



Vakum yalıtım panellerinin uçaklarda kullanımı Use of vacuum insulation panels in aircraft

Hakan KESKİN¹ , Cem Tahsin YÜCER^{2*} 

^{1,2} Uçak Teknolojisi Bölümü, Astsubay Meslek Yüksek Okulu, Milli Savunma Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
hkeskinege@gmail.com, cyucer@msu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 27.12.2018
Kabul Tarihi/Accepted: 07.08.2019

Düzeltilme Tarihi/Revision: 22.05.2019

doi: 10.5505/pajes.2019.14396
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Isıl yalıtım günümüz uçaklarında olması gereken önemli bir yapısal unsurdur. Yalıtım esnasında kullanılan yalıtım malzemesinin fiziksel özellikleri, kütleli artış, yararlı hacimde azalma ve kaybedilen ya da kazanılan ısı miktarını etkilemesinden dolayı önemlidir. Yolcuların ısı konforunu sağlaması, aviyonik elemanların uygun sıcaklıkta tutulması vb. etkilerden dolayı yalıtım malzemesinin ısı yükler üzerindeki etkisi önemli hale gelmiştir. Vakum yalıtım panelleri (Vacuum Insulation Panel, VIP) ısı kayıplarının engellenmesi amacıyla kullanılmaktadır. VIP, diğer yalıtım malzemelerine göre ısı kayıplarını azaltmayı daha az malzeme kalınlığı ile sunmaktadır. VIP diğer yalıtım malzemeleri ile kıyaslandığında, ısı iletim katsayısı oldukça düşüktür. VIP, günümüzde soğuk depolama, uzay/hava araçları ve binalarda tercih edilmektedir. VIP, genel olarak havası alınmış iç yapı, mukavemet sağlayan yapı elemanı, ısıma ile ısı aktarımını engelleyen yapı elemanı ve sızdırmazlık elemanından oluşur. Çalışma kapsamında yalıtımın gerekliliği, havacılık için önemi, kullanılan yalıtım malzemelerinin kıyaslanması ve VIP hakkında bilgiler verilerek havacılık alanında kullanım alanlarına değinilmiştir. Farklı uçuş yükseklikleri için, belli uzunluğa ve yarıçapa sahip bir uçağın ısı yükleri, iki farklı yalıtım malzemesi uygulanarak incelenmiştir. Çalışma içerisinde sadece VIP uygulamasının teorik kısmı incelenmiş, uygulama kısmına değinilmemiştir.

Anahtar kelimeler: Yalıtım, Vakumlu yalıtım paneli, VIP, Havası alınmış yalıtım levhası, Uçaklarda yalıtım.

Abstract

Thermal insulation is an important structural element that should be present in today's aircraft. The physical properties of the insulation material used during insulation are important because of the massive increase, the reduction in useful volume, and heat loss and heat gain. Due to the thermal comfort of the passengers, the need to keep avionics at the proper temperature, etc. the insulation material has become more effective on the thermal loads. Vacuum Insulation Panel (VIP) are used to prevent heat losses. VIP offers less heat loss than other insulating materials with less material thickness. VIP is compared to other insulation materials, heat transfer coefficient of VIP is very low. Today, VIP is preferred in cold storage, space/air vehicles and buildings. VIP consists of inner structure in general, structural element providing strength, construction element preventing heat transfer by radiation, and sealing element. Within the scope of the study, the necessity of insulation, the importance for aviation, comparison of the used insulation materials, and the information about VIP are given. The range of VIP in aviation field is also mentioned. For different flight altitudes, the thermal loads of a plane with a certain length and radius have been investigated by applying two different insulating materials. In the study, only the theoretical part of the VIP application was examined and the application part was not mentioned.

Keywords: Insulation, Vacuum insulation panel, VIP, Aircraft insulation.

