

Hilmi Cenk BAYRAKÇI  
Metin DAVRAZ  
Ali Ekrem AKDAĞ

## Abstract:

Thermal insulation is required for the keep external environment temperature outside of the cabin at coolers. Thickness of the thermal insulation line depends on type of materials temperature of the cooling appliance. Although a wide variety of materials used, polyurethane and glass wool are commonly used thermal insulation materials at cabins.

With the increasing importance of energy efficiency, use of alternative insulation materials which provide better thermal insulation, have become necessary at cooling devices like the other systems. One of these materials is vacuum insulation panels. Vacuum insulation panels (VIP) have higher performance insulation materials than the known thermal insulation materials in the terms of thermal insulation properties. VIPs can provide reached 10 times more thermal insulation ( $\lambda_{max} = 4 \text{ mW/mK}$ ) according to conventional insulation materials ( $\lambda_{max} = 40 \text{ mW/mK}$ ). According to characteristics of inner filling material (core), VIPs are generated by using getters or putting in an outer envelope with vacuum and closing to atmosphere to provide impermeability.

In this study, energy tests made on two refrigerator (one of them is standard and one of them is VIP applied) and increasing of energy efficiencies and variance of results were determined experimentally. When we look at the test results of both fridges, it was seen obviously VIP application was made a positive contribution in terms of energy efficiency.

## Key Words:

Vacuum Insulation Panel, Energy Efficiency, Thermal Insulation.

# Vakum Yalıtım Panellerinin Buzdolaplarında Kullanımının Enerji Verimliliğine Etkisi

## ÖZET

*Isı yalıtımı soğutucularda dış ortam ısısının kabin dışında tutulması için gereklidir. Isı yalıtım hattının kalınlığı, malzemelerin cinsine ve soğutmanın uygulanacağı sıcaklığa göre değişmektedir. Çok çeşitli malzemeler kullanılmakla beraber, kabinlerde en çok kullanılan ısı yalıtım malzemeleri poliüretan ve cam yünüdür.*

*Enerji verimliliğinin öneminin artmasıyla, birçok sistemde olduğu gibi soğutma cihazlarında, özellikle buzdolaplarında daha iyi ısı yalıtımı sağlayan alternatif yalıtım malzemelerinin kullanılması şart olmuştur. Bu malzemelerden biri de vakum yalıtım panelleridir. Vakum yalıtım panelleri (VYP), ısı yalıtım özellikleri açısından bilinen ısı yalıtım malzemelerine göre çok daha yüksek performanslı yalıtım malzemeleridir. Konvansiyonel yalıtım malzemelerine ( $\lambda_{maks} = 40 \text{ mW/mK}$  [miliWatt/metre Kelvin]) göre 10 kata ulaşan ısı yalıtımı VYP'leri ( $\lambda_{maks} = 4 \text{ mW/mK}$ ) ile sağlanabilmektedir. VYP'ler, gözenekli yapıdaki bir iç dolgu malzemesinin (çekirdek) karakterine bağlı olarak, gaz giderici malzeme kullanılarak ya da tek başına bir dış zarfın içine konularak vakumlanması ve sızdırmazlığı sağlanarak atmosfere kapatılması ile oluşturulur.*

*Bu çalışmada, standart olarak üretilmiş ve kapaklarına VYP uygulanmış aynı model iki ayrı buzdolabı üzerinde enerji testleri yapılmış ve her iki buzdolabının test sonuçlarının nasıl değiştiği ve enerji verimliliğindeki artış deneysel olarak incelenmiştir. Her iki buzdolabının test sonuçlarına bakıldığında VYP uygulamasının, enerji verimliliği açısından olumlu katkısı olduğu açıkça görülmüştür.*

**Anahtar Kelimeler:** Vakum Yalıtım Paneli, Enerji Verimliliği, Isı Yalıtımı.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde (özellikle fosil) enerji kaynaklarının giderek tükenmesine karşılık, enerji ihtiyacı katlanarak artmakta ve enerji birim fiyatları hızla yükselmektedir. Bu durum kaynakları kısıtlı pek çok ülkede enerjinin verimli kullanılmasına yönelik yeni arayışlara yol açmaktadır.

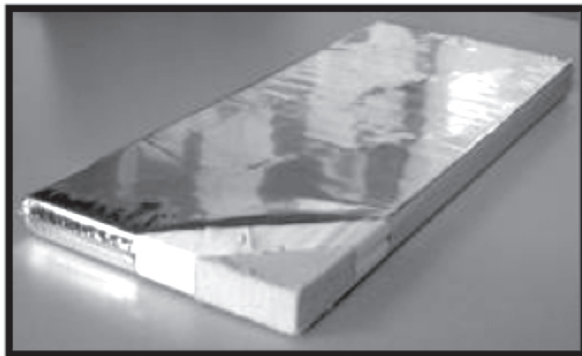
Vakum yalıtım panelleri ısı yalıtım özellikleri açısından konvansiyonel yalıtım malzemelerine göre çok daha yüksek performanslı yalıtım malzemeleridir. Konvansiyonel yalıtım malzemelerine kıyasla on kata ulaşan ısı yalıtımı vakum yalıtım panelleri ile sağlanabilmekte-

dir. Vakumlu yalıtım malzemeleri bir iç dolgu malzemesi, bir gaz giderici ve geçirimsiz bariyerden oluşmaktadır. İç dolgu malzemesi olarak fumed silika, çökeltilmiş silika, aerojel gibi toz esaslı malzemeler kullanılabilir gibi, açık hücreli poliüretan veya açık hücreli polistren gibi köpük esaslı malzemeler de kullanılabilir.

