

Ev Tipi Bir Buzdolabının Analitik İncelemesi ve Tasarım Parametrelerinin Elde Edilmesi

Merve Akkaya¹, Ünal Çamdalı^{2*}

ÖZ

Bu çalışmada, ev tipi bir buzdolabının analitik incelemesi yapılmıştır. Bu bağlamda buzdolabının soğutma yükü hesaplanmış, ana ve yardımcı elemanları seçilmiş ve tasarlanan buzdolabının enerji tüketim değeri de belirlenmiştir. Soğutma yükünü meydana getiren; iletim (transmisyon) ısı yükü, ürün ısı yükü, hava değişim (infiltrasyon) ısı yükü ve diğer ısı yüklerinin, buzdolabının soğutucu ve dondurucu bölümlerinde oluşturdukları etkiler hesaplanmıştır. Ayrıca, soğutma yükünü oluşturan; her bir ısı yükünün, toplam soğutma yüküne olan etkisi ortaya konmuştur. Toplam soğutma yükünün, iletim ısı yükü % 39,85'ini, ürün ısı yükü %25,90'ını, hava değişim (infiltrasyon) ısı yükü ise %20,74'ünü oluşturduğu görülmüştür. Geriye kalan %13,51'i de diğer yükler oluşturmaktadır.

Çalışmada literatürdeki değerler, TSE EN 62552 standardı ile birlikte ülkemizde buzdolabı üretimini gerçekleştiren bir firmanın, kullandığı yöntemler göz önünde bulundurulmuştur. Çalışmanın sonunda da söz konusu bilgiler ile buzdolabının enerji tüketimi göz önüne alınarak enerji sınıfının A++ olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Buzdolabı, soğutma yükü, soğutma tekniği, enerji sınıfı

Analytical Examination of a Household Refrigerator and Obtaining Design Parameters

ABSTRACT

In this study, an analytical study of a household refrigerator was achieved. In this context, the cooling load of the refrigerator was calculated, the main and auxiliary components were chosen and the energy consumption value of the designed refrigerator was also determined. Creating the cooling loads; the effects of transmission heat load, product heat load, infiltration (air exchange) heat load and other heat loads on the cooler and freezer sections of the refrigerator were calculated. Besides, the effect of each heat load, forming the cooling load, on the total cooling load has been demonstrated. It has been observed that the conduction (transmission) heat load constitutes 39.85% of the total heat load, the product heat load 25.90%, and the infiltration heat load 20.74%. The remaining heat loads constitute 13.51%.

In this study, the values in the literature and the methods used by a company that manufactures refrigerators in our country together with the TSE EN 62552 standard were taken into consideration. At the end of the study, taking into account the energy consumption of the refrigerator, it was determined that the energy class was A++.

Keywords: Refrigerator, cooling load, cooling technique, energy class

* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 25.01.2021

Kabul/Accepted : 21.02.2021

¹ Yük. Müh., Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
merveakkaya13@hotmail.com, ORCID: 0000-0003-0111-5240

² Prof. Dr., Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara, unalcamdali@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2566-9945

EXTENDED ABSTRACT

Refrigeration is a process of lowering the temperature and maintaining it in a given space for a purpose of chilling foods, preserving certain substances, or providing an atmosphere conducive to bodily comfort. Storing perishable foods, pharmaceuticals or other items under refrigeration is commonly known as cold storage.

Preparing for the investment plan and feasibility analysis must be first to design for a refrigerator. The location of a refrigerator, user requirements, and other design parameters must be determined. Also, calculation and investigation of heat and mass transfer are so important for choosing system components. Energy consumption is another important point in designing refrigerators. Energy consumption in homes has a significant share in total energy consumption. Refrigerators and freezers used in homes have an important place in domestic electrical energy consumption. Household applications constitute 29% of the total electrical energy consumption of the European Union countries in 2006, which includes 15 countries (EU-15). 14% of this energy was spent by refrigerators and freezers. The total amount of energy used by them was 102 TWh. In addition, in 12 countries (NMU-12) that joined the EU in 2004, 26% of the total electricity consumption was spent on domestic activities. 22% of this use was spent by the refrigerators. The energy amount used by the refrigerators used in these countries is determined as 19.4 TWh.

In this study, an analytical study of a domestic refrigerator was achieved. The design parameters in the literature of a two-compartment household refrigerator have been considered. The refrigeration load of a domestic refrigerator is calculated, design is accomplished by selecting the main and auxiliary parts of the refrigeration system. Also, energy consumption of the designed refrigerator is computed. The effects of the cooling load on the transmission heat load, infiltration (air change) heat load, maturation heat load and other heat loads on the cooler and freezer compartment were calculated. In addition, the effect of the heat loads on the total cooling load was investigated. After the analysing, it has been observed that the conduction (transmission) heat load constitutes 39.85% of the total heat load, the product heat load 25.90%, and the infiltration heat load 20.74%. The remaining heat loads constitute 13.51%.

In this study, the values in the literature and the methods used by a company that manufactures refrigerators in our country together with the TSE EN 62552 standard were taken into consideration. At the end of the study, taking into account the energy consumption of the refrigerator, it was determined that the energy class was A ++.



1. GİRİŞ

Üretim işlemi, farklı disiplinlerden mühendis ve diğer uzmanların bir araya gelerek planlama, tasarım ve imalat yöntemleriyle ortaya çıkardıkları bir ürünün, üretilmesi faaliyetidir [1]. Üretimde, gerekli olan enerjinin miktarı ve hangi kaynaklardan sağlandığı da dikkate alınmalıdır. Zira enerjinin miktarı ve verimliliği, yenilenemeyen özellikle de fosil esaslı enerji kaynaklarının azalmasında etkin rol oynamaktadır. Dolayısıyla enerji ihtiyacının karşılanmasında, yenilenebilir enerji kaynaklarının da kullanılması, günümüz dünyasında önem ifade etmektedir [2].

Enerji sadece üretim ile ilgili bir olgu değildir. Pek çok uygulamayı içine alan, yaşamsal bir değerdir. Gıda da tıpkı enerji gibi yaşamın sürdürülmesi konusunda en önemli unsurlardandır. Yaşamda gıdaların korunmasına yönelik olarak geliştirilen, soğutma faaliyetleri dikkate değerdir. Ayrıca söz konusu amaca hizmet eden, soğutma cihazlarının geçmişi oldukça eskidir. Tarihin bu noktada pek çok uygulamaları ve yenilikleri ortaya çıkardığı da bir gerçektir.

Soğutma, gıdaların düşük sıcaklığa getirilerek muhafaza edilmesi veya konfor koşulları için gerekli atmosfer koşullarının sağlanması ile ilgili süreçtir. Gıdaların, ilaçların veya diğer maddelerin soğutulması muhafaza edilmesi, genellikle soğuk depolama olarak bilinir [3].

