

Soğutma Sistemleri Yalıtımında Malzeme Seçimi ve Uygulamada Dikkat Edilmesi Gereklı Noktalar

Ali ALANÇAY, *Metin AKDAŞ

*akdas@dinamik-izmir.com

*Makina Mühendisi

*Dinamik Isı A.Ş.

ÖZET

Son yıllarda iklimlendirme, soğutma ve klima uygulamaları yaygınlaştıkça soğuk hatların yalıtımında gittikçe önem kazanmaktadır. Soğutmaya yapılan harcamaların ısıtmaya oranla daha fazla olduğu dikkate alınırsa (soğutma için gereken enerji her zaman ısıtma için gereken enerjiden fazladır), soğutma sistemlerinde yalıtımın önemi daha da belirgin hale gelir.

Yanlış malzeme seçimi ve hatalı uygulama, sistem devreye alındıktan sonra giderilmesi güç sorunlar ortaya çıkardığı gibi ekonomik anlamda da kullanıcıya büyük maliyetler yüklemektedir. Özellikle, kullanılan yalıtım malzemelerinin su buharı geçişine karşı gösterdiği direnç, yalıtımın sağlıklı olarak vazifesini yerine getirip getiremeyeceği ile de doğrudan ilgilidir. Netice olarak yalıtım malzemesinin ve yalıtım kalınlığının doğru seçilmesi büyük önem taşır. Aksi takdirde hem yalıtım malzemesinin içinde istenmeyen yoğunlaşmalar oluşabilir bu da istenen ısı verimliliği temin edilememesine yol açar. Yalıtım kalınlıklarının seçiminde ürünün sağlayacağı enerji verimliliğinin yanında, ekonomik bedeli, uygulanabilme kolaylığı, mekandaki hacim kaybı ve diğer özellikler dikkate alınmalıdır.

Bu bildiri de soğuk hatların yalıtımında kullanılacak olan malzemelerde aranılması gereken temel nitelikler ile uygulamada dikkat edilmesi gereken noktalar irdelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Tesisat yalıtımı, Soğuk Hatların Yalıtımı, Yoğuşma, Elastomerik Kauçuk, Buhar Difüzyon Direnci

ABSTRACT

In last years, the insulation of cold installations and fittings are getting more and more important due to wide usage of HVAC systems. If it is considered that the cost of cooling is more than heating (the quantity of energy needed for cooling is more than the heating) its more obvious to see the importance of insulation of cooling systems.

Usage of wrong material and insufficient applications can be very costly especially after the system is started to be used. It is very important that the material used in insulation has to be resistant to vapor transfer for a healthy and long life insulation. As a result, the right selection of insulation material and insulation thickness is very important. Otherwise inside of insulation material there can be unwanted condensation which will cause poor, ineffective insulation.

When the thickness of insulation material is selected, besides of the effectiveness, the cost of material, easy handling and application of material and the loss of the volume in the area are also important factors to be considered.

In this chapter, the main criterias in selecting the proper insulation material in cooling systems and other main specifications and points will be analyzed.

Key Words: Condensation, Elastomeric rubber foam, Vapor diffusion resistance, Insulation of cold installations, Insulation of installations, HVAC

1. GİRİŞ

Yapılarda ve tesisatlarda ısı kaybı ve kazançlarının sınırlandırılması için yapılan işleme "ısı yalıtımı" denir. Teknik olarak, ısı yalıtımı, farklı sıcaklıktaki iki ortam arasında ısı geçişini azaltmak için uygulanır.

Tesisatta ısı yalıtımı hat içerisinde geçen akışkan sıcaklığına göre 3'e ayrılır.

