki ısı aktarımlarını inceleyerek, bu sistemler için ısı yalıtımı gerekliliklerini uluslararası olarak standardize etmiş bir kuruluştur. ASHRAE, bu standartlara göre HVAC sistemlerindeki enerji sarfiyatını azaltabilmek için hava kanallarında ısı yalıtımı yapılması gerekliliğini tanımlamaktadır (Şenyurt,2006).

2.4.1. Yalıtımın çevre için önemi

Yalıtım ile daha az yakıt kullanımı sonucunda enerji tasarrufu sağlanır ve günümüzün problemi olan iklim değişikliğine karşı önlem alınmış olur. Binalarda ısınmak için kullanılan yakıtlarda büyük oranlarda karbondioksit, kükürtdioksit gibi gazlar salınmaktadır. Bu gazların ozon tabakasında artması sonucunda, küresel ısınmaya, iklim değişikliklerine ve çevre kirliliğine sebebiyet vermektelerdir. Isı yalıtımı yapıldığında, bu atık gazların ve fosil yakıtların tüketimi azaltılacağı için sera gazı emisyonlarının ve hava kirliliğinin önüne geçilebilmektedir.

İyi yalıtılmış bir yapıda ısı kaybı azalacağı için enerji sarfiyatı da azalacaktır. Bu sayede enerji tasarrufunun yanında doğal kaynakların tükenmesini de yavaşlatarak çevresel etkiler azaltılmış olur. Son zamanlarda yaygınlaşan sıfır enerjili binalar, temiz binalar, yeşil

binalar, bu çalışmalara örneklerdir. Ekosistemin korunması ve karbon ayak izinin düşürülebilmesi için günümüzde alınması gereken çok önemli bir önlemdir (Kon, 2013).

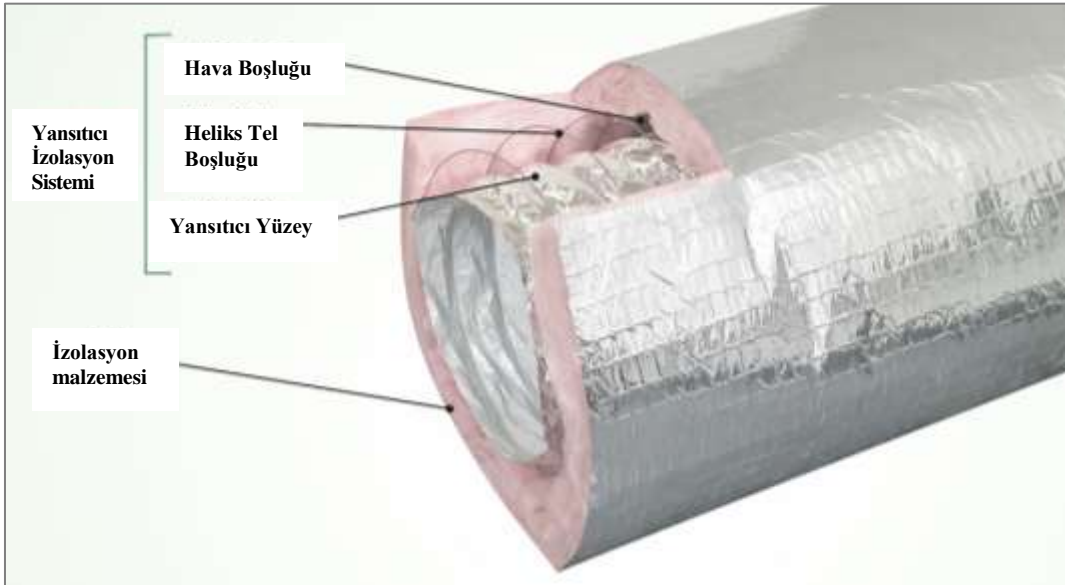
2.4.2. Isı Yalıtım malzemelerinden beklenen özellikler

İzolasyon malzemelerinde aranılan özellikler aşağıda yer almaktadır.

İyi bir izolasyon malzemesi düşük bir ısı iletim katsayısına ve yüksek bir ısı direncine sahip olmalıdır. Nem direnci olmalıdır, su buharı difüzyon direnç katsayısı yeteri kadar yüksek olmalıdır. Malzemenin yangına dayanıklılığını ifade eden yanmazlık özelliği olmalıdır. Malzeme zamanla bozulmayacak şekilde uzun ömürlü olmalıdır. Çevre dostu olmalıdır. Hijyenik olmalıdır. Ekonomik olmalıdır (Ülker, 2009).

Bunlara ek olarak, izolasyon malzemesinin boşluk oranı da fazla olmalıdır, böylece hava boşlukları sayesinde yalıtkanlık özelliği artar.

Katı ve gaz arasındaki fazlarda boşluklar düzgün dağılılabirirse en iyi yalıtım değerlerine sahip olunabilir (URL 2).



Resim 2.3. İzolasyon malzemesinde hava boşluğu şematik gösterim

Gözenekli cisimlerde boşluklar, ısı aktarımlarını azaltırlar, boşlukların hava ile dolması ısı iletimini engeller. Sesin iletimini de azaltacakları için ses yalıtımında da kullanılabilir.

Aynı zamanda, boşluklar sayesinde ürüne hafiflik, esneklik ve kullanım kolaylığı sağlanmış olur.

2.4.3. Isı yalıtım özelliğinde etkili olan yapısal özellikler

İzolasyonda kalın bir yalıtım tabakasının olması, ısı direncini artırarak oluşacak ısı aktarımını azaltacaktır. Malzeme içerisinde daha fazla hava boşluğu içerirse düşük bir yoğunluğa sahip olur, bu ise ısı yalıtım özelliğini artıracaktır. Malzemenin ısı iletim hızını gösteren ısı iletim katsayısı değeri düşük olursa, daha iyi bir ısı yalıtımı sağlanacaktır. Yüzey alanı düşük ve nem direnci yüksek malzemeler tercih edilirse, ısı aktarımını azaltacağı için iyi bir ısı yalıtımı sağlanmış olur (Ülker, 2009).

Bu yapısal özellikler, izolasyon malzemelerinin gerçekleştirecek ısı aktarımını azaltması için sahip olması gereken özelliklerdir.

Gözeneklerin etkisi

Gözenekler, izolasyon malzemesindeki hava boşlukları sayesinde oluşmaktadır. Bu gözeneklerin oluşması ile ısı aktarımını azalarak ürünün izolasyon performansı iyileşecektir.

Havanın iyi bir yalıtım değerine sahip olduğu yapılan çalışmalarla bilinmektedir. Üründe oluşacak hava kabarcıkları, ısıyı kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon yolu ile engelleyecektir. Bu sayede hava kabarcığı olan malzeme içerisindeki ısı aktarımını sınırlandırmış olacaktır (Ülker, 2009).

Gözenekler, malzemedeki yüzey alanını da etkilemektedir. Yüzey alanı arttığında, ısı aktarımını azalacaktır. Çünkü daha büyük bir yüzey alanı, daha fazla ısıyı absorbe edebilecektir.

Gözeneklerin açık ve kapalı olması da ısı akımını farklı şekillerde etkilemektedir. Kapalı gözenekli cisimlerde, malzeme içerisi hava boşlukları ile doludur. Isı iletimi ise, içerisinde yer alan bu hava boşlukları ile gerçekleşecektir. Bu sayede ısıyı absorbe ederek ısı aktarımını azaltacaktır. Açık gözenekli cisimlerde, malzeme içerisinde büyük boşluklar olduğu için hava hareketine sebep olur ve ısı aktarımına izin verir. Bu bakımdan, kapalı

gözenekli malzemeler, açık gözenekli malzemelere göre daha iyi bir yalıtım özelliği sağlayacaktır (Ülker, 2009).

Birim hacim ağırlığın etkisi

Bir malzemede birim hacim ağırlığı veya yoğunluğu düşük ise, daha fazla hava boşluğu içerecektir. Hava boşlukları sayesinde malzeme daha az ısı iletimine izin verecektir. Fakat, bu malzemeler daha kırılabilir olabileceği için mekanik dayanımı etkileyebilir. Bundan dolayı, malzeme seçiminde, ısı yalıtım performansının yanında mekanik dayanımı da göz önüne alınmalıdır (Ülker, 2009).

Kimyasal bileşimin etkisi

Isı yalıtımında, kimyasal bileşimi seçilen malzemenin yoğunluk, yangına dayanım, hafiflik gibi özellikleri ile doğrudan etkilidir.

Yalıtkanın katı kısmının kimyasal bileşimin etkisi

İzolasyon malzemesinde kullanılan katı cisimlerin serbest elektron içermemesi önemlidir. Çünkü, ısı iletkenlik katsayısını etkileyerek bu malzemelerin ısıyı iyi ileten metallere ayrılmasına neden olur. Cam içerikli, seramik içerikli malzemeler bu duruma örnektir. Yapıda kullanılan kimyasal bileşim, aynı zamanda şekli, sıcaklığı, amorf veya kristal yapılarda olması gibi özellikleri ile ısı iletimini etkilemektedir. Kristal yapılarda amorf yapıya nazaran ısı iletkenliği daha fazla olmaktadır (Ülker, 2009).

Boşluklardaki gazın etkisi

Boşluklarda kullanılan gazların ısıyı iletimi düşük olduğu için ısı aktarımında bariyer görevi görebilmektelerdir. Ancak, gazın cinsine göre ısı aktarımı performansı değişecektir. Örneğin, hücreli yapıda bulunan hava kullanıldığında, ısı aktarımını azaltacaktır. Argon, ksenon gibi inert gazlar, atmosferdeki havadan daha düşük ısı iletkenliğine sahip olduğundan daha iyi yalıtım performansları sunabilirler. Vakum yöntemi de içerisinde yer alan gazı çıkartarak vakum oluşturur. Yalıtım panellerinde kullanılarak etkili bir performans sunar (Ülker, 2009).

Sıcaklığın etkisi

İzolasyon malzemelerinde sıcaklığa bağlı olarak yalıtım performansı değişmektedir. Sıcaklığın artması durumunda ısı iletim katsayısı enerji dönüşümünden dolayı artmaktadır. Bazı malzemelerde düşük sıcaklıklarda esnekliğini yitirebilmektedir (Ülker, 2009).

Nem etkisi

Nem içeren bir malzeme ısı geçişlerine daha çok izin vererek yalıtım performansını kötü etkileyebilmektedir. Su emebilen malzemeler kullanıldığında nemden dolayı malzemede küflenme, bozulma gibi durumlarla karşılaşılabilir. Nemli ortamlar, malzemenin yapısal bütünlüğünü bozabilmektedir.

Yüzey özelliklerinin etkisi

Yüzey özelliklerini, malzemenin yapısı, kaplama olup olmaması etkilemektedir. Genel olarak yüzey özellikleri yansıtma, emilim, ışınım gibi faktörler belirlemektedir.

Malzemenin kaplamalı olması kaplama cinsine de bağlı olarak yüzeyin ısı iletkenliğini azaltabilmektedir. Özellikle yansıtıcı olan kaplamalar kullanıldığında, gelen ışığı geri yansıtacağı için yapıda oluşacak sıcaklığı düşürür. Neme ve suya dayanımı olan malzemeler kullanıldığında da malzemenin dayanımı artacaktır. Yüzeyin pürüzlü olması gibi yüzey yapısı da havayı absorbe ederek ısı iletimini azaltmaktadır. Yüzeyin ışığı ve ısıyı yansıtma özelliği de belirleyicidir. Parlak olan yüzeyler güneş ışığını ve ısını daha iyi yansıtarak ısıyı muhafaza etmeye yardımcı olur. Bu durum mat olan yüzeylerde ise ısıyı ve ışığı emerek malzemenin ısınmasına yol açacaktır (Ülker, 2009).

Kullanılan malzemenin rengi de, güneşten gelen ısıyı ve ışığı yansıtma özelliğini etkileyecektir. Açık renkli malzemeler tercih edildiğinde, güneşten gelen ısı ve ışığı daha iyi yansıtacak ve malzemenin sıcaklığını koruyacaktır. Fakat, koyu renkli malzemeler tercih edilirse, ısıyı ve ışığı bünyesinde absorbe eder ve malzemenin ısınmasına yol açar.

Yüzey direnci yüksek olan malzemeler seçilerek de neme, suya, sıcaklığa gibi birçok faktöre karşı direnci artırılarak malzemenin performansını artırabilmektedir. Bu özellikler

göz önüne alındığında, malzemenin sahip olduğu yüzey yapısının ısı yalıtımı konusunda çok büyük etkileri vardır.

Bu özelliklerin hepsi göz önüne alınarak, yapıya uygun olacak tasarımda ve özelliklerde, aynı zamanda iklim koşullarına uygun olan optimal yalıtım performansını sağlayacak malzemelerin seçilmesi gerekmektedir (Ülker, 2009).

2.4.4. İzolasyon malzemelerinde kritik izolasyon kalınlığı

İzolasyon malzemelerinin kullanıldığı alanda, bulunduğu ortam ve koşullara göre değişecek şekilde olması gereken minimum bir izolasyon kalınlığı vardır. Bu ortam eğer ki bir düzlem ise izolasyon malzemesi eklendikçe ısının aktarım hızı düşmektedir. Dolayısı ile izolasyon malzemesinin kalınlığı arttıkça ısı yalıtımının performansı hep aynı düzlem boyunca olmasından dolayı artacaktır.

Kullanılan ortam küresel veya silindirik düzlemlerde ise bu artış konveksiyon direncini azaltır. Dış yüzeyde meydana gelen bu direnç azaldıkça aktarılan ısının artmasına sebep olacaktır ve yalıtım performansı belirli bir noktadan sonra azalacaktır.

Kritik izolasyon kalınlığı, yalıtım malzemelerinin ısı akışını engelleyebileceği olması gereken en az izolasyon kalınlığını tanımlamaktadır. Bu noktaya kadar ısı akışı artmaktadır, bu noktadan sonra ise azalmaya başlar. Silindirik ve küresel düzlemlerde kritik yarıçap olarak bilinmektedir. Bu değer, izolasyon malzemesinin ısıl iletkenliğine ve ısı taşınım katsayısına bağlı olarak değişmektedir. Kritik izolasyon yarıçapı, (2.2)'de yer alan formüle göre hesaplanır (Holman, 2010).

$$r_{cr} = \frac{k}{h} \quad (2.2)$$

Formülde yer alan “ r_{cr} ” kritik yarıçapı tanımlarken, “ k ” izolasyon malzemesinin ısı iletim katsayısı değerini (W/m.K) ; “ h ” ise ısı taşınım katsayısını (W/m².K) tanımlamaktadır.

2.5. Isı Yalıtım Malzemeleri

Isı yalıtım malzemeleri, özellikle binalarda ısı aktarımını azaltmak ve iç mekan konfor seviyesini artırmak için kullanılan malzemelerdir. Bir malzemenin izolasyon malzemesi olabilmesi için ısı iletim katsayısının (k) $0,060 \text{ W/m.K}$ değerinden küçük olması gerekir.

Isı yalıtım malzemelerinde aranılan en önemli özellikler, düşük ısı iletim katsayısına sahip olması, yüksek bir termal direnç sağlaması, hafif ve ergonomik olması, çevre dostu olması gibi özelliklerdir.

Isıl iletkenlik katsayısının düşük olması malzemenin yalıtkanlık değerini artırır. Bu da, ısıl direnci doğrudan etkileyen parametrelerden biridir. Böylece, ısı aktarımı engellenip enerji sarfiyatı azalır.

Yapılarda ve endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılan izolasyon malzemeleri, esnekliği olan köpükler, cam yünü gibi mineral içeriği olan lifli malzemeler ve plastik malzemeden imal olan ve daha sert bir yapıya sahip ekspanded ve ekstruded polistiren malzemelerdir.

2.5.1. Cam yünü

Cam yünü, inorganik hammaddelerin 1200°C gibi yüksek sıcaklıklarda eritilmesi ile elyaf haline gelmesi sonucu üretilen açık gözenekli malzemelerdir. Isı iletiminin düşük olması, hafif olması, yangına dayanımı, esnekliği kullanım kolaylığı sağladığından endüstride oldukça tercih edilen yalıtım malzemelerinin başında gelir.

Isı yalıtımının yanı sıra akustik konfor istenen bölgelerde ses yalıtımı amacıyla da kullanılır.

Isıl iletkenlik beyan değeri, 10°C sıcaklıkta “ $0,031-0,043$ ” W/m.K değerleri arasındadır. Sıcaklık, genellikle -50°C ile $+250^\circ\text{C}$ değerleri arasında kullanıma uygundur. Buhar difüzyon direnç katsayısı (μ) değeri 1'dir. Yanmaz ürünler olup TS EN 13501-1 standardına göre A1 yanmazlık sınıfına sahip olurlar (URL 3).



Resim 2.4. Cam yününün yapısı (URL 8)

Diğer ısı yalıtım malzemelerine göre yalıtım uygulamalarında oldukça geniş bir kullanım sahası olan cam yününün başlıca özellikleri şunlardır:

- Yangına karşı dirençlidir.
- Dayanıklı bir malzemedir, deformasyona uğrasa bile maruz kalınan etki uzaklaştıktan sonra eski formuna geri döner.
- Higroskopik olmadığı için su emme özelliği yoktur, uzun ömürlü olur.
- Kimyasal maddelere karşı dirençli olduğu için üründe bozulma gerçekleşmez.
- Çevresel koşullara ve darbelere karşı dayanıklıdır.
- Esnek bir yapıya sahip olduğu için birçok uygulamada kullanım kolaylığı sağlar.
- Isı yalıtımı sağlamasının yanında ses yalıtımı için de uygun bir malzemedir.
- Geri dönülmüş cam malzemelerinden yapıldığı için çevre dostu olan malzemelerdir.
- Birçok avantajının yanında, içerisinde cam parçaları içerdiği için kaşındırıcıdır, eldiven ile kullanımı önerilmektedir.
- Formaldehit içerikli olan malzemelerde koku problemi ile karşılaşılabilir.

Cam yününün kullanım alanı geniştir. Binalarda, çatılarda, duvarlarda, tesisat yalıtımlarında, hava kanallarında, sanayide, merkezi ısıtmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.5.2. Elastomerik kauçuk köpüğü

Kauçuk elastomerlerin köpürtülmesi işlemi ile elde edilen ve polimer bazlı olan elastomerik kauçuk köpükler esnek kapalı hücre yalıtımına sahiptir. Üretimi sırasında, önce karıştırılır, şekillendirme işleminden geçer, ardından elastomerik olan kısım çapraz bağlanarak ısıtılır.

Özellikle son 50 yılda üretilerek kullanımı artan bu köpüklerin kullanım alanı genişler. Isıtma, soğutma sistemlerinde, iklimlendirme sistemlerinde, evlerde kullanılan su ısıtıcılarda, güneş enerjisi ve mekanik sistemlerde gibi endüstride oldukça kullanılan lifsiz malzemelerdir. Esnek kapalı hücre yapısına sahip olduğu için ısı aktarımını engelleyerek iyi bir yalıtım özelliği kazandırır. Bu özelliği, çevresel etkilere de katkıda bulunduğundan emisyon seviyesini düşürmeye yardımcı olur (Taşçı, 2004).

Elastomerik esaslı olan izolasyon malzemelerinin içeriğinde, sentetik bir kauçuk olan nitril bütadien kauçuk, polivinil klorür diğer bir adıyla PVC ve kimyasal köpürtücülerden oluşmaktadır (Ülker, 2009).

Isıl iletkenlik beyan değerleri 0,034 W/m.K değeri civarındadır. Sıcaklık değerleri genellikle -70°C ile +110°C arasındadır. Fakat yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında da erimez, çapraz bağlanma sayesinde ürünün sertleşmesine sebep olarak yapısını korur. Isıl iletkenlik performansında bir değişme olmaz. Fakat uygulama sonrası esnekliğini yitirebilir. Bu ise uygulama sonrası artık çok önemli bir sonuç olmayacaktır (Taşçı,2004).

