

Conta ve flanş bölgesinin buzdolabı enerji verimine etkisinin incelenmesi

F. Alper SOYSAL*, Feridun ÖZGÜÇ

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Buzdolaplarının enerji tüketim değerini etkileyen temel parametreler soğutma ve yalıtım sistemidir. Conta ve flanş bölgesi buzdolabı yalıtım sisteminde önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle yalıtım malzemesinin iyileştirilmesi ile etki oranı artış göstermektedir. Bu çalışmada temel olarak, buzdolaplarında terleme ve conta yapışmasının önüne geçilebilmesi amacıyla kullanılan flanş ısıtıcılarının ve contanın buzdolabı ısı kazancına etkisi, sayısal ve deneysel olarak incelenmiş; flanş ısıtıcısı ve conta bölgesinden gerçekleşen ısı transferi belirlenmiştir. Çalışmanın iki ana kısmından ilkinin oluşturduğu deneysel çalışmalar yardımı ile öncelikli olarak mevcut durumda conta ve flanş bölgesinden gerçekleşen ısı transferi belirlenmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen değerler literatür değerleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın devamında bu bölgeye uygulanabilecek geometriler belirlenerek uygulanmış ve bu uygulamaların buzdolabı enerji tüketimine etkisi araştırılmıştır. İkinci adımda sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiş, öncelikle mevcuttan daha basit bir geometri ile flanş ısıtıcısı uygulaması için sayısal bir model oluşturulmuş ve bu bölgenin analizi mevcut durum için gerçekleştirilmiştir. Bu model ile elde edilen sonuçlar çerçevesinde buzdolabı gerçek modeli oluşturularak IDEAS programında analizler mevcut ve farklı uygulamalar için gerçekleştirilmiştir. Farklı uygulamalar, flanş ısıtıcısının konumunun değiştirilmesi, boru malzemesinin ve geometrisinin değiştirilmesi olarak tanımlanmıştır. Analizlerden elde edilen uygun sonuçlar buzdolaplarına uygulanmış ve deneysel olarak irdelenmiştir. Yapılan deneylerin sonuçları, bu bölgede terleme ile contanın yapışmasını engelleyebilen, ek olarak flanş ısıtıcısından kabin içerisine geçen ısı miktarını da azaltabilen bir uygulama ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Buzdolabı, conta, sayısal analiz.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: F. Alper SOYSAL. alper.soysal@arcelik.com; Tel: (216) 585 84 50.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Programı'nda tamamlanmış olan "Buzdolaplarında conta ve flanş bölgesinin enerji verimine etkisi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 14.02.2008 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 30.06.2008 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.11.2010 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

An investigation on the energy efficiency of refrigerator, effect of gasket and flange heater

Extended abstract

Main parameters, which affect the refrigerator energy efficiency, are cooling system and insulation system. The performance of the insulation system is directly affected by the performance of the insulation material. The effects of the gasket and the flange heater on the insulation performance are high. Especially by using efficient insulation material the effect will be higher. The gasket and flange region consists of flange heater, gasket itself and the insulation system. For the heat transfer from the gasket, the infiltration rate from the gasket should be considered, too. Flange heater can be used in the cooling system or as a separate electrical heater, which is called anti sweat heater. Generally the anti sweat heater is located in the mullion region in the refrigerator.

As mentioned earlier, the flange heater can be used in the cooling system. It works with the compressor and is normally used to prevent the perspiration in refrigerators and gasket adhesion. For hard conditions, like high temperature or high relative humidity values, the flange heater is located after the compressor in the cooling system. For normal conditions, like for example for 25 °C environmental temperature, the flange heater is located after the condenser in the cooling system.

In this study, the effect of flange heaters, which can be located before or after condenser in the cooling system of the refrigerator, and gasket on the refrigerator heat gain have been investigated numerically and experimentally in order to prevent the perspiration in refrigerators and gasket adhesion and the heat transfer through flange heaters and gasket zone is identified.

In the first part of the study, the heat transfer through flange heaters and gasket zone and the effect of gasket and flange heater in the current situation are studied separately. Additionally, gasket infiltration effect is defined with the help of the experimental work. The derived results are compared with the literature values. Consecutively, the alternative geometries that are appropriate for this zone are determined and applied. Then, the effect of these applications on refrigerator energy consumption is investigated.

In the second part, numerical research is carried out. Accordingly, a numerical model is formed with a simpler geometry than the present one, solely for the flange heater application and with the help of the model, this zone is analysed for the current situation. Results from the basic model gave the beginning conditions for the actual model simulation. In the framework of the positive results derived from this model, the actual model of the refrigerator is generated and analysis performed with IDEAS software for both the current and alternative applications. Analysis was carried out for two dimensional steady state conditions. Boundary conditions for the analysis were selected from experimental results and theoretical formulations. As the alternative applications, altering the place of the flange heater in insulation volume, changing the material of the flange heater and changing the geometry of the heater are tested.

Following the performed analysis, the appropriate results are applied on refrigerators and experimental verification tests are conducted. Tests, which were made for the verification showed that the location of the flange heater should be changed in order to get lower temperatures and lower heat transfer from the flange heater to the cabinet. Additionally, the geometry of the flange heater was investigated for getting lower temperatures inside the cabinet. Results of the analysis showed that the actual geometry is the best application compared with the alternative geometries.