1 Giriş

Isıl yalıtımlar ısı akışına direnç oluşturmak için kullanılan malzeme veya malzeme bileşimleridir. Isı aktarım hızını azaltarak enerjinin tasarruf edilmesi en başlıca amaç olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte çok sıcak veya soğuk yüzeylerin çalışanları olumsuz yönde etkilemesi, yalıtım yardımıyla engellenebilir. Bu hususlara ek olarak;

- İşlem sıcaklığının sabit olarak tutulması,
- Sıcaklık değişimi ve dalgalanmaların engellenmesi,
- Yoğuşma ve korozyonun önlenmesi,
- Yangından koruma,
- Donma koruması,
- Gürültü ve titreşimin azaltılması işlemlerinde yalıtım uygulaması olumlu sonuçlar vermektedir [1].

Yalıtım uygulamaları havacılık sektöründe de çok farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Sivil havacılık endüstrisinde yaşanan gelişmelerle birlikte, uçak ve yolcu sayısında da hızlı bir artış yaşanmaktadır. Her yıl 6 milyardan fazla insan uçakla

yolculuk etmektedir [2]. Dünyada kullanılan fosil yakıtların %3'lük kısmı havacılıkta kullanılmaktadır. Bu değer dikkate alındığında, toplam emisyon içerisinde havacılığa ait emisyon değerlerinin %3 değerinde olduğu görülür [3]. Enerji maliyetleri ve hava yolu taşımacılığı birlikte düşünüldüğünde, enerji giderlerinin ve hava kirliliğinin artmasında havacılığın etkin bir yeri olduğu ifade edilebilir. Bununla birlikte kabin içi konfor şartlarının iyileştirilmesi amacıyla da çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Wu ve arkadaşları tarafından farklı kıyafet tiplerinde, kabin içinde konfor şartları incelenmiştir. Çalışma kapsamında uçak içerisinde kullanılan koltuklarda kullanılan yalıtım miktarı, yolcuların kullandığı kıyafet tiplerine göre incelenmiştir [4]. Maier ve arkadaşları tarafından kabin içi konfor şartları incelenmiş, aynı kıyafeti kullanan yolcuların konfor şartlarına ilişkin sıcaklık ve diğer iklimlendirme etkenleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında kabin iç sıcaklığı ile ilgili veriler elde edilmiştir [5]. Bu çalışmada diğer yalıtım malzemelerine göre ısı verimliliği daha fazla olan VIP yalıtım malzemeleri üzerinde durulmuştur. VIP malzemelerinin genel özellikleri ve ısı yalıtım kapasiteleri üzerinde yapılan çalışmalara değinilmiştir. VIP kullanımının ısı kazançları ve

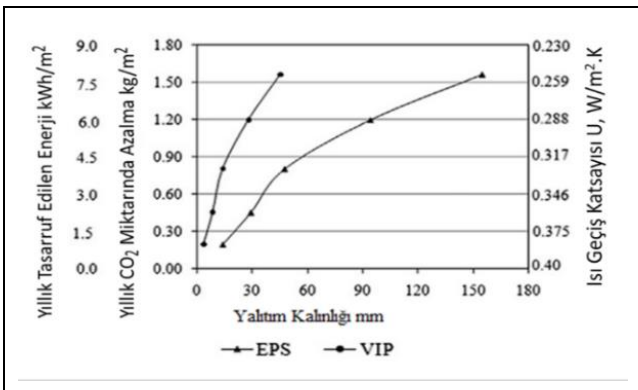
*Yazışılan yazar/Corresponding author

kayıplar üzerindeki etkisi bilindik yalıtım malzemeleriyle kıyaslanarak incelenmiştir.

2 Vakumlu yalıtım levhaları

Piyasada kullanılan çok farklı türde yalıtım malzemesi bulunmaktadır. Bu malzemeler esas itibarıyla cam yünü, mineral yün, polietilen, köpük veya kalsiyum silikattan yapılmıştır. Malzemelerin ısı iletkenlik katsayısı kıyaslandığında oda sıcaklığında bulunan havanın ısı iletkenlik katsayısının bilindik malzemelere göre çok düşük değerde olduğu görülür. Sadece hava tabakası içeren yalıtım için yeni çözümlerde eklenebilir. Burada yeni bir yaklaşım olarak hava tabakası içerisinde gerçekleşen taşınım ve ışımla gerçekleşen ısı aktarımının azaltılması daha iyi sonuçlar vermektedir. Yalıtım malzemesi içerisinde bulunan havanın mümkün olduğunca boşaltılması ve ışımla gerçekleşen ısı aktarımını engellemek amacıyla yansıtıcı levhalar kullanılması durumunda daha iyi bir yalıtım malzemesi elde edilebilmektedir. Bu durumun da gerçekleşmesi halinde bilindik yalıtım malzemelerine göre oldukça iyi oranda yalıtım sağlayan VIP elde edilebilmektedir [1].