Su buharı difüzyon direnç katsayısı 3000'den büyüktür. Güçlü bir su buharı geçirgenliği direnci sayesinde kondenzasyonu tek başına önleyebilir. Yoğuşma oluşmaması için ek bir buhar bariyerine gerek duymaz.

Bu malzemeler formunu koruduğu için izolasyonda önemli olan kalınlık kayıpları yaşanmaz. Aynı zamanda esnekliği sayesinde bünyesinde deformasyona da izin vermez. İçerisinde formaldehit gibi kimyasallar içermediğinden iç ortamın hava kalitesini korur. Uçucu organik bileşikler denilen VOC'ler de çok düşük seviyede bulunur, emisyon seviyesinin düşük olmasından dolayı çevre dostu malzemelerdir.

Birbirinden bağımsız olarak küçük hücre yapılarının bir araya gelmesi ile oluşan kapalı hücre yapısına sahip olan bu malzemelerin mikro yapısı Resim 2.5'te gösterilmektedir (Taşçı, 2004).



Resim 2.5. Elastomerik kauçuk köpüğünün mikro yapısı (Taşçı, 2004)

Kapalı hücre yapısının getirmiş olduğu doğal bir özellik olan esneklik sayesinde kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Yine kapalı hücre yapısına sahip olup esnek olmayan malzemeler de mevcuttur. Bunlara expanded polistiren, ekstrüded polistiren örnek olarak verilebilir (Taşçı, 2004).

Piyasada bilinen elastomerik kauçuk esaslı izolasyon malzemeleri bünyesinde PVC barındırır, özellikle halojen içeren katkı maddeleri kullanılarak ürünün yanma performansı artabilmektedir.

Son zamanlarda geliştirilen elastomerik kauçuk esaslı yalıtım malzemelerinde bazı yenilikler mevcuttur. Bu malzemeler, içeriğinde PVC ve halojen grubu kimyasalları içermez. Bu özellik, ürün yandığında oluşabilecek zararlı dumanın önüne geçmektedir. Yapı malzemelerinin yandıkları zaman yüzey yanma özelliklerini belirleyen bir standart olan ASTM E-84 veya UL 723 standartlarına göre test edildiğinde, duman oluşum indeksi sınırı olan 50 değerini geçmediği test edilmiştir (Taşçı, 2004).

Yanma performansı iyileştirilen elastomerik kauçuk esaslı izolasyon malzemelerinin esneklik, yoğuşmayı önlemesi, ayrıca ses yalıtımını da sağlaması gürültüyü önleyerek bu malzemeleri akustik alanlarda kullanım için de öne çıkarmaktadır.

Bu sentetik polimerik malzemenin özelliklerinden bir diğeri ise, yağa ve ozona karşı iyi bir direnç gösterebilir. Bünyesinde toksin madde içermez. Kapalı hücre yapısı sayesinde

bünyesinde kir, nemde barınmayacağından mantar ve küf oluşumu da gözlenmez. Ayrıca, farklı yüzeylere yapışma performansının yüksek olmasından dolayı kullanım kolaylığı da sağlamaktadır (Ülker, 2009).

Kapalı hücreye sahip olan elastomerik kauçuk esaslı yalıtım izolasyon malzemelerinin sahip olduğu fiziksel özellikler, alev geciktirici, dolgu maddeleri gibi kimyasallar eklenmesi ile güçlendirilebilir (Kaya ve Oğuz, 2015).

2.5.3. İğnelenmiş cam yünü

İğnelenmiş cam yünü, cam elyafının tabaka veya mat halde olan özel iğnelerle delinerek birbirine bağlanma işlemidir. Bu sayede lifler birbiri ile daha sıkı ve sağlam bir şekilde olur.

Standart cam yünleri ile kıyaslandığında, sık yapısı sayesinde daha yoğun bir yapıdadır, daha sağlam malzemelerdir. Mekanik etkilere karşı da dirençlidir. Malzeme bütünlüğünü korur. Basınç dayanımları yüksektir. Ayrıca ısı yalıtımının yanında ses yalıtımı özelliklerini de taşıdığından dolayı akustik konfor için de tercih edilebilir (URL 4).

Bu ürünü standart izolasyon malzemelerinden ayıran özellik ise, içeriğinde organik bağlayıcı yoktur. 500°C – 600°C gibi yüksek sıcaklıklarda kullanıma uygundur.



Resim 2.6. İğnelenmiş cam yünü yapısı

İğnelenmiş cam yünlerinin elektriğe karşı direnci de yüksektir. Esnek ve hafif bir yapıda oldukları için kullanım kolaylığı sağlar. Bu malzemeler genellikle kapalı hücre yapısına sahip oldukları için su geçirgenliğini azaltarak neme karşı direnç oluştururlar.

Ürünün kullanım ömrünün uzamasını sağlar. Yangına karşı dayanımı yüksek malzemelerdir. Kimyasal maddelere karşı dayanımı vardır. Ayrıca hipoalerjenik bir malzeme oldukları için alerjik reaksiyonlara sebep olmaz. Bu tür cam yünü genellikle izolasyon panellerinde, fırınlarda, çatı, duvar yalıtımlarında gibi birçok endüstriyel uygulamalar da kullanılabilir. Ancak, bu malzemelerin işleme prosesi, standart cam yünlerine göre daha komplike olduğundan maliyeti daha fazla olabilmektedir (URL 4).

2.5.4. Ekspande polistren (EPS)

Ekspande polistiren (EPS), genellikle polistiren taneciklerinin, ısı ve su buharı kullanılması sonucunda, içeriğindeki pentan gazının granülleri şişirmesi ve genişmesi ile elde edilen hafif köpük malzemeleridir. Kapalı ve küçük gözeneklerden oluşan bu malzeme, büyük oranda hareketsiz havadan oluşmaktadır. Bu sayede moleküller birbirine kolay bağlanabilir ve levha halinde üretilebilmektedir. Kapalı hücre yapısına sahip olmalarına rağmen esnek malzemeler değildir (Mermer,2019).

Sahip olduğu özellikler, üretim prosesine, kullanım amacına göre farklılıklar göstermektedir. Genel özellikleri ise şu şekildedir:

- Isı iletkenlik beyan değeri (10°C 'de) $0,032 \leq \lambda \leq 0,040$ W/mK değerleri arasındadır.
- Su buharı difüzyon direnç faktörü μ değeri 20-100 değerleri arasındadır.
- Uygulama sıcaklık değerleri -50°C / $+75^{\circ}\text{C}$ aralığındadır.
- Kapiler emiciliği bulunmamaktadır.
- Kimyasallardan asit ve bazlara karşı dayanımı bulunmamaktadır; fakat benzin,eter,ester gruplarına ve baca gazlarına karşı direnci zayıftır.
- Güneşten gelen UV ışınlarına karşı hassas olduğu için direkt güneş ile temas edecek bölgelerde kullanımından kaçınılmalıdır.
- Yapı elemanlarının yangına tepkisini ölçen TS EN 13501-1 standardına göre E sınıfına sahip malzemelerdir. Alev geciktirici malzemeler ile yangına direnci artırılabilir (URL 5).



Resim 2.7. Ekspande polistren üretim hattı (URL 5)

2.5.5. Ekstrüde polistiren köpük (XPS)

Malzemenin hammaddesi olan polistirenin ekstrüzyon işlemi ile levha haline getirilmesi ile elde edilen malzemelerdir. Şişirme malzemeleri kullanılarak köpük formuna getirilir.

Ekstrüzyon işlemi sayesinde kapalı gözenekli yapıya sahip olması, bu malzemelerin avantajlarından biridir. Fakat, kapalı gözenekli yapıya sahip olmalarına rağmen esnek malzeme formunda değildir.

Suya karşı dayanıklı malzemelerdir. Bu malzemelerde homojenlik söz konusudur, bu sayede aynı kalitede devamlı ürünler çıkarılabilmektedir. Polistirenin termoplastik malzeme olmasından dolayı, tekrar üretime sokularak atık oluşumunu azaltır, geri dönüşümlü malzemeler üretilmiş olur. Uzun ömürlü ürünlerdir (Mermer, 2019).



Resim 2.8. Ekstrüde polistiren köpük (XPS)

Ekstrüde polistiren köpük üretilirken köpük formuna getirebilmek için şişirici gazlar kullanılmaktadır. Bunların başında kullanılan Hidrokloroflorokarbon gazı ozon tabakasına zarar vermektedir. Bundan dolayı çevre dostu ürünler değildir (Mermer, 2019).

2.6. Havalandırmanın Önemi

2.6.1. İç ortam hava kalitesi (IAQ)

İç ortam hava kalitesi, bir binada yer alan havanın içeriğini, kalitesini, hava koşullarını ifade etmektedir. İyi bir iç ortam hava kalitesi, bireylerin sağlıklarını olumlu olarak etkilediği gibi çalışma performanslarını da artırabilmektedir.

İç ortam hava kalitesi ile ilgili yapılan araştırmalar sonucunda çıkan veriler şu şekildedir:

1. Normal koşullarda olan bir ortam baz alındığında, dış ortamlara göre iç ortamlarda daha fazla kirletici bulunmaktadır.
2. Çoğu insan vaktinin yaklaşık % 90'ını kapalı ortamlarda ve mekanlarda yer alan kirleticilerle geçirmektedir.

Solunan havanın kalitesi insanların sağlığını direkt etkilemektedir. Kötü hava kalitesine sahip bir iç ortamda, çalışma verimi düşer, alerjik reaksiyonlara sebep olabileceği gibi solunumu etkileyen ciddi sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Değişmez bir şekilde, solunan havanın kalitesi sağlığı daha iyi veya daha kötü yönde etkiler.

İç ortam hava kirleticileri olarak başta aşağıda yer alan kirleticiler sayılabilir.

- Boya, temizlik ürünleri, radon, karbonmonoksit, karbondioksit vs. gibi kimyasal kirleticiler
- Bakteri, virüs, toz akarları, uçucu organik bileşikler gibi fiziksel kirleticiler
- Kir ve toz gibi havadaki parçacıklar olabilmektedir.

Bu kirleticilerin kontrol altında tutulabilmesi için özellikle de pandemi koşullarında havalandırma sisteminin doğru ve etkin kullanılması, hava temizleyici cihazlar ile iç ortam hava kalitesinin artırılması önem taşımaktadır.

2.7. Esnek Hava Kanallarında Isıl Direncin Önemi

20.yüzyılla beraber, enerji tüketimindeki artışa bağlı olarak çevresel sorunlar artmıştır. Sera gazı emisyonlarını azaltabilmek için enerjiyi verimli kullanmak için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

Enerji tüketiminin büyük bir kısmı binalarda ısıtma, soğutma, klima sistemleri, aydınlatma, elektronik ekipmanlar gibi bireylerin konforlarına yönelik olarak kullanılmaktadır.

Avrupa ülkelerinde karbondioksitten (CO₂) kaynaklı emisyonları engellemek amacıyla, Paris Anlaşması'nda da yer aldığı gibi, 2020 yılı için %20 oranında azaltma hedefi, 2050 yılı için %50 olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu oranlara inebilmek için birçok ülke enerji verimliliği ile ilgili çalışmalar yapmaktadır (URL 6).

Özellikle binalarda harcanan enerjiyi indirgeyebilmek için Avrupa Komisyonu tarafından yayınlanmış olan "Binalarda Enerji Performansı Revize Direktifi (2010/31/EU recast)" ile sıfır enerjili bina, yüksek enerji performanslı bina gibi tanımlar ortaya çıkmıştır.

Yapılan araştırmalara göre, dünyada tüketilen toplam enerjinin 1/3'i binalarda tüketilmektedir. Bu tüketim ile atmosfere salınan toplam karbondioksitin %24'ü binalarda kullanılan enerji sarfiyatından kaynaklıdır (URL 6).

Akıllı bina yönetim sistemleri, güneş gibi doğal enerji kullanımının artırılması, enerji verimliliği sağlayan ekipmanların kullanımı, iyi tasarlanmış havalandırma sistemleri, yeterli izolasyon kullanımı gibi önlemlerle binalarda tüketilen enerji düşük seviyelere çekilebilmektedir.

Bu hedeflere göre geliştirilen ve kullanımı yaygınlaşan enerji etkin yeni yapı çeşitleri; sıfır enerjili bina, yeşil bina, pasif ev gibi tanımlanan uygulamalardır.

Yeşil bina, Amerika Yeşil Binalar Konseyi tarafından tanımlanarak enerji verimliliği konusuna odaklanan, çevre dostu malzemeler ve sürdürülebilir tasarımlar içeren bir bina türüdür.

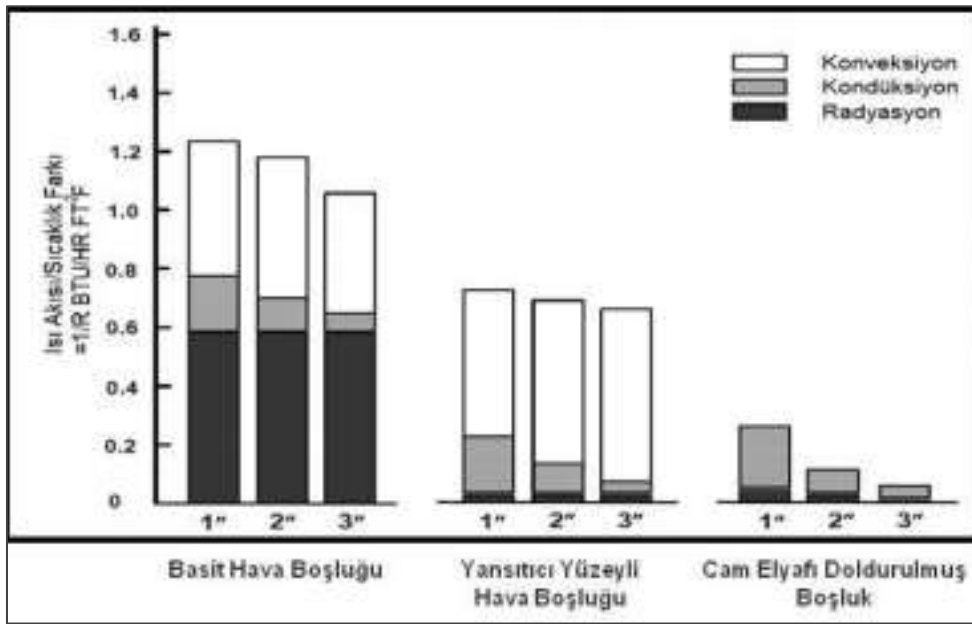
Bu çerçevede, günümüzde çevresel ve ekonomik faydalar sağlamak amacıyla, özellikle ısıtma ve soğutma sistemlerinde kullanılan enerji sınırlandırmaları önem kazanmıştır. Bunun için ise ısı yalıtımından maksimum verimi almak ve çevre dostu ürünler kullanmak gelecek için alınması gereken önemli bir görevdir (URL 6).



3. GENEL BİLGİ VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

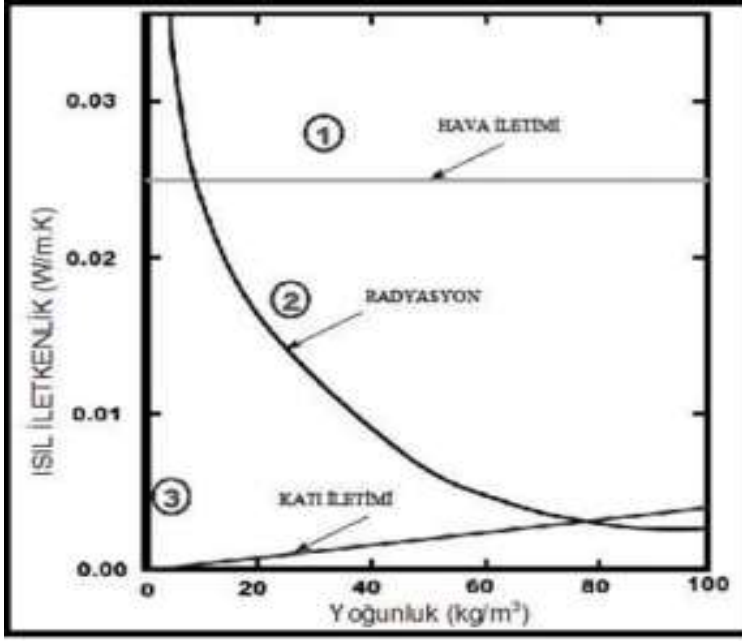
Enerjinin verimli kullanımı için doğal kaynaklara yönelmek bir ihtiyaç haline gelmiştir. Bu bakımdan havanın yalıtım performansından yararlanarak hava boşlukları sayesinde oluşacak ısı aktarımı mekanizmalarını iyi anlamak gerekmektedir.

Hava boşlukları boyunca olan ısı akışı, ısı aktarım mekanizmalarından olan konveksiyon ve radyasyondan kaynaklıdır.



Şekil 3.1. Radyasyon, iletim ve taşınımın hava boşluğundaki ısı aktarımına etkisi (Shirtliffe, 1972)

Hava boşluğunda olan bir yansıtıcı yüzey sayesinde radyasyon bileşenini en az seviyeye indirgeyebilir. Ayrıca, cam elyaf gibi lifli malzemelerin eklenmesi ile boşluk içerisindeki hava akışı sınırlandırılır, ısının akışı neredeyse ortadan kaldırılır.



Şekil 3.2. Geleneksel (elyaf ve köpük) yalıtımında ısı aktarım mekanizmaları (Kistler, 1935)

İzolasyon malzemelerindeki gözenek büyüklüğünün ısı aktarım mekanizmalarında doğrudan bir etkisi bulunmaktadır. İzolasyon malzemelerinin hava basıncının azalma durumunda gözeneklerin boyutunun etkisi de azalacaktır, böylece havanın ısı iletkenliğinin düşmesi ile ısı yalıtımı artacaktır (Kistler,1935).

Araştırmalar sonucunda, gözenekli bir izolasyon malzemesinin içerisinde yer alan hava basıncının düşmesi ile ısı yalıtımının yükseldiği kanıtlanmıştır (Bayrakçı, 2011).

Bruno (2021)'nin yapmış olduğu çalışmada, küresel enerji sarfiyatının azaltılması için mevcuttaki binaların yenilenmesi gerektiği bir ön hedefdir. Bu çalışmasında, hava boşlukları içinde ısı yalıtım panelleri gibi yansıtıcı yüzeyler kullanarak, ısı geçirgenliğini olumsuz etkilemeden kalınlığı azaltmanın uygun olduğunu gözlemlemiştir. Hava boşluklarına sahip farklı üç ticari yansıtıcı panel numuneleri ile ısı akısı ölçme deneyi yapılmış, aynı panel numune kalınlığında hava boşluğunun termal direnci 7 kata kadar arttırdığını bulmuştur. Bu bulguları gerçek ölçekte değerlendirmek için COMSOL ortamında geliştirilen bir modeli ayarlamıştır. Bu değerlendirmede sonuçlar, termo-yansıtıcı panellerin, ek bir alana gerek olmadan minimum 6 cm olan standart izolasyon malzemeleri ile aynı performansı gösterebileceğini kanıtladı. Birim alandan tasarruf edilerek çoklu termo yansıtıcı paneller kullanıldığında, bina değeri yüksek olan alanlarda ekonomik olarak karlı bir seçenek olacaktır (Bruno,2021).