Vakum yalıtım panelleri son zamanlarda soğutma sektöründe, özellikle beyaz eşya grubunda yalıtım amaçlı olarak tercih edilmeye başlanmıştır. Enerji bazlı sektörlerde olduğu gibi, bu sektörde de enerji sınıflarının önem kazanması, nihai kullanıcının alacağı ürünün enerji sınıfına bakarak karar vermeye başlaması, teknolojik gelişmelerle beraber süper yalıtımlara da yönelmeye başlanmıştır. A sınıfı ya da A<sup>+</sup> sınıfına sahip soğutucular, bu ürünlerin kullanımıyla bir üst sınıfa yani A<sup>++</sup>'a terfi etmişlerdir.

## 2. VAKUM YALITIM PANELLERİ

Vakum yalıtım panelleri (VYP), ısı yalıtım özellikleri açısından bilinen ısı yalıtım malzemelerine göre çok daha yüksek performanslı yalıtım malzemesidir. Konvansiyonel yalıtım malzemelerine ( $\lambda_{maks} = 40$  mW/mK [miliWatt/metre Kelvin]) göre 10 kata ulaşan ısı yalıtımı VYP'leri ( $\lambda_{maks} = 4$  mW/mK) ile sağlanabilmektedir. VYP'ler, gözenekli yapıdaki bir iç dolgu malzemesinin (çekirdek) karakterine bağlı olarak, gaz giderici malzeme kullanılarak ya da tek başına bir dış zarfın içine konularak vakumlanması ve sızdırmazlığı sağlanarak atmosfere kapatılması ile oluşturulur (Şekil 1) [1, 2].



Şekil 1. Vakum Yalıtım Panelinde Çekirdek, İç Zarf ve Dış Zarfın Görünümü [2]

Bu panellerin üretimini basit olarak açık gözenek yapısındaki bir destek (çekirdek) malzemesinin vakumlanması ve sızdırmazlığı sağlanarak hava almayacak biçimde ambalajlanmasına dayandırmak mümkündür. Vakumlu yalıtım panellerinin üretiminde değişik alternatif malzemeler mevcuttur. Üç ana grupta incelenen bu alternatif malzemeler Tablo 1'de verilmiştir [3]. VYP'lerinin ısı yalıtım kapasitesi konvansiyonel yalıtım malzemelerinden birkaç (maksimum 10) kez daha yüksektir. Bu durum uygulama kalınlığı açısından büyük bir avantaj sağlarken, kullanım alanını da oldukça genişletmektedir. Paneller özellikle enerji talebinin ve maliyetinin yüksek olduğu yerlerde yararlıdır.

Tablo 1. VYP Üretiminde Kullanılan Alternatif Malzemeler [3]

VAKUMLU YALITIM MALZEMELERİNİN BİLEŞENLERİ	
	Aerojel
	Açık hücreli poliüretan
	Geri dönüşümü yapılmış üretan
	Açık hücreli ekstrude edilmiş polistren
	Fiberglas
	Toz malzemeler
	Plastik
	Paslanmaz çelik
	Alüminyum içeren çok katmanlı filmler
Gaz Gidericiler	Zeolit
	Karbon tozu
	Desikant
	Kimyasal gaz gidericiler

Bu çalışmada vakum yalıtım panellerinin üretimi için, hazırlanan reçeteye göre toz malzeme, elyaf malzeme ve opaklaştırıcı bir mikser sisteminde belirli oranlarda karıştırılarak çekirdek malzeme hazırlanmıştır. Daha sonra karışım halinde hazırlanan toz malzeme bir preste belirli bir basınç kuvveti altında 30x30x3 cm'lik levha halinde sıkıştırılmıştır. Daha sonra ise üzerine dış zarf geçirilerek 0,1 mbar değerine kadar vakumlanmıştır.

### 2.1. Buzdolapları ve Enerji Verimliliği

Enerjinin verimli kullanılıp kullanılmadığını gösteren en önemli ölçüt, gayri safi milli hâsıla başına tüketilen enerji miktarı olarak tarif edilen "Enerji

Yoğunluğu”dur. Verimlilik seviyesi “Enerji Verimlilik İndeksi” olarak tanımlanan bir kavramla da tanımlanmaktadır. Enerji tasarrufu yapan cihazların verimlilik indeksi küçükken, fazla enerji tüketenlerde bu değer büyümektedir.

Enerji verimliliğinde Türkiye dünya ortalamasının bile altındadır ve bir dolarlık katma değer üretebilmek için;

- OECD ülkelerinin 2 katı ve (0,19 vs 0,38 TEP/\$)
- Japonya'nın 4 katı enerji harcamaktadır.

Bu da firmaların kârlılığını ve rekabet edebilirliğini olumsuz yönde etkilemekte ve ülkenin enerjide dışa bağımlılığını pekiştirmektedir.

Artan enerji maliyeti, artan sera gazları salınımı ve enerjide dışa bağımlılıkla en etkin mücadelenin yolu, enerji verimliliğinin artırılması ve dolayısı ile enerji yoğunluğunun düşürülmesidir.

Enerji enstitüsüne göre tüm Türkiye'deki buzdolaplarının A<sup>+++</sup> tasarruflu buzdolapları ile değiştirilmesinin yılda 2 tane Keban anlamına geleceği vurgulanmaktadır [4].