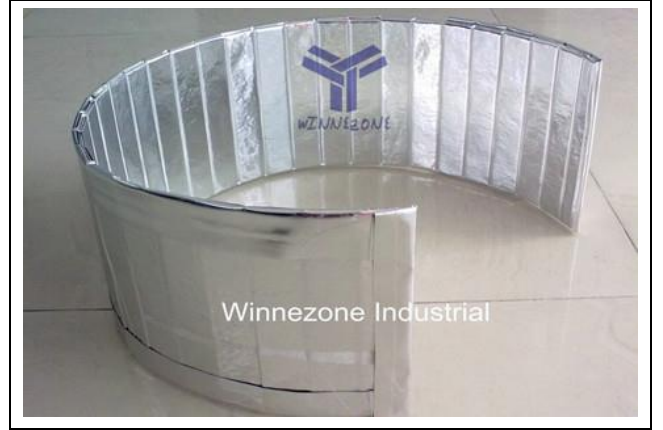
VIP'lerin diğer yalıtım malzemelerine göre en belirgin özelliği, ısı iletim katsayısının çok düşük olmasıdır. Isı iletim katsayısının çok düşük olması, daha ince yalıtım katmanı uygulanmasını sağlamaktadır. Şekil 1'de VIP ve EPS ısı geçiş katsayısı, yalıtım kalınlığı, tasarruf edilen ısı miktarı ve CO₂ miktarı bakımından kıyaslanmış, VIP yalıtım malzemesinin oldukça iyi sonuçlar verdiği ifade edilmiştir. Ayrıca daha düşük ısı kayıplarının ve kazançlarının yanı sıra, daha küçük kalınlıklara ihtiyaç duyulması, kullanım hacminin önemli olduğu hava ve uzay araçları, soğuk depolama uygulamaları gibi alanlarda belirtilen malzemeleri daha önemli hale getirmektedir. VIP diğer yalıtım malzemeleri ile kıyaslandığında daha az kalınlıkla, ısı tasarrufu sağladığı ve CO₂ salınımını azaltmada daha etkili olduğu görülmektedir [6],[7]. Keskin ve arkadaşları tarafından sıcak su dağıtım borularına VIP uygulaması sayısal olarak irdelenmiş, cam yünü ile kıyaslandığında, aynı yalıtım kalınlığı için 5 kat ısı kaybı değerinde azalmanın VIP ile sağlanabileceği ifade edilmiştir [7].



Şekil 1. EPS ve VIP arasında enerji tasarrufu, CO₂, kalınlık ve U arasındaki ilişki [6].

Figure 1. Energy saving between EPS and VIP, the relationship between CO₂, thickness and U [6].

VIP yalıtım malzemeleri değişik alanlarda kullanılmakla ve farklı şekillerde olabilmektedir. Şekil 2'de ifade edildiği üzere, VIP yalıtım malzemeleri bükülerek farklı şekiller alabilmekte, kullanım kolaylığı sağlamaktadır.



Şekil 2: VIP dıştan görünüşü [10].

Figure 2. VIP exterior view[10].

Başlıca kullanım alanları;

- Sıvı nitrojen kullanılan laboratuvar ortamlar vb. yerler,
- Besinlerin depolanması, taşınması, paketlenmesi ve dondurulması işlemleri,
- Hava ve uzay araçları,
- Elektronik parçaların üretim ve test işlemleri,
- Isıtma ve soğutma işlemleri,
- Binalarda yalıtım uygulamaları [7]-[10].