Daşdemir vd. (2017), Çalışmasında, hava boşluğunun farklı çaptaki borularda izolasyon kalınlığı ve günlere göre ısı dereceleri üzerinden yaşam döngüsü maliyetleri ile ekonomik etkileri araştırmıştır. Afyonkarahisar'daki iklim koşullarında, kömür, akaryakıt ve doğalgaz gibi yakıt türleri ve XPS, EPS, taş yünü gibi yalıtım malzemeleri kullanılarak, 50-1000 mm çap aralığındaki çelik boruların yalıtımı kıyaslanılır, ayrıca hava boşluğu kullanımı ile yıllık toplam maliyetler, yapılan enerji maliyet tasarrufu ve optimum yalıtım kalınlıkları (OYK) değerlendirilir. Bu değerlendirmeye göre, optimum izolasyon kalınlığının XPS yalıtım malzemesi ile yakıt olarak doğalgaz kullanıldığında bulunduğunu gösterir (Daşdemir,2017).

Ertürk vd. (2015), Bu çalışmada Ankara'daki binalarda izolasyon malzemesine ek olarak hava boşluğu kullanıldığında enerjiye etkisi, kullanılması gereken optimum izolasyon kalınlığı ve toplam maliyete etkisi ile alakalı hesaplamalar gerçekleştirmiştir. Farklı izolasyonlar ve yakıtlar ile gerçekleştirilen çalışmada; doğalgaz ve kömür yakıt çeşitleri olarak çalışılmıştır. İzolasyon malzemeleri ise ekstrude polistiren köpük (XPS), ekspande polistiren (EPS) ve taş yünü olarak seçilmiştir. Hava boşluğu ise farklı kalınlıklarda ayarlanarak kullanılmıştır.

Bu çalışma sonucuna göre, Ankara'daki binalar izolasyon malzemesi kullanılmadığı durumda ve en iyi sonucu veren izolasyon ve hava boşluğu kalınlıkları 4'er cm olduğunda çevreye salınan gazlar kıyaslanmıştır. Yalıtım malzemesi kullanılmayan duruma göre kişi başı salınan kükürdioksit (SO₂) ve karbondioksit (CO₂) oranları %83 azalmıştır. Özellikle, yakıt olarak doğalgaz ve 4'er cm izolasyona ek hava boşluğu kullanıldığı durumda çıkan emisyon, fosil yakıt olan kömür kullanıldığında çevreye çıkan emisyonlara göre baca gazı salınımları oldukça azalmış, m² başına binalardaki yıllık kazancın %94 arttığı gözlenmiştir (Ertürk,2015).

He ve Yu (2018), yapmış oldukları çalışmada, itfaiyeci elbiselerinde hava boşluğunun termal ve buharlaşma direncine etkilerini gözlemlemek için farklı ortam koşullarında araştırmalar gerçekleştirmişlerdir. Yoğuşmalı sıcak plaka yöntemi kullanarak bağıl nem, sıcaklık gibi koşullarda kıyaslamalar yapmışlardır. Bu sonuca göre, çoklu kumaşlar kullanılarak hava boşluğu sağlandığında, kumaşın yüzey sıcaklığını belirlemek için termografik görüntü yöntemini kullanarak, ısıyı ve nemi aktarımlarının düştüğünü gözlemlemişlerdir. Ortamdaki sıcaklığın ise itfaiyeci elbiselerindeki buharlaşma direncine

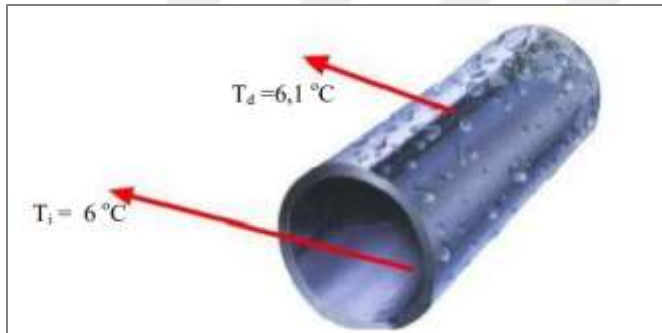
etki etmediği sonucuna varmışlardır. Bu sonuçlara göre, itfaiyecilerin giydiği termal koruyucu elbiselerde, hava boşluğu sağlandığında ısı aktarımını etkileyerek giyim konforuna olumlu bir etkiye sahip olacağını tespit etmişlerdir (He ve Yu, 2018).

Daşdemir vd. (2011), Yapmış oldukları bu çalışmada, Türkiye’de enerji kaynaklarının kullanım amaçlarına bakıldığında, büyük bir miktarın binalarda ısıtma amaçlı kullanıldığı, bundan dolayı izolasyon malzemeleri kullanılarak büyük ölçüde enerji tasarrufu sağlanabileceği çıkarımından yola çıkarak, soğuk kışın yaşandığı Ardahan ili baz alınarak, buradaki binalardaki duvarlarda hava boşluğu bırakıldığında olması gereken izolasyon kalınlıkları, kimyasal emisyonların ne kadar azaldığı ve enerji tasarruf miktarı ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada çeşitli yakıt türleri ve izolasyon malzemesi olarak ekstrude polistiren(XPS) seçilmiştir. Duvar yalıtımına ek 4 cm bırakılan hava boşluğu sayesinde yaklaşık %81’e varan enerji tasarrufu sağladığı gözlemlenmiştir. Karbondioksit ve kükürtdioksit gibi çevreye zararlı olan emisyonların ise %80’e varan bir azalmaya sebep olduğu sonucuna varılmıştır (Daşdemir,2011).

Chen vd. (2023), bu çalışmada itfaiyecilerin güvenliği için ve yangın durumlarında oluşabilecek cilt yanıklarını önleyebilmek için itfaiyeci kıyafetlerin termal koruma performansları iyileştirilmeye çalışılmıştır. Yangın durumunda tek bir düzlemde olmayacağı düşünülerek hem aksenel hem de radyal düzlemlerdeki ısı aktarımlarına bakılmıştır. İtfaiyeci kıyafetlerin hava boşluğunu tespit eden bir cihaz geliştirilerek ısı performanslarını karşılaştırabilmek için hava boşlukları farklı kalınlıklarda seçilerek çalışılmıştır. Bu itfaiyeci kıyafetlerde hiç hava boşluğu olmazsa, giysinin ulaştığı en yüksek sıcaklık farkının 166,2°C olarak gözlenmiştir. Katman yapısı da sıcaklıkları etkilemektedir. Çok katmanlı kıyafetlerde ulaşılan sıcaklık, tek katlılara göre yaklaşık 150°C daha fazladır. Hava boşluğunun yangını ne kadar geciktirebileceğine de bakılmış, yanma sürelerinin %137’lere varacak kadar arttığı tespit edilmiştir. Isı akıları, hava boşluğu kalınlıklarına göre kıyaslanmış; 6 mm kalınlıktaki hava boşluğunda %12, 18 mm hava boşluğu kalınlığında yaklaşık %14 olarak ısı akıları artmıştır. İtfaiyecilerin güvenliği ve termal konforu için yapılan bu çalışmada, uygun olan hava boşluğu ile tasarlanan kıyafetin, radyasyon ısı aktarımlarını büyük ölçüde azaltarak güvenli bir çalışma sunacağı gösterilmiştir (Chen,2023).

Kuznetsov vd. (2023), bu çalışmada batarya enerji depolama sistemlerinde bulunan pil düzeneğinin aralarındaki hava boşlukları ile ısı aktarımları analiz edilmiştir. Çünkü bataryalı olan bu sistemlerin şarj işlemleri sırasında enerji yoğunluğundan patlama, yangın gibi tehlikeli koşullara sebebiyet verebilmektedir. Çalışmada iki adet prizmatik olan hücre ile oluşturulan akümülatörün, hücreler arasına hava boşlukları yerleştirildiğinde olan ısı aktarımı analiz edilmiştir. Önce tek bir pil hücresindeki ısı ölçümleri yapıp bu ölçümler iki pil hücresi olan düzeneğe kıyaslanmıştır. İkili pil hücresindeki sıcaklıklar, tek hücreli olan düzeneğe göre 7°C daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Bunun için elektrotermal bir modelleme kurularak sonlu farklar yöntemi ile formülasyon oluşturulmuştur. Sıcaklık analizlerinde, hücreler arası ısı aktarımlarının da göz önüne alındığı bir çalışma olmuştur (Kuznetsov,2023).

MEGEP (2008), bu çalışmada kanalın deformasyona uğramaması için uygun kalınlıkta kullanılacak izolasyon malzemesinin ve yoğuşma olmaması için kanalın sahip olması gereken özellikleri analiz etmişlerdir. İzolasyon yapılmadığında, Resim 3.1'de yer aldığı gibi yoğuşma yüzeyde gerçekleşmektedir.



Resim 3.1. Tesisatın yüzeyindeki yoğuşma

Yüzey sıcaklığı, yoğuşma sıcaklığından düşüktür. ($6,1^{\circ}\text{C} < 22,8^{\circ}\text{C}$)

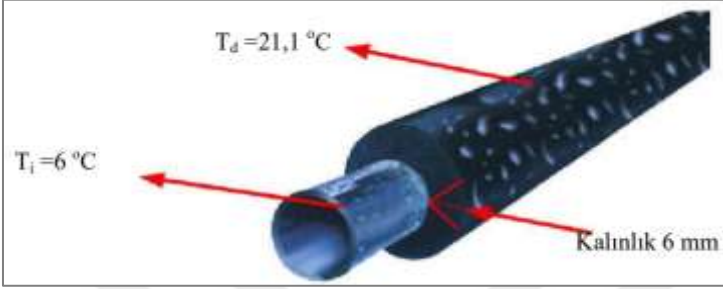
$$\Delta r = kR_s \frac{(T_{DP} - T_{OP})}{(T_{ADB} - T_{DP})} \quad (3.1)$$

Δr : İzolasyon kalınlığı, k : Isı iletim katsayısı, R_s : Yüzey sıcaklık direnci

T_{DP} : Çiy nokta sıcaklığı, T_{OP} : Çalışma sıcaklığı, T_{ADB} : Ortam kuru termometre sıcaklığı

Yoğuşmayı engellemek ve en az gerekli olan izolasyon kalınlığını hesaplamak için (3.1)'de yer alan formül kullanılmıştır.

Tesisatta izolasyon yapıldığı halde yetersiz olduğu durumda ise yoğuşma Resim 3.2'de olduğu gibi izolasyon malzemesinin yüzeyinde gerçekleşmektedir.

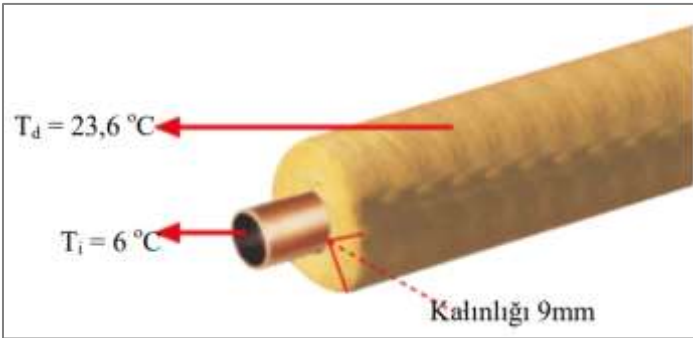


Resim 3.2. İzolasyon malzemesinin yüzeyinde olan yoğuşma

Yalıtım kalınlığı en az 8 mm olmalıdır; fakat Resim 3.2'de 6 mm kullanılmıştır. Yüzey sıcaklığı, yoğuşma sıcaklığından düşüktür. ($21,1^{\circ}\text{C} < 22,8^{\circ}\text{C}$)

Bu durumda, yeterli izolasyon yapılmadığından yoğuşma tesisat yüzeyinde gerçekleşmektedir.

Yeterli kalınlıkta izolasyon malzemesi kullanılırsa; fakat su buharı difüzyon direnç kat sayısı (μ) düşük ise Resim 3.3'te olduğu gibi yoğuşma malzemede gerçekleşmektedir.

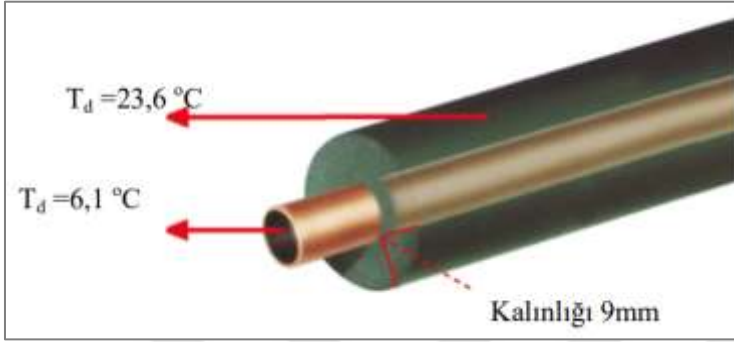


Resim 3.3. Malzeme bünyesinde olan yoğuşma

İzolasyon malzemesinin kalınlığı en az 22 mm olmalıdır. Yüzey Sıcaklığı, yoğuşma sıcaklığından büyüktür. ($23,6^{\circ}\text{C} > 22,8^{\circ}\text{C}$)

Dolayısı ile, yeteri kadar izolasyon yapıldığında, yoğuşma yüzeyde değil, bünyede olmaktadır.

Kullanılan izolasyon malzemesinin su buharı difüzyon direnç katsayısı yeteri kadar olursa, Resim 3.4'teki gibi yoğuşma olayı gerçekleşmemektedir.



Resim 3.4. Yoğuşma olayı olmayan tesisat

İzolasyon malzemesinin kalınlığı en az 8 mm olmalıdır. Yüzey Sıcaklığı, yoğuşma sıcaklığından büyüktür. ($23,6^{\circ}\text{C} > 22,8^{\circ}\text{C}$)

Yeterli özelliklerde izolasyon malzemesi seçildiğinde, yoğuşma olmamaktadır.

Bu çalışmalar göz önüne alındığında, yoğuşma olmaması için en başta yapıya uygun olacak bir izolasyon malzemesi seçilmelidir. Gerekli olan minimum yalıtım kalınlığının doğru hesaplanması gerekmektedir. Seçilen izolasyon malzemesinin su buharı difüzyon direnci katsayısının yeteri kadar yüksek olması gerekmektedir. Tesisatta hava sızdırmazlığına karşı kontrol yapılmalıdır, herhangi bir sızıntı varsa önlenmelidir.



4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Farklı izolasyon malzemeleri ile çalışıp hava boşluğunu dahil ederek ısı iletkenlik ve termal direnç ölçümlerinin yapıldığı bu çalışmada geliştirilen ürün aşağıdaki özelliklerdedir.

Çizelge 4.1. Deneysel çalışmada geliştirilen ürün özellikleri

ÜRÜN	SILENCERAFS.D
İç Boru Konfigürasyon	3 kat Alüminyum + 1 kat polyester (perforeli)
İç Boru Kalınlık	74 µm
İç Çap (Ø)	152 mm
Hatve	18 mm (Ø ≥102 mm)
Ceket Konfigürasyon	3 kat Alüminyum + 2 kat polyester
Ceket Kalınlık	70 µm
Bariyer Yapısı/ Kalınlık	1 kat PE / 12 µm
Kolar Tipi	Alüminyum Bant
İzolasyon/Kalınlık/Yoğunluk	Cam Yünü, Elastomerik Kauçuk Köpük, İğnelenmiş Cam Yünü- <i>Farklı Kalınlıklarda ve hava boşluğu ile</i>
Sıcaklık Aralığı	-30°C / +150°C
Hava Hızı / Çalışma Basıncı	30 m/s (max) / 2500 Pa(max)
Uzunluk (Kolar hariç)	1 m



Resim 4.1. Deneysel çalışmada geliştirilen ürün

Bu çalışmada, halihazırda mevcut olan izoleli esnek hava kanalının dış ceketine heliks kaplamalı çelik teller sarmal bir şekilde yapıya dahil edilerek ürüne boşluk etkisi kazandırılmıştır. Bu sayede hava boşluğu sarmal teller vasıtasıyla homojen bir şekilde muhafaza edilmiştir. Katı kısma oranla boşluğun homojen olması durumunda en iyi yalıtım performansının elde edilmesi bu çalışmada hedeflenmiştir. Bu çalışma, özgünlüğünü

izolasyon malzemeleri haricinde yapıya bu şekilde dahil edilebilen hava boşluğuna borçludur.

Çizelge 4.2. Geliştirilen ürünün deneysel çalışma planı

1.) SILENCERAFS.D (2 / 13 / 25 / 38 / 50 mm hava boşluğu) :
152 mm iç kanal + 2 mm hava + 156 mm ceket
152 mm iç kanal + 13 mm hava + 178 mm ceket
152 mm iç kanal + 25 mm hava + 203 mm ceket
152 mm iç kanal + 38 mm hava + 229 mm ceket
152 mm iç kanal + 50 mm hava + 254 mm ceket
2.) SILENCERAFS.D (25 mm elastomerik kauçuk köpük / 25 mm hava boşluğu) :
152 mm iç kanal + 25 mm izolasyon + 25 mm hava + 254 mm ceket
3.) SILENCERAFS.D (25 mm cam yünü / 25 mm hava boşluğu) :
152 mm iç kanal + 25 mm izolasyon + 25 mm hava + 254 mm ceket
4.) SILENCERAFS.D (25 mm iğnelenmiş cam yünü / 25 mm hava boşluğu) :
152 mm iç kanal + 25 mm izolasyon + 25 mm hava + 254 mm ceket
5.) SILENCERAFS.D (25 mm cam yünü) :
152 mm iç kanal + 25 mm izolasyon + 203 mm ceket
6.) SILENCERAFS.D (50 mm cam yünü) :
152 mm iç kanal + 50 mm izolasyon + 254 mm ceket

Deneysel çalışma AFSLAB'da geliştirilen, içerisinden termokupllar geçen sıcaklık dayanım test cihazında gerçekleştirilmiştir. Yüzey sıcaklıklarının ölçümü ise her yıl kalibrasyonu yapılan "TESTO 905-T2" Yüzey Sıcaklık Ölçer test cihazı ile yapılmıştır.



Resim 4.2. Sıcaklık dayanım cihazında test ölçümü



Resim 4.3. Testo cihazı ile yüzey sıcaklık ölçümü

4.1. Çalışılan İzolasyon Malzemeleri

4.1.1. Cam yünü

Bu çalışmada kullanılmış olan cam yünü KNAUF markasının üretimi olan ve ECOSE teknolojisi ile ürettikleri mineral cam yünüdür. Bağlayıcı olarak içeriğinde formaldehit, fenol gibi zararlı kimyasallar barındırmaz, organik bir üründür.

Normal cam yünlerine kıyasla tozuma ve kaşındırma oranları çok düşüktür. Ayrıca düşük emisyon yaydıkları için kullanıcı ve çevre dostu bir üründür. Standart bilinen cam yünlerinden farklı olarak organik bir içeriğe sahip olduğu için kahverengi cam yünü olarak kabul görmüştür (URL 3).

Yüksek ısı ve ses yalıtımı sağlama yeteneği ile iç mekanlarda hem ısı hem akustik konfor amaçlı kullanılabilir.

Yangına karşı tepki sınıfı, EN 13501-1 standardına göre A1 sınıfıdır, yanmazdır. Bu yüzden rahatlıkla kullanılabilir.

Özel silikonlu lif yapısı sayesinde, suyu karşı itici bir kuvvet oluşturur. Neme ve korozyona karşı dayanıklıdır. Küf ve mantar oluşumu gibi zamanla üründe deformasyonlar gözlenmez.

Çalışmada kullanılan Knauf cam yününün teknik özellikleri Çizelge 4.3'te yer almaktadır.