Soğuk Hatlar : Akışkan sıcaklığı $< +6^{\circ}\text{C}$

Ilık Hatlar : $+6^{\circ}\text{C} < \text{Akışkan sıcaklığı} < +100^{\circ}\text{C}$

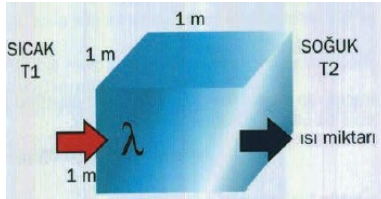
Sıcak Hatlar : $+100^{\circ}\text{C} < \text{Akışkan sıcaklığı}$

Tesisatta ısı yalıtımı, sıcak hatlarda ısı kayıplarını, soğuk hatlarda ısı kazancını önlemek için yapılır. Enerji verimliliği ve sistemin ömrü boyunca performansından hiçbir şey kaybetmeden çalışabilmesi için doğru yalıtım malzemesi seçiminden önce, bir yalıtım malzemesini belirleyen temel özellikleri sıralayacak olursak;

- Isı İletim Katsayısı (λ),
- Buhar Difüzyon Direnç Katsayısı (μ),
- Yangın Dayanımı,
- Gözenek Yapısı
- İşletmede Kullanım Sıcaklık Aralığı,
- Mekanik Dayanım ve Stabilite,
- Korozyon Riskinin az olması
- Malzemenin yangın esnasında çıkardığı zehirli gaz miktarı (Toksosite)
- Duman yoğunluğu (Opasite)
- Geri dönüşebilir malzeme olması,
- Elastikiyet ve Uygulama Kolaylığı,
- Ekonomikliği v.s. gibi özellikler karşımıza çıkar.

1.1. Isı İletim Katsayısı (λ - W/mK)

Isı iletken katsayısı (λ) şöyle tariflenir;



Homojen bir malzemenin kararlı hal şartlarında birbirine dik 1 m mesafedeki, 1m^2 iki yüzeyi arasından sıcaklık farkı 1°C olduğunda birim zamanda geçen ısı miktarıdır. (Diğer dört yüzeyde ısı geçişi yoktur.) Yalıtım malzemelerinin düşük ısı iletkenliğine sahip olması en önemli kriterdir. ISO ve CEN Standartlarına göre bir malzeme λ 0,065 W/mK ise ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılabilir. Aşağıda soğutma sistemlerinde kullanılan çeşitli yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik değerleri verilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Bazı Yalıtım Malzemelerinin Isı İletkenlik Katsayıları

Cam Yünü	$10^{\circ}\text{C}'de = 0.034 - 0.036 \text{ W/mK}$
Taş Yünü	$10^{\circ}\text{C}'de = 0.034 - 0.036 \text{ W/mK}$
XPS Polistiren Köpük	$10^{\circ}\text{C}'de = 0.024 - 0.028 \text{ W/mK}$
EPS Polistiren Köpük	$10^{\circ}\text{C}'de = 0.035 - 0.040 \text{ W/mK}$
Polietilen Köpük	$0^{\circ}\text{C}'de = 0.038 - 0.046 \text{ W/mK}$
Elastomerik Kauçuk Köpüğü	$0^{\circ}\text{C}'de = 0.036 - 0.040 \text{ W/mK}$
Cam Köpüğü	$10^{\circ}\text{C}'de = 0.046 - 0.050 \text{ W/mK}$

Isı İletim katsayısına etki eden faktörler (malzemeye bağlı olanlar)

- Malzemenin yoğunluğu,
- Malzeme tipi (Levha, Boru, Dökme vb.),
- Malzemenin içindeki nem miktarı,

- Malzemenin buhar difüzyon direnç faktörü,
- Gözenek, lif, hava dağılımı ve yapısı.

1.2. Buhar Difüzyon Direnç Katsayısı (μ)

Hava içerisinde bir miktar su buharı bulundurur. Isının sıcak taraftan soğuk tarafa geçiş yaptığı gibi su buharı da sıcaklık ve bağıl neme bağlı olarak, kısmi basınç ile yüksek nem oranına sahip ortamdaki, düşük nem oranına sahip ortama akar. Bu akış gerçekleşirken buhar, direnç ile karşılaşır. (Buhar difüzyon direnci).

Buhar difüzyon direnci tesisatta yoğuşma olup olmayacağını doğrudan etkileyen faktörlerin başında gelir.

