



Havası alınmış yalıtım malzemelerinin sıcak su dağıtım borularında incelenmesi

Research on vacuum insulation panels (vip) on hot water distribution pipes

Hakan Keskin, Murat Dinçkurt, Aydoğan Özdamar

Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Geliş Tarihi: 8 Temmuz 2017
Revizyon Tarihi: 19 Temmuz 2017
Kabul Tarihi: 18 Ağustos 2017
Elektronik Yayın Tarihi: 19 Ekim 2017
Basım: 1 Kasım 2017

Ö Z E T

Günümüzde, işletmeler için enerji maliyetleri önemli bir yere sahiptir. Enerji giderlerinin azaltılması maliyetler üzerinde azaltıcı etki yapacağı gibi, çevresel sorunların iyileştirilmesinde de katkıda bulunacaktır. Her geçen gün enerji giderlerini azaltacak yeni teknolojilerle ilgili araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin sayısı ve önemi artmaktadır. Tesislerde yalıtım uygulaması enerji tüketiminin azaltılması ve emniyet faktöründen dolayı sıklıkla tercih edilmektedir. Günlük hayatımızda bu maksatla üretilmiş, özellik ve fiyatları çok farklı yalıtım malzemeleriyle karşılaşmak mümkündür. İşletme sahipleri için uygun yalıtım malzemesinin seçimi birçok unsuru barındırmaktadır. Havası alınmış yalıtım panelleri, diğerleri ile kıyaslandığında daha düşük ısı iletim katsayısına sahiptir. Bu bağlamda, yalıtım malzemesi olarak kullanımı daha az hacim kullanımını ve çevresel etkilerin azaltılmasında olumlu sonuçları doğuracaktır. Bu çalışmada, endüstriyel bir işletmede bulunan sıcak su borularının havası alınmış yalıtım panelleri (Vacuum Insulation Panels: VIP) kullanılarak yalıtılması durumunda yakıt giderlerinde oluşan değişim incelenmiştir. Çalışmada, 150 mm dağıtım borusu için olması gereken VIP yalıtım kalınlığı temel alınmıştır. Bilindik yalıtım malzemeleriyle VIP kullanımı durumunda ısı kayıp miktarı ve maliyetlere değinilmiştir. Çalışma esnasında literatürde bulunan uygun yalıtım kalınlığı ve VIP kullanımı durumunda uygulanması gereken yalıtım kalınlığı karşılaştırılarak irdelenmiştir.

Keywords: Yalıtım uygulaması, Vakumlu yalıtım levhaları, Enerji verimliliği

A B S T R A C T

Today, energy costs are an important factor for businesses. Reducing energy costs will have a decreasing effect on costs as well as contributing to the improvement of environmental problems. The number of research and development activities related to new technologies, which will reduce energy costs each passing day, is increasing. Isolation in installations is often preferred due to the reduction of energy consumption and safety factor. In our everyday life, it is possible to encounter insulation materials with very different properties and prices for this purpose. The choice of insulation material suitable for business owners has many elements. Vacuum insulation panels have a lower coefficient of thermal conductivity compared to others. In this context, use as insulation material will result in less volume use and favorable results in reducing environmental impacts. In this study, the change in the fuel costs is investigated when the hot water pipes in an industrial operation are insulated using Vacuum Insulated Panels (VIP). The work is based on the VIP insulation thickness required for a 150 mm distribution pipe. The amount of heat loss and costs are mentioned in the case of using VIP with known insulation materials. During the study, the appropriate insulation thickness in the literature and the insulation thickness to be applied in the case of VIP use were examined and compared.