The material of the flange heater is one of the important parameters, which affect the heat transfer from the flange heater to the cabinet. Copper was used as the flange heater material instead of stainless steel material and results of the analysis showed no difference between two materials for heat transfer, but for the application copper flange heater is a good alternative to the stainless steel flange heater because of easy handling.

As an outcome of the study, an application that is capable of preventing the perspiration in gasket and flange zone and additionally reduce the amount of heat transferred from the flange heater into the cabinet has been put forward.

Keywords: Refrigerator, gasket, numerical solution.

Giriş

Buzdolapları, temel olarak bir soğutma sistemi, bir yalıtım sistemi ve aksesuarlardan oluşur. Soğutma sistemi temel bileşenleri, kompresör, kondenser, flanş ısıtıcısı, kapileri ve evaporatörden oluşmaktadır. Yalıtım sistemi ise, iç ve dış cidara ek olarak poliüretan yalıtım malzemesinden oluşmaktadır. Soğutma sisteminde kullanılan soğutkanın kompresörde sıkıştırılması ile basıncı artırılır ve gaz fazında soğutma sistemi sıralamasına bağlı olarak ya kondensere veya flanş ısıtıcısına gönderilir. Buzdolaplarında çoğunlukla flanş ısıtıcısı kompresörden sonra yer almaktadır. Bu çerçevede, flanş ısıtıcısına gaz fazında ulaşan soğutkanın sıcaklığı bir miktar azalarak kondensere ulaşır. Flanş ısıtıcısında atılan ısı conta bölgesinin ısıtılması için kullanılır. Kondenserde yoğunlaşmaya başlayan soğutkan kondenser çıkışında bulunan kapilerden geçerek buradaki kısımla işlemi ardından evaporatöre ulaşır. Evaporatöre gelen soğutkan buzdolabı içerisindeki ısıyı çekerek buzdolabı içerisinde soğutma işlemini gerçekleştirir. Evaporatörden çıkan soğutkan kompresöre geri dönerek soğutma çevrimini tamamlamış olur (Mennink ve Berchoowitz, 1994).

Buzdolaplarında temel amaç buzdolabı iç hacminin soğutulması ile gıda ve içeceklerin saklanmasıdır. Soğutma çevrimi yardımıyla soğutulan buzdolabı iç hacminde aynı sıcaklık değerinin korunması ancak iyi bir yalıtım ile sağlanabilmektedir. Buzdolabı yalıtımı temel olarak plastik bir iç cidar ile metal bir dış cidar arasında oluşturulan yalıtım hacmine poliüretan ve köpürtme ajanının karıştırılması ve basınçlı olarak bu hacme doldurulması ile gerçekleştirilir. Yalıtım hacmine sıvı halde giren karışım köpürtme ajanının yardımı ile şişerek poliüretan haline gelir ve yalıtım hacmini tamamen doldurur. İç ve dış cidarlar karışımın dökümü esnasında bir kalıp gibi davranırlar ve yalıtım malzemesi bu cidarların şeklini alır. Bu şekilde hem mekanik bir stabilite hem de iyi bir yalıtım sağlanmış olur (Chen vd., 1996).

Buzdolabı yalıtımı ana bileşeni olan poliüretanın yanında, buzdolabı kapısında kullanılan conta ile bu bölgenin geometrisi büyük önem taşımaktadır. Conta, gerek sızdırmazlığı sağla-

ması gerekse bu bölgeden iletimle gerçekleşen ısı transferi açısından, contanın kabine iyi yapışması, yani sızdırmazlığı sağlaması ile ısı geçişinin iyileştirilmesi açısından contadan gerçekleşen ısı geçişinin düşük olması büyük önem taşımaktadır. Ek olarak conta ve flanş bölgesi geometrisi bu bölgede gerçekleşen hava sirkülasyonu ve buna bağlı olarak ısı transferi açısından da büyük önem taşımaktadır (Min ve Rowe, 2006).

Buzdolaplarında yalıtım performansını etkileyen ana parametre yalıtım malzemesi ısı iletim katsayısı olarak tanımlanabilmektedir. Isı iletim katsayısının mümkün olduğunca düşük olması buzdolabı yalıtımını da iyileştirecektir. Buzdolabı yalıtımında poliüretan yalıtım malzemesi yanında ısı iletim katsayısı bu malzemeden %80 kadar daha iyi olan vakumlu yalıtım panelleri de buzdolaplarında kullanılmaktadır. Conta ve flanş bölgesinin yalıtım performansındaki dağılımı ise yalıtım malzemesi ısı iletim katsayısının azalması veya VIP uygulaması ile yüzdesel olarak etkisini arttırmaktadır (Soysal, 2000; Boughton vd., 1992; Laguerre ve Flick, 2004).