Türkiye'de yıllık 20 milyon adet beyaz eşya üretilmekte, bunun 14 milyonun ihraç edilmekte, 6 milyonu da yurtiçinde satılmaktadır. Sektörün yıllık cirosu 3 milyar dolardır (2012 rakamlarıyla). Türkiye'de tüketilen elektriğin yüzde 24'ün konutlarda tüketilmekte; konutlardaki tüketimin yarısı da beyaz eşyadan kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla konutlarda kullanılan yıllık 55 milyar kWh elektriğin, 28 milyar kWh'i beyaz eşyalar tarafından tüketilmektedir. En önemlisi de bu tüketimin yüzde 60'ını yani 17 milyar kWh'ini buzdolapları oluşturmaktadır [4].

15 yıl önce satılan buzdolaplarının B, C, D sınıfı olup; C sınıfı bir buzdolabı ise yıllık 840 kWh elektrik tüketmektedir. Oysa şimdi A<sup>+++</sup> sınıfı bir buzdolabı sadece 193 kWh elektrik tüketmektedir. Evlerde 24 milyon adet buzdolabı çalışmaktadır ve bunların 15 milyonu C tipidir. Eğer bunlar A sınıfı ile değiştirilebilirse yıllık 6 milyar kWh enerji tasarrufu müm-

kün olmaktadır. Bu miktar Keban Barajı'nın ürettiği yıllık elektriğe eş değerdir, bu dolapların A<sup>+++</sup> ile değiştirilmesi ise 2 tane Keban anlamına gelmektedir [4].

Aynı hacimde ve kapasitede A<sup>+</sup> ve de A<sup>+++</sup> buzdolapları ele alındığında, A<sup>+</sup> buzdolabı için ortalama tüketim 0,91 kWh/24 saat iken A<sup>+++</sup> buzdolabı için bu tüketim 0,35~0,40 kWh/24 saat olmaktadır. Bu durumda günlük ortalama tasarruf [(0,91- 0,40) kWh \*24 saat = 12,24 kWh] olmaktadır. Yıllık tasarruf ise bir buzdolabı için 12,24\*365 = 4467,6 kWh olmaktadır. Elektriğin kWh'ı Ekim 2013 tarifesine göre ortalama 27 kuruştan hesaplanırsa, bu da bir konut için yıllık yaklaşık 1200 TL'lik bir kâr demektir [5].

Tüm bunlara bakılarak buzdolaplarının enerji verimliliğinin artırılması için kompresör ve otomatik kontrol-elektronik teknolojisi ile beraber, ısı yalıtkanlığının da geliştirilmesi gerekmektedir. İşte bu noktada, alternatif yalıtım malzemeleri devreye girmekte ve ısı transferinin azaltılarak enerji verimliliğinin artırılması hedeflenmektedir.

## 6.2. Vakum Yalıtım Panelleri ve Enerji Testleri

Buzdolapları için enerji tüketimi deneyleri TS EN ISO 15502 standardına göre yapılmaktadır. Bu deneyin amacı, belirtilen şartlar altında soğutma cihazlarının enerji tüketimini ölçmektir.

### 6.2.1. Deneyin Yapılışı

Deneyin yapılışı TS EN ISO 15502 standardında maddeler halinde tanımlanmıştır. Standarda göre deneyin yapılışı esnasında ortam sıcaklıkları, soğutma cihazının kenarına ait düşey ve yatay çizgilerinde bulunan iki noktada ( $T_{a1}$  ve  $T_{a2}$ ) ve soğutma cihazından 350 mm uzakta ölçülür (Şekil 2 ve 7).

Ortam sıcaklığı, ölçülen ve deneylerde kullanılan değer olan zamana göre entegrali alınan sıcaklıkların aritmetik ortalamasıdır. Ortam sıcaklıkları, iki ölçme noktasının her birinde bakır ve pirinç silindirler kullanılarak ölçülür. Ortam sıcaklığı algılayıcıları, şartlandırma cihazı, dış pencereler veya deneyden geçirilen cihazlar da dâhil olmak üzere, deney odası içindeki ısıya ısı kaynaqları veya yutuculardan korunmalıdır.

Ortam sıcaklıkları, kararlı çalışma şartlarının elde edilebilmesi için gereken periyotlar ve deneyler sırasında  $\pm 0,5$  K içinde sabit tutulmalıdır [6].