Anahtar sözcükler: Insulation application, Vacuum insulation panels, Energy efficiency

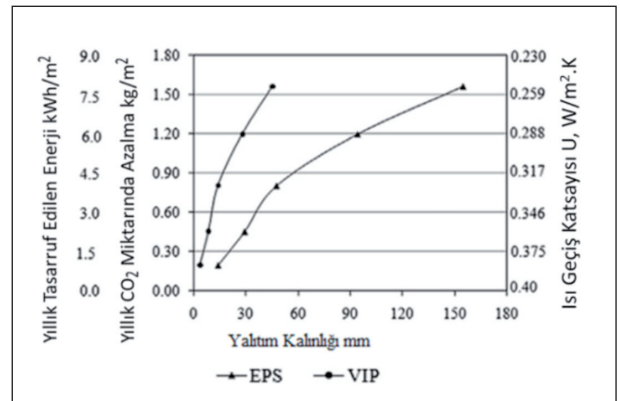
1. Giriş

Günümüzde nüfusun, enerji kullanan cihaz sayısının ve binaların artışı, enerji kullanımının da artmasına sebep olmuştur. Bununla birlikte, kaynakların kısıtlı olması, enerji giderlerinin dikkate alınmasını zorunlu kılmaktadır. Soğutma ve ısıtma uygulamalarında, gerek güvenlik gerekse enerji giderlerinin azaltılması konusunda yalıtım uygulanması tercih edilen bir yöntemdir. Binalarda ve diğer uygulamalarda yalıtım uygulaması, son zamanlarda hukuksal zorunluluk olarak da karşımıza çıkmaktadır. Yalıtım uygulamasından ekonomik yönden olumlu sonuçlar alınması, kullanılan yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı, servis ömrü vb. özellikleriyle doğrudan ilgilidir. Günümüzde yalıtım uygulamalarında uygulama özelliklerine bağlı olarak sıcaklık değişiminin engellenmesi, enerji tasarrufu, işlem sıcaklığının ve personelin korunması, donmanın ve yoğuşmanın engellenmesi, gürültü ve titreşimin azaltılması amacıyla kullanılmaktadır (1). Yalıtım uygulamaları esnasında cam yünü, taş yünü, elastomerik kauçuk, cam köpüğü, kalsiyum silikat gibi malzemeler sıklıkla tercih edilmektedir. Söz konusu malzemelerin yalıtım malzemesi olarak kullanılmasında maliyetler, uygulama kolaylığı, ısı iletim katsayısı ve yoğuşma gibi etkenlere karşı gösterdiği direnç etkili olmaktadır. Isı iletim katsayısının düşük olması, yalıtım malzemesinin en önemli tercih sebeplerinden biridir. Isı iletim katsayısı düşük yalıtım malzemesi isteği, beraberinde yeni çalışmalarını getirmiştir. Bu çalışmalar, vakumlu yalıtım levhalarını (VIP) dikkat çekici hale getirmiştir. VIP, gösterdikleri ısı dirençten dolayı son zamanlarda tercih sebebi olmaktadır. VIP, bilinen yalıtım malzemeleri ile karşılaştırıldığında, oldukça iyi sonuçlar vermektedir (2,3). Ülkemizde VIP'leri, beyaz eşya sektörü ile birlikte gündeme alınmaya başlanmıştır. Uygulamaların genişlemesi enerji verimliliği ve tasarrufunu beraberinde getirirken ülke ekonomisine ciddi bir katma değer yaratacak, beraberinde sağlanacak enerji tasarrufunun çevreye çok olumlu katkıları olacaktır (4). Bu çalışmada, VIP malzemelerinin özellikleri incelenecek ve bir işletmede sıcak su dağıtım hattına uygulanması durumunda, yakıt miktarındaki azalma ve buna bağlı olarak gerçekleşen enerji tasarrufu araştırılacaktır.

2. Vakum Yalıtım Panelleri

Isı yalıtım malzemelerinden öncelikle istenen, ısı akışına direnç oluşturmalarıdır. Piyasada kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin çoğu, ısı iletim katsayısı düşük heterojen yapıdaki malzemelerdir ve hava cepleri içerirler. Bu tip malzemelerin temini ve yerleştirilmeleri kolaydır.