Buzdolabı conta ve flanş bölgesi, conta, flanş ısıtıcısı, kapı ve gövde geometrilerinden oluşmaktadır. Bu bölgeden gerçekleşen ısı geçişini etkileyen ana parametreler conta geometrisi ve ısı iletim katsayısı, flanş ısıtıcısı mesafesi, flanş ısıtıcısı soğutma sistemi sıralaması ve bu bölgede oluşan hava sirkülasyonu olarak tanımlanabilmektedir. Sistemin en iyi durumu olarak tanımlanabilecek durum ise kapı ile gövdenin birbirlerine yapıştırıldığı yani conta kullanılmadan buzdolabının tamamen kapalı bir kutu olarak hazırlandığı durum olarak tanımlanabilmektedir. Buzdolabı performansını belirleyen en önemli iki parametre soğutma sistemi ile yalıtım sistemi olarak tanımlanabilmektedir. Bu sistemlerin mümkün olduğu kadar verimli çalışması buzdolabı performansını da yükseltecektir (Klein vd., 1999).

Deneyel çalışmalar

Baz buzdolabı değerlerinin belirlenmesi

Çalışma kapsamında üç farklı buzdolabı baz deneyleri gerçekleştirilmiştir. Baz değerlerin belirlenmesi amacıyla öncelikle enerji tüketimi de-

neyleri yapılmıştır. Enerji tüketimi deneyleri standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir (ISO 8187, 1991; ISO 15502, 2005). Elde edilen değerler Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Sayısal ve deneysel sonuçların karşılaştırılması

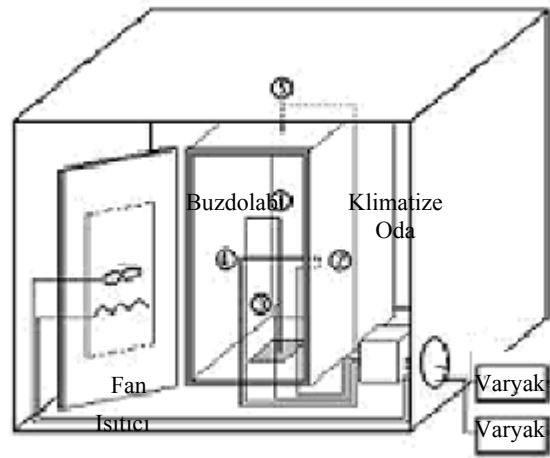
	Derin Dond.	İki kapılı	Kombi
Enerji Tüketimi [kWh/yıl]	299	443	483
Enerji Sınıfı	A	B	B

Enerji tüketimi değeri belirlenen buzdolaplarının ısı kazancı değerleri ters ısı kazancı deneyleri ile belirlenmiştir. Buzdolabının ısı kazancının ters ısı kazancı deneyi ile belirlenmesi ile ilgili olarak bir standart olmamakla beraber bu amaçla kullanılacak çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemler, kabin iç hacmine ısıtıcı ve fan yerleştirilmesi, kabin iç hacmi içerisine tek bir ampul yerleştirilmesi ve kabin iç hacminin küçük ampuller ile sarılması olarak tanımlanabilir (Gupta vd., 2007).

Ters ısı kazancı deneylerinin ısıtıcı ve fan ile yapılması durumunda, kabin içerisinde istenilen sıcaklıkların sağlanması doğru ısıtıcı seçimiyle mümkündür. Fanın kullanım amacı ise kabin içerisindeki sıcaklık dağılımının homojen elde edilmesidir. Deneylerde sıcaklık salınımının $+0.5$ °C aralığında olması hedeflenmektedir. Bu şekilde tüm kabinde aynı sıcaklık farkı sağlanmış olacaktır. Deneyin kabin iç hacminin ortasına yerleştirilen tek bir ampul ile yapılması kabin içinde istenilen sıcaklığı sağlamakla beraber, homojen bir sıcaklık dağılımının sağlanması özellikle büyük hacimli kabinlerde mümkün değildir. Bu tip bir uygulamada hacmi büyük kabinlerde bölgelere göre sıcaklık farkının $+5-6$ °C olduğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde kabinin iç hacminin küçük ampullerle sarılması durumunda homojen sıcaklık dağılımı sağlanamamakla birlikte ampullerin duvarlarla birlikte kabin ortasına da yerleştirilmesi durumunda ısıtıcı – fan düzeneği ile benzer sonuçlar elde edilebilmektedir (Laguerra vd., 2007).

Çalışma bünyesinde yapılan ters ısı kazancı deneyi, ısıtıcı ve fan kullanımı ile yapılmıştır. Bu

yöntemin seçilmesinin temel sebebi kabin içerisinde homojen sıcaklık dağılımının sağlanabilmesidir. Bu deneyin yapılabilmesi amacıyla, şartlandırılmış test odası (-18 °C sıcaklığı sağlayabilecek kapasitede), ısıtıcı, fan, watt-metre, varyak, termoelemanlar ve data toplama sistemi kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sistem Şekil 1’de sunulmuştur. Bunun yanında buzdolabı hazırlanırken kabin üzerinde bir delik açılması kabloların geçirilebilmesi için gereklidir. Bu delik, çalışma esnasında sızdırmaz olarak kapatılmaktadır.



Şekil 1. Ters ısı kazancı deney sistemi

Ters ısı kazancı deneyinde kullanılan ısıtıcı ve fan buzdolabının kapısına monte edilmektedir. Deney sisteminde ısıtıcı, buzdolabı kabinini içinden ısıtmak amacıyla kullanılır. Fanın kullanım sebebi ise, kabin içinde homojen bir sıcaklık dağılımının sağlanmasıdır. Deney sırasında ısıtıcı ve fan, güç ayarı yapılabilmesi amacıyla varyak üzerinden beslenmektedir. Deney sürecinde ısıtıcı ve fan güç değerleri watt-metre kullanılarak gözlemlenir. Kabin içerisinde sıcaklığın istenilen seviyeye getirilmesi için ısıtıcı gücü değiştirilerek ayarlama yapılır. Fan gücü ise normal şartlarda deney boyunca sabittir.