Çizelge 4.3. Knauf cam yünü teknik özellikleri (URL 3)

Teknik Özellikler	Birim	Değer
Isı İletişim Katsayısı(10°C)	W/m.K	0,037
Yangına Tepki Sınıfı(EN 13501-1)	-	A1
Su Buharı Difüzyon Direnci	μ	1
Basma Dayanımı (%10'luk deformasyonda)	kPa	Gerekmez
Sertifika	-	CE
Ambalaj	-	PE film

Kullanılan cam yününün birçok avantajı vardır:

- Yalıtım malzemelerinde aranan düşük ısı iletkenlik değerine sahiptir. ($k = 0,037$ W/m.K)
- Havadan kaynaklı sesleri absorbe etme yeteneğine sahiptir.
- EN 13501-1 standardına göre yangına karşı tepki sınıfı A1'dir.
- Organik yapısından dolayı tozuma, kaşıma gözlenmez. Çevre dostu bir üründür.
- Esnek ve hafif yapısı sayesinde birçok alanda kullanım kolaylığı sağlar.
- Sıkıştırılmış özel korumalı paket sistemi ile ürün hem dış etkilerden korunur, hem de stok maliyetleri düşürülür.
- Yüksek izolasyon performansı gösterdiği için enerji verimliliği sağlayan bir üründür.
- Yüksek sıcaklıklara dayanımı olduğu için rahatlıkla kullanılabilir.
- Isı yalıtımı kadar sesleri yutabildiği için ses yalıtımı amaçlı da kullanılabilir (URL 3).

Geleneksel cam yünleri de her ne kadar birçok avantaja sahip olsa da lifli yapıları sebebi ile solunum yollarını olumsuz etkileyebilir, kaşıncı etkiye sahiptir. Bundan dolayı kişisel koruyucu ekipmanlarla birlikte kullanılması önerilmektedir. Ürünün montajının doğru yapılması da önemlidir, üreticinin talimatlarına uyularak kullanılmalıdır.

Bu çalışmada kullanılan cam yünlerinin üretim prosesi ve içerikleri zararlı kimyasallar barındırmadığından organik, kaşıncı etkisi yoktur, çevre dostudur ve kullanım kolaylıkları sağlamaktadır.



Resim 4.4. Ecose teknolojisi ile üretilen cam yünü (URL 3)

Ecose teknolojisi ile üretilen kullanmış olduğumuz cam yünü, normal cam yünlerinde olan içerisinde fenol ve formaldehit gibi zararlı kimyasallar içermemektedir. İnsan sağlığını düşünen ve çevreye duyarlı ürünlerdir (URL 3).



Resim 4.5. Çalışılan ECOSOFT cam yünü rulosu (URL 3)

Üretim prosesinde bu zararlı kimyasalları barındırmadığı için, çevreye emisyon yayımı çok düşüktür, çevre dostu ürünlerdir. Bu yüzden iç mekandaki hava kalitesini de olumlu yönde etkileyerek sağlıklı bir atmosfer sağlarlar. Bunlara ek olarak, sera gazı emisyonlarını azaltmayı hedefleyen ürünler oldukları için çağımızın en büyük problemlerinin başında gelen karbon ayak izi miktarını düşürmeye yardımcı olmaktadır.

ECOSOFT cam yününün bu sayede yaşam döngüsü analizlerinde ve sürdürülebilirlik çalışmalarında da olumlu katkısı olacağı göz önüne alınarak, bu çalışmada seçilen izolasyon malzemelerinden birisi olmuştur.

4.1.2. Elastomerik kauçuk köpük

Çalışmamızda kullanmış olduğumuz elastomerik kauçuk köpükler, kapalı hücre yapısına sahip, ısı aktarımını ve yoğuşmayı engelleyen, esnek yapıda olan izolasyon malzemeleridir. Kullanım yerine göre boru veya levha seçenekleri mevcuttur (URL 7).



Resim 4.6. Elastomerik kauçuk köpük rulosu

Çalışmamızda görseldeki gibi rulo halinde olan “İZOCAM” marka elastomerik kauçuk köpük kullanılmıştır.

Bu elastomerik kauçuk köpüğün öne çıkan özellikleri şu şekildedir:

- Düşük bir ısı iletkenlik değerine sahip olduğu için yüksek ısı yalıtımı sağlar. ($k = 0,034$ W/m.K)
- Su buharı difüzyon direnç katsayısı oldukça yüksek olduğu için yoğuşma oluşmasını engelleyen bir üründür. ($5000 \geq \mu \geq 7000$)
- Ozon tabakasını tehdit eden kloroflorokarbon (CFC) gazlarını içermez, çevre dostudur.
- Kapalı hücre yapısına sahiptir, lifli malzeme içermez.
- Esnek bir yapıda olduğu için kullanım kolaylığı sağlar, ürün deformasyona uğramaz.

Özellikle esnek bir yapıda olması ve su buharı difüzyon katsayısının çok yüksek olması ile hava kanallarında sıklıkla rastlanan yoğuşmayı önlemek için tek başına yeterli bir yalıtım malzemesi olmasından ötürü bu çalışmada tercih edilen izolasyon malzemelerinden birisi olmuştur. Aynı zamanda kapalı hücreli bir yapıda olduğu için gözeneklerin etkisi ile malzeme hava boşlukları ile dolarak ısıyı absorbe etmesinin ve ısı aktarım değerinin daha düşük çıkması beklendiğinden dolayı bu olumlu etkiyi gözlemlemek için de bu çalışmada tercih edilen bir malzeme olmuştur.

Ürünün teknik özellikleri ise Çizelge 4.4’te detaylandırılmıştır.

Çizelge 4.4. Optiflex levha teknik özellikleri (URL 7)

Malzeme	-	-	Elastomerik Kauçuk Köpük						-	TS EN 14304
Malzeme Tipi	-	-	Optiflex Levha	Optiflex AL	Optiflex KY	Optiflex AL-KY	-	-	-	
Kaplama	-	-	Kaplamasız	Al-folyo (18µ, takviyeli, yanmaz)	Kendinden yapışkanlı film	Al-folyo, Kendinden yapışkanlı film	-	-	-	
Yangına Tepki Sınıfı	-	-	E						-	TS EN 13501-1
Hizmet Sıcaklığı	-	°C	-50 / 105			-50 / 85			-	-
Uzunluk	l	mm	3000 ≤ L ≤ 60000						± 1,5 %	EN 822
Genişlik	b	mm	1000 - 1200						± 2 %	EN 822
Et Kalınlığı	d	mm	6 ≤ d ₀ ≤ 32			6 < d ₀ ≤ 50 *			d ₀ ≤ 6	±1,0
									6 < d ₀ ≤ 19	±1,5
									d ₀ > 19	±2,0
Isıl İletkenlik Beyan Değeri	T	°C	-20	0	20	40	60	80	-	TS EN 12667
	λ ₀	W/m.K	0,031	0,034	0,036	0,037	0,038	0,043		
Su Buharı Difüzyon Direnci	μ	-	≥ 5000						-	EN 12086
Yağlara Karşı Direnç	-	-	İyi						-	-
Hava Koşullarına Direnç	-	-	İyi						-	-
Esneklik	-	-	Çok İyi						-	-
Küf Oluşumu	-	-	Yoktur						-	-
Ambalajlama	-	-	PE Torba						-	-
Diğer Bilgiler	Korozyon ile ilgili olarak DIN 1988/7 standardına uygundur. Ürün %0,2'den az amonyum ve 0,05'den az suda çözünür klor iyonu içerir.									

4.1.3. İğnelenmiş cam yünü

Bu çalışmada kullanılan diğer bir izolasyon malzemesi olan iğnelenmiş cam yünleri, E tipi cam elyafların bir araya getirilerek özel iğneler ile sıkı bir şekilde liflerin birbirine bağlanması olan iğnelenme prosesi ile elde edilmektedir. Bu şekilde lifler birbirine oldukça sağlam bir şekilde bağlanmış olur (URL 4).

Herhangi bir organik bağlayıcı içermediği için 600°C'lere kadar kullanıma uygun malzemelerdir.

Standart cam yünlerine göre kıyaslandığında çok daha avantajlı olan iğnelenmiş cam yünleri, sık yapısı sayesinde titreşim gibi mekanik etkilere karşı oldukça dayanıklıdır.

Isı iletim katsayıları, standart cam yünlerine göre daha düşük değerlerdedir. Su ile temas etse bile yapısında bir deformasyon olmaz.

Aynı zamanda yüksek elektrik direncine sahip malzemelerdir. Yangına tepki sınıfı A olup yanmaz malzemeler olarak geçmektedir (URL 4).

Hem sık yapısı ile mekanik etkilere karşı dayanıklı bir ürün olmasından dolayı esnek hava kanalına mekanik bir mukavemet sağlaması açısından hem de içeriğinde organik madde içermediğinden dolayı çok yüksek sıcaklıklarda çalışmaya uygun olduğundan, elektriğe ve neme ayrıca dayanımı olmasından dolayı bu çalışmada tercih edilen bir malzeme olmuştur.



Resim 4.7. İğnelenmiş cam yünü levhası

4.1.4. Hava

Bu çalışmayı diğer çalışmalardan ayıran özelliklerin başında gelen ve doğada bilinen en düşük ısı iletim katsayısına sahip olan izolasyon malzemelerinden olan havanın, R değerini minimum maliyetle artırdığı bu çalışma boyunca gözlenmiştir. Doğada bulunan kuru havayı çalışmada kullanarak, yalıtım malzemeleri içerisinde maliyeti olmayan, en kolay bulunabilecek ve çevre dostu olan bu ürünün kapalı gözenekler içerisinde kalarak yapıya dahil edilmesi başarılmıştır.

Havanın termal konduktivitesi diğer izolasyon malzemelerine nazaran oldukça düşüktür.

$$k= 0,02436 \text{ W/mK (T=0}^\circ\text{C)} \quad (4.1)$$

Bruno (2021), Daşdemir vd. (2017), Ertürk vd. (2015), He ve Yu (2018), Chen vd. (2023)'nin yapmış oldukları çalışmalarda, hava boşluğunun yapıya dahil edildiğinde ısı aktarım değerini düşürerek ısı direnç değerini artırdığı ve yakıt maliyetlerini düşürerek enerji verimliliğine olumlu katkıda bulunduğu genel olarak gözlenmiştir. Bu çıkarımlardan da yola çıkarak, çalışmada geliştirilen ürünün yapısına dahil edilerek ürünün termal direncine ve ısı aktarımına etkisi gözlemlenmiştir.

4.2. İzolasyon Malzemelerinin Isıl İletkenlik Ölçümleri

Seçilen izolasyon malzemelerinin termal iletkenlik ölçümleri “Lasercomp Fox 600 Isı Akış Ölçer” cihazı ile KNAUF Ar-Ge laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Avrupa bölgesinde kullanılan standart ortalama sıcaklık ayar noktası $10^{\circ}\text{C} \pm 0,03^{\circ}\text{C}$ 'dir.

Termal ölçüm amacıyla ilgili numunelerden 600 mm x 600 mm test parçaları kesilmiştir.

Cihazın sıcaklık hassasiyeti $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$ 'dir.

Yoğunluk ölçülürken 300 mm x 300 mm test parçaları kesilir, numunenin ağırlığı, numune ebatları ve kalınlığına bölünerek yoğunluğu elde edilir.

$$\text{Ölçülen Yoğunluk (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Merkezi Numune Ağırlığı (kg)}}{0,3\text{m} \times 0,3\text{m} \times \text{Nominal Kalınlık (m)}} \quad (4.2)$$

Çizelge 4.5'te çalışılan izolasyon malzemelerinin Knauf Laboratuvarlarındaki Fox 600 cihazında gerçekleşen ısı iletkenlik ölçüm sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.5. İzolasyon malzemeleri ve ısı iletkenlik sonuçları

Ürün Açıklaması			Ölçüm						
Numune Adı	Numune Tipi	Numunenin Alındığı Yer	Ölçüm Tarih	Lambda Ölçüm Cihazı	Numune Ölçüm Kalınlığı (mm)	Numune Genişlik (mm)	Numune Uzunluk (mm)	Ölçülen Lambda Değeri W/mK (10°C)	Ölçüm Yoğunluğu (kg/m^3)
1 ECOSOFT Cam Yünü (Kahverengi)	Levha	AFS Boru Sanayi A.Ş.	2.12.2022	Fox 600	25	600	600	0,03602	13,3
2 Elastomerik Kauçuk Köpük (Siyah)	Levha				30	600	600	0,0353	40
3 İğnelenmiş Cam Yünü (Beyaz)	Levha				10	600	600	0,03185	87,7

Knauf Laboratuvarlarında gerçekleştirilen ısı iletkenlik ölçüm sonuçlarına göre, en iyi ısı iletkenlik değerinin iğnelenmiş cam yününde çıktığı gözlemlenmiştir.(0,03185 W/m.K)

Çalışılan izolasyon malzemelerine göre ısı iletkenlik ölçümlerinin kıyasına Çizelge 4.6'da yer verilmiştir.

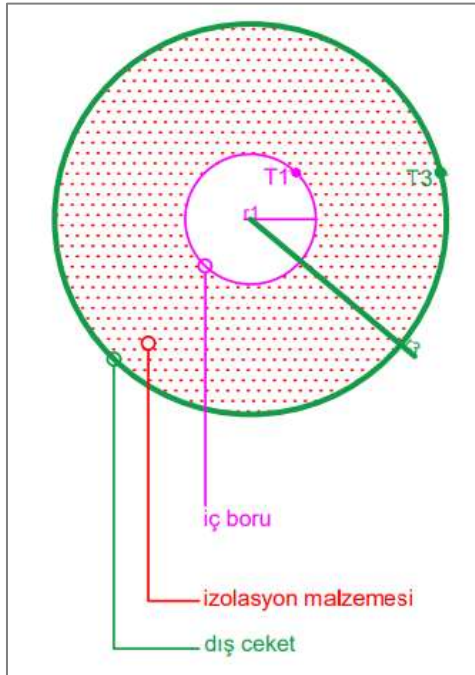
Çizelge 4.6. Çalışılan izolasyon malzemeleri ve ısı çalışma değerleri

İzolasyon Malzemesi				İç Boru	Ceket
İzolasyon Malzemesi	k (W/mK) 10°C	Kalınlık (m)	Yoğunluk (kg/m ³)	İç Boru Çap (Ø) (m)	Ceket Çap (Ø) (m)
Cam yünü	0,036	0,025	13,3	0,152	0,203 0,229 0,254
Elastomerik Kauçuk Köpük	0,035	0,025	40		
İğnelenmiş Cam Yünü	0,032	0,010	87,7		
Hava	0,025	0,025	1,25		

Bu tabloya göre yalıtım için en iyi ısı iletkenlik sonucunun yaklaşık 0,032 W/mK olarak iğnelenmiş cam yününde çıktığı tespit edilmiştir.

4.3. Isı Aktarım Katsayısı ve Kritik İzolasyon Kalınlığı Hesabı

Kritik izolasyon kalınlığı, ısı akışının maksimumu gördüğü ve bundan sonra azalmaya başladığı noktayı tanımlamaktadır. Bu hesabı yaparken, (4.3) formülündeki Newton'un Soğuma Yasasından yararlanarak belirli kalınlıklarda hava boşluğu kullanarak belirlenmiştir.



Şekil 4.1. Kritik izolasyon kalınlığı hesabı için hava kanalı gösterimi

$$q = h_0 \cdot A \cdot (T_3 - T_0) \quad (4.3)$$

Yapıya izolasyon malzemesi eklendiğinde dış alan= $2 \cdot \pi \cdot r_3 \cdot L$ artar , T_3 değeri düşer. Isı aktarımı değerinin artıp artmayacağını belirleyebilmek için izolasyon malzemesinin direnç değerleri ile oranlanarak (4.4)'te yer alan denklem türetilir.

$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_1 - T_0)}{\frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_1}\right)}{k} + \frac{1}{r_3 \cdot h_0}} \quad (4.4)$$

İzolasyon malzemelerinin kalınlığının ısı aktarımına etkisini belirlemek için q değerinin r_3 değerine göre türevi alınır ve (4.5)'te yer alan denklem sıfıra eşitlenerek maksimum ısı akışı için (4.6)'da yer alan kritik izolasyon yarıçapı elde edilir.

$$\frac{dq}{dr_3} = \frac{-2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_1 - T_0) \cdot \left(\frac{1}{r_3 \cdot k} - \frac{1}{r_3^2 \cdot h_0}\right)}{\left(\frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_1}\right)}{k} + \frac{1}{r_3 \cdot h_0}\right)^2} = 0 \quad (4.5)$$

$$r_{3,cr} = \frac{k}{h} \quad (4.6)$$

(4.6)'da yer alan bu değer, ısı aktarımının maksimum olduğu noktadaki kritik yarıçap değeridir. Bu nedenle, dış yarıçap r_3 , kritik değerden düşük ise, daha fazla izolasyon malzemesi eklemek ısı aktarım oranını artıracaktır. Dış yarıçap r_3 , kritik değerden büyük ise, daha fazla izolasyon malzemesi eklemek ısı aktarım hızını düşürecektir.

Bu çalışmadaki kritik yarıçap değerini belirleyebilmek için öncelikle hava için ısı taşınım katsayısı olan h değeri hesaplanılır. Bu hesabı yaparken Prandtl ve Nusselt sayılarından faydalanılmıştır.

$$N_{Pr} = \frac{C_p \cdot \mu}{k} \quad (4.7)$$

μ : dinamik viskozite, Pa.s = (N.s)/ m²

k : ısı iletim katsayısı, W/(m.K)

c_p : özgül ısı , SI birimi : J/(kg.K)

$$N_{Nu} = \frac{h.D}{k} \quad (4.8)$$

h : ısı taşınım katsayısı, W/m².K

D : Çap, m

k : ısı iletim katsayısı, W/m.K

Borunun içerisinden geçen havanın sıcaklığı 150°C olduğu için bu sıcaklıktaki havanın fiziksel özelliklerinden yararlanır (Holman,2010).

C_p : 1,018 kJ/kg.K

μ : 2,38x10⁻⁵ kg/m.s

k : 0,035 W/m.K

$$N_{Pr} = \frac{C_p \cdot \mu}{k} = \frac{1,018 \frac{kJ}{kg.K} \cdot (2,38 \times 10^{-5}) \frac{kg}{m.s}}{0,035 \frac{W}{m.K}} = 0,689$$

$$N_{Nu} = \frac{h.D}{k} = 0,027 \cdot N_{Re}^{0,8} \cdot N_{Pr}^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\mu_b}{\mu_w}\right)^{0,14} \quad (4.9)$$

Nusselt sayısından ilerleyerek ısı iletim katsayısı bulunabilir. Öncelikle, akışın laminar veya türbülent olduğunu anlayabilmek için Reynolds sayısına bakılır.

$$N_{Re} = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad (4.10)$$

Borunun iç çapı, D : 0,152 m

Hava hızı, v : 5 m/s

Yoğunluk, ρ : 0,83 kg/m³

Viskozite, μ : 2,85x10⁻⁵ kg/m.s

$$N_{Re} = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} = \frac{0,152m \cdot 5 m/s \cdot 0,83kg/m^3}{2,85 \times 10^{-5} kg/m \cdot s}$$

$$N_{Re} = 2,65 \times 10^4 > 6000 \text{ (Türbülent akış)}$$

Reynolds sayısı hesabına göre 6000'den büyük olduğu için türbülent akıştır. Boru içerisinde türbülent akış için olan ısı taşınım katsayısı hesaplamak için (4.9)'da yer alan formül kullanılır.

$$N_{Nu} = 0,027 \cdot N_{Re}^{0,8} \cdot N_{Pr}^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\mu_b}{\mu_w}\right)^{0,14} = 0,027 \cdot (2,65 \times 10^4)^{0,8} \cdot (0,689)^{1/3} \cdot \left(\frac{2,85 \times 10^{-5}}{2,85 \times 10^{-5}}\right)^{0,14}$$

$$N_{Nu} = 82,4 = \frac{h \cdot D}{k} = \frac{h \cdot (0,152)m}{0,035 W/mK}$$

$$h = 19 W/m^2.K$$

Isı taşınım katsayısı hesabından sonra kritik izolasyon kalınlığı hesaplanabilir.

$$r_{cr} = \frac{k}{h} = \frac{0,035 W/mK}{19 W/m^2K} = 1,84 mm$$

Bu hesaba göre hava boşluğunun kritik izolasyon kalınlığı yaklaşık 2 mm olarak bulunmuştur.