Katı köpük veya cam elyafı, bu tip ısı yalıtım malzemelerine örnek olarak verilebilir. Malzemelerin içerisinde hava ceplerinin olması istenen bir durumdur, havanın düşük ısı iletim katsayısına sahip olması ve kolay temin edilmesi burada tercih sebebidir. Havanın ısı iletim katsayısının düşük olması, ısı yalıtımı konusunda daha iyi önerilerin olmayacağı anlamına gelmez. Havanın taşınım ve ışınlama ısı aktarımına engel oluşturmaması, olumsuz bir durumdur. İletim ve taşınım ile gerçekleşen ısı aktarımını engellemek amacıyla malzeme içerisinde bulunan hava, vakum uygulanarak alınır. Bunun sonucu olarak da malzemede iletim ve taşınım yoluyla ısı aktarımı daha da azaltılır. İki yüzey arasında, ışınlama engellemek amacıyla, yansıtıcı levhalar yerleştirilir. İki yüzey arasında ışınlama ısı transferi, araya yerleştirilen tabakaların sayısı arttıkça azalmaktadır. Verimliliği yüksek yalıtım malzemelerinde alüminyum folyo benzeri yansıtıcıların cm başına 25 tabaka yerleştirilmesi ve aralarda cam yünü gibi yalıtım malzemelerinin serpiştirilmesiyle elde edilmektedir. Tabakalar arasında bulunan hava 0,000001 atm basıncın altında vakum uygulanarak boşaltılmaktadır (5). Londra'da yapılan bir VIP uygulaması çalışmasında, farklı özelliklere sahip panellerin enerji tasarruf değerlerinde oluşan değişim, maliyetler ve yatırımın geri ödeme süresi üzerinde durulmuştur. VIP yalıtım malzemeleri çalışma esnasında yoğunluk ve fiyatlarına göre gruplandırılmıştır (6). Havası alınmış yalıtım panelleri, binalarda olduğu gibi borularda da kullanılabilir. 2014 yılında A. Berge ve B. Adl-Zarrabi (7) tarafından Stockholm'de sunulan çalışmada, VIP yalıtım malzemesinin bilindik yalıtım malzemeleriyle kullanımı üzerinde durulmuştur (7). Vakum yalıtım panelleri emisyon değerlerinin azaltılmasında aynı "U" değerine karşılık daha az emisyon salınımı sağlamaktadır. Şekil 1'de ifade edildiği üzere, aynı miktar CO₂ salınımını azaltmak için VIP yalıtım malzemesine göre daha fazla yalıtım malzemesi kullanılmalıdır.



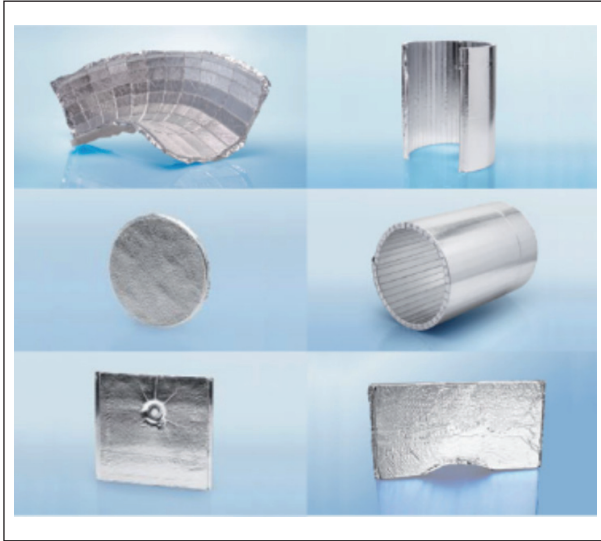
Şekil 1: EPS ve VIP arasında enerji tasarrufu, CO₂, kalınlık ve U arasındaki ilişki (8).

2011 yılında H.C. Bayrakçı, M. Davraz ve E. Başpınar (4) tarafından yapılan çalışmada, yeni nesil ısı yalıtım malzemesi olarak VIP konu edilmiştir. Çalışmada, havası alınmış yalıtım malzemelerinin özelliklerine değinilmiştir.

VIP yalıtım malzemeleri değişik alanlarda kullanılmakla birlikte, başlıca kullanım alanları, aşağıdaki gibidir:

- Sıvı nitrojen kullanılan laboratuvar ortamlar vb. yerler,
- Besinlerin depolanması, taşınması, paketlenmesi ve dondurulması işlemleri,
- Hava ve uzay araçları,
- Elektronik parçaların üretim ve test işlemleri,
- Fırınlarda, soğutma ve dondurma işlemleri,
- Binalarda yalıtım uygulamaları (9)(10).