Derin dondurucularda yapılan ters ısı kazancı deneylerinde, klimatize oda ortamının -18 °C ve kabin içinin $+25$ °C sıcaklıklarına gelmesi yapılan ayarlamalar ile sağlanır. Bu sıcaklıkların sağlanması ve belirli bir süre $+0.5$ °C sıcaklık değişiminin sağlanması ile birlikte ısıtıcı ve fa-

nın çıktıkları güç değerleri toplanarak Q_{I+F} değeri elde edilir. Bu değer sıcaklık farkına bölünerek cihaz sabiti olarak adlandırılan UA değerine ulaşılır. Hesapta kullanılan formülasyon aşağıda sunulmuştur.

$$Q_{I+F} = UA \times (T_{6a} - T_{1a}) \quad (1)$$

Tanımlanan şartlar ile yapılan deney sonucunda elde edilen değerler Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Ters ısı kazancı deney sonuçları

	Derin Dond.	İki kapılı	Kombi
Q_{I+F} [W]	41.3	61.5	59.7
UA_{DD} [W/K]	0.949	0.618	0.482
UA_{TG} [W/K]	-	0.797	0.884

Tablo 2’de sunulduğu üzere, yapılan deney sonucunda çalışmada kullanılan derin dondurucunun cihaz sabiti 0.949 W/K olarak elde edilmiştir. İki kapılı ve kombi buzdolaplarında cihaz sabitinin belirlenebilmesi amacıyla ise iki farklı deney yapılmaktadır. Bu deneylerin ilkinde derin dondurucu uygulamasına benzer şekilde ortam sıcaklık değeri -18 °C’ye, kabin taze gıda ve derin dondurucu bölmeleri $+25$ °C ’ye ayarlanır. Bu şekilde, kabinin genel cihaz sabiti belirlenebilmektedir. İkinci deneyde ise taze gıda bölmesi sıcaklık değeri $+5$ °C ve derin dondurucu bölmesi $+25$ °C sıcaklık değerlerine ayarlanarak ısıtıcı ve fan güçleri yardımıyla kabin ısı kazancı değerleri elde edilmektedir. Her iki deney arasında elde edilen fark yardımı ile ara bölmeden geçen ısı miktarı belirlenir. Bu şekilde hem taze gıda hem de derin dondurucu bölmeleri için ayrı ayrı cihaz sabitlerinin belirlenmesi mümkün olabilmektedir. Bu şekilde yapılan deneyler yardımı ile iki kapılı buzdolabı taze gıda bölmesi cihaz sabiti 0.884 W/K ve derin dondurucu bölmesi cihaz sabiti 0.482 W/K olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde cihaz sabitleri kombi tip buzdolabı için de gerçekleştirilmiş ve taze gıda bölmesi cihaz sabiti 0.797 W/K ile derin dondurucu bölmesi cihaz sabiti 0.618 W/K olarak elde edilmiştir.

Conta etkisinin belirlenmesi

Önceki bölümde sunulan ters ısı kazancı deneylerinde buzdolabı cihaz sabitleri flanş ısıtıcısının

devrede olmadığı durumda conta şeklinde gerçekleştirilmiştir. Conta etkisinin belirlenebilmesi amacıyla tanımlanan ters ısı kazancı deneyi ile sistematiği aynı olan fakat conta bölgesi kesilmiş bir buzdolabı ile deneyler gerçekleştirilmiş ve bu buzdolaplarının conta etkileri belirlenmiştir. Her üç buzdolabı için contasız ters ısı kazancı deneyleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen değerler Tablo 3’te sunulmuştur.

Tablo 3. Contasız ters ısı kazancı deney sonuçları

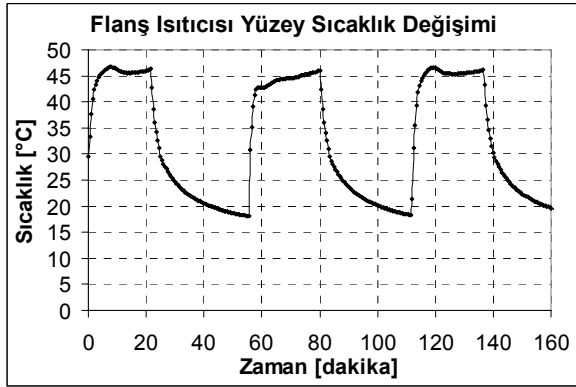
	Derin Dond.	İki kapılı	Kombi
Q_{I+F} [W]	41.3	61.5	59.7
Q'_{I+F} [W]	36.4	55.3	55.0
ΔQ [W]	4.9	6.2	4.7
g_{DD} [W/m. 100K]	2.52	3.12	3.00
g_{TG} [W/m. 100K]	-	3.97	4.20