3 Hava araçlarında yalıtım

Yolcu uçaklarında ses ve ısı yalıtımı bir gerekliliktir. Tarihsel olarak bakıldığında her iki amacında gerçekleştirilmesi için aynı yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Isı yalıtımı olarak değerlendirme yapıldığında uçağın havada iken aşırı soğuğa veya yerde örneğin çölde iken aşırı sığağa maruz kaldığı bir gerçektir. Konfor şartlarının sağlanması, ekonomik olarak ısıtma/soğutma sisteminin istenilen her yerde etkin olarak kullanılması yalıtım ile sağlanmaktadır. Uçuş kabini içerisinde sesin şiddetinin azaltılması da yine yalıtım sayesinde mümkün olmaktadır [11].

Uçaklarda kullanılan yalıtım malzemelerinden;

- Özkütlesinin düşük olması,
- Alüminyum gövde üzerinde korozyon oluşturmaması,
- Elektriksel iletkenliğe sahip olmaması,
- Yapısal elemanlar üzerinde korozyon oluşturacak çizik vb. etkilerde bulunmaması,
- Yangınla ilgili gereksinimleri karşılaması,
- Çok fazla su tutmaması,
- Uygulama, kullanım ve üretim süreçlerinde çevresel, sağıksal ve güvenlik yönünden olumsuz etkilerde bulunmaması gereklilikler olarak ifade edilmektedir [11].

Uçak içerisinde uygulanan yalıtım Şekil 3'te gösterilmiştir. Buradan da görüleceği üzere yalıtım, uçak içerisinde kullanım hacmini azaltacak şekilde yerleştirilmektedir. Günümüzde kullanılan modern uçaklar dış sıcaklığın -55 °C ile 50 °C arasında değiştiği olumsuz çevre koşullarına maruz kalmaları [13]. Sıcaklık değerinin bu denli değişiklik göstermesi yalıtımın önemini ortaya koymaktadır. Hava araçlarının dış yüzeyinde

yalıtım uygulandığı gibi [12], krojenik olarak depolama da hava araçları için önemlidir (Örneğin sıvı olarak hidrojenin ve oksijenin depolanması). Burada ilave bir soğutma ünitesine ihtiyaç duymadan ve hava aracının iç hacminde büyük değişiklikler oluşturmada yalıtım malzemesinin seçilmesi önem arz etmektedir. Krojenik sistemlerde, artan depolama hacmi ve kütlesi, maliyetlerin artmasını beraberinde getirecektir [13],[14]. Buradan da anlaşılacağı üzere hava araçlarında ve havacılığa ait diğer uygulamalarda yalıtım kavramı önemli bir yere sahiptir. Yalıtımın bu denli öneme sahip olması aynı zamanda yalıtım malzemesinin de önemini arttırmaktadır.



Şekil 3. Uçak içerisine uygulanmış yalıtım [12].

Figure 3. Insulation applied inside the aircraft [12].

4 Sayısal yöntem

Hesaplamalar esnasında iki farklı yalıtım malzemesinin kıyaslaması yapılmıştır. Yüksekliğe bağlı olarak dış sıcaklık, basınç, yoğunluk ve viskozite değişimi dikkate alınmıştır. Hesaplamalarda düz plaka için kullanılan formüller kullanılmıştır. Örnek bir hesaplama için Tablo 1’de belirtilen veriler kullanılmıştır. Örnekte ifade edilen uçak yolcu uçağı olarak düşünölmüştür. Hesaplamalarda kullanılan yükseklik/irtifa için seyir irtifası dikkate alınmamıştır. Örnek hesaplamadan ardından değişik yükseklikler için yapılan hesaplamalar grafik halinde verilmiştir. Işınımla gerçekleşen ısı geçişi dikkate alınmamıştır. Hesaplamalarda Excel programından faydalanılmıştır.

Re sayısı, akışın durumunun belirlenmesi ve Nu sayısının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Denklem 1’de " ρ " ilgili yükseklikte havaya ait yoğunluk değerini, "V" uçak hızını, "L" ise uçak boyunu ifade etmektedir.