Kullanım yerine bağlı olarak VIP yalıtım malzemelerinin değişik şekillerde olabilmesi, değişik yüzey biçimlerinde kullanılabilceğini göstermektedir.



Şekil 2: VIP dıştan görünüşü (11).

VIP'ne ait ana özellikler ve maliyetleri Tablo 1'de verilmiştir. Çalışmada, servis ömrü ve birim maliyeti diğerlerine göre daha az olan VIP cam yünü tercih edilmiştir (1£=4.3 TL olarak alınmıştır).

3. Hesaplama Yöntemi

Çalışma kapsamında kullanılan bağıntılar aşağıda verilmiştir. Işınım ve taşınım ile gerçekleşen ısı transferi, radyal yönde gerçekleşen ısı transferi miktarına eşitlenerek yüzey sıcaklığı (T_s) değeri hesaplanmıştır (2).

$$q_{ışınım} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_s^4 - T_c^4) \quad (1)$$

$$q_{taşınım} = h \cdot A \cdot (T_s - T_c) \quad (2)$$

$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k \cdot (T_{s1} - T_{s2})}{\ln(r_2/r_1)} \quad (3)$$

Rayleigh(Ra) sayısı Nusselt(Nu) sayısının hesaplanması açısından önemlidir. Rayleigh sayısı hesaplanarak Nu sayısında kullanılarak boru dışında oluşan akışın ortalama taşınım katsayısı hesaplanmaktadır (2).

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_c) \cdot D^3}{\nu^2} Pr \quad (4)$$

$$Nu = \left[0.6 + \frac{0.387 Ra^{1/6}}{\left[1 + (0.559 / Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2 \quad (5)$$

Yıllık İlk Yatırım Maliyeti(YİYM), İlk Yatırım Maliyeti(İYM), faiz(i) ve kullanım süresi(n) değerlerine bağlı olarak hesaplanır. Net Yıllık Kar(NYK) ve Yıllık Toplam Maliyet değerleri yatırımın uygulanabilirliği konusunda işletmenin karar vermesinde etkili olmaktadır (13).

$$YİYM = İYM \cdot \frac{i \cdot (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \quad (6)$$

$$\text{Yıllık Toplam Maliyet} = \text{Yıllık Giderler} - YİYM \quad (7)$$

$$\text{Net Yıllık Kar(NYK)} = \text{İlk ve son durumlar yıllık giderler farkı} - YİYM \quad (8)$$

Tablo 1: VIP yalıtım levhalarının servis ömrü, ısı iletim katsayısı ve maliyetleri (12).

VIP Tipi	Maliyet(TL/m ³)	k(W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	Kullanım Süresi (yıl)
VIP Fumed Silica (FS)	10170	0.008	60
VIP Fumed Silica&Expanded perlite (FS+EP)	9254	0.0116	30
VIP Expanded perlite (EP)	7779	0.017	20
VIP Polyurethane(PU)	8600	0.013	15
VIP Glass fibre(GF)	6295	0.0068	10

Yapılan çalışmada, ısıtma amaçlı olarak kullanılan 150 mm çapında dağıtım hattı bulunmaktadır. Bu dağıtım hattı tek bir ısı merkezinden çıkış yapmakta ve işletmeye dağılmaktadır. Sisteme ait veriler Tablo 2’de ifade edilmiştir ve hesaplamalarda bu veriler kullanılmıştır.

Birim Boru İçin Yalıtımsız Durumda Örnek Hesaplama

$r=0.0845$ m, $T_s=273.15+85=358.15$ K, $T_ç=273.15+5=278.15$ K, $\epsilon=0.85$, $\sigma=5.67 \times 10^{-8}$ W/m².K⁴, $g=9.81$ m/s², $\beta=0.00314$ K⁻¹, $v=1.75 \times 10^{-5}$ m²/s, $k=0.02699$ W/m.K (Havaya ait), $Pr=0.7241$

Hesaplama işleminde ilk adım olarak 4 numaralı denklem kullanılarak Ra sayısı hesaplanmaktadır. 4 numaralı denklemde bulunan, β hacimsel genleşme katsayısı olarak ifade edilmekte olup hesaplamalarda ortalama sıcaklığın (K) tersi (1/T) olarak alınmaktadır.