Tablo 3’te sunulduğu üzere çalışmada kullanılan buzdolabı modelleri için hem Taze Gıda (TG) hem de Derin Dondurucu (DD) bölmeleri için “g” conta katsayısı değerleri belirlenmiştir. Elde edilen değerler, en iyi conta sisteminin derin dondurucu tipi buzdolabında kullanılan sistem olduğunu göstermiştir. Daha önce de belirtildiği üzere conta geometrisi ile bu buzdolabında contanın diğer contalara göre daha sıkı yapışması bu durumun sebebi olarak tanımlanmıştır. Tanımlanan bu deney sistemi ve yöntemi ile soğutucularda conta bölgesinden kaynaklanan ısı geçişi miktarı belirlenmiştir. Buna göre derin dondurucu tipi buzdolabında bu bölgeden gerçekleşen ısı geçişinin toplam buzdolabının ısı kazancında %11.8 seviyesinde bir etkisi olduğu belirlenmiştir. Bu oran iki kapılı buzdolabında %7.9 ve kombi buzdolabında %10.1 olarak hesaplanmıştır.

Sıcaklık ölçümleri

Çalışmanın devamında her üç buzdolabı ile sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık ölçümü amacıyla kullanılan termoelemanlar hem flanş ısıtıcısı hem de buzdolabı gövdesi üzerine yerleştirilmiştir. Bu şekilde buzdolaplarının detaylı sıcaklık haritalarının kompresörün çalışma ve durma halleri için oluşturulması sağlanabilmiştir. İki kapılı buzdolabında kompresör

rün çalışma ve durma hali için ısıtıcı yüzey sıcaklığı Şekil 2’de sunulmuştur.

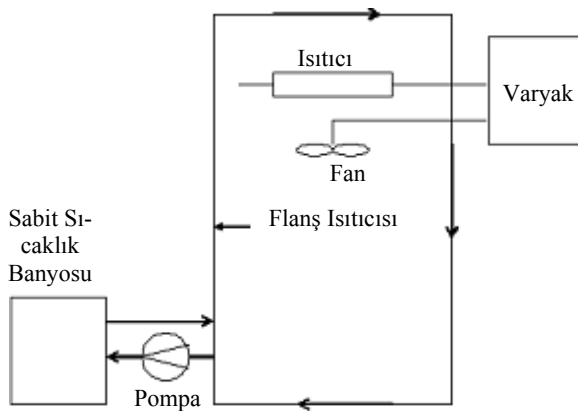


Şekil 2. İki kapılı buzdolabı sıcaklık haritası

Şekil 2’de sunulduğu üzere flanş ısıtıcısının devrede olduğu durumda conta dışı sıcaklık değerleri 30°C seviyesine kadar yükselmektedir. Flanş ısıtıcısının devreden çıkarıldığı durumda ise aynı bölgede sıcaklık değeri 20°C seviyesinde olmaktadır.

Flanş ısıtıcısı etkisinin belirlenmesi

Sistemde conta etkisinin belirlenmesinin ardından flanş ısıtıcısı etkisinin de belirlenebilmesi amacıyla bir deney düzeneği hazırlanmıştır. Flanş ısıtıcısı etkisinin belirlenmesi amacıyla hazırlanan deney sistemi ters ısı kazancı deneyinde kullanılan deney sistemi ile aynı özelliklere sahip olmakla beraber farklı, buzdolabı flanş ısıtıcısından çalışma şartlarını sağlayacak özelliklerde su geçirilmesidir. Sistem Şekil 3’te sunulmuştur.



Şekil 3. Flanş ısıtıcısı etkisi belirleme deney düzeneği

Şekil 3’te sunulduğu üzere sistem flanş ısıtıcısı su sıcaklığının ayarlanabilmesi amacıyla bir sabit sıcaklık banyosu, su sirkülasyonunun sağlanabilmesi amacıyla bir su pompası, flanş ısıtıcısı debisinin ayarlanabilmesi amacıyla bir su hattı, su debisinin belirlenebilmesi amacıyla bir rotametre, flanş ısıtıcısı yüzey sıcaklık değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla 12 adet sıcaklık hissedici, flanş ısıtıcısı su giriş ve çıkış sıcaklıklarının belirlenebilmesi amacıyla 2 adet RTD ve bir buzdolabı kabininden oluşmaktadır. Tanımlanan bu sistem yardımı ile flanş ısıtıcısından kabine olan ve benzer şekilde flanş ısıtıcısından ortama olan ısı geçişi miktarının belirlenmesi mümkün olabilmektedir.

Tanımlanan deney sistemi ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen değerler Tablo 4’de sunulmuştur.

Tablo 4. Flanş ısıtıcısı etkisi belirleme deneyi sonuçları

	Derin Dond.	İki kapılı	Kombi
Q_{I+F} [W]	41.3	61.5	59.7
Q''_{I+F} [W]	42.9	62.5	60.5
ΔQ [W]	1.6	1.0	0.8

Tablo 4’de sunulduğu üzere, flanş ısıtıcısından kabine olan ısı geçişi derin dondurucuda 1.6 W, iki kapılı buzdolabında 0.8 W ve kombi buzdolabında 1.0 W olarak belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığında flanş ısıtıcısının kabin toplam ısı kazancı üzerindeki etkisi derin dondurucuda %3.8, iki kapılı buzdolabında %4.6 ve kombi buzdolabında %4.1 olarak belirlenmiştir.