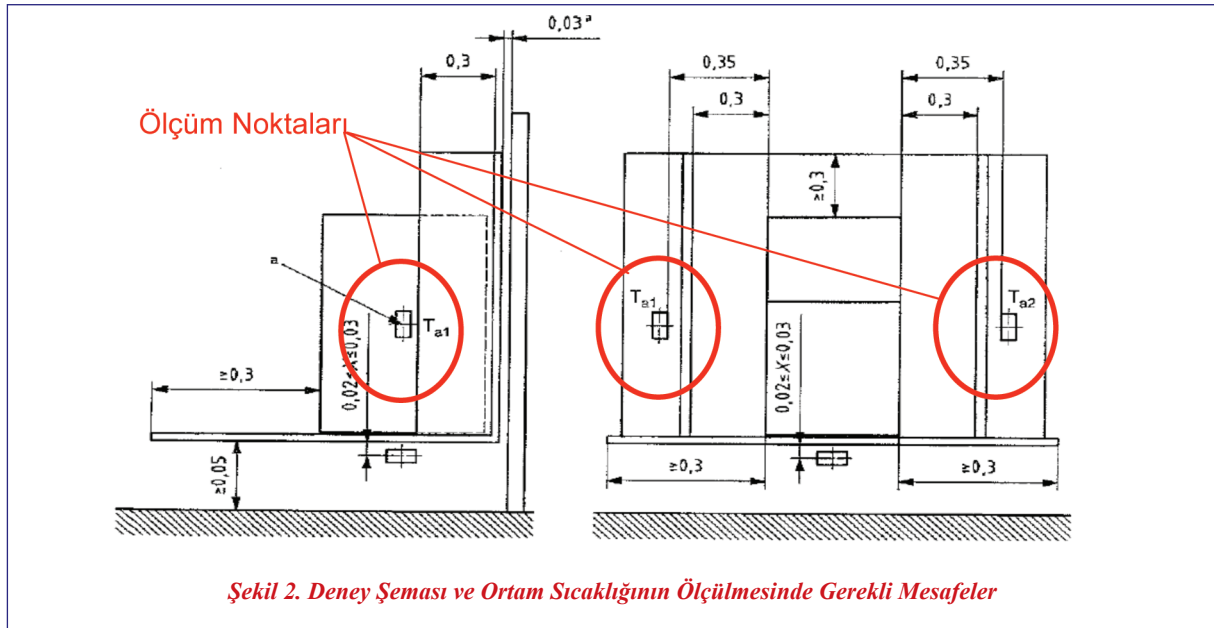
Soğutma cihazı, standartta belirtildiği üzere bir deney odası içerisine kurulur. Buharlaştırıcıdaki (yani evaporatör üzerindeki) buzlar eritilmeli ve soğutma duvarının iç duvarları ve bileşenleri kurulanmalıdır. Erişim düzenleri (kapılar ve kapaklar) deney süresince kapalı tutulmalıdır. Soğutma cihazı hizmet sırasında olduğu gibi, imalatçının talimatlarına uygun olarak kurulmalıdır. Buz tepsipleri de dâhil olmak üzere, soğutma cihazı ile verilen bütün iç bağlantı elemanları yerlerine yerleştirilmelidir. Ancak, buz tepsiplerini yerleştirmek için özel alt bölümleri bulunmayan gıda dondurma bölümü veya dolabı veya dondurulmuş gıda dondurma bölümü veya dolabının olması durumunda, buz tepsipleri çıkarılmalıdır [6].

Soğutma cihazında imalatçı tarafından ayarlanmak üzere tasarılan sıcaklık kontrol elemanlarının bulunması durumunda, bunlar uygun ortam sıcaklığında imalatçı tarafından tavsiye edilen normal çalışma konumlarına göre ayarlanmalıdır. Elemanların kullanıcı tarafından ayarlanabilecek şekilde tasarlanmamış olması durumunda, ölçme soğutma cihazı üzerinde teslim edildiği şekilde yapılmalıdır. Boş soğutma cihazı dengeye gelmesi için en az 24 saat

süreye çalıştırılmalıdır. Taze gıda depolama ve kiler bölmeleri standartta belirtilen uygun ölçme aletleri olan sıcaklık sondaları, nemölçerler ve sayaçlar ile donatılmalıdır.

Soğutma bölümü, gıda dondurma bölümü veya dolabı ve dondurulmuş gıda depolama bölümü/bölmeleri veya dolabı uygun şekilde, standartta belirtilen deney paketleri ve M paketleri ile donatılmalıdır. Deney paketleri, dikdörtgen paralel yüzlü biçimde olup, enerji testleri için kullanılırlar. Enerji testlerinde 500 g'lık paketlerin (50 mm x 100 mm x 100 mm) sıcaklığın ölçülmesi için dolgu malzemesi ile doğrudan temas edecek şekilde, paketlerin geometrik merkezine yerleştirilecek ısı çiftleri veya eş değer doğrulukta diğer sıcaklık ölçme cihazı ile donatılmalıdır. Konu dışı olan ısı iletimini en aza indirecek bütün tedbirler alınmalıdır. Bu paketler "M Paketleri" olarak isimlendirilir. Standartta göre bu paketlerin bileşimi şu şekildedir:

- a) 1000 g'lık deney paketinde bulunan uygun dolgu malzemeleri aşağıdakilerden meydana gelir:
- 230 g oksietilmetilselüloz
  - 764,2 g su
  - 5 g sodyum klorür
  - 0,8 mg 6-kloro-m-krezol
- Bu malzemenin donma noktası  $-1$  °C'dir (ısı karakteristikleri yağsız sığır etine karşılık gelir).



Şekil 2. Deney Şeması ve Ortam Sıcaklığının Ölçülmesinde Gerekli Mesafeler

- b) Donma noktası  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  civarında olan diğer deney paketi:
- 232 g oksietilmetilselüloz
  - 725 g su
  - 43 g sodyum klorür
- c) 0,6 mg 6-kloro-m-krezol.
- d) Çevre ortamıyla nem değişimi ihmal edilebilecek nitelikte olan plastik veya herhangi bir uygun malzeme tabakasından oluşan sargı. Doldurulduktan sonra sarılan tabaka, sızdırmaz hale getirilmelidir. Sargı malzemesi olarak  $120\text{ }\mu\text{m}$  kalınlıkta kolayca sızdırmaz hale getirilebilen yüksek basınçlı polietilen tabakası ile yaklaşık  $12,5\text{ }\mu\text{m}$  kalınlıkta dış polietileneterftalat tabakası birlikte yapıştırılarak elde edilen lamine tabakanın kullanılması tavsiye edilir.