Cam yünü, elastomerik kauçuk köpük ve iğnelenmiş cam yünü için de aynı şekilde kritik izolasyon kalınlıkları hesaplanılmıştır.

$$r_{cr.cam \ yünü} = \frac{k}{h} = \frac{0,036 W/mK}{19 W/m^2K} = 1,89 mm$$

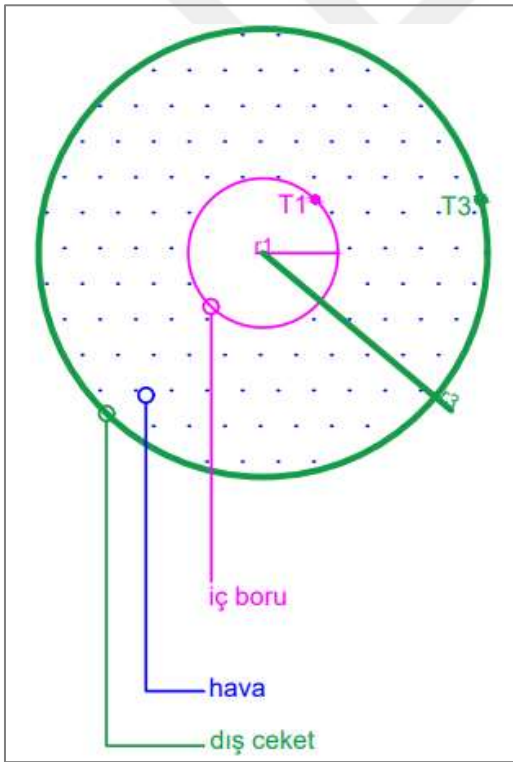
$$r_{cr.elastomerik \ k.k} = \frac{k}{h} = \frac{0,0353 W/mK}{19 W/m^2K} = 1,86 mm$$

$$r_{cr, iğnelenmiş cam yünü} = \frac{k}{h} = \frac{0,032 \text{ W/mK}}{19 \text{ W/m}^2\text{K}} = 1,68 \text{ mm}$$

Bu sonuçlara göre kritik izolasyon kalınlığının yaklaşık olarak 2 mm olduğu gözlenmiştir.

4.3.1. Hava termal direnç-ısı aktarım hesapları

Yalıtım malzemesi hiç kullanılmayarak sadece havanın ısı direnç ve ısı aktarım değerlerinin ölçüldüğü sistem modellemesi Şekil 4.2’de yer aldığı şekilde yapılmıştır. Hava boşluğu esas alınarak belirli kalınlıklara göre ısı aktarımı değişimi Çizelge 4.7’de yer aldığı şekilde hesaplanmıştır. Bu değişim Şekil 4.3’teki gibi grafiksel olarak gösterilmiştir. Çalışılan ürün, iç boru, hava boşluğu ve dış ceketten oluşmaktadır.



Şekil 4.2. Hava boşluğu kullanılarak tasarlanan hava kanalı gösterimi

Çalışılacak izolasyon kalınlıklarına karar vermek için hava boşluğu aracılığıyla farklı kalınlıklarda hava kullanılarak ısı aktarımı ölçümleri (4.11)’de yer alan formüle göre gerçekleştirilmiştir.

Borunun içinden geçen havanın olduğu bölge “i” olarak (A_i, T_i, h_i), iç borunun olduğu bölge “iç” olarak, boruya eklenen hava boşluğu “0” olarak, dış ceketin olduğu bölge “dış” olarak sembolize edilmektedir.

İç boru ve dış ceket Alüminyum malzemeden oluştuğu için termal iletkenlik değeri olarak Alüminyumun değerleri alınmaktadır (Holman, App.A3-16).

k_{Alu} : 210,5 W/m.K (150°C) , k_{Alu} : 206 W/m.K (100°C) , k_{Alu} : 202 W/m.K (0°C)

$$q = \frac{(T_{iç} - T_{yüzey})}{\left(\frac{1}{h_i * A_i}\right) + \frac{(r_{iç, d} - r_{iç, i})}{(k_{alu} * A_{iç, lm})} + \frac{(r_3, iç - r_1, dış)}{(k_{hava} * A(3 - 1), lm)} + \frac{(r_{dış, d} - r_{dış, i})}{(k_{alu} * A_{dış, lm})}} \quad (4.11)$$

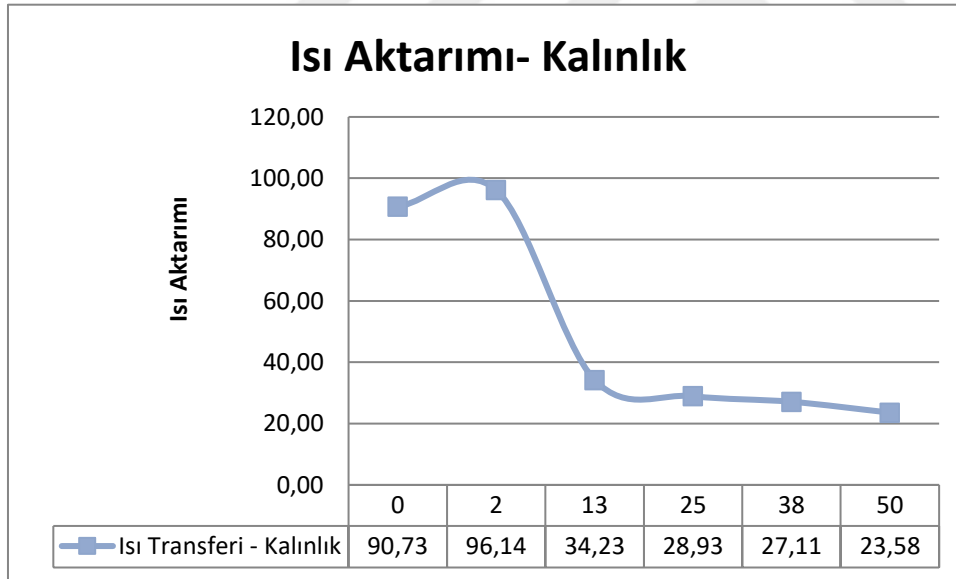
İçeriden geçen havanın konveksiyon ile ısı aktarımı, iç boruda ve cekte kullanılan alüminyum borunun ve izolasyon malzemesi olarak kullanılan hava boşluğunun konduksiyon ile ısı aktarımı hesaba katılarak (4.11)’de yer alan formüle göre hesaplamalar yapılmıştır. Bunun sonucunda Çizelge 4.7’de yer alan ısı aktarımı hesaplamaları elde edilmiştir.

Çizelge 4.7. İzolasyon kalınlıklarına göre ısı aktarımı değişimi

İzolasyon kalınlığı, mm Hava (150°C)	Isı taşınım katsayısı, h_i (W/m ² .K) 150°C	Boru boy, m	$T_{iç}$, K	$T_{yüzey}$, K	İç Boru iç çap/dış çap, m	Ceket iç çap/dış çap, m	Isı iletim katsayısı, k_{hava} (W/m.K)	Alu- k1 (W/mK) T_0	Alu- k2 (W/mK) $T_{yüzey}$
0	19	1	423,2	413,15	0,152/ 0,152074	-	-	209,60	-
2	19	1	423,2	401,15	0,152/ 0,152074	0,156/ 0,15607	0,0342	209,60	208,50
13	19	1	423,2	394,15	0,152/ 0,152074	0,178 0,17807	0,0340	209,80	207,90
25	19	1	423,2	380,15	0,152/ 0,152074	0,203 0,20307	0,0334	209,60	206,60
38	19	1	423,2	366,15	0,152/ 0,152074	0,229/ 0,22907	0,0327	209,06	205,72
50	19	1	423,2	362,15	0,152/ 0,152074	0,254 0,25407	0,0330	210,05	205,56

Çizelge 4.7. (devam) İzolasyon kalınlıklarına göre ısı aktarımı değişimi

İç Alan-iç/ İç Alan dış,m ²	$\ln(A_{id}/A_{ii})/ A_{iç,lm,m^2}$	Dış Alan iç/ Dış Alan dış,m ²	$\ln(A_{dd}/A_{di})/ A_{dış,lm,m^2}$	$\ln(A_{d,i}/A_{id})/ A_{orta,lm,m^2}$	$\Delta R_{convective}/ \Delta R_{conduction}$	ΔR_{total}	q,W
0,4775/ 0,4778	0,0005/ 0,4776	-	-	-	0,110218/ 3,7E-07	0,110218	90,73
0,4775/ 0,4778	0,0005/ 0,4776	0,4901/ 0,4903	0,0004/ 0,49	0,03/ 0,48	0,110218/ 0,118617	0,228835	96,14
0,4775/ 0,4778	0,0005/ 0,4776	0,5592/ 0,5594	0,0004/ 0,56	0,16/ 0,52	0,110218/ 0,736871	0,847089	34,23
0,4775/ 0,4778	0,0005/ 0,4776	0,6377/ 0,6380	0,0003/ 0,64	0,29/ 0,55	0,110218/ 1,375939	1,486157	28,93
0,4775/ 0,4778	0,0005/ 0,4776	0,7194/ 0,7196	0,0003/ 0,72	0,41/ 0,59	0,110218/ 1,992381	2,102599	27,11
0,4775/ 0,4778	0,0005/ 0,4776	0,7980/ 0,7982	0,0003/ 0,80	0,51/ 0,62	0,110218/ 2,47698	2,587198	23,58



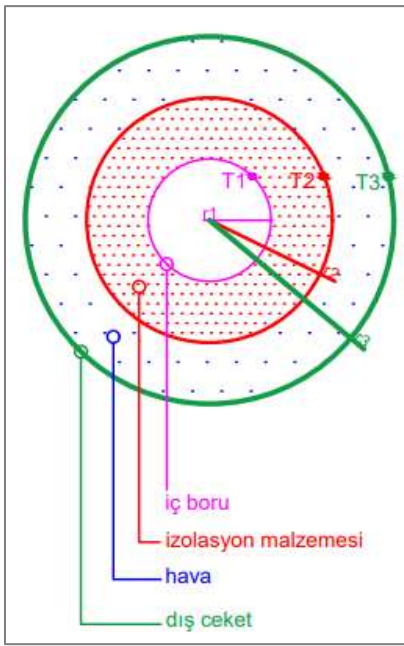
Şekil 4.3. İzolasyon kalınlığına göre ısı aktarımı değişimi

Şekil 4.3'te gösterilen grafiğe göre, kritik izolasyon kalınlığı yaklaşık 2 mm olmakla birlikte bu noktadan sonra ısı akışı azalmaya başlamıştır. Isı aktarımı değerine göre izolasyon kalınlığı 25 mm olduktan sonra en iyi yalıtım performanslarının elde edilebileceği gözlenmiştir. 25 mm kalınlıktan sonra ise ısı kayıp oranlarının daha az bir ivmeyle azaldığı tespit edilmiştir. Bundan dolayı 25 mm kalınlıktan sonra izolasyon malzemelerinin maliyetleri de kalınlıkla birlikte artacağından dolayı 25 mm kalınlığın

üzerinde izolasyon malzemeleri ile çalışmanın gerekli olmadığı anlaşılmıştır. Bu yüzden çalışmada izolasyon malzemelerinin etkilerini gözlemlerken 25 mm izolasyon malzemesine ilave hava boşluğu ile çalışılmıştır.

4.4. Çok Katmanlı Borunun Deneysel ve Teorik Termal Direnç Ölçümleri

Bu çalışmada geliştirilen ürüne ait sistem modellemesi, Şekil 4.4'te yer aldığı şekilde yapılmıştır.



Şekil 4.4. Çok katmanlı silindirik koordinatlarda ısı aktarımı ölçümleri

Borunun içerisinden ve ara katmandan hava geçtiği için Newton'un Soğutma Yasası'ndan ve iç boru-izolasyon malzemesi-cketin olduğu noktalarda ise Fourier Yasası'ndan yararlanılarak ısı aktarım hızını hesaplamak için formül oluşturulur:

$$\frac{q}{A} = -k \cdot \frac{dT}{dx} \quad (4.12)$$

$$\frac{q}{A} \int_{x_1}^{x_2} dx = -k \cdot \int_{T_1}^{T_2} dT \quad \text{İntegral işlemi sonucu (4.14) elde edilir.} \quad (4.13)$$

$$\frac{q}{A} = k \cdot \frac{(T_1 - T_2)}{(x_2 - x_1)} \quad (4.14)$$

$$q = h_i \cdot A_i \cdot (T_0 - T_1) \quad (4.15)$$

(4.14) formülünde yer alan kondüksiyon ve (4.15) formülünde yer alan konveksiyon formülleri birleştirilerek, hem konveksiyon hem de kondüksiyonun olduğu çok katmanlı silindirik koordinatlar için ısı aktarım hızı, q için formül oluşturulur.

Borunun içinden geçen havanın olduğu bölge “i” olarak (A_i, T_i, h_i), iç borunun olduğu bölge “1” olarak, izolasyon malzemesinin olduğu bölge “1-2” olarak, boruya eklenen hava boşluğu “2-3” olarak, dış ceketin olduğu bölge “3” olarak sembolize edilmektedir.

$$q = \frac{(T_0 - T_3)}{\left(\frac{1}{h_i \cdot A_i}\right) + \left(\frac{r_1 \cdot d_{i\zeta} - r_1 \cdot i\zeta}{k_1 \cdot A_1 \cdot lm}\right) + \left(\frac{r_2 - r_1}{k_a \cdot A(1-2) \cdot lm}\right) + \left(\frac{r_3 \cdot i\zeta - r_2 \cdot d_{i\zeta}}{k_{hava} \cdot A(2-3) \cdot lm}\right) + \left(\frac{r_3 \cdot d_{i\zeta} - r_3 \cdot i\zeta}{k_2 \cdot A_3 \cdot lm}\right)} \quad (4.16)$$

$$A_1 \cdot lm = \frac{(A_1 \cdot d_{i\zeta} - A_1 \cdot i\zeta)}{\ln\left(\frac{A_1 \cdot d_{i\zeta}}{A_1 \cdot i\zeta}\right)} \quad A(1-2) \cdot lm = \frac{(A_2 - A_1)}{\ln\left(\frac{A_2}{A_1}\right)}$$

$$A(2-3) \cdot lm = \frac{(A_3 - A_2)}{\ln\left(\frac{A_3}{A_2}\right)} \quad A_3 \cdot lm = \frac{(A_3 \cdot d_{i\zeta} - A_3 \cdot i\zeta)}{\ln\left(\frac{A_3 \cdot d_{i\zeta}}{A_3 \cdot i\zeta}\right)}$$

olarak tanımlanır.

Isıl dirençler;

$$R_{konveksiyon} = \left(\frac{1}{h_i \cdot A_i}\right)$$

$$R_{kondüksiyon} = \left(\frac{r_1 \cdot d_{i\zeta} - r_1 \cdot i\zeta}{k_1 \cdot A_1 \cdot lm}\right) + \left(\frac{r_2 - r_1}{k_a \cdot A(1-2) \cdot lm}\right) + \left(\frac{r_3 \cdot i\zeta - r_2 \cdot d_{i\zeta}}{k_{hava} \cdot A(2-3) \cdot lm}\right) + \left(\frac{r_3 \cdot d_{i\zeta} - r_3 \cdot i\zeta}{k_2 \cdot A_3 \cdot lm}\right)$$

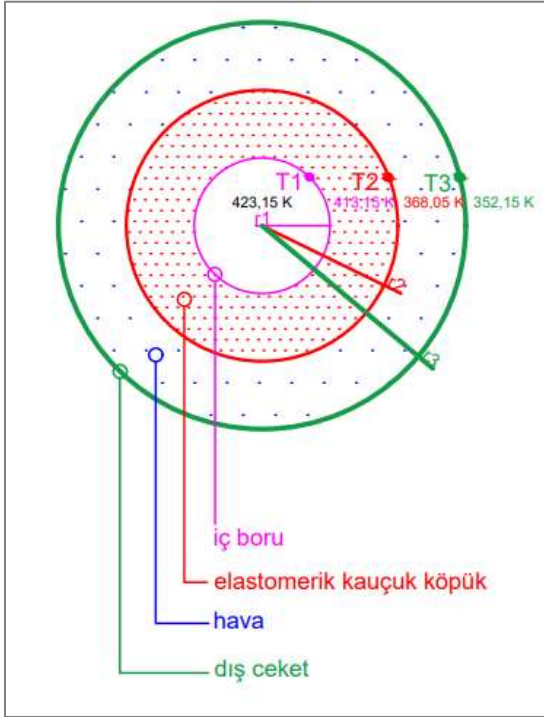
olarak tanımlanır.

Isı aktarım hızı ise, (4.17)’de yer alan formül gibi toparlanarak sıcaklık değişimi, toplam ısı direncine oranlanarak ifade edilir.

$$q = \frac{(T_0 - T_3)}{(R_{konveksiyon} + R_{kondüksiyon})} = \frac{T_0 - T_3}{\Sigma R} \quad (4.17)$$

4.4.1. Elastomerik kauçuk köpük ve hava termal direnç-ısı aktarım hesapları

İzolasyon malzemelerinden elastomerik kauçuk köpük yalıtımı ile kaplanan hava kanalının termal direnç ve ısı aktarımının ölçüldüğü sistem modellemesi Şekil 4.5'te yer aldığı şekilde yapılmıştır.



Şekil 4.5. Elastomerik kauçuk köpük yalıtımı ile termal direnç-ısı aktarımı ölçümleri

Elastomerik kauçuk köpük ile yalıtımı yapılan 2 No'lu hava kanalının Çizelge 4.8'de deneysel termal direnç ve ısı aktarımı ölçümleri yer almaktadır.

Çizelge 4.8. Elastomerik kauçuk köpük ve deneysel termal direnç değerleri

İzolasyon Malzemesi	Isı taşınım katsayısı, h_i (W/m ² .K) 150°C	Boru boy, m	İç boru iç çap/ dış çap, m	Ceket iç çap/dış çap, m	Isı iletim katsayısı, k_{hava} (W/m.K) 360,1 K	k_A (W/mK) Elastomerik K.K.	Alu-k1 (W/mK) T1/ Alu-k2 (W/mK) T3	Isı Aktarımı q (W)
Elastomerik Kauçuk Köpük+Hava (25 mm/ 25 mm)	19	1	0,152 / 0,152074	0,254/ 0,25407	0,031	0,035	210,00/ 205,00	48,1484
	Sıcaklık, T_0 (K)	Sıcaklık, T_1 (K)	Sıcaklık, T_2 (K)	Sıcaklık, T_3 (K)	$A_{iç,lm}/ A_{dış,lm}/ A_{1-2lm}$ A_{2-3lm,m^2}	$\Delta R_{konvektif}/ \Delta R_{kondüksiyon}$	ΔR_{total}	
	423,15	413,15	368,05	352,15	0,4776 0,7981 0,55 0,71	0,1102 2,4781	2,5883	

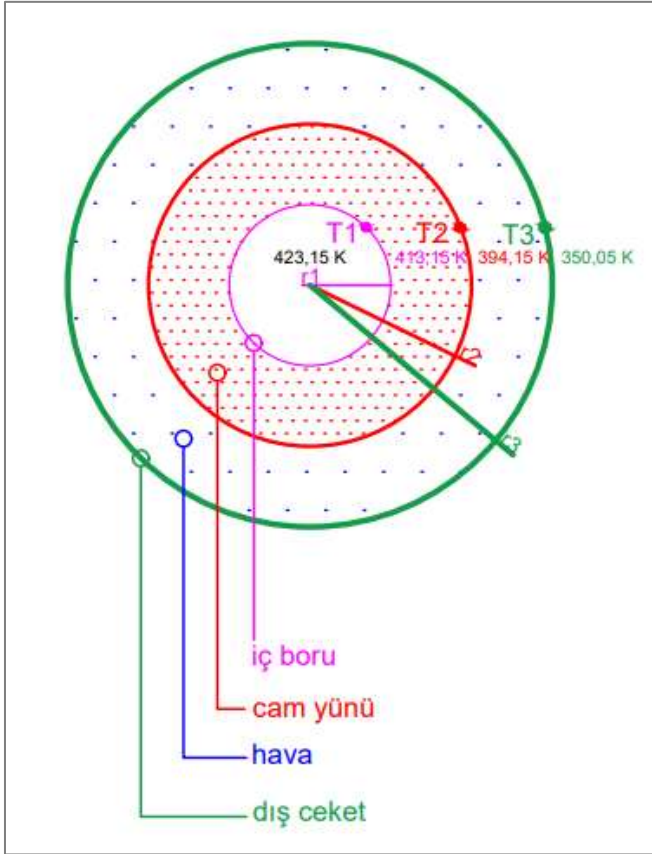
Sıcaklık dayanım cihazında elastomerik kauçuk köpük ve hava boşluğu ile gerçekleştirilen deneysel verilere göre sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Borunun içinden geçen havanın direnci 0,1102 K/W olarak, iç borudaki alüminyumun, ara katmandaki elastomerik kauçuk köpüğün, hava boşluğunun ve dış ceketteki alüminyum ceketin dirençleri 2,4781 K/W olarak hesaplanarak toplam direnç 2,5883 K/W olarak bulunmuştur. T_0 sıcaklığı 423,15 K iken T_3 sıcaklığı 352,15 K olarak ölçülmüştür. 25 mm kalınlığındaki elastomerik kauçuk köpük ve 25 mm hava boşluğunda gerçekleşen bu ölçüm sonucuna göre ısı aktarım değeri 27,43 W olarak hesaplanmıştır.