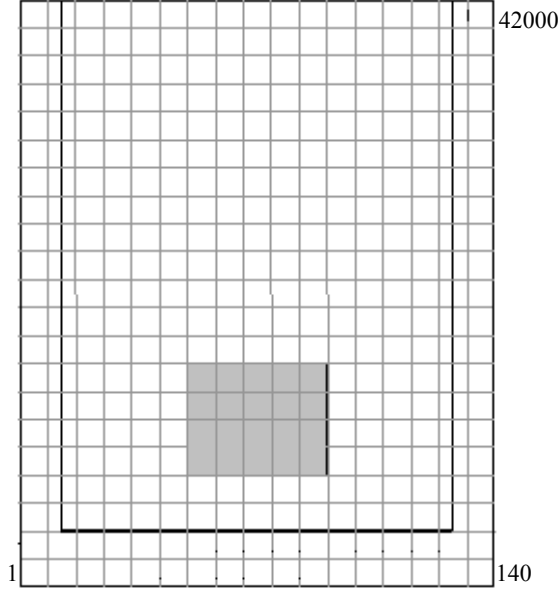
Sayısal çalışmalar

Basit geometri çalışmaları

Çalışma kapsamında incelenen kombi, iki kapılı ve derin dondurucu tipi buzdolaplarının ısı kazancı miktarlarının azaltılmasına yönelik olarak alternatiflerin oluşturulması amacıyla analizler yapılmış, bu çalışmalarda öncelikle sadece basit geometri ile mevcut durumun ortaya konulması hedeflenmiştir.

Öncelikle modellenecek geometri iki boyutlu olarak oluşturulmuş ve Şekil 4’te sunulmuş, orta

bölge flanş ısıtıcısı olarak belirlenmiştir. Tanımlanan geometri toplam 42000 adet hücreye bölünmüş, sürekli rejim şartı için enerji denklemi yazılmıştır.



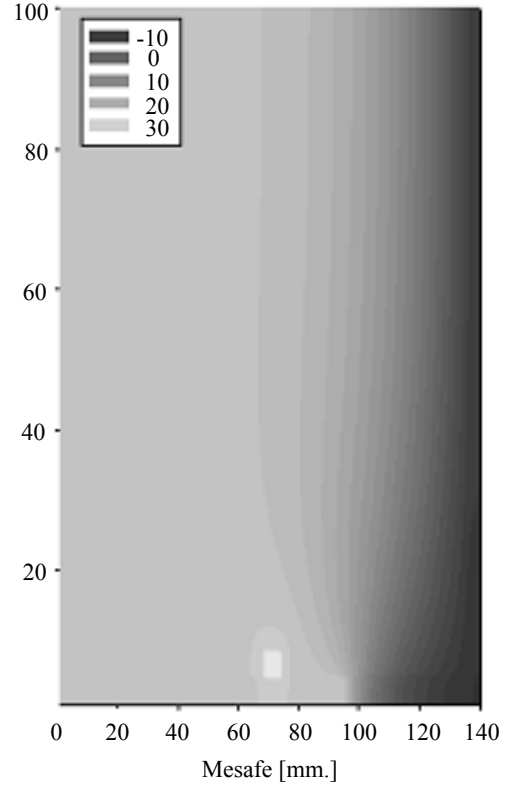
Şekil 4. Analizler için oluşturulan basit geometri

Tanımlanan geometride denklemler yazılmış ve sınır şartları kullanılarak çözülmüştür. İç ve dış için ara bölge dahil olmak üzere kullanılan denklemler Şekil 5'te sunulmuştur (1: iç plastik, 2: yalıtım hacmi, 3: dış sac).

$T=T_1$	1	$-k_1(dT_1/dy)=h_{ic}(T_1-T_{ic})$	
$T=T_2$	2	$-k_1(dT_1/dy)=-k_2(dT_2/dy)$	$dT/dx=0$
$T=T_3$	3	$-k_3(dT_3/dy)=h_{dis}(T-T_3)$	

Şekil 5. Kullanılan sistemde ısı transferi denklemleri (Kays ve Crawford, 1998)

Şekil 5'te sunulan denklemler yardımı ile sadece flanş ısıtıcısı olan sistem için Tablo 5'te sunulan değerler kullanılarak yapılan çözüm çerçevesinde elde edilen sıcaklık dağılımı Şekil 6'da sunulmuştur. Benzer şekilde Şekil 6'da sunulduğu üzere orta nokta flanş ısıtıcısı olarak tanımlanmıştır. Analizler ile mevcut durum arasındaki yüzey sıcaklıkları farkı 1 °C olarak elde edilmiştir.

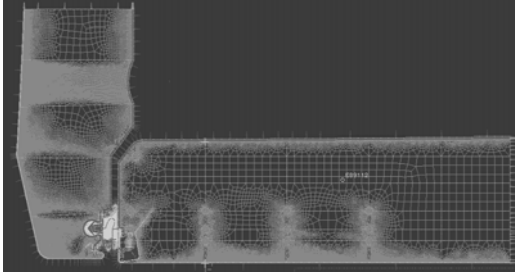


Şekil 6. Mevcut durum için yapılan analiz sıcaklık dağılımı

Gerçek geometri çalışmaları

Tez çalışması kapsamında incelenen kombi, iki kapılı ve derin dondurucu tipi buzdolaplarının ısı kazancı miktarlarının azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılmış, bu çalışmalarda flanş ısıtıcısının yerleşimi, malzeme ve geometrisinin etkisi incelenmiştir. Öncelikle tanımlanan buzdolaplarının geometrileri oluşturulmuştur.