Deney paketlerinin ya da M paketlerinin bileşimi yukarıdaki şekilde olmalıdır. Enerji testleri yapılırken, soğutma cihazında bir kiler bölmesinin olması ve bu bölmenin hacimleri ile taze gıda depolama bölmesinin hacimlerinin kullanıcı tarafından biri diğerine göre ayarlanabilmesi durumunda, kiler bölümü en

küçük hacmine ayarlanmalıdır.

Bu deneylerin amacı bakımından, “hedef sıcaklığı” enerji tüketiminin tayini ile ilgili standartta (Tablo 2) verilen, her bölmenin izin verilebilen en sıcak depolama sıcaklığıdır.

Standarta göre enerji tüketimi, hedef sıcaklıklarındaki bir deney ile veya iki deney sonucunun enterpolasyonu ile tayin edilir. Enterpolasyonun kullanılması durumunda, iki deneyin birinden elde edilen sıcaklık hedef sıcaklığından daha sıcak ve iki deneyin diğerinden elde edilen sıcaklık hedef sıcaklığından daha soğuk olmalıdır. Enterpolasyon deneyi için kullanılan iki sıcaklık arasındaki fark  $4\text{ K}$ 'i aşmamalıdır.

Deneye tabi tutulan soğutucu hangi tipteyse Tablo 2'ye göre uygun olan değerlere bakılarak işlem yapılmalıdır. İki deneyde de sonuçlar enterpole edilmelidir.

Enerji tüketimi, aşağıda verilen bütün hedef sıcaklığı şartlarının karşılanması halinde elde edilen enerji tüketimidir:

**Tablo 2. Enerji Tüketiminin Tayin Edilmesi İçin Enerji Depolama Sıcaklığı Şartları [6]**

Enerji deneyi için depolama sıcaklığı	$^{\circ}\text{C}$									
	Soğutucular ve Tip I soğutucu-dondurucular				Gıda dondurma bölümü sıcaklık kontrol elemanına sahip Tip II soğutucu-dondurucular				Dondurulmuş gıda depolama dolapları ve gıda dondurucuları	
	a	b	c	d	e	f	g	h		
$t^{***ag}$	$-18^b$	$\leq -18$	$\leq -18$	$\leq -18$	$-18^d$	$\leq -18$	$-18^c$	$\leq -18$	$-18$	$\leq -18$
$t^{**dg}$	$\leq -12$	$-12^b$	$\leq -12$	$\leq -12$	$\leq -12$	$-12^c$	$\leq -12$	$-12^c$	$\leq -12$	$-12$
$t_{ma}^{ef}$	$\leq +5$	$\leq +5$	$+5^b$	$\leq +5$	$+5^c$		$\leq +5$		-	-
$t_{cma}^f$	$\leq +12$	$\leq +12$	$\leq +12$	$+12^b$	$\leq +12$		$+12^c$		-	-
$t_{cc}$	$\leq +3$	$\leq +3$	$\leq +3$	$\leq +3$	$\leq +3$		$\leq +3$		-	-

İki yıldızlı kısımlar veya bir yıldızlı bölmelerin mevcut olması durumunda, bu kısımlar veya bölmelerle ilgili sıcaklık şartları, uygun olduğunda,  $\leq -12\text{ }^{\circ}\text{C}$  veya  $\leq -6\text{ }^{\circ}\text{C}$  olmalıdır. Soğutma bölmeleri var ise,  $t_{cc}$ 'nin azami değeri,  $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'a mümkün olduğunca yakın olmalı, ancak bu değeri aşmamalıdır. Bölme teslimat şartında deneyden geçirilmelidir.

<sup>a</sup> Gıda dondurma bölümündeki ve herhangi bir üç yıldızlı dondurulmuş gıda depolama bölümündeki en sıcak M paketinin sıcaklığı.  
<sup>b</sup> Standarta göre enterpolasyon yoluyla elde edilen sıcaklıklar.  
<sup>c</sup> Standarta göre enterpolasyon yoluyla elde edilen sıcaklıklar.  
<sup>d</sup> İki yıldızlı herhangi bir kısım veya bölmedeki en sıcak M paketinin sıcaklığı.  
<sup>e</sup>  $0\text{ }^{\circ}\text{C} \leq t_{im}, t_{2m}, t_{3m} \leq +10\text{ }^{\circ}\text{C}$  olması şartıyla.  
<sup>f</sup>  $t_{ma}$  ve  $t_{cma}$  için şartlar aşağıdakilerden birisi olmalıdır.  
 $+8\text{ }^{\circ}\text{C} \leq t_{cma} \leq +12\text{ }^{\circ}\text{C}$  olması şartıyla  $t_{ma} = +5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (ancak mümkün olduğunca  $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'a yakın- örneğin, hareketli kapakçıklarla ayarlama mümkün ise),  
veya  
 $t_{ma} \leq +5\text{ }^{\circ}\text{C}$  olması şartıyla,  $t_{cma} = +12\text{ }^{\circ}\text{C}$  (ancak mümkün olduğunca  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'a yakın- örneğin, hareketli kapakçıklarla ayarlama mümkün ise),  
<sup>g</sup> Buz eritme gevriminin bir sonucu olarak, gıda dondurucusu ve üç yıldızlı dolap/bölme ve kısım ve iki yıldızlı bölme için standartta belirtilen çizelgelere uygun olarak izin verilen sıcaklık yükselmesi uygulanır.