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu} \quad (1)$$

"K" toplam ısı iletim katsayısı olmak üzere iç ve dış ortamın ısı taşınım katsayısı (h) ve diğer katmanların kalınlık ve ısı iletim değerleri Denklem 2 ile ifade edilmektedir. $h_{iç}$ ve $h_{dış}$, iç ve dış ortamların ısı taşınım katsayısıdır. " δ_{Al} ", " δ_{Yal} ", " δ_{kap} ", sırasıyla alüminyum, yalıtım ve kaplamaya ait kalınlıkları ifade etmektedir. k; alüminyum, yalıtım ve kaplamaya ait ısı iletim katsayısıdır.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_{iç}} + \frac{\delta_{Al}}{k_{Al}} + \frac{\delta_{Yal}}{k_{Yal}} + \frac{\delta_{kap}}{k_{kap}} + \frac{1}{h_{dış}}} \quad (2)$$

Nu sayısı ve "h" ısı taşınım katsayısı, ilgili akışkan ortamında ısı iletim katsayısı, Re ve Pr sayısı biliniyorsa Denklem 3 ile

hesaplanır. Burada ifade edilen k değerı havaya ait ısı iletim katsayısıdır ve hesaplamalarda sabit olarak alınmıştır.

$$Nu = \frac{hL}{k} = 0.037Re^{0.8}Pr^{1/3} \quad (3)$$

Denklem 4 kullanılarak, uçağa ait yüzey alanı (A) hesaplamalarda kullanılacağından, uçak çapı (D)/yarıçapı (r) ve uzunluğu (L) dikkate alınarak yüzey alanı veya ısı geçiş alanı hesaplanmaktadır.

$$A = 2\pi rL = \pi DL \quad (4)$$

Isı geçiş miktarı (Q) 5 No.lu denklemle hesaplanmaktadır. ΔT ile iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkı ifade edilmektedir. Toplam ısı geçiş miktarının hesaplanabilmesi için Tablo 1’de ifade edilen ısı kazançlarının denklem 5 ile elde edilen sonuçlara eklenmesi gerekmektedir.

$$Q = KA\Delta T \quad (5)$$

Tablo 1. Hesaplamalarda kullanılan değerler [1],[15].

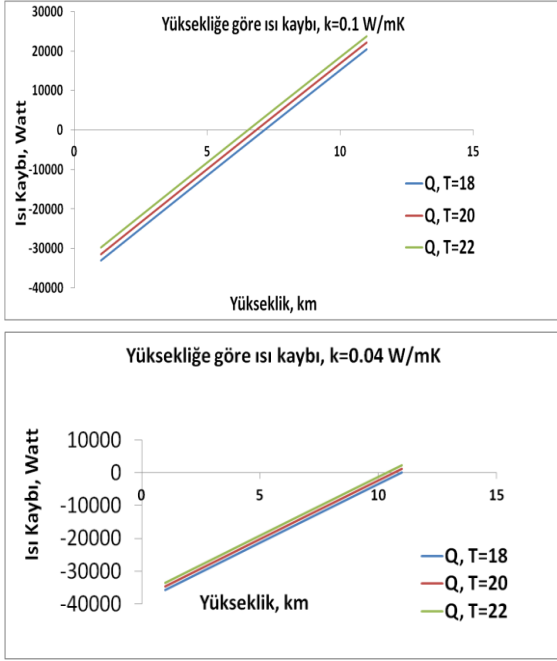
Table 1. Values used in calculations [1],[15].

L	40 m	$k_{Yal} = k_{kap}$	0.1 W/m.K
$T_{iç}$	18 °C, 20 °C, 22 °C	δ_{Yal}	0.02 m
$T_{dış}$	8.5 °C	$h_{Kabin içi}$	5 W/m ² .K
D	4 m	V	300 m/s
δ_{kap}	0.02 m	h	1000m
		μ	0.00001758 kg/m.sn
δ_{Al}	0.003 m	Yolculardan	20000 W
k_{Al}	200 W/m.K	Isı Kazancı	10000 W
		Aviyonik	10000 W
		Sistem Isı Kazancı	1000 W
Pr	0.72	Işıklandırma ve Eğlence Sistemi	1000 W
k_{Hava}	0.022 W/m.K	Mutfak Isı Kazancı	10000 W
k_{VIP}	0.04 W/m.K	Toplam	41000 W