Nem akışının hangi miktarda olacağı, ortam şartlarından başka, iki ortam arasında bulunan malzemelerin nem geçişine karşı gösterdikleri dirence de bağlıdır. Her malzemenin 1 m² lik yüzeyi kalınlığına bağlı olarak buhar difüzyonuna karşı koyar. Bu direncin havanın buhar difüzyon direncine oranlamasına buhar difüzyon direnç katsayısı denir ve μ işareti ile gösterilir. (μ =Havanın Su Buharı Geçirgenliği / Malzemenin Su Buharı Geçirgenliği) Havanın buhar difüzyon direnç katsayısı $\mu = 1$ kabul edilmiştir. μ değeri yüksek olan yalıtım malzemesi tek başına yeterli bir şart değildir. Aynı zamanda yalıtım malzemesinin kalınlığının da doğru seçilmesi gereklidir. ($\mu.e$) değeri bize aynı kalınlıktaki havanın direncine eşit değeri verir. Örneğin μ değeri 7000 olan 19 mm kalınlığındaki bir malzemenin havaya eşit direnci 133 metre'dir.

Buhar Difüzyon Direnç Katsayısına Etki eden Faktörler:

1. Malzemeye bağlı olmayan, sıcaklık
2. Malzemeye bağlı olan

- Kapalı hücreli olması
- Küçük hücreli olması
- Hücre duvarları arasındaki kohezyon kuvveti
- Hücre cidar kalınlığı
- Malzemenin kalınlığı boyunca homojen olması

Tablo.2'de bazı yalıtım malzemelerinin buhar difüzyon direnç katsayıları verilmiştir.

Tablo.2 Bazı Malzemelerin μ Değerleri

Alüminyum, Bakır vb. gibi Metaller	∞
Cam	∞
Beton	28
Sıva	20
Bitümlü Membran	3.000-100.000
Tuğla	6-10
XPS Polistren	100-400
EPS Polistren	70-100
Mineral Yünler	1-1,2
Poliüretan Köpük	40-100
Polietilen Köpük	1000-7000
Elastomerik Kauçuk Köpüğü	1500-15000

1.3. Yoğuşma

İçinden düşük sıcaklıkta akışkan geçen hatların sıcaklığı, genellikle buldukları ortamın sıcaklığından düşüktür. Ortamın bağıl nem değerine bağlı olarak, hattın yüzey sıcaklığı ve ortam sıcaklığı arasındaki farkın yüksek olması, hat yüzeyinde yoğuşma olayının gerçekleşmesine neden olur.

Aşağıda farklı ortam sıcaklıkları ve bağıl nem oranlarına bağlı olarak havanın içerisindeki en yüksek su buharı

miktarları ve yüzeyde yoğuşma olmaması için ortam sıcaklığından inilebilecek en yüksek sıcaklık farkları verilmiştir. Bağıl nem, havanın doymuşluk haline oranla içerisinde % olarak taşıdığı su buharı miktarına verilen isimdir.

Tablo 2. Yoğuşma Olmaması İçin Ortam Sıcaklığından İnilebilecek Max. Sıcaklık Farkları

Ortam Sıcaklığı		Max. Su Buharı		Havanın çeşitli bağıl nem oranlarına göre yoğuşma olmaksızın inilebilecek max. sıcaklık değerleri (Ortam sıcaklığından düşülebilecek max. sıcaklık farkı)							
°C	Gr/Kg	% 30	% 40	% 50	% 60	% 70	% 75	% 80	% 85	% 90	% 95
- 20	0.65	12	9.1	7.0	5.2	3.7	2.9	2.3	1.7	1.1	0.6
- 10	1.64	12.9	9.9	7.6	5.7	3.9	3.2	2.5	1.8	1.2	0.6
0	3.76	13.9	10.07	8.1	6.0	4.2	3.5	2.7	1.9	1.3	0.7
10	7.64	16.0	12.6	10.0	7.4	5.2	4.2	3.3	2.4	1.6	0.8
20	14.7	18.1	14.0	10.7	8.0	5.6	4.6	3.6	2.6	1.7	0.8
26	21.0	18.9	14.7	11.2	8.4	5.9	4.8	3.7	2.7	1.8	0.9
30	26.4	19.5	15.1	11.6	8.6	6.1	5.0	3.8	2.8	1.8	0.9
35	34.8	20.2	15.7	12.0	9.0	6.3	5.1	4.0	2.9	1.9	0.9