Gıda ve diğer maddelerin soğuk olarak korunması veya depolanması amacıyla kullanılan, ev tipi buzdolaplarının uygulanabilirlik analizinin yapılması, tasarım için ilk adım olması açısından önemlidir [3]. Enerji tüketimi, buzdolabı tasarımındaki bir diğer önemli husustur. Çünkü konutlardaki enerji sarfıyatı, toplam enerji tüketiminde ciddi bir orana sahiptir. Evlerde kullanılan buzdolabı ve dondurucular, evsel enerji sarfıyatında dikkate değer yer tutmaktadır. 15 ülkenin yer aldığı (EU-15), Avrupa Birliği Ülkelerinin 2006 yılındaki toplam elektrik enerjisi tüketiminin, %29'unu evsel uygulamalar oluşturmuştur. Bu enerjinin %14'ü, soğutucu ve dondurucular tarafından harcanmıştır. Bunların kullandığı toplam enerji miktarı ise 102 TWh olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca AB'ye 2004 yılında katılan, 12 ülkede (NMU-12) de toplam elektrik tüketiminin %26'sı, ev içi faaliyetlerde harcanmıştır. Söz konusu kullanımın %22'si de buzdolapları tarafından harcanmıştır. Buzdolaplarının kullandığı enerji miktarı ise 19,4 TWh olarak belirlenmiştir [4,5].

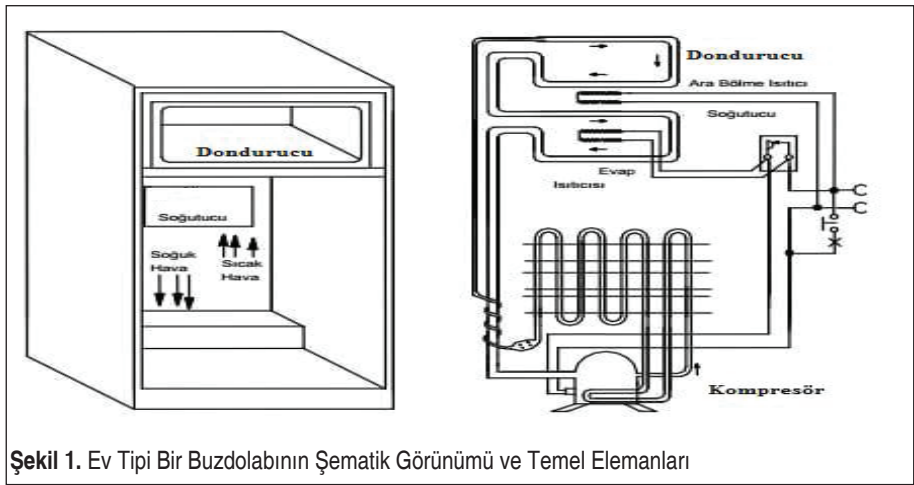
Akdemir, bir soğuk hava deposu için soğutma yükünü hesaplamış ve depodaki soğutma sisteminin ana elemanlarının seçimi ile ilgili bir çalışma ortaya koymuştur [3]. Sakallı, iki bölmeli bir buzdolabının, dondurucu bölmesinde, enerji tüketimine etki eden parametreleri, deneysel ve teorik olarak incelemiştir [5]. Avcı, buzdolaplarındaki tasarım parametrelerini, iç hacimdeki sıcaklık ve hava akış dağılımına bağlı olarak Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ve Isı Transferi (HADIR) ile ANNs (Yapay Sinir

Ağları) tekniği kullanarak optimize etmiştir [6]. Odabaşı, buzdolabının kapağının açık olduğu süre içerisinde, buzdolabına olan ısı transferi ve akışın modelini, nümerik olarak gerçekleştirmiştir [7]. Ağakay, değişken devirli kompresörlerin, ev tipi bir buzdolabının performansına olan etkisini incelemiştir. Bu amaçla ISO 15502 standartlarına göre enerji tüketim testlerini gerçekleştiren, deneysel bir uygulama gerçekleştirmiştir [8]. Mutlu vd. elektrikli ev aletlerinin, enerji tüketimini karşılaştırmış ve onların enerji sınıflarının tespiti ile ilgili bir çalışma ortaya koymuştur [9].

Bu çalışmada ise ev tipi bir buzdolabının önce soğutma yükü hesaplanmış; daha sonra ana ve yardımcı parçaları seçilerek tasarımı yapılmış ve son olarak da tasarlanan buzdolabının enerji tüketim değeri belirlenerek enerji etiketi tespit edilmiştir. Hepsinden önemlisi de yapılan çalışmada, bir buzdolabının tasarımı için gerekli olan tasarım parametreleri ile birlikte enerji tüketiminin ve enerji etiketinin bulunması ile ilgili takip edilmesi gereken temel prensipler, ortaya konmaya çalışılmıştır. Literatürde dağınık şekilde olan söz konusu bilgiler, daha sistematik olarak verilmeye çalışılmıştır. Ayrıca buzdolabına konulan ürünlerin soğutma analizleri, hem standart malzemeler hem de seçilen ürünler esas alınarak karşılaştırılmalı olarak gerçekleştirilmiştir.

2. EV TİPİ BİR BUZDOLABININ TASARIM KRİTERLERİ

Soğutma, gıdaların soğutulmasından, alanların iklimlendirilmesine kadar çeşitli pratik uygulamaları içinde barındıran, önemli bir ısıl süreçtir [6]. Bir soğutma sisteminin asıl amacı, ısıyı düşük sıcaklıktaki ortamdaki, yüksek sıcaklıktaki ortama transfer etmektir. Soğutma amaçlı kullandığımız, ev tipi buzdolapları; buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi prensibiyle çalışır [10]. Şekil 1’de görüldüğü gibi buzdolapları genel

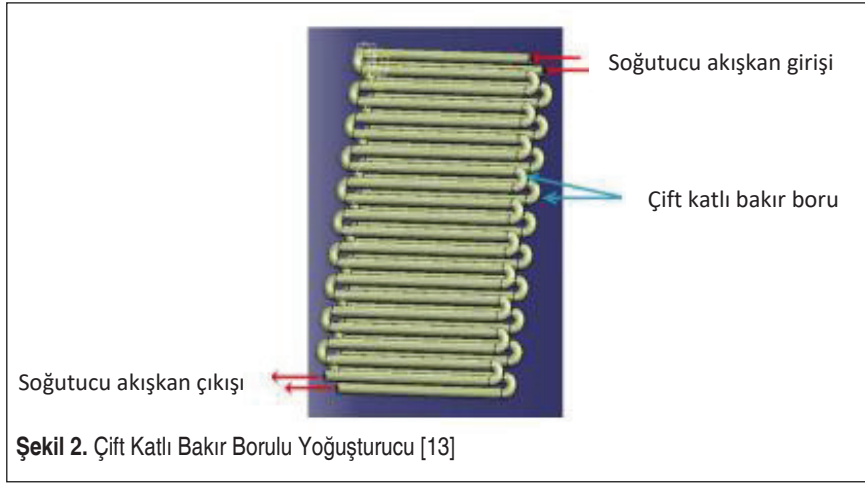




olarak kompresör, yoğuşturucu (kondenser), genişleme valfi ve buharlaştırıcı (evaporatör) gibi temel ünitelerden (elemanlardan) meydana gelmektedir.