Resim 4.8. Sıcaklık dayanımında 25 mm izoleli kauçuk köpük ve 25 mm hava boşluğu takılı iken

4.4.2. Cam yünü ve hava termal direnç-ısı aktarım hesapları

İzolasyon malzemelerinden cam yünü yalıtımı ile kaplanan 3 No'lu hava kanalının termal direnç ve ısı aktarımının ölçüldüğü sistem modellemesi Şekil 4.6'da yer aldığı şekilde yapılmıştır.



Şekil 4.6. Cam yünü yalıtımı ile termal direnç-ısı aktarımı ölçümleri

Cam yünü ile yalıtımı yapılan hava kanalının Çizelge 4.9’da deneysel termal direnç ve ısı aktarımı ölçümleri yer almaktadır.

Çizelge 4.9. Cam yünü ve deneysel termal direnç değerleri

İzolasyon Malzemesi	Isı taşınım katsayısı, h_i (W/m ² .K) 150°C	Boru boy, m	İç boru iç çap/ dış çap, m	Ceket iç çap/dış çap, m	Isı iletim katsayısı, k_{hava} (W/m.K) 372,1 K	k_A (W/mK) Cam Y.	Alu-k1(W/mK) T1/ Alu-k2(W/mK) T3	Isı Aktarımı q (W)
Cam Yünü+Hava (25 mm/ 25 mm)	19	1	0,152 / 0,152074	0,254/ 0,25407	0,0316	0,036	210,00/ 205,00	48,1484
	Sıcaklık, T ₀ (K)	Sıcaklık, T ₁ (K)	Sıcaklık, T ₂ (K)	Sıcaklık, T ₃ (K)	$A_{iç,lm}/ A_{dış,lm}/ A_{1-2lm} A_{2-3lm},m^2$	$\Delta R_{konvektif}/ \Delta R_{kondüksiyon}$	ΔR_{total}	
	423,15	413,15	394,15	350,05	0,4775 0,7981 0,55 0,71	0,1102 2,4096	2,5198	

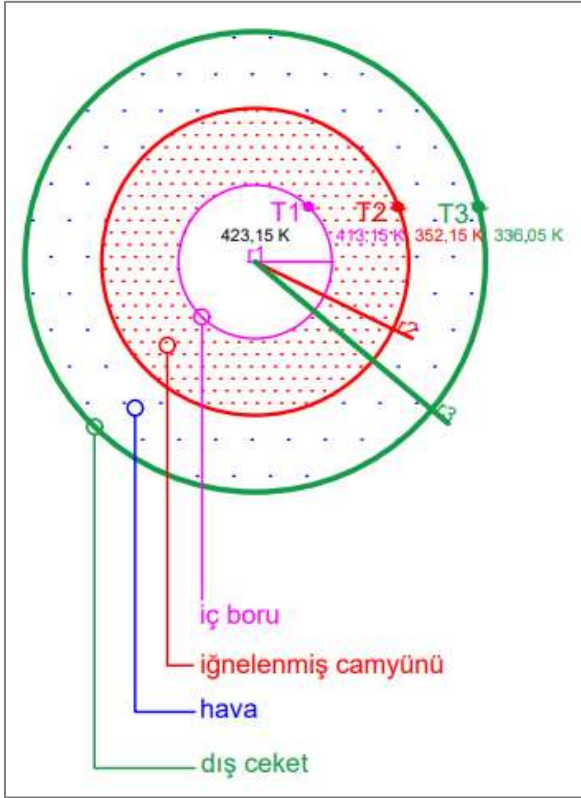
Sıcaklık dayanım cihazında cam yünü ve hava boşluğu ile gerçekleştirilen deneysel verilere göre sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Borunun içinden geçen havanın direnci 0,1102 K/W olarak, iç borudaki alüminyumun, ara katmandaki cam yününün, hava boşluğunun ve dış ceketteki alüminyum ceketin dirençleri 2,4096 K/W olarak hesaplanarak toplam direnç 2,5198 K/W olarak bulunmuştur. T_0 sıcaklığı 423,15 K iken T_3 sıcaklığı 350,05 K olarak ölçülmüştür. 25 mm kalınlığındaki cam yünü ve 25 mm hava boşluğunda gerçekleşen bu ölçüm sonucuna göre ısı aktarım değeri 29,01 W olarak hesaplanmıştır.



Resim 4.9. TESTO cihazı ile yüzey sıcaklık okuma

4.4.3. İğnelenmiş cam yünü ve hava termal direnç-ısı aktarım hesapları

İzolasyon malzemelerinden iğnelenmiş cam yünü yalıtımı ile kaplanan 4 No'lu hava kanalının termal direnç ve ısı aktarımının ölçüldüğü sistem modellemesi Şekil 4.7'de yer aldığı şekilde yapılmıştır.



Şekil 4.7. İğnelenmiş cam yünü yalıtımı ve hava ile termal direnç-ısı aktarımı ölçümleri

İğnelenmiş cam yünü ile yalıtımı yapılan hava kanalının Çizelge 4.10'da deneysel termal direnç ve ısı aktarımı ölçümleri yer almaktadır.

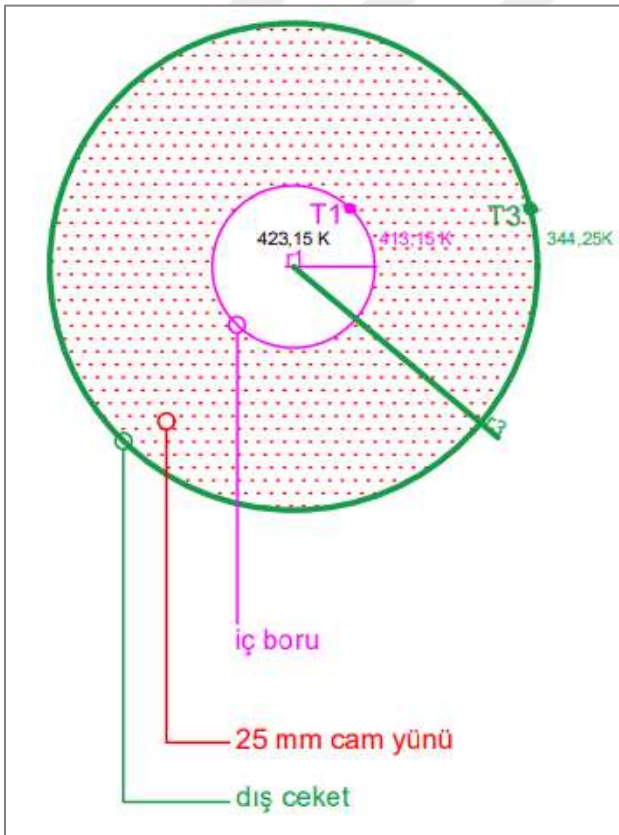
Çizelge 4.10. İğnelenmiş cam yünü ve deneysel termal direnç değerleri

İzolasyon Malzemesi	Isı taşınım katsayısı, h_i (W/m ² .K) 150°C	Boru boy, m	İç boru iç çap/ dış çap, m	Ceket iç çap/dış çap,m	Isı iletim katsayısı, k_{hava} (W/m.K) 344,1 K	k_A (W/mK) Cam Y.	Alu- k1(W/mK) T1/ Alu- k2(W/mK) T3	Isı Aktarımı q (W)
İğnelenmiş Cam Yünü + Hava (25 +25) mm	19	1	0,152 / 0,152074	0,254/ 0,25407	0,030	0,032	210/ 204,5	48,1484
	Sıcaklık, T_0 (K)	Sıcaklık, T_1 (K)	Sıcaklık, T_2 (K)	Sıcaklık, T_3 (K)	$A_{iç,lm}/ A_{dış,lm}/ A_{1-2,lm} A_{2-3,lm}$ m ²	$\Delta R_{konvektif}/ \Delta R_{kondüksiyon}$	ΔR_{total}	
	423,15	413,15	352,15	336,05	0,4776 0,7981 0,55 0,71	0,1102 2,6428	2,7530	

Sıcaklık dayanım cihazında iğnelenmiş cam yünü ve hava boşluğu ile gerçekleştirilen deneysel verilere göre sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Borunun içinden geçen havanın direnci 0,1102 K/W olarak, iç borudaki alüminyumun, ara katmandaki iğnelenmiş cam yünü, hava boşluğunun ve dış ceketteki alüminyum ceketin dirençleri 2,6428 K/W olarak hesaplanarak toplam direnç 2,7530 K/W olarak bulunmuştur. T_0 sıcaklığı 423,15 K iken T_3 sıcaklığı 336,05 K olarak ölçülmüştür. 25 mm kalınlığındaki iğnelenmiş cam yünü ve 25 mm hava boşluğunda gerçekleşen bu ölçüm sonucuna göre ısı aktarım değeri 31,64 W olarak hesaplanmıştır.

4.4.4. Cam yünü termal direnç-ısı aktarım hesapları

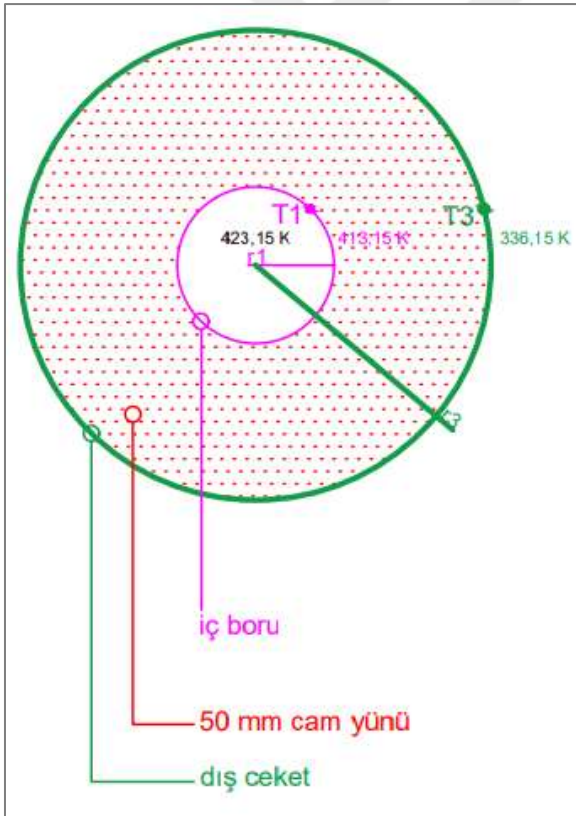
Sadece izolasyon malzemesi kullanılarak da deneyler gerçekleştirilmiştir. İzolasyon malzemelerinden cam yünü seçilerek tasarlanan 5 ve 6 No'lu hava kanallarının sistem modellemesi Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da yer aldığı şekildedir. Bu hava kanallarının ısı direnç ve ısı aktarımı değişimlerine Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12'de yer verilmiştir.



Şekil 4.8. Sadece 25 mm izolasyon malzemesi kullanılarak termal direnç-ısı aktarımı ölçümleri

Çizelge 4.11. Cam yünü-25 mm deneysel termal direnç değerleri

İzolasyon Malzemesi	Isı taşınım katsayısı, h_i (W/m ² .K) 150°C	Boru boy, m	İç boru iç çap/ dış çap, m	Ceket iç çap/dış çap, m	Isı iletim katsayısı, k_{hava} (W/m.K)	k_A (W/mK) Cam Y.	Alu-k1(W/mK) T1/ Alu-k2(W/mK) T3	Isı Aktarımı q (W)
Cam Yünü (25 mm)	19	1	0,152 / 0,152074	0,203/ 0,20307	-	0,036	210,1/ 204,7	48,1484
	Sıcaklık, T_0 (K)	Sıcaklık, T_1 (K)	Sıcaklık, T_2 (K)	Sıcaklık, T_3 (K)	$A_{iç,lm}/ A_{dış,lm}/ A_{3-1,lm}$ m ²	$\Delta R_{konvektif}/ \Delta R_{kondüksiyon}$	ΔR_{total}	
	423,15	413,15	341,25	341,25	0,4776 0,64 0,55	0,1102 1,2769	1,3872	



Şekil 4.9. Sadece 50 mm izolasyon malzemesi kullanılarak termal direnç-ısı aktarımı ölçümleri

Çizelge 4.12. Cam yünü-50 mm deneysel termal direnç değerleri

İzolasyon Malzemesi	Isı taşınım katsayısı, h_i (W/m ² .K) 150°C	Boru boy, m	İç boru iç çap/ dış çap, m	Ceket iç çap/dış çap,m	Isı iletim katsayısı, k_{hava} (W/m.K)	k_A (W/mK) Cam Y.	Alu-k1(W/mK) T1/ Alu-k2(W/mK) T3	Isı Aktarımı q (W)
Cam Yünü (50 mm)	19	1	0,152 / 0,152074	0,254/ 0,25407	-	0,036	210,1/ 204,5	48,1484
	Sıcaklık, T_0 (K)	Sıcaklık, T_1 (K)	Sıcaklık, T_2 (K)	Sıcaklık, T_3 (K)	$A_{iç,lm}/ A_{dış,lm}/ A_{3-1,lm}$ m ²	$\Delta R_{konvektif}/ \Delta R_{kondüksiyon}$	ΔR_{total}	
	423,15	413,15	336,15	336,15	0,4776 0,80 0,62	0,1102 2,2678	2,3780	

Sıcaklık dayanım cihazında sadece cam yünü ile gerçekleştirilen deneysel verilere göre sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. 25 mm cam yünü kullanılarak gerçekleştirilen deneyde, borunun içinden geçen havanın direnci 0,1102 K/W olarak, iç borudaki alüminyumun, ara katmandaki cam yününün ve dış ceketteki alüminyum ceketin dirençleri 1,2769 K/W olarak hesaplanmıştır. T_0 sıcaklığı 423,15 K iken T_3 sıcaklığı 341,25 K olarak ölçülmüştür. 25 mm cam yünü izolasyonu ile yapılan deneysel ölçüm sonucuna göre ısı aktarım değeri 59,04 W olarak hesaplanmıştır.

50 mm cam yünü kullanılarak gerçekleştirilen deneyde, borunun içinden geçen havanın direnci 0,1102 K/W olarak, iç borudaki alüminyumun, ara katmandaki cam yününün ve dış ceketteki alüminyum ceketin dirençleri 2,2678 K/W olarak hesaplanmıştır. T_0 sıcaklığı 423,15 K iken T_3 sıcaklığı 336,15 K olarak ölçülmüştür. 50 mm cam yünü izolasyonu ile yapılan deneysel ölçüm sonucuna göre ısı aktarım değeri 36,58 W olarak hesaplanmıştır. Cam yünü kalınlığının artması ile doğru orantılı olarak boruda ölçülen termal direnç artmıştır ve sonucunda ısı aktarım hızı düşmüştür.

4.4.5. Deneysel ölçümler sonuç

Yapılan bu deneysel çalışma sonuçlarına göre, izolasyon malzemeleri ve hava boşluğu kullanılarak boruda meydana gelen sıcaklık değerleri, ısıl dirençler, ısı aktarım hızları ölçülmüştür. Giriş ve çıkış sıcaklıkları, termokupllar sayesinde ölçülen ve Resim 10.10'da yer alan sıcaklık dayanım cihazından okunmuştur. Ortam sıcaklığı ise düzeneğin içerisinde

yer alan fana bağılı havalandırma ve kapalı bir düzenek olması sayesinde sabit 20°C olarak ayarlanmıştır.



Resim 4.10. Sıcaklık dayanımı giriş ve çıkış sıcaklıkları

Deneysel çalışma sonucuna göre, izolasyon malzemesinin kalınlığı artırıldığında termal direncin arttığı ve ısı aktarım hızının düştüğü gözlemlenmiştir ve teorik olarak da yalıtım performansını artıracığı bilinmektedir. Fakat, bu çalışmanın amacı, izolasyon malzemesi maliyetlerini düşürerek ve optimum kalınlıkta izolasyon malzemesi kullanarak termal direnci artırmak ve ısı aktarım hızını düşürmektir.

Bu çalışmada, izolasyon malzemesi kalınlığı minimize edilerek hava boşluğunun yapıya dahil edilmesi ile kompozit bir izolasyon malzemesi oluşturulmuştur. Bu sayede kritik izolasyon kalınlıkları baz alınarak izolasyon malzemeleri ile çalışılmıştır. Kritik izolasyon kalınlığı belirlenirken çalışılacak izolasyon malzemelerinin kalınlıkları da belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en iyi yalıtım değerinin 25 mm izolasyon kalınlığından sonra elde edileceği gözlenmiştir. 25 mm kalınlıktan sonra ise ısı kayıp oranlarının daha az bir ivmeyle azaldığı tespit edilmiştir. Bundan dolayı 25 mm kalınlıktan sonra izolasyon malzemelerinin maliyetleri de kalınlıkla birlikte artacağından dolayı 25 mm kalınlığın üzerinde izolasyon malzemeleri ile çalışmanın gerekli olmadığı anlaşılmıştır. Bu yüzden çalışmada izolasyon malzemelerinin etkilerini gözlerken 25 mm izolasyon malzemesine ilave hava boşluğu ile çalışılmıştır.

Deneysel çalışma sonucuna göre, çalışılan ürünlerin direnç ve ısı aktarım değerleri Çizelge 4.13'te kıyaslanmıştır.