1.3.1. Yoğuşma Probleminin Isı İletkenlik Katsayısı λ 'ya Etkisi

Yoğuşma boru yüzeyinde (yalıtım malzemesinin iç kesitinde) veya yalıtım malzemesinin dış kesitinde meydana gelebilir.

Yoğuşmanın yalıtım malzemesinin dış yüzeyinde oluşma nedeni, bu yüzeyin sıcaklığının çığ noktası sıcaklığından düşük olmasıdır. Bu da yalıtım malzemesinin kalınlığının doğru seçilmediğini gösterir. Bu durum sistemin gerekli performans ile çalışmasına engeldir.

Yoğuşma malzeme iç kesitinde ise bu durum daha tehlikelidir. Sistem performansının yetersizliğinin yanı sıra metal elemanların korozyon etkiden dolayı paslanmasına ve çürümesine neden olur. İç kesitte yoğuşma bölgesi oluşmasının sebepleri buhar difüzyon direnci düşük malzemelerin kullanılması ya da uygulamada hava geçişine imkan sağlayacak hataların yapılmasıdır. Düşük buhar difüzyon direncine sahip malzemeler içerisinde zamanla su buharı toplanır. Yalıtım malzemesi ıslandığı için ısı iletim katsayısında zamanla ciddi düşüş olur. Dolayısı ile yalıtım malzemesi görevini yapamamaya başlar.

Aşağıda bazı malzemeleri ilk uygulama (kuru hal) ve uygulamadan bir yıl sonraki (ıslak hal) değerleri verilmiştir (Tablo3).

Tablo 3. Bazı malzemelerin ilk uygulama anındaki ile 1 yıl sonraki değerleri (akışkan sıcaklığı 12°C, ortam sıcaklığı 26°C kabul edilmiştir.)

Kuru Hal	CAMYÜNÜ (20°C) $\lambda=0.040$ W/mK		POLİÜRETAN KÖPÜK (20°C) $\lambda=0.038$ W/mK		KAUÇUK KÖPÜĞÜ (20°C) $\lambda=0.040$ W/mK	
	Birim Isı Kaybı Q/m ² W	K değeri W/mK	Birim Isı Kaybı Q/m ² W	K değeri W/mK	Birim Isı Kaybı Q/m ² W	K değeri W/mK
25	-17,1	1,20	-18,2	1,30	-18,2	1,30
40	-12,1	0,87	-12,2	0,87	-12,0	0,86
50	-10,4	0,74	-10,3	0,74	-9,8	0,70
Islak Hal	(20°C) $\lambda=0.075$ W/mK		(20°C) $\lambda=0.050$ W/mK		(20°C) $\lambda=0.038$ W/mK	
25	-26,6	1,90	-21,8	1,56	-18,2	1,30
40	-20,3	1,45	-15,6	1,11	-12,0	0,86
50	-17,7	1,26	-13,2	0,94	-9,8	0,70

1.3.2. Yoğuşma Olmaması İçin Temel Şart $T_y > T_ç$

Soğutma sistemleri yalıtımında yoğuşma olmaması için temel şart, yalıtım yüzey sıcaklığının çığ noktası sıcaklığından yüksek olmasıdır. Bilindiği gibi ortam havası içerisinde sıcaklık ve bağıl nem oranına bağlı olarak bir miktar su buharı içermekte ve bu su buharı soğuk yüzeylerde (Çığ noktası sıcaklığı=Yalıtım üzeri yüzey sıcaklığı) yoğuşmaktadır. Ortam havasının çeşitli sıcaklık ve bağıl nem oranlarına bağlı olarak yoğuşma dereceleri Tablo 1'de görülmektedir. (Ortam sıcaklığı - inilebilecek max. sıcaklık farkı= Kritik yoğuşma derecesini vermektedir.) Örneğin 26°C ortam sıcaklığındaki hava içerisinde 21 gr/kg su buharı içerir ve %85 bağıl nemliliğe sahip bir ortamda 23.3°C bir yüzey bulunduğu içerisinde bulunan su buharını soğuk yüzeye bırakır. (26 - 2.7 = 23.3°C)