- a)  $0\text{ }^{\circ}\text{C} \leq t_{1m}, t_{2m}, t_{3m} \leq +10\text{ }^{\circ}\text{C}$  olması şartıyla  $t_{ma} = +5\text{ }^{\circ}\text{C}$
- b) Kiler bölmesinin olması durumunda,  $+8\text{ }^{\circ}\text{C} \leq t_{c1m}, t_{c2m}, t_{c3m}$  (uygun olduğunda)  $\leq +14\text{ }^{\circ}\text{C}$  olması şartıyla  $t_{cma} = +12\text{ }^{\circ}\text{C}$
- c)  $t_{cc} \leq +3\text{ }^{\circ}\text{C}$
- d) Gıda dondurma bölümünde veya herhangi bir üç yıldızlı dondurulmuş gıda depolama bölümündeki en sıcak M paketinin en yüksek sıcaklığı ( $t^{**}$ )  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'a eşittir.
- e) Gıda dondurma bölümü içinde iki yıldızlı kısım da veya herhangi bir üç yıldızlı dondurulmuş gıda depolama bölümündeki en sıcak M paketinin en yüksek sıcaklığı ( $t^{**}$ )  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'a eşittir.
- f) Herhangi bir iki yıldızlı bölmede veya herhangi bir tek yıldızlı bölmedeki en sıcak M paketinin en yüksek sıcaklığı ( $t^{**}$ ) veya ( $t^*$ ) sırasıyla  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'a veya  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'a eşittir.
- g) Bu çeşitli sıcaklık şartlarının genel olarak aynı anda elde edilememesinden dolayı, enerji tüketimi, aynı anda elde edilen yukarıdaki şartlarına

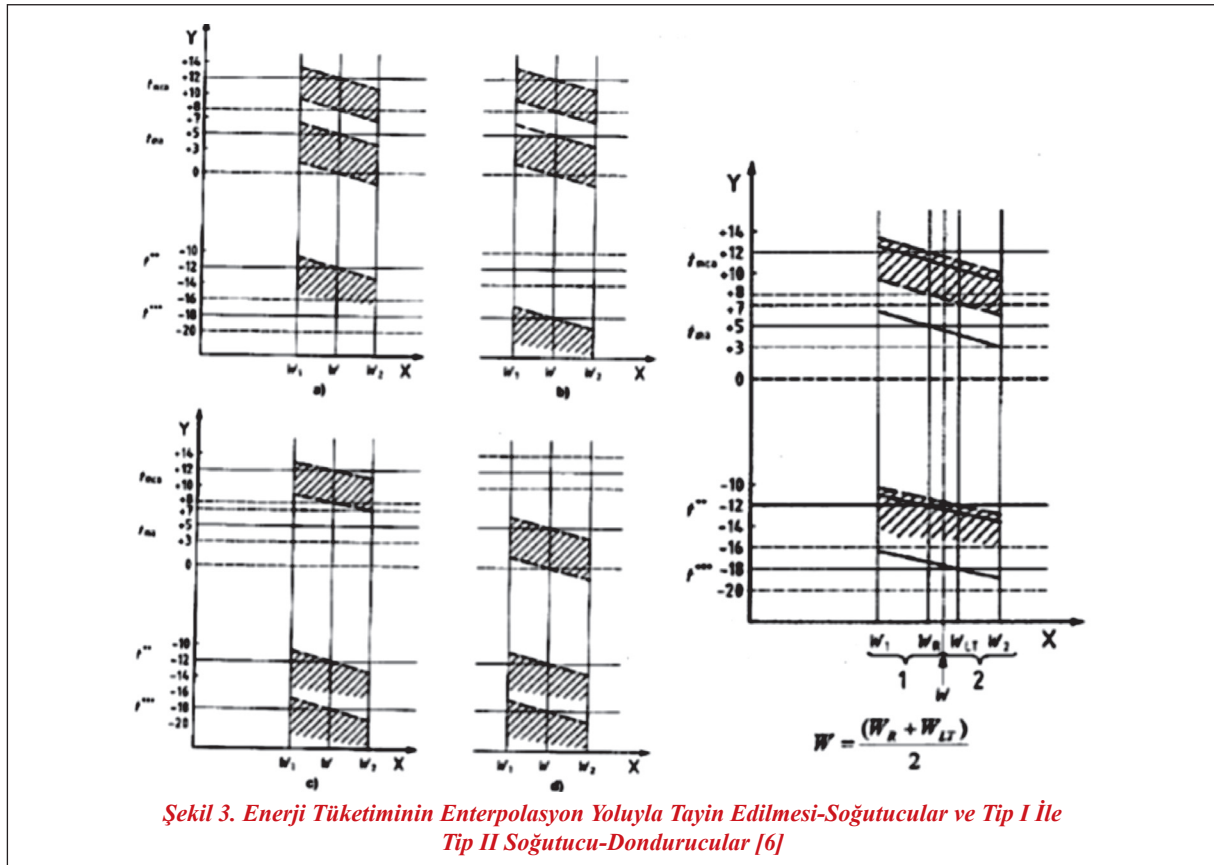
karşılık gelen ve en küçük enerji tüketim değerini veren değer olmalıdır. Bunların sayısı, ayar olansılıklarının sayısına bağlı olup, diğer değerler en yüksek sıcaklık sınırı olarak temel sıcaklık kurallına uygun olanlardır.

- h) Bu standarda göre deneyler yapılarak enerji tüketimi tayin edilir.

