

MAKALE

TİCARİ SOĞUTUCULARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ: MEVCUT UYGULAMALAR VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Energy Efficiency in Commercial Coolers: Current Applications and
Future Perspectives

Halil Doğacan KOCA, Egemen BIÇEN, Anıl BAŞARAN, Abdullah YILMAZ

Bu makale, 16-19 Nisan 2025 tarihinde gerçekleştirilen 16. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi (TESKON 2025) kapsamında gerçekleştirilen Soğutma Teknolojileri Sempozyumu'nda sunulmuş ve bildiri kitabında yayınlanmıştır.

HAKEMLER*

A. İbrahim ATILGAN, Dr.
Abdülvahap YİĞİT, Prof. Dr.
Ahmet CAN, Prof. Dr.
Ali GÜNGÖR, Prof. Dr.
Arif HEPBAŞLI, Prof. Dr.
Aytunç EREK, Prof. Dr.
Bedri YÜKSEL, Prof. Dr.
Dilek KUMLUTAŞ, Prof. Dr.
Fikret PAZIR, Prof. Dr.
Fırat ÖZDEMİR, Dr. Öğr. Üyesi
Hüsamettin BULUT, Prof. Dr.
Hüseyin BULGURCU, Doç. Dr.

İlhan Tekin ÖZTÜRK, Prof. Dr.
İsmail KARAÇALI, Prof. Dr.
Kadir İSA, Dr.
M. Barış ÖZERDEM, Prof. Dr.
M. Turhan ÇOBAN, Prof. Dr.
Macit TOKSOY, Prof. Dr.
Mehmet KANOĞLU, Prof. Dr.
Moghtada MOBEDİ, Doç. Dr.
Muhsin KILIÇ, Prof. Dr.
Mustafa ACAR, Prof. Dr.
Olca KINCAY, Prof. Dr.
Orhan BÜYÜKALACA, Prof. Dr.

Özgür SOLMAZ, Dr. Öğr. Üyesi
Ramazan KÖSE, Prof. Dr.
Rasim KARABACAK, Prof. Dr.
Recep YAMANKARADENİZ, Prof. Dr.
Selami KESLER, Prof. Dr.
Serhan KÜÇÜKA, Prof. Dr.
Tuncay YILMAZ, Prof. Dr.
Turan ERKAN
Utku ŞENTÜRK, Prof. Dr.
Y. Onur DEVRES, Prof. Dr.
Yunus ÇERÇİ, Prof. Dr.

**Alfabetik olarak sıralanmıştır.*

Makale/Makaleler, kurulda yer alan ve değerlendirme yapmak üzere seçilen hakemler tarafından incelenmiştir.



ÖZET

Bu çalışmada, ticari soğutucularda enerji verimliliğini artırmaya yönelik mevcut uygulamaları, yeni nesil teknolojiler ve gelecekteki gelişim perspektifleri ele alınmıştır. Avrupa Birliği'nin EU 2019/2018 enerji regülasyonu, ticari soğutucuların enerji verimliliğini artırmak ve çevre dostu özelliklerini geliştirmek amacıyla önemli bir düzenleyici çerçeve sunmaktadır. Bu düzenleme, enerji sınıfı performansını zorunlu kılarak, üreticileri yenilikçi ve sürdürülebilir teknolojilere yönlendirmekte, aynı zamanda enerji etiketlemesi aracılığıyla tüketicilerin enerji tasarrufu sağlayan ürünleri tercih etmesini kolaylaştırmaktadır. Enerji verimliliğini artırmaya yönelik ticari soğutucular için geliştirilen en son teknolojiler ve uygulamalar aydınlatma, yalıtım, kontrol ve ısı değiştiricileri başlıkları altında incelenmiş ve bu teknolojilerin enerji tüketimi üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Ayrıca, yeni nesil enerji verimli soğutma sistemleri için sektörde gelecekte öne çıkacak trendler hakkında değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ticari soğutucu, enerji verimliliği, yalıtım, enerji tüketimi

ABSTRACT

This study examines current applications, next-generation technologies, and future development perspectives aimed at improving energy efficiency in commercial coolers. The European Union's EU 2019/2018 energy regulation provides a crucial framework for enhancing the energy efficiency and environmentally friendly features of commercial refrigeration systems. This regulation mandates energy class performance, encouraging manufacturers to adopt innovative and sustainable technologies while also facilitating consumer preference for energy-saving products through energy labeling. The latest technologies and applications developed to improve energy efficiency in commercial coolers have been analyzed under the categories of lighting, insulation, control, and heat exchangers, assessing their impact on energy consumption. Furthermore, emerging trends expected to shape the future of energy-efficient refrigeration systems in the industry have been evaluated.