5 Bulgular ve değerlendirme

Bu çalışmada, VIP ile ısı iletim katsayısı bilinen yalıtım malzemesinin ısı kayıplarına ve kazançlarına olan etkisi incelenmiştir. Sıcaklık, uçuş irtifasına göre değiştiğinden sıcaklığın yüksekliğe göre değişimi dikkate alınmış, her bir yükseklik için ısı geçiş miktarı hesaplanmıştır. Şekil 4’te VIP ve ısı iletim katsayısı 0,1 W/m.K olan yalıtım malzemesinin farklı iç sıcaklıklar için oluşan ısı geçişleri ifade edilmiştir. Isı geçiş değerinin eksi (-) işareti alması, ısı kazancı olduğunu ve soğutma ihtiyacı olduğunu ifade etmektedir.

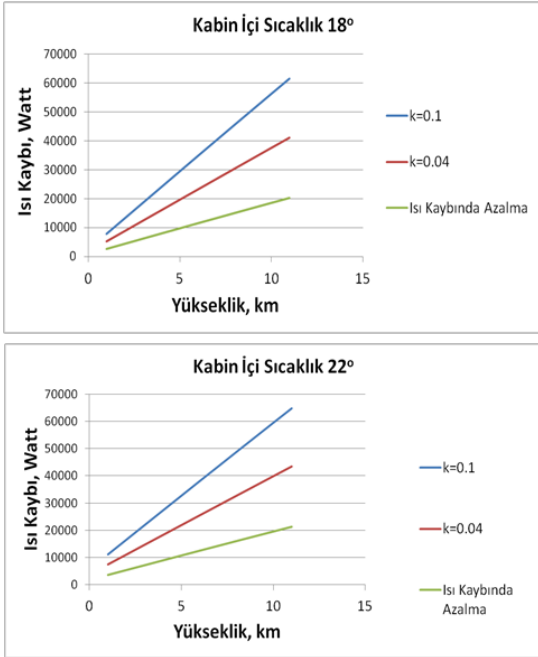
Şekil 4 incelendiğinde, $k=0.1$ W/mK olan yalıtım malzemesinde soğutma ihtiyacı, iç ortam sıcaklığına göre 6 ile 7 km uçuş yüksekliğine kadar olurken VIP kullanımı durumunda 10 km yüksekliğe kadar soğutma ihtiyacı olduğu görölmektedir. Isı kayıpları ve kazançlarının "0" olduğu yüksekliğin her iki yalıtım malzemesi için de farklı olduğu görülür. Soğutma veya ısıtma yükünün oluşması enerji kaybı olarak nitelendirilir. Isı iletim katsayısı 0,1 W/mK olan malzeme için ısıtma ve soğutma yükünün oluşmadığı yükseklik 6-8 km arasında iken, VIP kullanımı durumunda ısıtma ve soğutma yükünün oluşmadığı yükseklik 10 km sonrasında olmaktadır.



Şekil 4. Yüksekliğe bağlı olarak ısıtma yükleri.

Figure 4. Heating loads depending on the height.

Şekil 5'te ısı kazançları eklenmeden elde edilen sonuçlar ifade edilmiştir. Isı kazançları dikkate alınmadığında her iki yalıtım malzemesi kıyaslanırsa, ısı kayıplarında 1.5 katlık bir azalma VIP kullanılması durumunda söz konusu olmaktadır. Artan irtifaya bağlı olarak VIP kullanımı durumunda ısı kaybında oluşan azalma miktarı artış göstermektedir. Kabin içi sıcaklığın 18 °C ve 22 °C arasında değişmesi, sayısal sonuçlar üzerinde etki etse de, VIP kullanımının yüksek irtifalarda daha olumlu sonuçlar vereceği Şekil 5'ten görülmektedir.