### 6.2.2. Enerji Tüketiminin Tayin Edilmesi

Enerji tüketimi, hedef sıcaklıklarında bir deney ile veya iki deney sonucunun enterpolasyonu ile tayin edilmektedir. Tablo 2'ye uygun olarak, deney sıcaklıklarından birisi a şartı için  $t^{***} = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , b şartı için  $t^{**} = -12\text{ }^{\circ}\text{C}$ , c şartı için  $t_{ma} = +5\text{ }^{\circ}\text{C}$  veya d şartı için  $t_{cma} = +12\text{ }^{\circ}\text{C}$  hedef sıcaklığından daha sıcak bir sıcaklık değerini diğeri ise, daha soğuk bir sıcaklık değerini verir.

İki deneyde de kullanılan sonuçlar standarda uygun olarak a ile d şartlarından birisini karşılamak üzere enterpole edilmelidir (Şekil 3).



## Açıklama

X	Enerji tüketimi, W, kWh/24h
Y	Sıcaklık, t, °C
W	Bütün cihazlara ait enterpole edilen enerji tüketimi
$W_1$	İlk deneyin sonucu
$W_2$	İkinci deneyin sonucu
$W_R$	Taze gıda depolema bölümü için belirtilen şartın sağlandığı bütün cihaza ait enterpole edilen enerji tüketimi
$W_{LT}$	Düşük sıcaklık bölümü için belirtilen şartın sağlandığı bütün cihaza ait enterpole edilen enerji tüketimi

Bu çalışma kapsamında üretilen Vakum Yalıtım Panelleri buzdolaplarına uygulanmış ve standart üretilen normal bir buzdolabı ile Vakum Yalıtım Paneli uygulanmış bir buzdolabının enerji testleri yapılarak, karşılaştırılmıştır.

Burada, en uygun opaklaştırıcı ve de en yüksek yalıtım performansına sahip VYP prototipi bir buzdolabı için yeter sayıda üretilerek, bunlar vakumlanarak buzdolaplarına uygulanmış ve enerji testleri yapılmıştır. Üretilen VYP örnekleri öncelikle bir buzdolabının kapak kısmına uygulanmıştır. Buzdolabının tamamına uygulanamamasının sebebi, imalattaki zorluklar ve seri üretim bandına müdahale etmekteki problemlerdir. Şekil 4’de vakumlanmış panellerin, standart üretilmiş ancak kapakları takılmamış bir buzdolabına uygulandığı görülmektedir.

Buzdolabı kapaklarına VYP paneli uygulandıktan sonra, standart olarak üretilmiş ve VYP uygulanmış aynı tip ve model iki ayrı buzdolabı (No-frost) test edilmiş ve ölçümleri yapılmıştır. Her iki buzdolabı da, standarda göre aynı test odasında, aynı çalışma şartları ve aynı şekilde test edilmiş, gerekli değerler ve enerji ölçüm sonuçları bir data-logger cihazından bir yazılıma aktarılarak hesaplanmış ve testlerin karşılaştırması yapılmıştır.

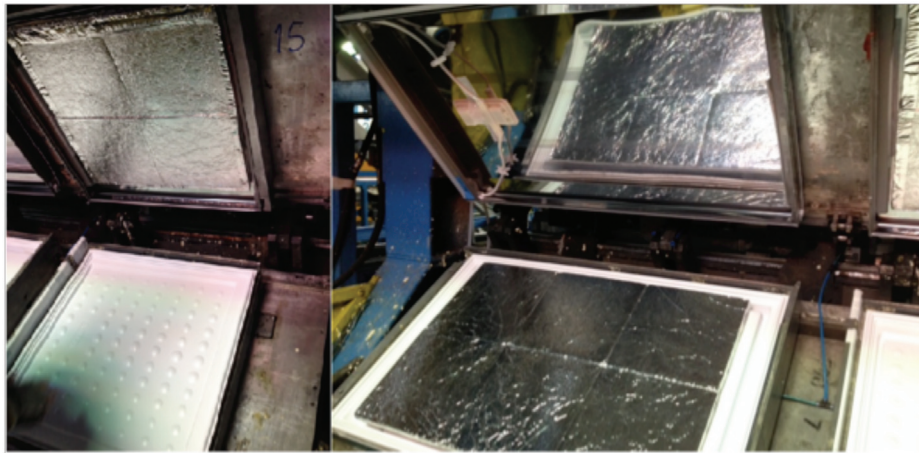
Standart buzdolabının enerji testleri Şekil 5’de görülmektedir. Bu teste göre standart buzdolabının enerji indeksi “A<sup>+</sup>” çıkmıştır.

VYP uygulanmış buzdolabının enerji testleri ise Şekil 6’da görülmektedir. Bu teste göre VYP uygulanmış buzdolabının enerji indeksi ise “A<sup>++</sup>” çıkmıştır [7].

Şekil 7 ve 8’de enerji testleri sırasında VYP uygulanmış ve uygulanmamış buzdolaplarının resimleri görülmektedir.