Buzdolabının soğutucu ve dondurucu bölümündeki ısı, soğutucu akışkanın çevrim boyunca kompresör vasıtasıyla dolaştırılmasıyla dış ortama transfer edilir [11]. Kompresör, buzdolabının soğutma kapasitesini gerçekleştirecek güçte olmalıdır. Bu yüzden kompresörün COP (tesir katsayısı) değeri, soğutucunun soğutma yüküne uygun olarak seçilmelidir.

Yoğuşturucu, soğutucu akışkanın ısısının dış ortama transfer edilmesini sağlayan ünitelerdir. Ev tipi buzdolaplarında kullanılan yoğuşturucular, genellikle 3/16" (4,76 mm) veya 1/4" (6,35 mm) çaplı içi ve dışı çift katlı bakır borulardan oluşur [12]. Çift katlı bakır borulardan oluşmuş örnek bir yoğuşturucu, Şekil 2'de gösterilmiştir [13].



Genleşme valfinin görevi, buharlaştırıcıya giren soğutucu akışkanın, kütle debisini ayarlayarak basıncını düşürmektir. Buzdolaplarında genleşme valfi olarak, kılcal boru kullanılmaktadır. Kılcal borunun yeri yoğuşturucu ile buharlaştırıcı arasındadır ve çapı ise 0,76-2,16 mm arasında değişmektedir [12]. Buharlaştırıcı ise soğutucu ve dondurucu bölümdeki gıdaların, soğutulması amacıyla bu bölümlerden çekilen ısının soğutkana transfer edildiği ünitelerdir [14].

Sistemdeki ana ünitelere ek olarak; evaporatör ve kondenser fanı ile aydınlatma cihazları gibi yardımcı elemanlar da kullanılmaktadır. Buharlaştırıcı yüzeyindeki sıcaklık, buzdolabının içine giren havanın çığ noktası sıcaklığından daha düşük olduğu için havadaki su buharının yoğuşup, buharlaştırıcı yüzeyinde donmasına neden olmaktadır. Bu duruma engel olmak için buz eritme cihazı da kullanılmaktadır [15]. Fan buzdolabının içindeki havanın sıcaklığının homojen olmasını sağlayarak; enerji

tüketiminin düşmesine destek verir [6]. Ayrıca yoğunlaştırucu fanı da ısı transferinin iyileşmesi noktasında enerji tüketiminin düşmesine destek vermektedir.

2.1 Buzdolabının Enerji Sınıfının Belirlenmesi

Buzdolaplarındaki enerji tüketim değeri, kompresörün enerji tüketimi ile diğer enerji tüketen cihazların, tüketim değerlerinin toplamından oluşmaktadır. Enerji sınıfının tanımlanması, buzdolabının enerji tüketimine göre belirlenmektedir. Buzdolaplarında A sınıfı, diğer enerji sınıflarından (B,C,D) daha az enerji tüketir. Bu bağlamda A+++ sınıfı, A++ sınıfından %33; A++ sınıfı, A+ sınıfından %21; A+ sınıfı ise A sınıfından %24 daha az enerji tüketmektedir [16]. Buzdolaplarındaki enerji sınıfı, Tablo 1’de verilen enerji verim indeksine göre tanımlanmaktadır.

Tablo 1. Enerji Verimlilik İndeksi (%), I [9]

Enerji Verimlilik İndeksi (%), I	Enerji Sınıfı
I <22	A+++
I <33	A++
I <42-44	A+
I <55	A
55 ≤ I < 75	B+

Enerji verim indeksi (I) aşağıdaki formüle göre hesaplanır ve yüzdesel (%) olarak ifade edilir [9].

$$I = \frac{E}{E_{st}} \quad (1)$$

$$E = P^{\text{düzeltilmiş}} \cdot 365 \quad (\text{kWh/yıl}) \quad (2)$$

$P^{\text{düzeltilmiş}}$ ise 24 saatteki enerji tüketimidir [17]

E yıllık enerji tüketimi (kWh/yıl) ve E_{st} standart yıllık enerji tüketimidir (kWh/yıl). Yıllık enerji tüketimi aşağıdaki formüle göre hesaplanır [9].

$$P^{\text{düzeltilmiş}} = P^{\text{ölçülen}} \left[\sum_{i=1}^n \frac{(25 - T_i) V_i}{(T_{aa} - T_i) V} \right] \quad (3)$$

T_i nominal bölme sıcaklığı (°C) (standartta koşullara göre oluşturulmuş değerdir, örneğin 5 °C gibi), V_i bölmenin net hacmi (L), T_{aa} ölçülen ortamın sıcaklığı (°C), V toplam net hacimdir (L). Standart enerji tüketimi ise aşağıdaki formüle göre hesaplanır [9].

$$E_{st} = (M \cdot DH) + N \quad (4)$$



M ve N buzdolabı tipine bağlı olarak değişen katsayılarıdır ve değeri de Tablo 2’de verilmiştir. DH ise düzeltilmiş net hacimdir. Buzdolabının farklı bölmeleri, enerji tüketimini farklı şekillerde etkilediği için düzeltilmiş net hacim hesaplanmalıdır. Düzeltilmiş net hacim, buzdolabının farklı bölümlerini esas alarak tanımlanan ve aşağıdaki formüle göre belirlenen bir değerdir [9].

$$DH = V_c \cdot W_c \cdot F_c \cdot C_c \quad (5)$$

V_c her bir bölmenin net hacmi (L), $W_c = (25 - T_c) / 20$ (referanstan alınmış empiriksel değer), T_c her bir bölmenin tasarım sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), F_c bir faktör olup, zorlanmış hava dolaşımı olan bölümler için 1,2 ve diğer bölümler için 1 alınabilir. C_c tropikal iklim sınıfı için dikkate alınmalıdır. Buzdolabının kullanıldığı bölgenin özelliklerine göre değişen katsayıdır. Depolama yerleri için 1,35; taze gıda depolama bölümleri için ise 1,30 alınabilir [9].

Tablo 2. M ve N Katsayıları [9]

Buzdolabı	M	N
Ev tipi bir buzdolabı	0,233	245
Buzdolabı-soğutucu	0,233	245
Yıldızsız buzdolabı (en soğuk bölüm $> -6^{\circ}\text{C}$)	0,233	245
Tek yıldızlı buzdolabı (en soğuk bölüm $\leq -6^{\circ}\text{C}$)	0,643	191
İki yıldızlı buzdolabı (en soğuk bölüm $\leq -12^{\circ}\text{C}$)	0,450	245
Üç yıldızlı buzdolabı (en soğuk bölüm $\leq -18^{\circ}\text{C}$)	0,657	235
Buzdolabı-derin dondurucu (en soğuk bölüm $\leq -18^{\circ}\text{C}$)	0,777	303
Dikey derin dondurucu	0,472	286
Yatay derin dondurucu	0,446	181

3. BUZDOLABININ SOĞUTMA YÜKÜ HESABI

Buzdolabında soğutma yükü hesaplanırken kaynaklardan gelen ısı yükleri göz önünde bulundurulmalıdır. Soğutma yükü; iletim (transmisyon) ısı yükü, ürün ısı yükü, hava değişim (infiltrasyon) ısı yükü ve diğer ısı yükleri olarak dikkate alınmalıdır. Farklı koşullarda çalıştıkları için buzdolabının soğutucu ve dondurucu bölmelerinin, soğutma yükleri, ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Isı yükleri ile ilgili açıklamalar aşağıda verilmiştir.