Şekil 7'de sunulduğu üzere kombi, iki kapılı ve derin dondurucu geometrileri ve bu geometrilerin analizler için ağ yapıları oluşturulmuştur. Ağ yapısı 38000 dörtgen eleman ve 39200 noktadan oluşturulmuştur. Sistemde detay bölgelerde sık ve mümkün olan bölgelerde düzgün ağ tabakası oluşturulmuştur. Malzeme kalınlıkları da benzer şekilde modellenmiştir. Sistemde tüm kalınlık boyunca ağ tabakası oluşturulmuştur. Sistem iki boyutlu ve sürekli rejimde olarak çözülmüştür. Analiz sisteminin oluşturulması ile deneyler sonucunda elde edilen değerlerden de faydalanılarak sınır şartları ve malzemeler belirlenmiş ve Tablo 5'te sunulmuştur.

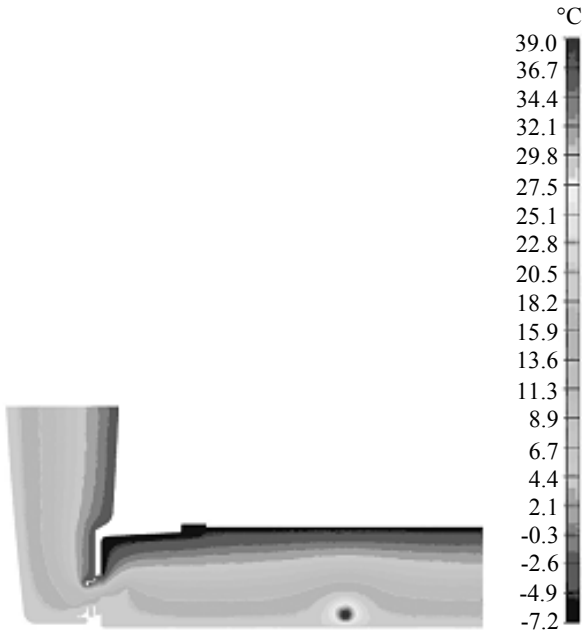


Şekil 7. Mevcut durum için yapılan analiz sıcaklık dağılımı

Tablo 5. Analiz tanımlanan malzemeler ve özellikleri (Deschamps vd., 1999)

Bölge	ρ [kg/m ³]	c_p [kJ/kg.K]	λ [mW/m. K]
Kapı-Kabin İç	1000	1.30	170.0
Kapı-Kabin Dış	7833	0.48	41500.0
Conta	980	1.20	380.0
Conta İç	1006	1.00	28.0
Yalıtım	30	2.10	22.5
Flanş Isıtıcısı	7833	0.48	41500.0

Her üç buzdolabı için yapılan analiz sonuçlarından elde edilen en iyi durum analizi Şekil 8’de sunulmuştur.

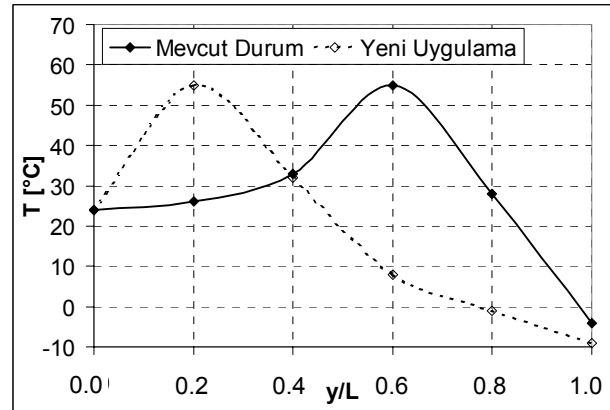


Şekil 8. Mevcut ve en iyi durum için analiz sonuçları

Her üç buzdolabı modeli için de flanş ısıtıcısının kompresörden sonra uygulandığı durumda kabin conta ve flanş bölgesinden 150 mm mesafede ve kabin dış duvarına temas halinde uygulanabileceğini göstermiştir. Flanş ısıtıcısının dış duvara temas etmesinin bir avantajı da ortama atılan ısının artmasının yanında metal dış duvar yardımı ile flanş bölgesinin dolaylı olarak ısıtılmasının sağlanmasıdır. Flanş ısıtıcısının kompresör yerine kondenserden sonra uygulanması durumunda ise, flanş ısıtıcısı kabin conta ve flanş bölgesinden 75 mm mesafede ve kabin dış duvarına temas halinde uygulanabilmektedir.

Çalışmada incelenen boru malzemesi etkisi ve boru geometrisinin etkisi durumları için yapılan analizler her iki durumda da mevcut duruma göre bir avantaj olmadığını göstermiştir. Ek olarak boru geometrisinin değiştirilmesi kabin iç yüzey sıcaklıklarında bir artış getirmektedir.

Yapılan analizler çerçevesinde mevcut durum ile en iyi durum için boyutsuz durumda sıcaklık dağılımı belirlenmiştir. Kabin dış duvarından iç duvarına doğru “y” yönünde sıcaklık değişimi Şekil 9’da sunulmuştur.