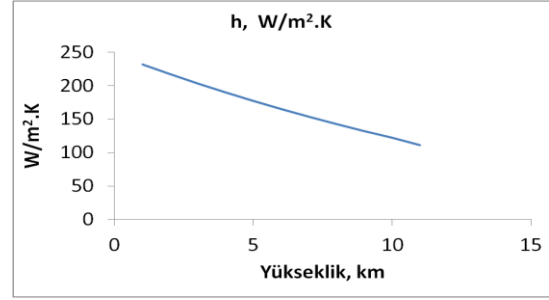


Şekil 5: Yüksekliğe bağlı olarak yalıtım malzemelerinin ısı kaybına etkisi (Isı kazançları ihmal edilmiştir).

Figure 5. The effect of insulation materials on heat loss depending on the height (Heat gains are neglected).

Şekil 4 ve Şekil 5'te ısı kaybı irtifaya bağlı olarak artış göstermektedir. İç ortam sıcaklığı ve ısı taşınım katsayısı hesaplamalarda her bir yükseklik değerinde sabit olarak alınmıştır.

Dış akış ısı taşınım katsayısı, Şekil 6'da görüldüğü üzere irtifa arttıkça azalmaktadır. Yüksekliğe bağlı olarak viskozite, yoğunluk ve Re sayısının azalmasından dolayı, ısı taşınım katsayısı doğrusal olarak değişkenlik göstermektedir. Taşınım katsayısı 1 km uçuş yüksekliğinden 11 km uçuş yüksekliğine kadar %52 oranında azalış göstermektedir.



Şekil 6. Yüksekliğe bağlı olarak ısı taşınım katsayısı ($h, W/m^2K$) değişimi.

Figure 6. Change of heat transfer coefficient ($h, W/m^2K$) depending on the height.

6 Sonuçlar

İstenen kabin içi sıcaklık değerine göre, ısıtma veya soğutma uygulanması gereken yükseklik, yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısına göre değişkenlik göstermektedir. Kabin içi sıcaklığın düşük olması durumunda soğutma yükü artmakta, ısıtma yükü azalmaktadır. Kabin içi sıcaklığın yüksek istenmesi durumunda ise ısıtma yükü artarken soğutma yükü azalmaktadır. Enerji verimliliği açısından ısıtma veya soğutmanın yapılmadığı yükseklik değeri en iyi seçim olarak ifade edilir. Isı iletim katsayısının düşük olması soğutma ve ısıtma ihtiyacı olmadan uçulacak seyir yüksekliğini arttırmaktadır.

Isı kazançlarına bağlı olarak aynı iç sıcaklık değeri için yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısının düşmesi, soğutma yükünü arttırmakta ve ısıtma yükünü azaltmaktadır. Isı kazançlarının az olduğu veya ihmal edildiği durumlarda ısı iletim katsayısı düşük yalıtım malzemesi kullanmak enerji verimliliği açısından olumlu sonuçlar verecektir. Isı taşınım katsayısı yükseklikle doğru orantılı olacak şekilde azalmaktadır. Yükseklik artışına bağlı olarak ısı kayıp miktarı ise artmaktadır. Isı kayıplarının yüksekliğe bağlı olarak artmasının temel sebebi kabin içi sıcaklık ve dış ortam sıcaklığı arasındaki farkının artmasıdır.

7 Conclusions

Depending on the desired cabin interior temperature, the height to which heating or cooling should be applied varies according to the heat transfer coefficient of the insulation material. In case the temperature inside the cabin is low, the cooling load increases and the heating load decreases. If the cabin interior temperature is desired more, the cooling load decreases while the heating load increases. In terms of energy efficiency, the height value without heating or cooling is expressed as the best choice. Low heat transfer coefficient increases the cruising height without the need for cooling and heating.

Depending on the heat gains, the decrease of the heat transfer coefficient of the insulation material for the same internal temperature value increases the cooling load and reduces the heating load. In cases where heat gains are low or neglected, using insulation material with low heat transfer coefficient will yield positive results in terms of energy efficiency. The heat transfer coefficient decreases in direct proportion to the height. Depending on the height increase, the amount of heat loss increases. The main reason for the increase of heat losses depending on the height is the increase in the difference between the inside temperature and outside temperature of the cabin.