3.1 İletim (Transmisyon) Isı Yükü

Buzdolaplarındaki transmisyon ısı yükü; duvarlar, zemin ve tavandan iletimle transfer edilen ısı olarak belirlenebilir [5]. Transmisyon ısı yükü hesabının yapılması için buzdolabında kullanılan ve iletimi gerçekleştiren malzemeler ile yalıtım elemanlarının türü, kalınlıkları, fiziksel özellikleri, iç ve dış çevre sıcaklıkları gibi bilgilerin bilinmesi gerekmektedir [5]. Aşağıdaki eşitlikler, söz konusu ısı yükünün hesaplanmasında kullanılmaktadır [11].

$$Q_c = K A (\Delta T) \quad (6)$$

Q_c , düz yüzeyden aktarılan ısı (W), K toplam ısı transfer katsayısı (W/m^2K), A ısı transfer alanı (m^2) ve ΔT iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkıdır. Toplam ısı transfer katsayısı aşağıda verilen eşitliğe göre hesaplanır.

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} + \sum \frac{\delta_i}{k_i} + \frac{1}{h_d} \quad (7)$$

Burada K'nın birimi (W/m^2K), h_i iç yüzeydeki ısı taşınım katsayısı (W/m^2K), δ yüzey kalınlığı (m), k_i i tabakasının ısı iletim katsayısı (W/mK), h_d dış yüzeyin ısı taşınım katsayısıdır (W/m^2K).

3.2 Ürün Isı Yükü

Depolanan pek çok ürün, yapısında su barındırmaktadır. Soğuk depolama sırasında sıcaklığın düşmesi sonucunda, ortamdaki havanın içinde bulunan su buharının yoğuşması ile ürünün yapısındaki suyun donması gibi olgular meydana gelebilmektedir. Yapılarında su bulunan ortam ve ürünler, yoğuşma veya donma sırasında gizli ısılarını kaybederek ısı yükü oluşturur. Söz konusu ısı, ürün ısı olarak tanımlanır [5]. Ürün ısı, soğutma yükünün önemli kısımlarındandır [18].

Ürün ısını oluşturan diğer önemli bir ısı kaynağı da olgunlaşma ısıdır. Özellikle sebze ve meyveler, toplandıktan sonra yaşamsal faaliyetine devam eder. Muhafaza süreleri boyunca bazı kimyasal reaksiyonlardan kaynaklı olarak çevreye ısı yayarlar [5]. Bu olaya olgunlaşma ısı denir [11].

Ürün ısı aşağıdaki gibi hesaplanabilir [18]:

Donma noktasının üzerindeki sıcaklıktaki bir ürünün, yine donma noktası üzerindeki daha düşük bir sıcaklığa kadar soğutulması için üründen uzaklaştırılan ısı:

$$Q_1 = m c_1 (T_1 - T_i) \quad (8)$$

Donma noktasının üzerindeki sıcaklıktaki bir ürünün, donma noktasına kadar soğutulması için üründen uzaklaştırılan ısı:



$$Q_2 = m c_1 (T_1 - T_f) \quad (9)$$

Bir ürünün dondurulması için üründen uzaklaştırılan ısı:

$$Q_3 = m h_{if} \quad (10)$$

Donma noktasındaki sıcaklıkta olan bir ürünün, daha düşük bir sıcaklığa soğutulması için üründen uzaklaştırılan ısı:

$$Q_4 = m c_2 (T_f - T_3) \quad (11)$$

Muhafaza sırasında oluşan olgunlaşma ısısı da aşağıdaki eşitlikten elde edilir [11]:

$$Q_{oi} = m C_{oi} \quad (12)$$

Yukarıdaki eşitliklerdeki soğutma yükleri Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 süre göz önünde bulundurularak (W) birimine dönüştürülür, m ürünün kütlesi (kg), c_1 ürünün donma sıcaklığının üzerindeki özgül ısısı (kJ/kgK), c_2 ürünün donma sıcaklığının altındaki özgül ısısı (kJ/kgK), T_1 (donma noktasının üzerindeki) ürünün başlangıç sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), T_2 ürünün donma noktasının üzerindeki sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), T_f ürünün donma sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), T_3 ürünün donma noktasının altındaki sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), h_{if} ürünün gizli ısısı (kJ/kg), C_{oi} 'da ürünün olgunlaşma ısısıdır (kJ/kg h).

3.3 Hava Değişim (İnfiltrasyon) Isı Yükü

Hava değişimi, iç ve dış ortamdaki havanın, yoğunluk farkından oluşur. Buzdolabının kapağı her açıldığında, sıcak hava içeri girerek burada ek bir soğutmaya neden olmaktadır. Hava değişim ısı yükü, aşağıda gibi hesaplanabilir [18].

$$q_i = q \cdot D_i \cdot D_f (1 - E_d) \quad (13)$$

Burada q tam gelişmiş akış için duyulur ve gizli soğutma yükü, D_i kapı aralığı açık-zaman faktörü, D_f kapı aralığı akış faktörü, E_d ise kapı aralığını koruma cihazının etkinliğidir. E_d içeri sızan hava ile transfer edilen ısının bir ölçüsüdür. E_d 'nin 1 olması durumunda hava değişimi ile ısı transferi gerçekleşmez. Diğer durumlarda ise gerçekleşir. E_d yeni takılan şerit kapılar, hızlı katlanır kapılar ve tam kapanmayan kapılar için (ticari uygulamalarda) genel olarak 0,95 veya daha büyük değer alınabilir. Bununla birlikte, etkenlik değeri, kapının açılma sıklık derecesine ve bakımına bağlı olarak dondurucu girişlerinde 0,8; diğer kapılar için ise yaklaşık olarak 0,85 alınabilir. Korumaya elemanı olmayan geniş olarak açılan kapılarda ise bu değer 0 alınabilir [18].