Şekil 9. “y” yönünde boyutsuz durum sıcaklık değişimi

Sonuçlar

Conta ve flanş bölgesinin buzdolabı ısı kazancısına etkisinin belirlenmesine yönelik olarak yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- Çalışmada yapılan deneysel çalışmalar çerçevesinde conta ve flanş bölgesinden gerçekleşen ısı transferi, contadan kaynaklanan

ısı transferi, contadan gerçekleşen infiltrasyon etkisi ve flanş ısıtıcısının kabin içerisine attığı ısı olarak tanımlanabilmektedir.

- Literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanmayan soğutma sistemi üzerinde bulunan flanş ısıtıcısının kabin üzerinde yarattığı ısı transferi etkisi ile yine flanş ısıtıcısının ortama attığı ısı miktarı deneysel ve sayısal olarak ayrı ayrı belirlenmiştir.
- Çalışmada analizler yardımı ile belirlenen farklı flanş ısıtıcısı bölgelerine uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde hazırlanan prototipler ile deneysel çalışmalar yapılmış, deneyler, kabin ısı kazancı azaltımı sağlanarak, istenilen sıcaklıklara ulaşılabileceğini göstermiştir. Tüm farklı uygulamaların yapılması ile enerji tüketim değerinin %10 seviyesinde iyileşebileceği görülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Arçelik A.Ş. Ar-Ge Merkezi yönetici ve çalışanlarına teşekkür ederiz.

Semboller

h_i	: Taşınım ısı transfer miktarı ($W/m^2 \cdot K$)
Q_{I+F}	: Buzdolabı toplam ısı kazancı (W)
Q'_{I+F}	: Contasız buzdolabı toplam ısı kazancı (W)
Q''_{I+F}	: Flanş ısıtıcılı buzdolabı ısı kazancı (W)
T_{6a}	: Kabin içi sıcaklık ortalaması ($^{\circ}C$)
T_{1a}	: Ortam sıcaklık ortalaması ($^{\circ}C$)
ΔQ	: Contalı-contasız ısı kazancı farkı (W)
g_{DD}	: Dondurucu conta katsayısı ($W/m \cdot 100K$)
g_{TG}	: Taze gıda conta katsayısı ($W/m \cdot 100K$)
UA_{DD}	: Derin dondurucu cihaz sabiti (W/K)
UA_{TG}	: Taze gıda cihaz sabiti (W/K)
λ	: Isı iletim katsayısı ($W/m \cdot K$)
ρ	: Yoğunluk (kg/m^3)
c_p	: Özgül ısı ($kJ/kg \cdot K$)
Dond.	: Dondurucu

Kaynaklar

Boughton, B.E., Clausing, A.M. ve Newell, T.A., (1992). An investigation of household refrigerator cabinet loads, *University of Illinois Air Conditioning and Refrigeration Center*, ACRC TR-21.

Chen, L., Wu, C. ve Sun, F., (1996). Influence of internal heat leak on the performance of refrigerators, *Energy Conversion and Management*, **39**, 45-50.

Deschamps, C.J., Prata, A.T., Schmid, A. ve Lopes, L.A.D., (1999). Heat transfer through the refrigerator door gasket region, *Proceedings, 20th International Congress of Refrigeration Symposium*, Sydney, Australia, 3196-3709.

Gupta, J.K., Ram Gopal, M. ve Chakraborty, S., (2007). Modeling of a frost free refrigerator, *International Journal of Refrigeration*, **30**, 311-322.

ISO8187, (1991). Household refrigerating appliances-refrigerators and freezers, characteristics and test methods, *International Organization for Standardization*, Cenevre, İsviçre.

ISO15502, (2005). Household refrigerating appliances-refrigerators and freezers, characteristics and test methods, *International Organization for Standardization*, Cenevre, İsviçre.

Kays, W.M., Crawford, M.E., (1998) *Convective heat and mass transfer*, McGraw-Hill Companies Inc., New York, USA.

Klein, F.H., Melo, C. ve Marques, M.E., (1999). Steady-state simulation of an all refrigerator, *Proceedings, 20th International Congress of Refrigeration Symposium*, Sydney, Australia, 487-495.

Laguerra, O., Ben Amara, S., Moureh, J. ve Flick, D., (2007). Numerical simulation of air flow and heat transfer in domestic refrigerator, *Journal of Food Engineering*, **81**, 144-156.

Laguerra, O. ve Flick, D., (2004). Heat transfer by natural convection in domestic refrigerators, *Journal of Food Engineering*, **62**, 79-88.

Mennink, B.D. ve Berchoowitz, D.M., (1994). Development of an improved stirling cooler for vacuum super insulated fridges with thermal store and photovoltaic power source for industrialized and developing countries, *proceedings, new applications of naturel working fluids in refrigeration and air conditioning symposium*, Hannover, Germany, 73-82.

Min, G. ve Rowe, D.M., (2006). Experimental evaluation of prototype thermoelectric domestic-refrigerator, *Applied Energy*, **83**, 133-152.

Soysal, F. A., (2000). Vakumlanmış izolasyon panelinin ısı iletim katsayılarının deneysel olarak incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.