8 Semboller

m	: Metre,
°C	: Derece,
k	: Isı iletim katsayısı (W/mK),
K	: Kelvin,
Pr	: Prandl sayısı,
h	: Yükseklik, irtifa (m),
VIP	: Havası alınmış yalıtım levhası, vakum yalıtım paneli,
h	: Isı taşınım katsayısı (W/m ² K),
μ	: Viskozite,
Re	: Reynolds sayısı,
ρ	: Yoğunluk (kg/m ³),
V	: Hız (m/sn),
sn.	: Saniye,
L	: Uçak uzunluğu(m),
δ:	: Kalınlık (m),
Al	: Alüminyum,
Yal	: Yalıtım,
kap	: Kaplama,
Nu	: Nusselt sayısı,
D	: Çap (m),
Q	: Isı (Watt),
ΔT	: Sıcaklık farkı (K, °C).

9 Kaynaklar

- [1] Çengel YA. *Isı ve Kütle Transferi Pratik Bir Yaklaşım*. 3. Baskı, İzmir, Türkiye, Güven Kitabevi, 2013.
- [2] Airport Council International (ACI). "ACI releases 2013 World Airport Traffic Report-Airport passenger traffic still going strong; air cargo inches along after third year of weak growth". <https://aci.aero/news/2014/09/16/aci-releases-2013-world-airport-traffic-report-airport-passenger-traffic-still-going-strong-air-cargo-inches-along-after-third-year-of-weak-growth/> (04.02.2019).
- [3] Khandelwal B, Karakurt A, Sekaran PR, Sethi V, Singh R. "Hydrogen powered aircraft: the future of air transport". *Progress in Aerospace Sciences*, 60(7), 45-59, 2013.
- [4] Wu T, Cui W, Cao B, Zhu Y, Ouyang Q. "Measurements of the additional thermal insulation of aircraft seat with clothing ensembles of different seasons". *Building and Environment*, 108, 23-29, 2016.
- [5] Maier J, Marggraf-Micheel C. "Weighting of climate parameters for the prediction of thermal comfort in an aircraft passenger cabin". *Building and Environment*, 84, 214-220, 2015.
- [6] Alam M, Singh H, Limbachiya MC. "Vacuum Insulation Panels (VIPs) for building construction industry-a review of the contemporary developments and future directions". *Applied Energy*, 88, 3592-3602, 2011.
- [7] Keskin H, Dinçkurt M, Özdamar A. "Havası alınmış yalıtım malzemelerinin sıcak su dağıtım borularında incelenmesi". *DUFED*, 6(2), 89-94, 2017.
- [8] Berge A, Adl-Zarrabi B. "Field measurements on a district heating pipe with vacuum insulation panels". *Renewable Energy*, 87, 1130-1138, 2016.
- [9] Alam M, Singh H, Limbachiya M.C. "Vacuum Insulation Panels (VIPs) for building construction industry-a review of the contemporary developments and future directions". *Applied Energy*, 88, 3592-3602, 2011.
- [10] Winnezone Industrial. "Vacuum Insulation Panel". [http://www.winnezone.com/product-page.aspx?pid=1&id=1_\(08.05.2019\)](http://www.winnezone.com/product-page.aspx?pid=1&id=1_(08.05.2019)).
- [11] Federal Aviation Administration Fire Safety. "Aircraft Thermal/Acoustic Insulation Materials Functions and Requirements". <https://www.fire.tc.faa.gov/pdf/insulate.pdf>, (04.02.2019).
- [12] Messier D. "A Look Inside Orbital's Stargazer Launch Aircraft". <http://www.parabolicarc.com/2012/10/27/a-look-inside-orbitals-stargazer-launch-aircraft/> (13.09.2017).
- [13] National Center for Biotechnology Information. "Environmental Control". <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK207472/> (04.02.2019).
- [14] Heydenreich R. "Cryotanks in future vehicles". *Cryogenics*, 38, 125-130, 1998.
- [15] Martinez I. "Aircraft Environmental Control". <http://webserver.dmt.upm.es/~isidoro/tc3/Aircraft%20ECS.pdf> (02.05.2018).