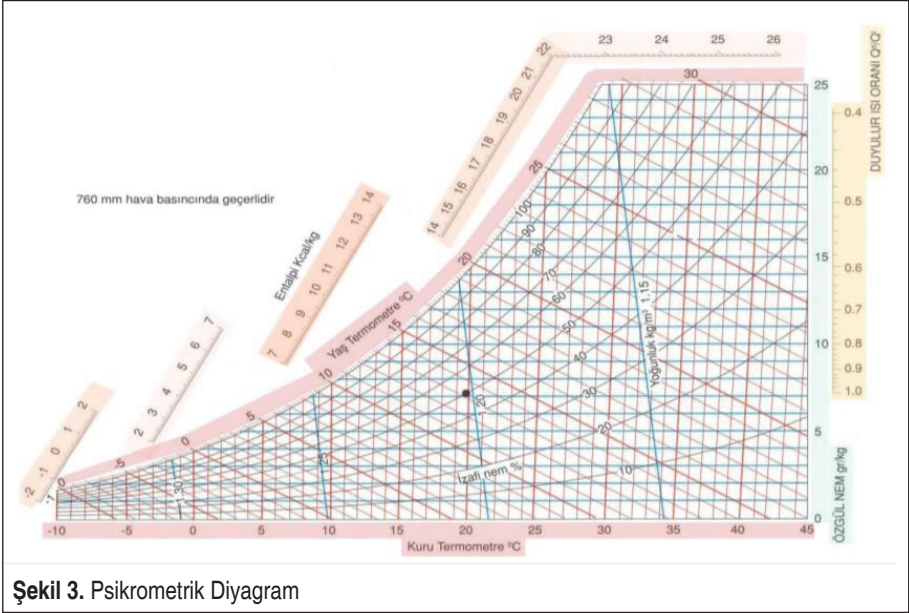
Duyulur ve gizli soğutma yükü aşağıdaki formüllerden hesaplanabilir [18].

$$q = 0,221A (h_i - h_r) \rho_r (1 - \rho_i/\rho_r)^{0,5} (gH)^{0,5} F_m \quad (14)$$

Burada A kapı aralığı alanı (m^2), h_i içeri giren havanın entalpisi (kJ/kg), h_r soğutulan havanın entalpisidir (kJ/kg). Şekil 3'te verilen psikrometrik diyagramdan veya hava

ile ilgili tablolardan yararlanılarak entalpi değerleri bulunabilir. ρ_i içeri giren havanın yoğunluğu (kg/m^3), ρ_r soğutulan havanın yoğunluğu (kg/m^3), g yerçekimi ivmesi (m/s^2), H kapı aralığı yüksekliği (m) ve F_m yoğunluk faktörüdür. Yoğunluk faktörü aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanabilir [18].

$$F_m = \left(\frac{2}{1 + \left(\frac{\rho_r}{\rho_i} \right)^{\frac{1}{3}}} \right)^{1,5} \quad (15)$$



Şekil 3. Psikrometrik Diyagram

Kapı aralığı akış faktörü, aşağıdaki formüle göre hesaplanabilir [18].

$$D_t = \frac{(PQ_p + 60Q_o)}{3600Q_d} \quad (16)$$

P kapı aralığı geçiş sayısı, Q_p kapının açık-kapanma zamanı (her geçiş başına, saniye), Q_o kapının açık olduğu süre (dakika), Q_d günlük (ya da diğer) zaman periyodu (saat).

Downing ve Meffert'e göre dış ortam ile buzdolabının iç ortamı arasındaki sıcaklık farkı 11°C 'den az olan akışkanlar için, tavsiye edilen akış faktörü (D_f) 1,1 olarak alınabilir. Hendrix'e göre de daha büyük sıcaklık farkları için (16°C) ise 0,8 olarak alınabilir [18–20].

kapısının, her bir açılışta açık kalma süresinin 10 saniye olduğu, açma kapama arasında 3 saniye zaman geçtiği ve günde 12 kez açılıp kapatıldığı; dondurucu bölüm kapısının ise her bir açılışta açık kalma süresinin 10 saniye olduğu, açma kapama arasında 3 saniye zaman geçtiği ve günde 10 kez açılıp kapatıldığı varsayılmıştır.

Tablo 3. Tasarlanan Buzdolabının Teknik Özellikleri [21-23]

Cinsi	Boyutları ve Özellikleri
Dış boyutlar (mm)	750x700x1850
İç toplam hacim(L)	≅ 459
Dış gövde	0,50 mm beyaz boyalı galvaniz levha
Yalıtım malzemesi	Poliüretan panel
Yalıtım malzemesi yoğunluğu (kg/m ³)	42

Tablo 4. Tasarlanan Buzdolabının Soğutucu ve Dondurucu Bölmelerin Teknik Özellikleri [21-23]

Cinsi	Soğutucu Bölmesi	Dondurucu Bölmesi
Dış boyutlar (mm)	750x700x1300	750x700 x550
İç hacim (L)	≅ 363	≅ 96
İç sıcaklık (°C)	+4	-18
Dış gövde	0,50 mm beyaz boyalı galvaniz levha	0,50 mm beyaz boyalı galvaniz levha
Yalıtım malzemesinin türü	Poliüretan panel	Poliüretan panel
Yalıtım malzemesinin kalınlığı (mm)	80	100
Plastik conta kalınlığı(mm)	15	15
Contanın ısı iletim katsayısı (W/mK)	0,17	0,17
Beyaz boyalı galvaniz levhanın ısı iletim katsayısı (W/mK)	41,5	41,5
Yalıtım (poliüretan) malzemesinin ısı iletim katsayısı (W/mK)	0,022	0,022

4.1 Soğutma Yükü Değerleri

Soğutma yüklerinin elde edilmesi ile ilgili sonuçlar, aşağıda tablolarda gösterilmiştir. Tablo 5'te soğutucu ve dondurucu bölümündeki iletim ısı yükünün elde edilmesi için hesaplanan, toplam ısı transfer katsayıları; Tablo 6'da ise hesap sonucu elde edilen tüm soğutma yük değerleri verilmiştir [21-23].

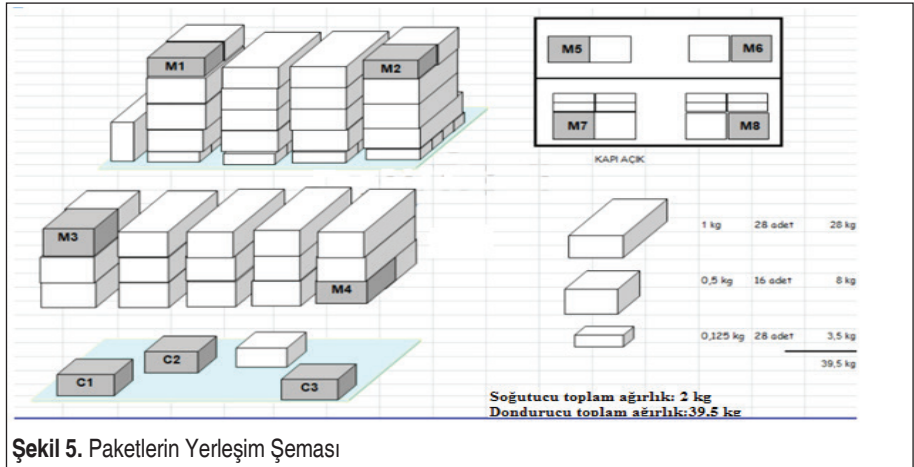
Ürün ısısının hesaplanmasında, ülkemizde buzdolabı üretimi gerçekleştiren bir firma-



dan alınan ölçüm verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde TS EN 62552 standartlarına uygun sayı ve ağırlıkta M ve C paketlerinin kullanıldığı tespit edilmiştir. M paketleri dondurucu bölümünde kullanılırken, C paketleri ise soğutucu bölümünde kullanılmıştır.