$Ra=28152024$ elde edilmiştir. 5 numaralı denklem kullanılarak Nu sayısı ve $Nu=h.D/k$ denklemi ile de h ısı taşınım katsayısı hesaplanmaktadır.

$$Nu=38.59, h=6.163 \text{ W/m}^2.K$$

1 ve 2 numaralı denklemler kullanılarak ışıınım ve taşınım ile gerçekleşen ısı geçiş miktarı hesaplanır.

$$q_{\text{taşınım}}=261.6 \text{ W/m}$$

$$q_{\text{ışıınım}}=267.7 \text{ W/m}$$

$$q_{\text{toplam}}=529.3 \text{ W/m}$$

Elde edilen toplam ısı kaybı kaybedilen ısı miktarıdır. Bu değer yakıt miktarına dönüştürülerek kaybedilen yakıt miktarı hesaplanır.

Yıllık Gider=(529.3 W/m).(8 h/gün).(180 gün/yıl). (3600 sn/h).(1.059322 TL/kg)/(41317 kJ/kg).(0.8)=87.9

TL/m olacaktır. Bu değer yalıtımsız borudan oluşan ısı kaybının parasal değeridir. Benzer işlemler yalıtımlı boru içinde yapılabilir. Yalıtımlı durumda yalıtımlı yüzeye ait dış cidar sıcaklığının bulunması önem arz etmektedir. Yalıtımlı yüzey cidar sıcaklığının bulunması amacıyla 1 ve 2 numaralı denklemleri kullanarak elde edilen toplam ısı geçişi, 3 numaralı denkleme eşitlenerek yalıtımlı yüzeye ait dış yüzey sıcaklığı belirlenmelidir. Yalıtımlı durumda yalıtım maliyeti ilk yatırım maliyeti olmaktadır. Bu çalışmada hesaplanan tüm maliyetler ısı kaybının hesabında olduğu gibi birim(1 m) boru uzunluğu için yapılmıştır. İYM değerinin hesaplanmasından sonra sistemin kullanım süresi ve faiz değeri dikkate alınarak yıllık ilk yatırım maliyeti değeri denklem 6 kullanılarak hesaplanmaktadır. Yıllık ısı kayıp miktarına bağlı olarak oluşan yıllık yakıt kaybı gideri ve YİYM toplanarak, Yıllık Toplam Maliyet değeri denklem 7 kullanılarak hesaplanır. Yıllık toplam maliyet değerinin en az, net yıllık kâr miktarının en fazla olduğu değer maliyet açısından değerlendirildiğinde en iyi seçim olmaktadır.

4. Sonuç

VIP ve bilinen yalıtım malzemelerinin kıyaslanması durumunda, oldukça iyi sonuçlar alınabileceği görülebilir. Çalışma yapılan tesise ait 150 mm çaplı buruda ısı kayıpları ve yalıtım kalınlığı hesaplanmış ve Şekil 3 elde edilmiştir. Buradan da görüleceği üzere, VIP kullanımı ısı kayıplarını $k=0.04$ W/m.K olan yalıtım malzemesine göre oldukça iyi oranda azaltmıştır.

Şekil 3 den de görüleceği üzere grafiğin eğimi, artan yalıtım kalınlığına bağlı olarak azalmaktadır. Buradan yalıtım kalınlığını sürekli artırmanın ısı kaybını azaltmada çok verimli olmadığı görülebilir.

Ekonomik olarak değerlendirme yapabilmek için, iki farklı yakıt türü kullanılmıştır. Doğalgaz ve Fuel oil

Tablo 2: Hesaplamalarda kullanılan değerler.