1.3.3. Yoğuşma Olmaması İçin Gerekli Yalıtım Kalınlığı Hesabı

Soğutma sistemleri yalıtımında ortamdan akışkana geçen enerjiyi minimize edebilmek için gerekli malzeme kalınlığının tesbiti, yalıtım malzemesinin bulunduğu ortam sıcaklığındaki ısı iletkenlik katsayısı, akışkan sıcaklığı, ortam koşulları (Dış yüzey kaplaması, rüzgar hızı vb.) ve ısı transfer yüzey alanı gibi değerler bilindikten sonra hesaplanabilir. Birim yüzey alanından olan ısı transferi miktarı aşağıdaki formüllerle bulunur.

Düzlem yüzeyler için ısı geçişi:

$$q_s = (t_{is} - t_{os}) / R \quad (1)$$

Silindirik yüzeylerdeki ısı geçişi:

$$q_s = (t_{is} - t_{os}) / [[r_s \ln(r_1/r_i)]/k_1 + [r_s \ln(r_s/r_1)]/k_2] \quad (2)$$

$$q_o = q_s (r_s / r_i) \quad (3)$$

q_s = Yalıtım dış yüzeyinin birim alanı başına geçen ısı miktarı (W/m²)

R = Yüzeyden yüzeye ısı direnci (K m²/W)

k_1, k_2 = Ortalama sıcaklık değerlerinde hesaplanmış ısı iletim katsayısı (W/m²K)

q_o = Boru yüzeyinin birim alanı başına ısı geçişi (W/m²)

r_1 = Yalıtım orta tabakasının dış yarı çapı (m)

r_i = Yalıtım iç yarı çapı (m)

r_s = Yalıtım dış yarı çapı (m)

t_{is} = İç yüzey sıcaklığı (°C)

t_{os} = Dış yüzey sıcaklığı (°C)

Soğutma sistemlerinde yoğuşma olmaması için gerekli yalıtım kalınlığı da aşağıdaki formüllerle bulunur.

Silindirik yüzeylerde yalıtım kalınlığı:

$$e = (2 \lambda \cdot (t_c - t_i)) / (\alpha \cdot (t_a - t_c)) \quad (4)$$

Düz yüzeylerde yalıtım kalınlığı:

$$e = ((\lambda / \alpha) (t_c - t_i)) / (t_a - t_c) \quad (5)$$

Yalıtım üzeri yüzey sıcaklıkları ise aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

Silindirik yüzeylerde yüzey sıcaklığı:

$$t_y = ((t_i - t_a) / (1 + ((\alpha / (2 \lambda)) (d + 2e) \cdot (\ln((d + 2e)/d)))) + t_a \quad (6)$$

Düzlem yüzeylerde yüzey sıcaklığı

$$t_y = ((t_i - t_a) / ((e \cdot \alpha) / \lambda) + 1) + t_a \quad (7)$$

e = Yalıtım kalınlığı (m)

λ = Isı iletkenlik katsayısı W / m K

t_c = Çığ noktası (Yoğuşma) sıcaklığı (°C)

t_i = Akışkan sıcaklığı (°C)

α = Dış yüzey film katsayısı (W / m² K)

t_a = Ortam sıcaklığı (°C)

t_y = Yüzey sıcaklığı (°C)

d = Boru dış çapı (Yalıtım iç çapı) (m)