M1/M2, M3/M4 ve C1/C2/C3 paketleri sırasıyla dondurucu bölümünün üst rafına, dondurucu bölümünün alt rafına ve soğutucu bölümüne yerleştirilmektedir. M5/M6/M7/M8 paketleri ise derin donduruculara kullanılmaktadır.

Buzdolabının dondurucu iç bölümünde ve dondurucu kapağında 39,5 kg M cinsi paket, soğutucu bölümünde ise 2 kg C cinsi paket kullanılmıştır. Paketlerin yerleşim planı firmadan alındığı şekliyle Şekil 5’de gösterilmiştir. Paketlerin iç malzemelerinin termal özellikleri, yağsız sıgır etine karşılık gelmektedir. Yağsız sıgır etinin özgül ısı değerleri; donma noktasının altındaki sıcaklar için 1,80 kJ/kgK; donma noktasının üzerindeki sıcaklıklar için 3,34 kJ/kgK; gizli ısısı için ise 257 kJ/kgK değerleri alınmıştır [17].



Şekil 5. Paketlerin Yerleşim Şeması

Soğutma yükü sonuçları, soğutucu ve dondurucu bölümü için Şekil 6’da görüldüğü gibi ayrı ayrı verilmiştir. Soğutma yükünü oluşturan her bir ısı yükünün, toplam soğutma yüküne etkisi de Şekil 7’de gösterilmiştir. Şekil 6’da görüldüğü gibi iletim ısı yükü, soğutma yükü üzerinde en büyük etkiye sahiptir. Soğutma yükünün yaklaşık %40’ını oluşturmaktadır. Ürün ısı yükü, toplam toplam ısı yükü üzerinde ikinci en büyük etkiye sahiptir. Soğutma yükünün yaklaşık %26’sını oluşturmaktadır. Hava değişim (infiltrasyon) ısı yükü, soğutma yükü üzerinde üçüncü en büyük etkiye sahiptir. Bunun oranının da yaklaşık %21 olduğu görülmüştür. Diğer soğutma yüklerinin oranı ise yaklaşık %13 olarak elde edilmiştir.

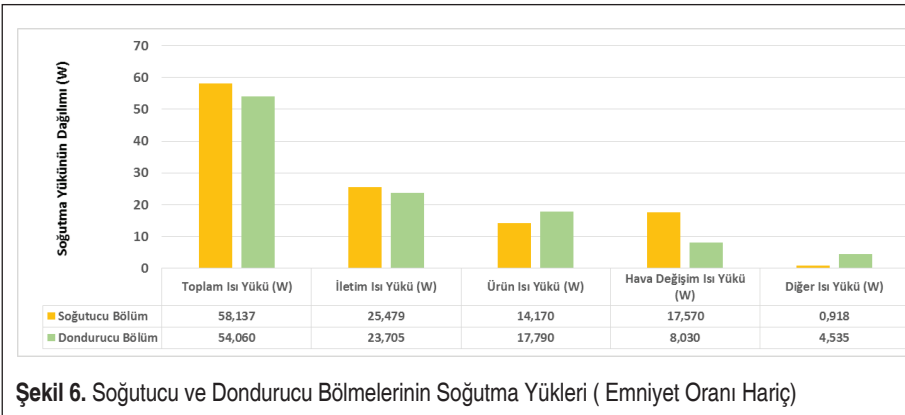
Elektrikli defrost (buz çözücü) buharlaştırıcının üzerinde donma olduğunda çalışmaktadır. Dolayısıyla diğer ısı yükleri ile karşılaştırıldığında küçük bir etkiye sahip oldu-

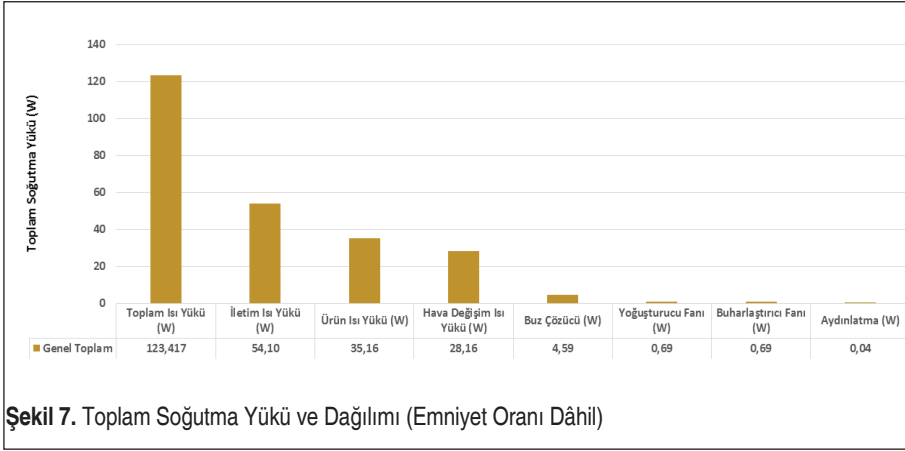
Tablo 5. Soğutucu ve Dondurucu Bölmeleri İçin Isı Transfer Katsayıları

Toplam Isı Transfer Katsayısı (W/mK)	Soğutucu Bölmesi	Dondurucu Bölmesi
K	0,207–0,264 W/m ² K	0,185–0,213 W/m ² K

Tablo 6. Tasarlanan Buzdolabının Soğutma Yükü Değerleri

Yük Cinsi	Soğutucu Bölümü (W)	Dondurucu Bölümü (W)	Toplam Soğutma Yükü (W)	%
İletim ısı yükü	25,479	23,705	49,184	39,85
Ürün ısı yükü	14,170	17,790	31,960	25,90
Hava değişim (infiltrasyon) ısı yükü	17,570	8,030	25,600	20,74
Buz çözücü (Defrost)		4,170	4,170	3,38
Yoğuşturucu fanı	0,275 (%44)	0,350 (%56)	0,625	0,51
Buharlaştırıcı fanı	0,625		0,625	0,51
Aydınlatma	0,018	0,015	0,033	0,03
Ara Toplam	58,137	54,060	112,197	90,91
Emniyet %10	5,814	5,406	11,220	9,09
Toplam Yük	63,951	59,466	123,417	100





Şekil 7. Toplam Soğutma Yüğü ve Dağılımı (Emniyet Oranı Dâhil)

Tablo 7. Gıda Maddelerinin Soğutma Yüğü ile Olgunlaşma Isısı Değerleri [11]