Çizelge 4.13. Çalışılan ürünlerin ısı direnç-ısı aktarımı kıyası

Çalışılan Ürünler	Isıl Direnç (K/W)	Isı Aktarımı (W)	Isı Aktarımı Sapma Değeri
25 mm Hava Boşluğu	1,49	28,93	± 11,6 %
50 mm Hava Boşluğu	2,59	23,58	± 11,4 %
25 mm İzoleli	1,39	59,04	± 25,6 %
50 mm İzoleli	2,38	36,58	± 13,8 %
25 mm Elastomerik Kauçuk Köpük+ 25 mm Hava Boşluğu	2,59	27,43	± 9,8 %
25 mm Cam Yünü + 25 mm Hava Boşluğu	2,52	29,01	± 27,4 %
25 mm İğnelenmiş Cam Yünü + 25 mm Hava Boşluğu	2,75	31,64	± 12,6 %

Çizelge 4.13'te yer alan sonuçlara göre, ısı aktarım değeri 23,58 W olarak en düşük 50 mm hava boşluğunda elde edilmiştir. Geliştirilen kompozit yapıdaki ürünlerden bu sonuca en yakın değer ise 27,43 W olarak 25 mm kalınlığındaki elastomerik kauçuk köpük ve 25 mm kalınlığındaki hava boşluğu ile elde edilmiştir. Havanın kapalı hücreli yapıya dahil edilmesi sayesinde iletim ile ısı aktarımı gerçekleşmiş ve izolasyon malzemesiymiş gibi olumlu bir ısı performans ölçülmüş olmuştur. Fakat, izolasyon malzemelerinin ısıya ve sese karşı üstün performansından, aleve karşı dayanımlarının çok yüksek olmasından, yoğunlaşmayı önlemek için kullanılmalarından gibi birçok avantajlarından yararlanılmak istenildiği için sadece hava boşluğu ile ürünü kullanmaktansa izolasyon malzemesine ilave hava boşluğu ile kullanımı tercih edilmiştir.

Isıl direnç olarak kıyasladığımızda ise en yüksek değer 2,75 K/W olarak 25 mm iğnelenmiş cam yünü ve 25 mm hava boşluğu olan üründe elde edildiği gözlemlenmiştir.

Isı aktarım değerleri hesaplanırken testler birçok kez tekrarlanmıştır ve cihazdan belirli periyotlarla okunan sıcaklık değerlerinin ortalamaları alınmıştır. Bu değerler baz alınarak hesap yapıldığında ölçümlerdeki sapma değerleri hesaplanmıştır. Sadece hava boşluğu ile yapılan testlerde ısı aktarım değerinde yaklaşık ±11% sapma olduğu tespit edilmiştir. Cam yünlerinde ±27% değerlerine varan sapma ile en yüksek cam yünü ile kaplanan hava kanallarında sapma gözlenmiştir. Bunun nedeninin cam yününün daha kolay ezilebilmesi

dolayısıyla homojenitesini korumakta zorlandığı ve bundan dolayı da okunan sıcaklık değerlerinde farklılıklar olabildiği düşünülmektedir. Cam yününe göre daha sık bir yapıya sahip olan iğnelenmiş cam yününde ise sapma değerinin $\pm 12,6\%$ çıkması ile bu yapısından kaynaklı olarak olumlu etkisi gözlenmiştir. En düşük sapma değeri ise elastomerik kauçuk köpük ürünle $\pm 9,8\%$ olarak hesaplanmıştır. Bunun nedeninin ise izolasyon malzemeleri arasında yapısı en homojen olan malzeme elastomerik kauçuk köpüktür. Ölçüm alınan noktalarda sıcaklık farkı en az elastomerik kauçuk köpükte gözlenmiştir. Elastik bir formda olan elastomerik kauçuk köpük, kararlı yapısı sayesinde ölçümlerinde de kararlı bir performans göstermiştir.

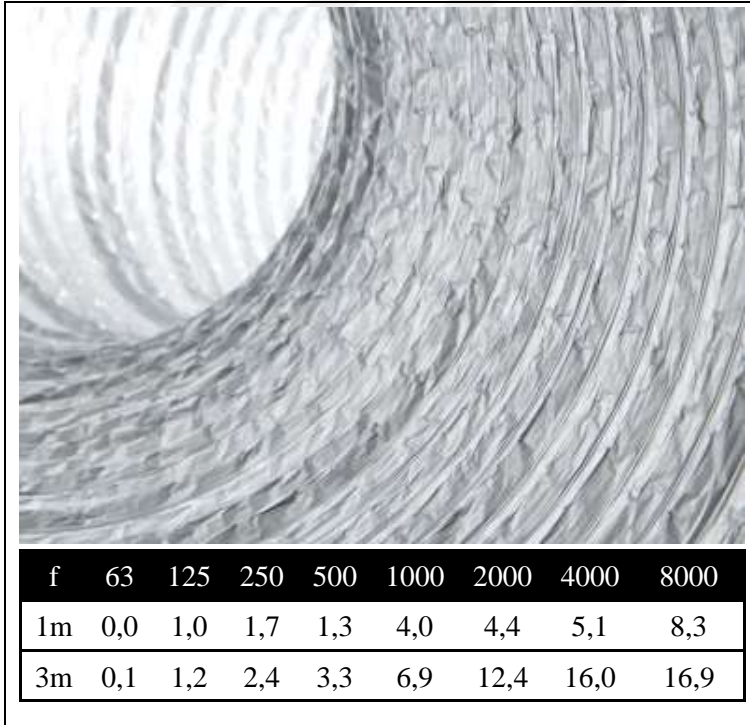
Isı aktarımını, ölçülen sıcaklıklar, ısı iletim katsayıları, ısı dirençler, malzeme özellikleri gibi birçok faktörler etkilemektedir. Bu çalışmada, izolasyon malzemeleri arasında kıyas yapıldığında en düşük ısı aktarımının 25 mm elastomerik kauçuk köpük ve 25 mm hava boşluğunda ölçüldüğü (27,43 W) gözlenmiştir. Isıl direnci en yüksek çıkan 25 mm iğnelenmiş cam yünü ve 25 mm hava boşluklu ürünün ısı aktarım değeri ise 31,64 W olarak hesaplanmıştır. İğnelenmiş cam yünün ısı direnci en iyi çıkarken elastomerik kauçuk köpüğün ise ısı aktarımını en düşük çıkarmıştır. Bunun nedeni ise ısı aktarımını ölçerken ısı direnç kadar sıcaklık ölçümlerinin, malzeme yapısının ve özelliklerinin de etkili olmasıdır. Elastomerik kauçuk köpükte sıcaklık farkları daha az ölçülmüştür, ölçülen ısı direnç ile oranlandığında daha düşük bir ısı aktarımını elde edilmiştir. Buna etki eden faktörlerin başında elastomerik kauçuk köpüğün kapalı hücreli yapıda olmasının, gözeneklerin etkisi ile malzemenin hava boşluğu ile dolarak ısıyı absorbe etmesinin ve yapısından dolayı kalınlığın homojen bir dağılımda olmasının ölçümleri olumlu etkilediği düşünülmektedir. Diğer yandan, cam yününün yapısından ötürü kalınlıklarının homojen olarak dağılmadığından dolayı sıcaklık ölçümlerini bir miktar etkilediği düşünülmektedir.

Bu çalışma sonucuna göre, havanın bilinen düşük ısı iletim katsayısından yararlanılarak geliştirilen iğnelenmiş cam yünü izolasyon malzemesi ve hava boşluklu kompozit ürün sayesinde ısı direnç değeri istenen değerlere çıkarılabilmektedir. Bu sayede izolasyon malzemesi maliyetleri azaltılarak optimum kalınlıkta izolasyon malzemesi kullanılarak ekonomik olarak kar elde etmenin yanı sıra hava boşluğunun yapıya eklenmesi ile esnek hava kanallarında verimli ısı değer sağlanabilecektir. Bunun sonucu olarak ise yakıt maliyetleri azalacak ve çevre için sürdürülebilirliğe önemli bir katkıda bulunarak emisyonlar azalacaktır. Karbon ayak izinin düşmesine doğrudan etkisi olacaktır.

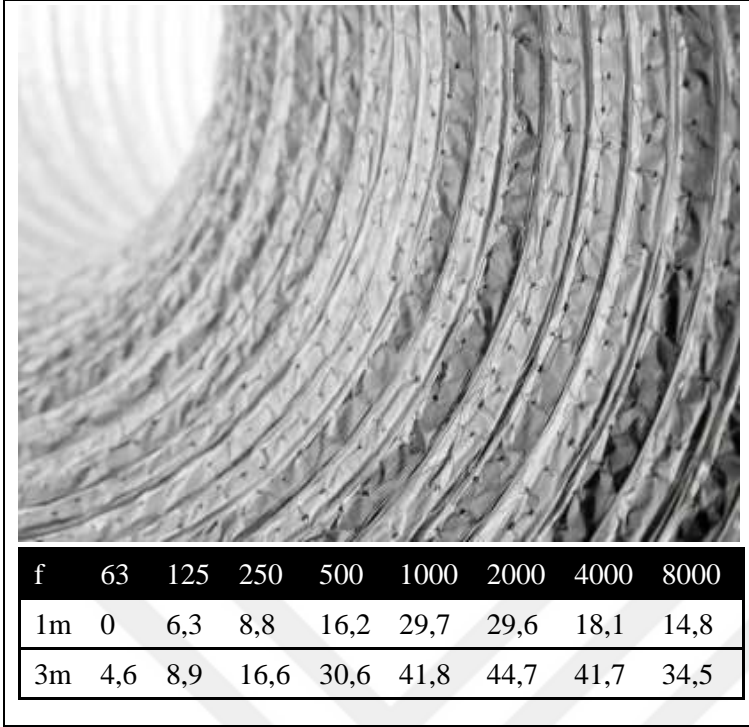
4.5. Sese Karşı Yalıtım Deneyleri

Bu çalışmada ısıya karşı performansın iyileştirilmesi hedeflenirken, bir yandan da akustik konforun sağlanması için çalışmalara da yer verilmiştir. Çünkü, gürültü kirliliğinin de insan üzerinde birçok olumsuz etkisi bulunmaktadır. Başta sessiz ve akustik odaların önemli olduğu yerlerde kullanılmak üzere tasarlanan akustik ürünler, gürültü kirliliğinin farkına varıldığı bu dönemde birçok yeni tasarlanan üründe aranan bir özellik haline gelmiştir. Binalarda gürültü kirliliği ile alakalı yönetmelikler yürürlüğe girmiştir. Bunlar göz önüne alındığında, ısıya karşı yalıtım sağlarken sese karşı da yalıtımı sağlamak için susturucu kategorisinde olan ürün geliştirilmiştir. Ürünün iç yapısına belirli düzenli aralıklarla mikro perforasyonlar eklenerek sesin izolasyon malzemesine kaçırılması ve bu sayede ürünün ses yutması sağlanmıştır.

EN ISO 7235 Standardına uygun olarak tasarlanan tamamen yalıtımlı olan semi-anechoic test odasında çalışılan ürünlerin kanal boyunca ses yutum miktarlarının ölçümü gerçekleştirilmiştir.



Resim 4.11. Standart ısı izoleli ürün iç yapısı



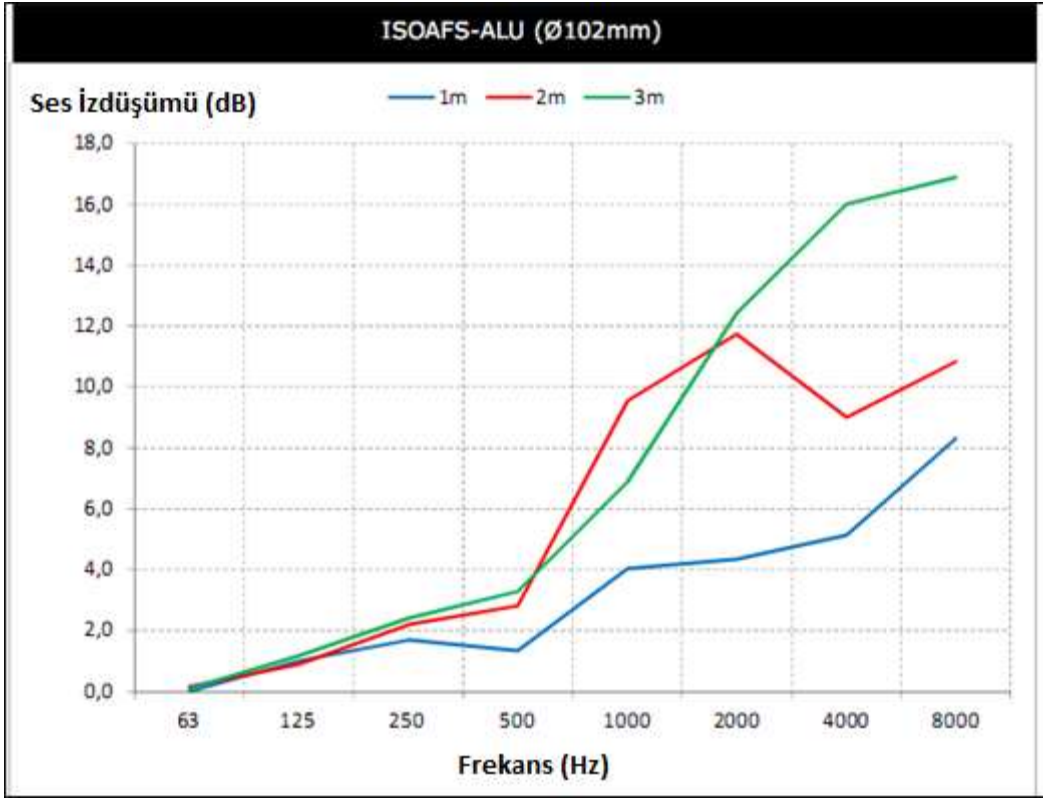
Resim 4.12. Geliştirilen ısı ve ses izoleli ürün iç yapısı



Resim 4.13. Standart ısı izoleli ürün görseli



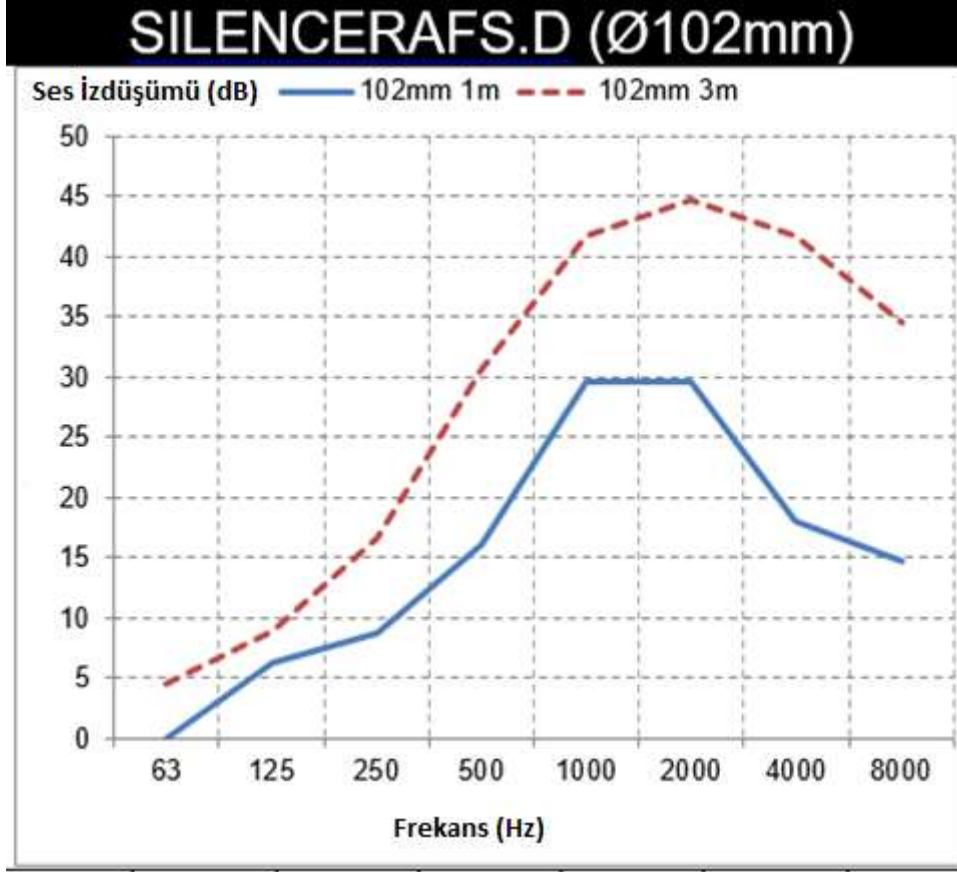
Resim 4.14. Geliştirilen ses ve ısı izoleli ürün görseli



Şekil 4.10. Isı izoleli ürün ses izdüşüm grafiği

Belirli frekanslara göre ses izdüşümleri ölçülen, önce ses yutum özelliği olmayan rijit boru bağlanarak “dummy duct” adlı ölçümler referans alınır, ardından ısı izoleli ürünün montajı gerçekleştirilerek ara eleman olarak bağlanır. Kanal boyunca ses yutumları tamamen sessiz yalıtımlı odada Bruer & Kajar marka ses ölçüm cihazı ile alınarak farklı frekanslarda ölçüm yapılır. Ürüne farklı boylarda testler uygulanır ve grafiğe geçirilir.

Şekil 4.10’da ısı izoleli boruda, boy uzadıkça ses yutum değerinin arttığı gözlenmiştir. 3 metrelik ısı izoleli boru 4000 Hz frekans değerinde 16 dB ses yutmuştur.



Şekil 4.11. Geliştirilen ses ve ısı izoleli ürünün ses izdüşüm grafiği

Belirli frekanslara göre ses izdüşümleri ölçülen, önce ses yutum özelliği olmayan rijit boru bağlanarak “dummy duct” adlı ölçümler referans alınır, ardından ses ve ısı izoleli ürünün montajı gerçekleştirilerek ara eleman olarak bağlanır. Kanal boyunca ses yutumları tamamen sessiz yalıtımlı odada Bruel & Kjaer marka ses ölçüm cihazı ile alınarak farklı frekanslarda ölçüm yapılır. Ürüne farklı boylarda testler uygulanır ve Şekil 4.11’deki gibi grafiğe geçirilir.

Şekil 4.11’de ısı ve ses izoleli geliştirmiş olduğumuz boruda, boy uzadıkça ses yutum değerinin arttığı gözlenmiştir. 3 metrelik ses ve ısı izoleli boru 4000 Hz frekans değerinde 41.7 dB ses yutmuştur.

Sonuç olarak, bu çalışmada geliştirilen ürün ve normal ısı izoleli ürün arasında yapılan ses ölçüm sonuçları arasındaki fark yukarıdaki grafikler ile gözlenmektedir. Geliştirilen ürünün iç yapısındaki perforeli kısım sayesinde izolasyon malzemesinin olduğu taraflara ses kaçmaktadır ve bu özelliğin ses yutum performansını iyileştirdiği gözlemlenmiştir.

5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmayı diğer yapılan çalışmalardan ayıran şey, hava boşluğunu sağlamak amacıyla izoleli esnek hava kanalında sarmal yapıda teller kullanarak yapıya boşluk etkisi kazandırmaktır.

Şartlandırılmış havanın taşınmasına yönelik olarak geliştirilen bu kanal, iç boru, izolasyon malzemesi, buhar bariyeri olarak görev yapan ceket ve iç boru ile buhar bariyeri arasında konumlandırılan havayı içerir. Hava boşluğu, kanala sarmal olarak kaplanan ve boşlukların homojen dağılmasını sağlayacak heliks teller vasıtası ile sağlanır. Bu sayede yalıtılmış esnek kanalın izolasyon değerini artırmak için yansıtıcı yalıtım sistemi oluşturulmuş olur ve endüstride en çok aranan yüksek R değeri düşük maliyetle sağlanmış olur.

Çalışmada kullanılan kaplamalı çelik tellerin metal olmasından ötürü iletim ile ısı aktarımı hesaplandığında, metal olmasından dolayı ısıl dirence etkisi ihmal edilebilecek kadar düşük çıkmasından ötürü hesaplamalara çelik tel ölçümleri dahil edilmemiştir.