Keywords: Commercial cooler, energy efficiency, insulation, energy consumption

1. GİRİŞ

Ticari tip soğutucular, gıda ve içecek endüstrisi başta olmak üzere çeşitli sektörlerde kullanılan, geniş kapasiteye sahip soğutma cihazlarıdır. Bu cihazlar, ürünlerin tazeliğini koruma, raf ömrünü uzatma ve enerji tasarrufu sağlama gibi temel işlevleri sunar. Soğutucular, enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından çeşitli yönetmeliklere ve standartlara uygun olarak tasarlanmakta ve üretilmektedir. Bu cihazların yalnızca yüksek performanslı ve güvenilir olması değil, aynı zamanda enerji tasarrufu sağlaması ve çevreye duyarlı teknolojilerle donatılması da beklenmektedir. Günümüzde ticari soğutucuların tasarımı ve performansı, enerji verimliliğinin artırılması ve kullanıcı dostu özelliklerin entegre edilmesi gibi modern ihtiyaçlar doğrultusunda sürekli olarak gelişmektedir. Soğutma sektörü, gelişen teknolojiye paralel olarak daha verimli ve ekolojik çözümler geliştirmeye odaklanmakta, inovatif yaklaşımlarla enerji tüketimini minimize etmeyi hedeflemektedir.

Ticari tip soğutucularda, ısı transferini sağlayan soğutucu akışkanlar termodinamik açıdan kritik öneme sahiptir. Bununla birlikte, soğutucu akışkanların çevresel etkileri de göz ardı edilemez. Küresel ısınmaya olan etkileri, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Kyoto Protokolü [1] tarafından da kabul edilen bir gerçektir. Bu doğrultuda, Avrupa Birliği (AB) 2006 yılında emisyonları düzenlemeyi ve küresel ısınma potansiyeli (Global Warming Potential - GWP) değerlerini azaltmayı amaçlayan bir düzenlemeyi yürürlüğe koymuştur [2]. Bu düzenleme, sektördeki çok sayıda üreticiyi, daha düşük soğutucu hacimleri ile çalışabilen ve düşük küresel ısınma potansiyeline sahip soğutucular kullanabilen yüksek performanslı sistemler geliştirmeye yönlendirmiştir. Başka bir ifadeyle, üreticilerin çevre dostu soğutucu akışkanlar ile enerji verimli sistemler sunmaları zorunlu hale gelmiştir.

Ticari soğutucuların çevre dostu ve enerji verimli hale getirilmesi için regülasyonlar önemli bir çerçeve sunmaktadır. Bununla birlikte ürünlerin enerji sınıfı performansını zorunlu kılarak, üreticileri daha sürdürülebilir teknolojilere yönlendirmektedir. Regülasyon kapsamında enerji etiketlemesi, tüketicilerin enerji verimli ürünleri tercih etmelerini kolaylaştırırken, üreticileri de daha inovatif çözümler geliştirmeye teşvik etmektedir. Gelişmiş teknolojiler ve enerji regülasyonlarına uyum, ticari soğutucuların gelecekte daha verimli ve sürdürülebilir hale gelmesinde kilit bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, →

mevcut uygulamaların etkinliği ve yeni regülasyonlara uyum, sektörün dönüşüm sürecini hızlandırmaktadır [3]. Bu çalışmada enerji verimliliğini artırmaya yönelik mevcut ve potansiyel niteliği taşıyan yeni teknolojiler ve uygulamalar değerlendirilmiştir.

2. TİCARİ SOĞUTUCULAR

Ticari içecek soğutucuları, marketler, restoranlar ve oteller gibi işletmelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu soğutucular genellikle 40 ile 1500 litre arasında değişen kapasitelere sahip olup, müşterilerin ürünlere doğrudan erişimini sağlamak ve içecekleri belirli sıcaklıklarda muhafaza etmek amacıyla tasarlanmıştır. TS EN ISO 22044 standardına [4] göre ticari içecek soğutucuları; fiziksel yapıları, erişim tipleri, kullanım amaçları ve sıcaklık sınıfları gibi kriterlere göre sınıflandırılmaktadır.