Soğutma Yüğü					
Cinsi	Miktarı	Isınma Isısı (kJ/kg °C)	Sıcaklık Farkı (°C)	Soğutma Süresi (s)	Soğutma Yüğü (W)
Kabak	1	4.01	21	9.900	8,51
Kayısı	1	3.68	21	9.900	7,81
Limon	1	3.85	21	9.900	8,17
Pırasa	1	3.68	21	9.900	7,81
Şeftali	1	3.85	21	9.900	8,17
Taze fasulye	1	3.85	21	9.900	8,17
Üzüm	1	3.59	21	9.900	7,62
Ara Toplam					56,23
Olgunlaşma Isı Yüğü (+5 °C)					
Cinsi	Miktarı	Olgunlaşma Isısı (Kcal/ton 24 saat)	Dönüşüm Oranı	Olgunlaşma Isısı (W)	
Kabak	1	907,50	0,00005	0,04	
Kayısı	1	427,50	0,00005	0,02	
Limon	1	280,00	0,00005	0,01	
Pırasa	1	1.347,50	0,00005	0,07	
Şeftali	1	430,00	0,00005	0,02	
Taze fasulye	1	1.907,50	0,00005	0,09	
Üzüm	1	245,00	0,00005	0,01	
Ara Toplam				0,27	
Genel Toplam				56,50	

ğu görülmektedir. Kondenser ve evaporatör fanı ile aydınlatma da çalışma sürelerinin az olmasından dolayı soğutma yükü üzerindeki etkisi küçüktür.

4.2 Gıdaların Soğutma Yükü ve Olgunlaşma Isının Mertebesi

Ürün ısısının hesaplanmasında, standarttaki paketler dikkate alındığından dolayı ayrıca olgunlaşma ısı hesaplanmamıştır. Ancak hem olgunlaşma hem de soğutma ısısının mertebesini gerçek ürünler üzerinden belirlemek açısından, söz konusu buzdolabına; her biri 1 kg olan sebze ve meyvelerden; taze fasulye, pırasa, kayısı, kabak, limon, şeftali ve üzüm yüklemesi yapıldığı varsayılmıştır. Literatürdeki verilerden ve Eşitlik 10'dan yararlanarak gıda maddelerinin soğutma yükü ile olgunlaşma ısı değerleri, ayrı ayrı hesaplanmıştır. Sebze ve meyvelerin termal özellikleri literatürden [11] alınmıştır.

Hesaplama sonucunda gıdaların soğutma yükünün 56,23 W; olgunlaşma ısısının 0,27 W, toplamının da 56,50 W olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla soğutma ve olgunlaşma ısı yükünün, buzdolabının toplam soğutma yükünün (123,417–31,96.1,1+56,50.1,1=150,411 W) yaklaşık %37 olduğu tespit edilmiştir. Hesaplanan değerler Tablo 7'de verilmiştir.

5. TASARLANAN BUZDOLABININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Analiz sonucunda, elde edilen değerlere göre buzdolabının temel elemanları, Tablo 8'de gösterilmiştir. Elemanların seçiminde gerçek değerler kullanılmıştır.

Tablo 8. Buzdolabının Seçilen Elemanları [21-23]

Seçilen Elemanlar	Özellikler
Kompresör	Kompresör modeli: MSS488Q-L1U Soğutma kapasitesi: 140 W Soğutucu akışkanı: R600a COP (performans katsayısı): 1,70 Giriş gücü: 82 W Soğutucu akışkan buharlaşma sıcaklığı: -23,3°C Soğutucu akışkan yoğunlaşma sıcaklığı: 54,4 °C
Yoğuşturucu	İç çap: 3/16" (≅ 5 mm) Malzeme: Bakır boru
Kılcal boru	Uzunluk: 2,30mm İç çap: 0,90mm Malzeme: Bakır
Buharlaştırıcı	İç çap: 4,76 mm Malzeme: Bakır boru
Kondenser fanı	Kanat sayısı: 3 Güç: 2,5 W
Evaporatör fanı	Kanat sayısı: 3 Güç: 2,5 W



5.1 Enerji Sınıf Etiketleri

Buzdolabının enerji sınıfı etiketi, yukarıda verilen Eşitlik (1–5)’e göre tespit edilmiştir. Dolayısıyla önce buzdolabının yıllık enerji tüketimi ile düzeltilmiş net hacme bağlı olan standart enerji tüketimi değerleri, ayrı ayrı hesaplanmıştır. Daha sonra yıllık enerji tüketiminin, standart enerji tüketimine oranı bulunarak; Tablo 1’e göre sınıf tespiti yapılmıştır. Bulunan sonuçlar Tablo 9’da gösterilmiştir [21-23].

Tablo 9. Buzdolabının Enerji Sınıfı ile İlgili Değerleri

Enerji Tüketimi ve Enerji İndeks Değeri	Sayısal Değeri (kWh/Yıl)
Yıllık enerji tüketimi (E)	179,580
Standart enerji tüketimi (E_{st})	654,399
Enerji indeksi (% , I)	27,4
Enerji sınıfı	A++

6. SONUÇ

Soğutma kapasitesinin hesabının ve dağılımının hassas olarak belirlenmesi; buzdolabında olması gereken elemanların doğru seçimi ve enerji tüketimi açısından oldukça fazla önem ifade etmektedir. Ayrıca bu durum üretim maliyetlerine olumlu yansıtacaktır.

Bu çalışmada bir buzdolabının tasarımına etki eden parametreler belirlenerek; soğutma yükünü oluşturan ısı yüklerinin ve bunların toplam ısı yüküne olan etkisi ortaya konmuştur.

Soğutma yükleri ayrı ayrı elde edildikten sonra uygun elemanların seçimi yapılmıştır. Eleman seçiminden sonra enerji tüketim değerleri elde edilmiştir.

Yapılan analizlere göre, soğutma yükünün yaklaşık %40’ını yani en büyük kısmını iletim (transmisyon) ısısı oluşturmaktadır. Söz konusu ısı; duvarlar, tavan ve zemin den transfer olmaktadır. İkinci büyük etkiyi ürün ısı yükü oluşturmaktadır. Bunun toplam soğutma yüküne oranı yaklaşık %26 olarak elde edilmiştir. Üçüncü soğutma etkisi ise hava değişim (infiltrasyon) ısı yükü oluşturmaktadır. Hava değişim (Infiltrasyon) ısı yükünün toplam ısı yüküne oranı ise yaklaşık %21’dir. Toplam soğutma yükününün %13’ü de diğer kaynaklardan meydana gelmektedir.

Çalışmanın sonunda da TSE EN 62552 standardından yararlanılarak buzdolabının enerji sınıfı A++ sınıfı olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda ev tipi bir buzdolabının temel karakterisitik değerlerinin belirlenmesi ile ilgili olarak literatüre bir katkı sunulmaya çalışılmıştır.