2. UYGULAMADA DİKKAT EDİLMESİ GEREKLİ NOKTALAR

- Soğutma sistemleri yalıtımında mutlaka kapalı gözenekli ve (μ) katsayısı yüksek malzemeler seçilmeli, mineral yün gibi açık gözenekli malzemelerden kaçınılmalıdır.
- Yalıtımda ısı köprülülere oluşturulmamalıdır.
- Dış yüzey kaplamasının cinsine göre yüzey film katsayısı (α) dikkate alınmalıdır.
- Sistemde kullanılan tüm armatürler yalıtılmalıdır.
- (μ) değeri düşük kapalı gözenekli malzemeler kullanılıyor ise buhar kesici ile kaplanmalı, yırtılma ve delinmelere karşı önlem alınmalıdır.
- Yalıtım yapılan borunun hava ile teması kesinlikle kesilmelidir.
- Yalıtım malzemelerinin ek yerleri özel yapıştırıcılarla birleştirilmeli ve ek yerleri bantlanmalıdır.
- Çelik boru ve tanklarda uygulama yapılacak ise yüzeyler pas'tan arındırılarak anti korozif boya uygulanmalıdır. Bu boya uygulandıktan sonra 24-48 saat beklenmelidir.
- Yalıtım tamamlandıktan 36 saat sonra iç ortamda ise yağlı boya dış ortamda ise UV'ye dayanıklı boya ile kaplanmalıdır. (iki kattan az olmamak üzere.)
- Yalıtım üzeri metal ceketlerle kaplanacak ise, metal birleştirme vidalarının yalıtımı delmemesi için yeterli boşluk bırakılmalıdır.
- Birkaç hattın yan yana gittiği yerlerde, yeterli hava sirkülasyonunun sağlanabilmesi için yalıtımdan sonra en az boru çapı kadar boşluklar bırakılmalıdır. Bu sıcak ve nemli ortamlarda yoğuşmaya karşı ekstra bir önlem oluşturur.
- Yalıtım bantları gerdirilmeden uygulanmalıdır.
- Uygulama sistemler çalışırken değil uygun ortam sıcaklığında yapılmamalıdır. Uygulama yapıldıktan sonra sistemi çalıştırmak için en az 36 saat beklenmelidir.

3. SONUÇ

Soğuk hatların yalıtımında en önemli kriter uygun malzeme seçimidir. Kullanılacak malzeme kapalı gözenekli, buhar difüzyon direnci yüksek malzeme olmalıdır. Soğuk hatlarda açık gözenekli yalıtım malzemeleri yoğuşma tehlikesi yaratır. Yanlış seçim ile yalıtım azami ölçülerde dahi yoğuşma ile birlikte ileriki yıllarda ilk günkü enerji tasarruf değerlerini kaybeder.

Doğru teknik değerlere uygun malzeme seçimi, yalıtımın ömrü ile birlikte sistemin ömrünü belirleyecektir. Bunun yanında bu ömrü uzatmak kaliteli bir uygulama ile mümkün olacaktır. ■

4. KAYNAKLAR

[1] 1998 ASHRAE Refrigeration Handbook (SI)

[2] Dr.Peter WÖSS (μ - faktörü kalite belirleyici mi yoksa yarışma sayısı mı ?- Termoklima- 42. Sayı)

[3] Ecvet BİNYILDIZ (Soğuk tesisat yalıtımlarında her zaman buhar kesici gerekli mi ? - 5.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı)

[4] ASHRAE Fundamentals (Isı Yalıtımı ve Buhar Kesiciler-Bölüm 20 – TTMD Yayınları)

[5] Prof.Dr. Hikmet KARAKOÇ – Orhan TURAN - Ecvet BİNYILDIZ (Isı Yalıtım Kitabı – Ode Yayınları)

[6] Cüneyt ÖZYAMAN – Soğuk boru tesisatlarının ısı yalıtımında μ 'nin etkisi (Soğutma Dünyası – 6.Sayı)

[7] Okan Murat ERENOĞLU Tesisatlarda Elastomerik Kauçuk Köpüğü Malzemelerinin Kullanılma Nedenleri (TMMOB- MMO Yalıtım Kongresi Mart 2001)

▪ Bu makale 17-20 Nisan 2013 tarihinde İzmir'de gerçekleştirilen 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi'nde (TESKON'13) sunulmuştur.