Kabul edilen değerler		Standart tablo değerleri	
Yıllık yakıt kullanım Süresi	180 gün	Doğalgaz alt ısıl değeri ^a	34541 kJ/m ³
Boru uzunluğu	200 m	Fuel oil alt ısıl değeri ^a	41317 kJ/kg
Boru çapı	150 mm	Fuel oil Fiyatı ^a	1.059322 TL/kg
Günlük yakıt kullanım süresi	8 saat	Doğalgaz fiyatı ^a	0.805383 TL/m ³
Dış sıcaklık(Tç)	5 °C	Kinematik viskozite ^b	1.75x10 ⁻⁵ m ² /s
Boru cidar sıcaklığı(Ts)	85 °C	Stefan Boltzman sabiti ^b	5.67x10 ⁻⁸ W/m ² .K ⁴
Kullanım Süresi(n)	15 yıl	İşınım katsayısı ^b	0.85
Gerçek faiz(i)	%10	Yerçekimi ivmesi ^b	9.81 m/s ²

^a Yakıtlara ait değerler 21 Aralık 2016 tarihli ve <http://www.tesisat.com.tr/yayin/yakit-fiyatları/> adresinden alınmıştır.

^b Sayısal değerler, “Y.A.Çengel, Isı ve Kütle Transferi Pratik Bir Yaklaşım” isimli kitaptan alınmıştır.

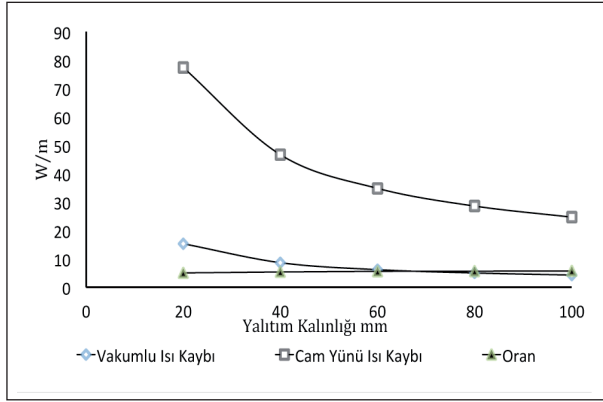
kullanımında yatırımın yıllık toplam maliyet ve net yıllık kâr değerleri elde edilmiş ve Şekil 5 ve 6'da verilmiştir.

Fuel oil ve doğalgaz kullanımında ekonomik yalıtım kalınlıkları, birbirine oldukça yakın değerdedir. Her iki yakıt kullanımında da 10-20 mm arasında yalıtım kalınlığı uygun olarak değerlendirilebilir. Isı kayıplarında meydana gelen azalma, cam yünü ile kıyaslandığında aynı kalınlıktaki yalıtım kalınlığı için 5 kat daha fazla ısı kaybı miktarında azalma tespit edilmiştir. Literatürde 150 mm çaplı boru için 100 mm yalıtım kalınlığının uygun olduğu ifade edilmektedir. Ekonomik yalıtım kalınlıkları kıyaslandığında, ısı kayıp değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir (Tablo 3) (13)(14).

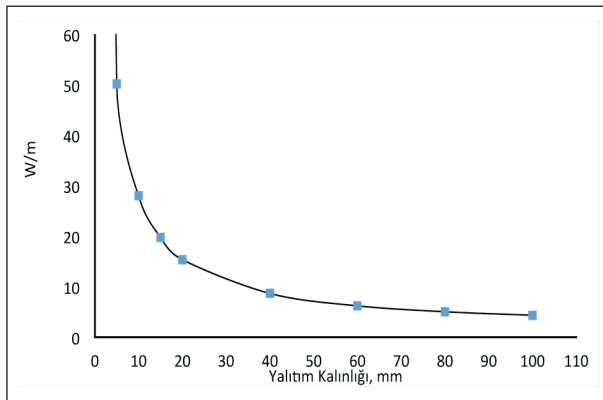
Tablo 3: Cam yünü ve VIP ekonomik yalıtım kalınlıkları (13)(14).