SEMBOLLER

A	Isı transfer alanı [m^2]
C_c	Tropikal iklim sınıfı için tanımlanan katsayı
C_{oi}	Ürünün olgunlaşma ısısı [$kJ/kg\ h$]
c_1	Ürünün donmadan önceki ısınma ısısı [kJ/kgK]
c_2	Ürünün donduktan sonraki ısınma ısısı [kJ/kgK]
DH	Düzeltilmiş net hacim [dm^3]
D_f	Kapı aralığının akış faktörü
D_t	Kapı aralığının açık olduğu zamanın ondalık kısmı
E	Yıllık enerji tüketimi [$kWh/yıl$]
E_d	Kapıarası koruma cihazı etkenliği
E_{st}	Standart enerji tüketimi [$kWh/yıl$]
F_m	Yoğunluk faktörü
G	Soğuk odaya konulan ürün miktarı [kg]
h_i	İçeri giren havanın entalpisi [kJ/kg]
h_{if}	Ürünün gizli ısısıdır [kJ/kg]
h_r	Soğutulan havanın entalpisi [kJ/kg]
H	Kapı aralığı yüksekliği [m]
I	Enerji verim indeksi [E/E_{st}]
k_i	i tabakasının ısı iletim katsayısı [W/mK]
K	Toplam ısı transferi katsayısı [W/m^2K]
m	Ürünün kütlesi [kg]
n	Cihaz sayısı
P	Enerji tüketimi [$kW/24\ h$]
P_d	Cihaz gücü [kW]
t_{aa}	Ölçülen ortam sıcaklığı [$^{\circ}C$]
t_i	Nominal bölme sıcaklığı [$^{\circ}C$]
T_d	Donma sıcaklığı [$^{\circ}C$]
T_f	Ürünün donma sıcaklığı [$^{\circ}C$]
T_m	Muhafaza sıcaklığı [$^{\circ}C$]
T_1	Ürünün son sıcaklığı [$^{\circ}C$]
T_2	Ürünün soğuk odaya konmadan önceki sıcaklığı [$^{\circ}C$]
V	Toplam net hacim [L, dm^3]



V_n	Bölmenin net hacmi [L, dm ³]
ZO	Zaman oranı [s/s]
q_t	24 saat veya diğer periyot için ortalama ısı kazancı [W]
Q_d	Günlük (veya diğer) zaman periyodu [h]
Q_{Def}	Buz çözücünün ısı yükü [W]
Q_L	Aydınlatma cihazı ısı yükü [W]
Q_{oi}	Olgunlaşma ısısı [W]
Q_p	Kapı açma-kapama süresi [s]
Q_o	Kapının açık olduğu süre [dak]
Q_d	Günlük (ya da diğer) zaman periodu [saat]
$Q_{(1,2,3,4)}$	Ortamdan uzaklaştırılan ısı [W]
ΔT	Sıcaklık farkı [°C]
δ	Isı akışına dik kalınlık [m]
ρ_i	İçeri giren havanın yoğunluğu [kg/m ³]
ρ_r	Soğutulan havanın yoğunluğu [kg/m ³]

KAYNAKÇA

1. **Yemenicioğlu, E.** 2019. “Üretim Sistemleri Mühendisliğinde Kesintisiz Veri Alışverişi İçin Bir Çatı Formatı: AutomationML”, Mühendis ve Makina, cilt 60, sayı 695, 91-100.
2. **Çalışkan, H.** 2010. “Güneş Kollektörlerinin Enerji, Ekserji, Termoekolojik, Sürdürülebilirlik, Termoekonomik ve Eksergoekonomik Analizleri”, Mühendis ve Makina, cilt 61, sayı 700, 228-240.
3. **Akdemir, S.** 2008. “Designing of Cold Stores and Choosing of Cooling System Elements”, Journal of Applied Sciences, cilt 8, sayı 5, 788-794.
4. **Bertoldi, P., Atanasio, B.** 2006. Electricity Consumption & Efficiency Trends in the Enlarged European Union-Status Report, European Commission Joint Research Centre, Ispra, Italy.
5. **Sakallı, Ö.** 2012. “Ev Tipi Buzdolaplarında Enerji Tüketimine Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi”, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
6. **Avcı, H.** 2011. “Computer Aided Analysis and Experimental Investigations Towards Optimizing the Design Parameters of Domestic Refrigerators”, Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
7. **Odabaşı, M.** 2015. “Heat Transfer And Fluid Flow in a Refrigerator Through Door Opening”, Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
8. **Ağakay, V.** 2013. “Experimental Performance Investigation and Variable Speed



- Compressor Implementaion of a Household Refrigerator”, Yüksek lisans tezi, İzmir Teknoloji Enstitüsü, İzmir.
9. **Mutlu, M., Kaynaklı, Ö., Kılıç, M.** 2011.”Elektrikli Ev Aletlerinin Enerji Etiketlemesinin İncelenmesi”, Ulusal İklimlendirme Kongresi, Antalya.
 10. **Çengel, Y., Boles, M.** 2015. Thermodynamics an Engineering Approach, Bill Stenquist, ISBN 978-0-07-339817-4, McGraw-Hill, New York.
 11. **Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Kaynaklı, Ö., Coşkun, S.** 2013. Soğutma Tekniği ve Isı Pompası Uygulamaları, ISBN:978-605-4485-97-0, DORA ,Bursa, 325-326
 12. **Aslan, V.** 2007. “Ev Buzdolabının Verim Analizi” , Yüksek lisans tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa.
 13. **Rani, M.H.F. ve diğerleri,** 2017. “Design of refrigeration system using refrigerant R134a for macro compartment”, Journal of Physics: Conf. Series 908 (2017) 012054, IOP Publishing, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/908/1/012054/pdf>
 14. **Akkaya, M. ve Çamdalı, Ü.** “Design And Analytical Examination of A Household Refrigerator”, 21. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 13-16 Eylül 2017, Çorum, 114-122. İnternet, <http://bulut.hitit.edu.tr/index.php/s/ga5SIs1BausnO21>
 15. **Brian, A., Fricke,** 2011. Vishal Sharma Oak Ridge National Laboratory Oak Ridge, TN., Demand Defrost Strategies in Supermarket Refrigeration Systems, Interim Report, 1-3.
 16. İnternet, <http://www.arcelik.com.tr/katalog-ozellikleri-buzdolabi-enerji.html>, 28.05.2016.
 17. TSE 62552, IEC 62552:2007, TSE, Household refrigerating appliances, characteristics and test methods.
 18. ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) 2002. Refrigeration handbook.
 19. Downing, C., Meffert, W.A., 1993. Effectiveness of cold storage door infiltration protective devices, ASHRAE Transactions 99(2).
 20. **Hendrix, W.A., Henderson, D.R., Jackson, H.Z.** 1989. Infiltration heat gains through cold storage room doorways, ASHRAE Transactions 95(2).
 21. **Akkaya, M.** 2016. “Domestic Refrigerator Design”, Bitirme projesi, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara.
 22. **Selviyoy, M.** 2016. “Buzdolabı İç Sıcaklık Dağılımının Kararsız Rejimde Modellenmesi ve Isı Kazançlarının Belirlenmesi” , Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
 23. İnternet, <https://www.samsung.com/global/business/compressor/recipro-compressor/r600a-lbp-ac220-240v-50hz/>