## 3. SONUÇ

Her iki buzdolabının test sonuçlarına bakıldığında VYP uygulamasının, enerji verimliliği açısından olumlu katkısı olduğu açıkça görülmektedir. Verimlilik seviyesi “Enerji Verimlilik İndeksi” olarak tanımlanan bir kavramla tanımlanmaktadır. Enerji tasarrufu yapan cihazların verimlilik indeksi küçük-



Şekil 4. VYP'lerinin Buzdolabı Kapağına Uygulanması

Buzdolabı Enerji İndeks Programı

Cihaz Kategorisi: REFRIGERATOR-FREEZER Açıklama

Soğutma Tipi:  no-frost  konvansiyonel

Ürün Tipi:  Free Standing  built-in (geniçlik<58 cm)

İklim Sınıfı: T Class (16-43 °C)

Bölme 1: FRESH-FOOD STORAGE Net Kullanılabilir Hacim: 302 litre

Bölme 2: CHILL COMPARTMENT 20 litre

Bölme 3: FREEZER (FOUR STAR) 114 litre

Günlük Enerji Tüketimi: 852.9 Wh/gün Enerji Tüketimi Hesapla

Yıllık Enerji Tüketimi: 311 kWh/yıl

Enerji İndeksi Hesapla Yardım

Enerji Verimlilik Sınıfları Kapat

Energy Index = 33,40 / A+

Şekil 5. Standart Buzdolabı Enerji İndeksinin Bulunması

Buzdolabı Enerji İndeks Programı

Cihaz Kategorisi: REFRIGERATOR-FREEZER Açıklama

Soğutma Tipi:  no-frost  konvansiyonel

Ürün Tipi:  Free Standing  built-in (geniçlik<58 cm)

İklim Sınıfı: T Class (16-43 °C)

Bölme 1: FRESH-FOOD STORAGE Net Kullanılabilir Hacim: 302 litre

Bölme 2: CHILL COMPARTMENT 20 litre

Bölme 3: FREEZER (FOUR STAR) 114 litre

Günlük Enerji Tüketimi: 801.7 Wh/gün Enerji Tüketimi Hesapla

Yıllık Enerji Tüketimi: 293 kWh/yıl

Enerji İndeksi Hesapla Yardım

Enerji Verimlilik Sınıfları Kapat

Energy Index = 31,39 / A++

Şekil 6. VYP Uygulanmış Buzdolabı Enerji İndeksinin Bulunması





*Şekil 7. VYP Uygulanmamış-Standart Buzdolabı Enerji Testleri*



*Şekil 8. VYP Uygulanmış Buzdolabı Enerji Testleri*

ken, fazla enerji tüketenlerde bu değer büyümektedir. Öncelikle, standart üretilmiş, konvansiyonel yalıtım malzemesi (poliüretan) ile yalıtılmış buzdolabının enerji indeksi sınıfı “A<sup>+</sup>” iken, VYP uygulamasıyla bu indeks “A<sup>++</sup>” olmuştur. Enerji tüketim değerlerine bakıldığında orijinal buzdolabının günlük enerji tüketimi 852,9 Wh/gün iken, VYP uygulanmış buzdolabında bu değer 801,7 Wh/gün’e düşmüştür. Yıllık enerji tüketimlerine bakıldığında ise, orijinal buzdolabının yıllık enerji tüketimi 311 kWh/yıl iken, VYP uygulanmış buzdolabında bu değer 293 kWh/yıl’a düşmüştür. Bu sonuçlara göre VYP uygulaması ile enerji tüketiminde %6’lık bir azalma görülmektedir. Öte yandan VYP uygulamasının bu testlerde sadece buzdolabının kapak kısmına yapıldığı unutulmamalıdır, buzdolabının tamamına uygulanmamasının sebebi, imalattaki zorluklar ve seri üretim bandına müdahale etmekteki problemlerdir. Eğer VYP uygulaması buzdolabının tamamına yapılmış olsaydı, daha iyi bir sonuç alınacağı tahmin edilmektedir.

Buradan şu sonucu çıkarmak mümkündür, buzdolaplarında ve soğutma cihazlarında konvansiyonel yalıtım malzemesi (poliüretan) yerine, Vakum Yalıtım Paneli (VYP) kullanımıyla enerji verimliliğinde artış sağlanmaktadır. Ayrıca enerji tüketimi de buna bağlı olarak azalmaktadır. Bu da, tasarruf ve çevresel faktörler başta olmak üzere, birçok faktörün iyileştirilmesi demektir. Konvansiyonel yalıtım malzemeleri yerine, vakum yalıtım panelleri gibi, süper yalıtkanlar kullanılmaya başlanmasıyla, enerjiye olan ihtiyaç azalacak, enerji verimliliği artacak ve enerji üretiminden kaynaklanan karbon salınımı ve zararlı

emisyonların önüne geçilerek, çevresel sürdürülebilirliğe de katkıda bulunulacaktır.

## TEŞEKKÜR

Bildirinin verileri oluşturan 111M072 no’lu ARDEB 1001 projesini maddi olarak destekleyen TÜBİTAK’a şükranlarımızı sunarız.

## KAYNAKLAR

- [1] Deniz, E., Binark, A., “Vakumlu Yalıtım Panelleri”, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu UTES’2008, İstanbul, 2008.
- [2] <http://www.observatorynano.eu/project/document/3014/>
- [3] Soysal, A., “Vakumlanmış İzolasyon Panellerinin Isı İletim Katsayılarının Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul / Türkiye, s. 3-16, 2000.
- [4] <http://enerjienstitusu.com/2012/01/04/bakanliktan-enerji-tuketimini-azaltmak-amaciyla-a-paket-geliyor/>
- [5] <http://www.tedas.gov.tr>
- [6] TS EN ISO 15502, Evlerde Kullanılan Soğutma Cihazları-Karakteristikler ve Deney Metotları, TSE, Ankara, 2007.
- [7] Bayrakçı, H. C., Davraz, M., Soysal, A., Ersoy, O. G., 2014. “Yüksek Isı Yalıtım Performanslı Vakum Yalıtım Panelleri (VIP)’nin Ekonomik Üretimi ve Özelliklerinin Geliştirilmesi”, TÜBİTAK-ARDEB 1001 111M047 no’lu Proje Sonuç Raporu, s. 235-238.