Boru Çapı (mm)	Yalıtım Yöntemi	Yalıtım Kalınlığı	Isı Kaybı (W/m)
150	VIP	10 mm	28
		20 mm	15
	Cam Yünü	100 mm	24

Sadece ısı kayıp miktarları dikkate alındığında, VIP kullanımında 20 mm yalıtım kalınlığından sonra

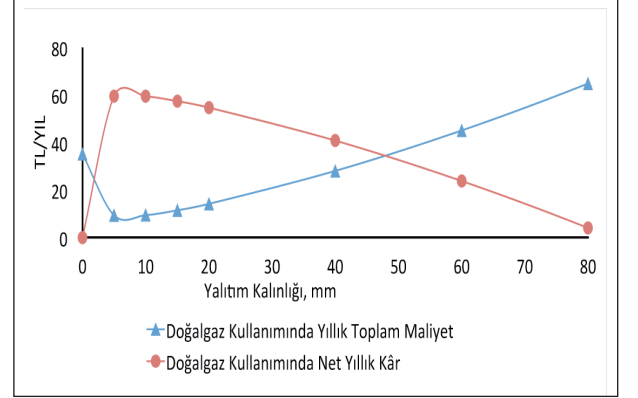


Şekil 3: VIP ve cam yünü karşılaştırması.

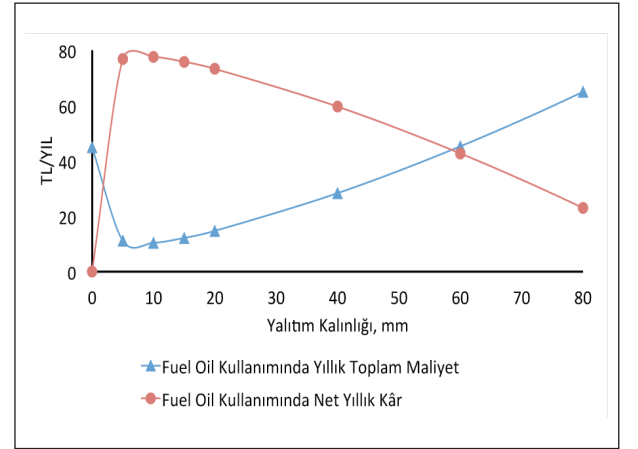


Şekil 4: VIP kullanımında ısı kayıpları.

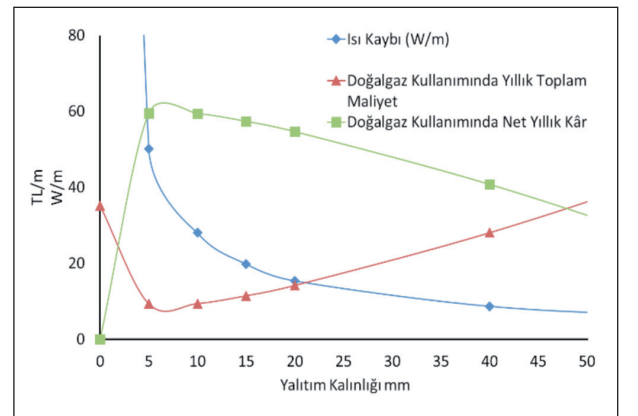
Şekil 4'de gösterilen grafiğin eğiminde azalma olduğu görülmektedir. 20 mm VIP yalıtım kalınlığı, aynı zamanda doğalgaz kullanımında yıllık toplam maliyet ve ısı kayıp eğrilerinin kesişme noktasıdır. Isı kayıp miktarı ve ekonomik veriler birlikte değerlendirilerek en uygun yalıtım kalınlığının 20 mm yalıtım kalınlığı olduğu söylenebilir (Şekil 7).



Şekil 5: Doğalgaz kullanımında ekonomik analiz.

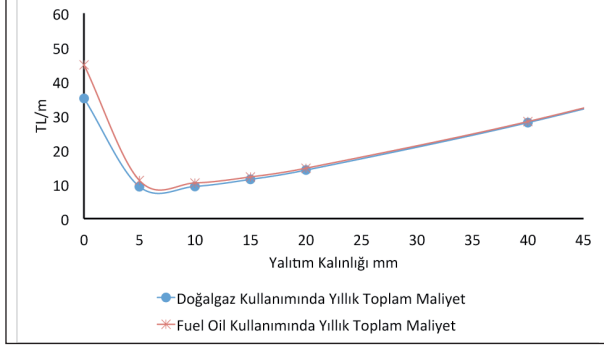


Şekil 6: Fuel oil kullanımında ekonomik analiz.