Bu çalışmada, esnek hava kanallarında karşılaşılan bir problem olan yoğuşmayı önlemek için çalışmada tercih edilen malzemelerin su buharı difüzyon dirençlerinin yüksek olmasının yanı sıra iç boru ile cam yünü arasında ince bir Polietilen bariyer kullanılarak yoğuşmaya karşı ekstra bir önlem alınmış olmuştur. Ayıryeten, su buharı geçirgenlikleri düşük olan izolasyon malzemeleri seçilerek yoğuşmanın önlenmesi amaçlanmıştır. Özellikle elastomerik kauçuk köpüğün su buharı difüzyon direnç faktörü 5000 değerinin üzerindedir ve tek başına kondenzasyonu önleyebilecek bir malzemedir.

Bir yandan mekanik mukavemet performansları kıyaslandığında, ürün özellikleri ve yapıları göz önüne alındığında cam yününe nazaran iğnelenmiş cam yünü ve elastomerik kauçuk köpüğün dayanımlarının daha iyi olduğu teorik olarak bilinmektedir. Cam yününe yoğunluğunun da düşük olması herhangi bir sıkıştırılma durumunda kalınlığını korumayı zorlaştırmaktadır. Bu bakımdan elastomerik kauçuk köpük ve iğnelenmiş cam yünü yoğun yapısıyla fiziksel olarak yapısını muhafaza edebilmektedir. Ürünlerin mekanik dayanımını ölçen Amerikan standardı olan UL 181 Etki Testi elastomerik kauçuk köpük ve iğnelenmiş cam yünü ile izole edilen ürüne uygulandığında, yaklaşık 7 kg kadar olan kum torbası 25 cm kadar bir yükseklikten ürünün üzerine serbest

düşme ile bırakıldığında, iç borunun alan değişimi ölçülmüştür ve değişimin standardın kriteri olan alan değişiminin %20'nin çok altında kaldığı gözlenmiştir. Fakat, cam yünü ile izole edilen boruda bu alan değişiminin %20'lik sınıra yakın çıktığı tespit edilmiştir. Bu sonucu üründe kullanılan tellerin etkilediği kadar kullanılan izolasyon malzemelerinin yoğunluğu, kalınlığı ve termal direnci de etkilemektedir. Üründe aynı teller kullanıldığı için bu mekanik mukavemet sonuçlarında, izolasyon malzemelerinin yoğunluk, termal direnç değerleri belirleyici olmuştur.

Bu çalışma sonucunda, ısı iletkenlik ölçümleri, ısı direnç ölçümleri, giriş ve çıkış sıcaklıkları, ısı aktarımları gibi termal özellikler, farklı izolasyon malzemeleri ile çalışılarak analiz edilmiştir. Kullanılan izolasyon malzemeleri, cam yünü, elastomerik kauçuk köpük ve iğnelenmiş cam yünüdür. Bu malzemelerin seçilmesinin sebebi, başta yalıtım malzemelerinde aranan bir kriter olan ısı iletkenliklerinin düşük olmasının yanı sıra, geliştirmiş olduğumuz esnek hava kanalında kullanıma uygun formda olmalarıdır. Bu malzemelerin esnek olmalarının yanında alev dayanımlarının çok yüksek olması, ısı ve ses izolasyonunda yüksek performanslar göstermeleri hava kanalında kullanım için tercih edilme sebeplerindedir. Cam yünü, esnek hava kanalları ile uyumu dolayısıyla halihazırda sıklıkla kullanılan, tercih edilen malzemelerin başında gelmektedir. İğnelenmiş cam yünü ise cam elyafın özel iğnelerle delinip birbirine bağlanma işlemi sonucunda sık bir yapıya sahiptir ve bu yoğun yapı, malzemenin mekanik etkilere karşı direncini artırmaktadır. Basınca dayanımı yüksek bir malzemedir. İçeriğinde organik madde olmadığından dolayı da 500-600°C gibi yüksek sıcaklıklara dayanabilmektedir. Bundan dolayı bu çalışmada tercih edilen diğer bir malzemedir. Çalışmada diğer kullanılan izolasyon malzemesi elastomerik kauçuk köpük olup kapalı hücreli ve gözenekli yapısı sayesinde ısıyı absorbe etme yeteneği bulunmaktadır. Bu sayede ise düşük ısı aktarımları ölçülmüştür. Kapalı hücre yapısı sayesinde kir ve nem barındırmayarak bakteri oluşumunu önlemektedir. Su buharı difüzyon direnç katsayısı çok yüksek olduğu için hava kanallarında oluşabilecek yoğunlaşmayı tek başına önleme yeteneği sayesinde tercih edilen diğer bir malzemedir. Çalışmada tercih edilen malzemelerin diğer bir ortak noktası ise çevre dostu ürünler olup emisyon yaymayan ürünlerdir. Bu sayede sürdürülebilirliğe olumlu katkı sağlamak hedeflenmiştir. Bundan dolayı ekstrüde polistiren (XPS) malzemeler kloroflorokarbon gibi şişirici gaz içerdiklerinden dolayı ozon tabakasına zararlıdır, bu yüzden çalışmada bu malzemelere yer verilmemiştir.

Deney sırasında, en iyi ısı iletkenliğin iğnelenmiş cam yününde çıktığı tespit edilmiştir. 10°C ortam sıcaklığında gerçekleşen ısı iletkenlik ölçümlerine göre, “Knauf” marka kahverengi cam yünü 0,03602 W/m.K ısı iletim katsayısı değerine sahip çıkmıştır. “İzocam” marka siyah elastomerik kauçuk köpük 0,035 W/m.K ısı iletim katsayısı değerine sahip çıkarken, iğnelenmiş cam yününün ısı iletim katsayısı değeri ise 0,03185 W/m.K olarak bulunmuştur. Aynı kalınlıklarda olan malzemelerin termal direnci de göz önüne alındığında en iyi sonucun iğnelenmiş cam yününde çıktığı tespit edilmiştir.

Çok katlı silindirik kanalın ısı aktarımı ölçümleri yapılırken, ürüne hava boşluğu da dahil edilerek, havanın düşük ısı iletkenlik performansından yararlanılmıştır. Böylece maliyeti olmayan havayı kullanarak kompozit bir yapı elde edilmiş olup kanalın yalıtım performansına ekonomik katkıda bulunarak ısı direnç, uygun maliyetle artırılmış olmuştur. Farklı izolasyon malzemeleri ile ısı aktarımı performansları karşılaştırılmış ve deneysel ölçümlerde izolasyon malzemeleri arasında en iyi ısı aktarımı sonucunun 27,43 W olarak 25 mm elastomerik kauçuk köpük ve 25 mm hava boşluğu ile sağlandığı tespit edilmiştir. Bunun nedeninin ise elastomerik kauçuk köpüğün kapalı hücreli yapıda olması, gözenekleri sayesinde malzemenin hava boşlukları ile dolarak ısı aktarımını engellediği, böylece okunan sıcaklık değerlerine etki ettiği düşünülmektedir. Çünkü ısı direnç olarak baktığımızda en iyi sonuç iğnelenmiş cam yününde çıkmıştır. İzolasyon malzemesi farkının, malzeme özelliklerinin ısı aktarımında belirleyici olduğu gözlenmiştir.

Bu durumda sonuç olarak, ısı aktarım değerleri ölçülen en iyi duruma yaklaştırılarak hedeflenen ısı direnç, 25 mm kalınlığındaki iğnelenmiş cam yünü ve 25 mm hava boşluklu üründe elde edilmiştir. En düşük ısı aktarımı ise 25 mm kalınlığındaki elastomerik kauçuk köpük ve 25 mm hava boşluklu üründe elde edilmiştir.



6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ, MALİYET ANALİZİ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ilk olarak çalışılacak izolasyon malzemeleri seçilmiştir ve ısı iletim katsayılarının ölçümleri, “KNAUF Insulation” firmasının kalibrasyonlara uygun olan ısı iletim katsayısı ölçen “FOX 600” ve “FOX 801 Isı Akısı Ölçer” test cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ardından ses ve ısı izoleli esnek hava kanalına hava boşluğu ilave edilerek, kompozit yapıdaki bu ürünün farklı izolasyon malzemelerine göre üretimi gerçekleştirilmiş ve ısıl direnç, ısı aktarımı gibi hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Deney, AFSLAB’da yer alan ve termokupllar vasıtasıyla ortam sıcaklığı ve giriş sıcaklığına göre ölçümleri alınan sıcaklık dayanım cihazında gerçekleştirilmiştir.

Bu deney sonucuna göre en iyi ısıl direnç değeri, 25 mm kalınlığındaki iğnelenmiş cam yünü ve 25 mm hava boşluğu bulunan “SILENCERAFS.D” ürününde çıkmıştır.

Günümüzde olan hava kanallarının, çoğunlukla cam yünü kullanılarak yalıtımı sağlanmaktadır. Bu çalışmada hem çevre dostu ürünler kullanılmış, hem de maliyet gerektirmeyen hava boşluğu yapıya dahil edilerek hem ısı hem de ses yalıtımında başarılı olan bir ürün geliştirilmiştir. Bu geliştirilen ürün sayesinde yakıt tüketiminin, binalardaki işletme maliyetlerinin azalması sağlanmıştır ve kritik izolasyon kalınlığı hesabına göre kullanılan optimum kalınlıktaki izolasyon malzemelerinin maliyetleri azaltması sonucunda ekonomik olarak uygun bir ürün elde edilmiştir. Çünkü izolasyon malzemelerinin kalınlığı artırıldığında mali etkileri de artmaktadır. Bu çalışmada, efektif kalınlık belirlenmiştir ve izolasyon malzemesi kalınlığı olarak 25 mm’de çalışılmıştır. Bu kalınlıktan sonra ısı aktarımında kayda değer bir azalma gözlenmemiştir. Dolayısıyla izolasyon malzemelerinde gereksiz olacak bir maliyet önlenmiş olmuştur.

Önceki yapılan çalışmalarda hava boşluğu ile alakalı çalışmalar yapılmış, fakat hava boşluğunu, ürünün yapısına homojen bir şekilde dahil edebilen herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu bakımdan bu tezdeki çalışma, özgünlüğünü korumaktadır.

Özellikle önümüzdeki 25 yılda dünyanın en önemli konularının başında gelecek olan karbon ayak izini düşürme konusunda önemli bir yere sahip bir çalışmadır. Çünkü enerji tüketiminin çoğunluğu, binalarda kullanılan ısı kayıplarından oluşmaktadır. Bu çalışma

sonucunda oluşabilecek ısı kayıpları minimize edilmiş olup yüksek termal direnç sağlanmıştır. İlave olarak çevre dostu ürünler kullanılarak emisyon yayılımı önlenmiştir. Sera gazları yaymadığı için karbon ayak izini düşürmeye olumlu bir katkıda bulunarak sürdürülebilir bir ürün elde edilmiştir.

Özellikle küresel olarak gündemde olan önümüzdeki 30 yıl için karbon emisyonlarının azaltılması hedefini destekleyen bir çalışma olmuştur. Bunun için geliştirilen bu üründe “Life Cycle Assessment” (LCA) olarak dünyada bilinen “Yaşam Döngüsü Analizi” çalışmalarına devam ederek ürünün çevresel etkilerinin raporlanması ve güvenilirliğinin kanıtlanması ilerideki çalışmalarda amaçlanmaktadır. Bu sayede ISO 14040 ve ISO 14044 standartlarına göre ürünün çevre üzerindeki etkisi, “beşikten mezara” metodolojisi ile hammaddeden nakliyesine kadar tüm süreçleri kapsayacaktır. Bu şekilde ürünün tüm çevresel etkileri göz önüne alınarak hesaplamalar yapılır, iklim tehdidine karşı alınacak tedbirlerle ve bilimsel standartlaştırılmış metodoloji ile raporlanarak çalışma kanıtlanmış olur.

Enerji verimliliğini sağlamak için geliştirilen ve dünyada yalıtım değerinin en önemli belirleyicisi olan termal direnç “R” değerini, bu ürün düşük maliyetle yükseltmiştir. Aynı zamanda, ürünün ses yalıtımı da sağlandığı için susturucu kategorisinde olan bu ürünün termal performansının iyi olmasının yanı sıra akustik bir ürün de elde edilmiştir. Günümüzde binalar için oluşturulan gürültü yönetmeliği ile binalarda ses yalıtımının önemi de gün geçtikçe artmaktadır ve sürdürülebilirlik açısından geçerliliğini koruyan bir ürün olacağına inanılmaktadır.

Bu çalışmada en iyi termal direnç, ıgnelenmiş cam yünü ve hava boşluğu kullanılarak sağlandı. Fakat maliyetleri yüksek olan silika arojel ürününün fazla tozuma yapması ve istenilen esneklikte olmaması yüzünden bu çalışmada kullanılmadı. Fakat, ileride daha iyi yalıtım performansının, silika arojel ile çalışılarak elde edilmesi beklenmektedir. Ürünün yapısına elastikiyet kazandırılarak ve henüz çok yaygın bir izolasyon malzemesi olmadığı için piyasada yüksek maliyetlere sahip olan arojelin yapıya uygun bir hale getirildiğinde kullanılabilmesi öngörülmektedir. Aynı zamanda, hava yerine argon gazı da boşluklarda yapıya eklenebilir. Bu şekilde daha düşük ısı iletim katsayısı değerinden dolayı daha düşük bir ısı aktarımı gerçekleşmesi literatüre göre beklenmektedir. Fakat, bu çalışmada mali

etkiler de düşünülerek doğada herhangi bir maliyeti olmayan havadan yararlanılarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir.





KAYNAKLAR

- Bayrakçı, H., Davraz, M. ve Başpınar, E. (2011). Yeni nesil ısı yalıtım malzemesi: vakum yalıtım paneli. *Teknik Bilimler Dergisi*, 1(2), 1-12.
- Bruno, R., Bevilacqua, P., Ferraro, V., and Arcuri, N. (2021). Reflective thermal insulation in non-ventilated air-gaps: Experimental and theoretical evaluations on the global heat transfer coefficient. *Energy and Buildings*, 236, 110769.
- Chen, J. (2023). *Effects of temperature and pressure on interfacial thermal resistance of thermal interface materials in coupled heat transfer process with vapor chamber*, In School of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou, China, 1-18.
- Daşdemir, A. (2011). *Duvar bileşenleri arasına hava boşluğu uygulamasının ekonomik ve çevresel analizi*. Muğla: Köyceğiz Mesleki ve Teknik Eğitim Merkezi, 1, 50, 60.
- Daşdemir, A., Ertürk, M., Keçebaş, A., and Demircan, C. (2017). Effects of air gap on insulation thickness and life cycle costs for different pipe diameters in pipeline. *Energy*, 122, 492-504.
- Ertürk, M. (2015). *Bina dış duvarlarında farklı yalıtım malzemesi ve hava boşluğu kullanımının, birim alandaki enerji tasarrufu ve kişi başı emisyon hesaplamalarında yeni bir yaklaşım*. Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi, 1, 399, 404.
- He, H., and Yu, Z. (2018). Effect of air gap entrapped in firefighter protective clothing on thermal resistance and evaporative resistance. *Autex Research Journal*, 18(1), 28-34.
- Holman, J. P. (2010). *Heat transfer* (Tenth edition). Texas: Southern Methodist University, McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering, 26-27.
- İnternet: Anadolusan. *İğnelenmiş Cam Elyaf Özellikleri* URL 4: <https://www.anadolusan.com.tr/ignelenmis-cam-elyaf>, Son Erişim Tarihi: 09.01.2024
- İnternet: Arge Yapı İzolasyon. *Isı Yalıtımında Etkili Olan Yapısal Özellikler*. URL 2: <https://www.argeyapiizolasyon.com/isi-yalitim-ozelliginde-etkili-olan-yapisal-ozellikler>, Son Erişim Tarihi: 09.01.2024
- İnternet: Bartın Üniversitesi. *Isı İletim Katsayısının Belirlenmesi*. URL 1: <https://cdn.bartın.edu.tr/makine/8edb561abf91afd15f4caac96e5b1415/isil-iletkenlik-olcumu.pdf>, Son Erişim Tarihi: 27.09.2023
- İnternet: Çalapkulu, S. (2020). *Sıfır Enerjili Bina (nnZEB) Nedir, Nasıl Yapılır ?* URL 6: <https://www.sektorumdergisi.com/sifir-enerjili-bina-nnzeb-nedir-nasil-yapilir/>, Son Erişim Tarihi: 15.05.2023
- İnternet: İzocam. *Ekspande Polistiren, EPS* URL 5: [https://www.izocam.com.tr/images/product/technical-image/ekspande-polistiren-\(eps\)341.pdf](https://www.izocam.com.tr/images/product/technical-image/ekspande-polistiren-(eps)341.pdf), Son Erişim Tarihi: 09.01.2024

- İnternet: İzocam. *İzocam Optiflex Levha Özellikleri* URL 7: <https://www.izocam.com.tr/images/product/technical-image/optiflex-levha561.pdf>, Son Erişim Tarihi: 18.03.2023
- İnternet: Knauf Insulation. *Knauf Cam Yünü ve Özellikleri* URL 3: https://pim.knaufinsulation.com/files/download/download_6202a65c6b225.pdf, Son Erişim Tarihi: 27.12.2023
- İnternet: TİMAŞ. *Cam Yünü Yapısı Görseli* URL 8: <https://www.timas.net/camyunu/> Son Erişim Tarihi: 07.02.2024
- Kaya, S. ve Oğuz, M. E. (2015, Nisan). *Tesisat yalıtımında uygun malzeme seçimi*. 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 2486-2487.
- Kistler, S. S. (1935). The relationship between heat conductivity and structure in Silica Aerogel. *Journal of Physical Chemistry*, 39, 79.
- Kon, O. (2013). Binalarda dış duvar yalıtımının hava kirliliği açısından önemi: Balıkesir il merkezi örneği. *Engineering Sciences*, 8(1), 39-53.
- Kuznetsov, G. V., and Kravchenko, E. V. (2023). *Influence of the air gap between two cells of the storage battery on the thermal conditions of its operation: Numerical analysis and reliability assessment*. In St. Petersburg State Marine Technical University, Saint Petersburg, Russia, 7, 21-25.
- Mermer, M. (2019). *Bina ısı yalıtım sistemlerinin incelenmesi ve optimizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 7-8.
- Mesleki Teknik Eğitimin Güçlendirilmesi Projesi. (2008). *Hava kanallarının yalıtımı, tesisat teknolojisi ve iklimlendirme*. Ankara: MEGEP, 15-17.
- Shirtliffe, C. J. (1972). *Thermal resistance of building insulation*. Ottawa: Canadian Building Digests, 4-6.
- Şenyurt, S. (2006). *İklimlendirme sistemlerinde havalandırma kanallarının seramik katkılı boylarla ısı yalıtımı ve klasik yalıtım sistemleri ile karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 15.
- Taşçı, S. (2004). *Esnek kapalı hücre elastomerik esaslı yalıtım malzemesinin doğru kullanımı ve uygulanması*. Kocaeli: İzocam Ticaret ve Sanayi A.Ş., 42-48.
- Ülker, S. (2009). *Isı yalıtım malzemelerinin özelliklerinin uygulamaya etkileri*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 43-44.
- Yeşilata, B. (2007). *Mühendislikte temel ısı transferi, termo-akışkan sistemler ders kitapları serisi-2*. Şanlıurfa: Harran Üniversitesi, 27-29.



EKLER

EK-1. Isıl ölçümlerinin yapıldığı “FOX 600” ve “FOX 801” cihazı

FOX 600 and FOX 801 Heat Flow Meters Thermal Conductivity Instruments



The FOX 600 and FOX 801 Heat Flow Meters are accurate, easy-to-use instruments for measuring thermal conductivity according to ASTM C518 and ISO 8301. Operating in stand-alone or PC-controlled configurations, the FOX Heat Flow Meters provide rapid, accurate results. The instruments feature proprietary thin film heat flux transducers, digital thickness measurements and responsive temperature control. The FOX 600 and FOX 801 are ideal for testing fiberglass insulation or vacuum insulation panels. Very long samples can even be tested with front and back instrument doors open, allowing measurement of oversized specimens which cannot be cut.



Gazili olmak ayrıcalıktır