Şekil 7: Doğalgaz kullanımında ekonomik analiz ve ısı kaybı.

Yıllık toplam maliyet değerleri kıyaslandığında (Şekil 8), doğalgaz kullanımındaki değerler daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Yalıtım kalınlığı arttıkça her iki eğri birbirine yaklaşmakta, toplam maliyet değerleri eşitlenmektedir. Bu çalışma, her iki yakıt tipinden herhangi birini kullanan işletme için uygulanacak yalıtım kalınlığı konusunda yardımcı olabilir, fakat grafik değerleri yakıt seçimi için kullanılamaz.



Şekil 8: Toplam maliyetin yalıtım kalınlığına bağlı değişimi.

Semboller

VIP:Havasız alınılmış yalıtım paneli

q:Isı (Watt)

K:Kelvin

T:Sıcaklık(K, °C)

T_c :Dış ortam sıcaklığı(K, °C)

T_s :Yüzey sıcaklığı (K, °C)

h: Isı taşınım katsayısı ($W/m^2.K$)

ϵ : Işınım katsayısı

σ : Stefan Boltzman sabiti ($W/m^2.K^4$)

A:Alan (m^2)

D:Çap ölçüsü (m)

r:Yarı çap (m)

β :Hacimsel genleşme katsayısı (K^{-1})

Pr:Prandl sayısı

Nu:Nusselt sayısı

Ra:Rayleigh sayısı

ν : Kinematik viskozite (m^2/s)

k:Isıl iletkenlik katsayısı ($W/m.K$)

i:Yıllık gerçek faiz

n:Kullanım süresi (Yıl)

YİYM:Yıllık ilk yatırım maliyeti (TL/m)

İYM: İlk yatırım maliyeti (TL/m)

NYK:Net Yıllık Kâr

sn:Saniye

h:Saat

Kaynaklar

1. Dr.A Stevens, Steam Pipe Insulation, <http://www.raeng.org.uk/publications/other/2-steam-pipe>, (31.12.2016)
2. Y.A.Çengel, Isı ve Kütle Transferi Pratik Bir Yaklaşım, 425-433, Güven Bilimsel.(2012).
3. J. Fricke, U. Heinemann, H.P. Ebert, Vacuum insulation panels—From research to market, Vacuum 82,680–690, (2008).
4. H. C. Bayrakçı., M. Davraz, E. Başpınar, Yeni Nesil Isı Yalıtım Malzemesi: Vakum Yalıtım Paneli, Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi, 2, 1-12, (2011).
5. Y.A.Çengel, Isı ve Kütle Transferi Pratik Bir Yaklaşım, 423, (2012).
6. M. Alam, H. Singh, S. Suresh, D.A.G. Redpath Energy and economic analysis of Vacuum Insulation Panels (VIPs) Used in non-domestic buildings, Applied Energy, 188, 1–8, (2017).
7. A. Berge, B. Adl-Zarrabi, Field measurements on a district heating pipe with vacuum insulation panels, Renewable Energy, 87, 1130-1138, (2016).
8. M. Alam, H. Singh, M.C. Limbachiya, Vacuum Insulation Panels (VIPs) for building construction industry – A review of the contemporary developments and future directions, Applied Energy, 88, 3592–3602., (2011).
9. <http://www.va-q-tec.com/en/technology/vip/function.html>, (30.05.2017).
10. P. RANDEL, International Energy Agency, Proceedings of the International Conference and Workshop EMPA Duebendorf, January 22-24, (2001).
11. <http://www.vaqtec.com/en/technology/vip/material-shapes.html>, (30.05.2017).
12. M. Alam, H. Singh, S. Suresh, D.A.G. Redpath Energy and economic analysis of Vacuum Insulation Panels (VIPs) Used in non-domestic buildings, Applied Energy, 188, 1–8, (2017).
13. M. Özdemir, İ. C. Parmaksızoğlu, "Mekanik tesisatta ekonomik yalıtım kalınlığı", Tesisat Mühendisliği Dergisi, 91, 39-45, (2006).
14. A. K. Dağsöz, Sıcak Sulu Kalorifer Tesisatı, Demirdöküm yayınları, İstanbul, (1998).