Kullanım amacına bağlı olarak, bu soğutucular farklı boyutlarda, tasarımlarda ve özelliklerde üretilebilmektedir. Bu, işletmelerin ihtiyaçlarına özel çözümler geliştirilmesini mümkün kılmaktadır. Fiziksel yapılarına göre soğutucular; dikey, yarı dikey ve yatay olmak üzere üç ana kategoriye ayrılır. Dikey soğutucular 0,5 m ile 2,2 m arasında bir yüksekliğe sahipken, yarı dikey soğutucular 1,5 m'yi geçmeyen modellerdir. Yatay soğutucular ise ürünlere yukarıdan erişim sağlayan yatay sergi açıklığına sahiptir. Bu fiziki yapıların her biri, farklı işletme ihtiyaçlarına yönelik avantajlar sunmaktadır. Örneğin, dikey soğutucular genellikle dar alanlarda kullanım için idealdir, çünkü dikey yapısı yerden tasarruf sağlar. Yatay soğutucular ise özellikle sergi amaçlı kullanımlar için uygundur, çünkü ürünlerin kolayca sergilenmesi ve erişilmesi sağlanır. Şekil 1'de çeşitli ticari tip içecek soğutucu örnekleri sunulmuştur.



Şekil 1. Ticari soğutucu örnekleri (a) 2 kapılı ticari tip kapalı buzdolabı (b) tek kapılı ticari tip kapalı buzdolabı (c) yatay ticari soğutucu

Erişim tipine göre soğutucular, açık ve kapalı olarak ikiye ayrılmaktadır. Açık soğutucularda ürünlere erişim için herhangi bir bariyer bulunmazken, kapalı soğutucularda şeffaf veya şeffaf olmayan kapaklar aracılığıyla erişim sağlanmaktadır. Kullanım amacına göre buzdolapları, ürünlerin sergilenmesi veya depolanması gibi farklı ihtiyaçları karşılamak üzere tasarlanmaktadır.

3. ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE STANDARTLAR

Ticari tip soğutucular ve dondurucular için EU2019/2018 [5] ve EU2019/2024 [6] regülasyonları, enerji verimliliğini artırmayı hedefleyen önemli yasal çerçeveler sunmakta ve enerji performansı standartlarını belirleyerek sürdürülebilirlik hedeflerini desteklemektedir [7]. EU2019/2018 regülasyonu [5], enerji etiketleme gerekliliklerini belirlerken, cihazların enerji verimliliği sınıflarını net bir şekilde tanımlamaktadır. EU2019/2024 regülasyonu [6] ise ürünlerin tasarım gerekliliklerini belirleyerek enerji verimliliğini ön planda tutar. 1 Mart 2021 tarihinden itibaren geçerli olmak üzere yürürlüğe giren regülasyon [5] ile birlikte ticari tip soğutucu buzdolapları için enerji indeks değerlerine kısıtlamalar getirilerek enerji etiketi kullanımı zorunlu hale gelmiştir. Tablo 1'de Enerji Verimlilik İndeksi (Energy Efficiency Index-EEI) değerleri ve karşılığı enerji sınıfları belirtilmiştir. Ekodizayn tasarım gereklilikleri doğrultusunda 1 Eylül 2023 tarihinden itibaren G sınıfı enerji sınıfına (indeks değeri 80'nin üzerinde olan) sahip ürünlerin satışı yasaklanmıştır

Tablo 1. Enerji verimlilik sınıfları ve indeks değerleri

Enerji Verimlilik Sınıfı	Enerji Verimliliği İndeksi
A	EEI < 10
B	10 ≤ EEI < 20
C	20 ≤ EEI < 35
D	35 ≤ EEI < 50
E	50 ≤ EEI < 65
F	65 ≤ EEI < 80
G	80 ≤ EEI

Ticari tip soğutucu ve dondurucu ürünlerinde, cihazların performansını ve uyumluluğunu değerlendirmek için farklı standartlar tamamlayıcı bir rol oynayarak sektörde kaliteyi ve sürdürülebilirliği artırmaktadır. TS EN ISO 22044 Ticari İçecek Soğutucuları [4], TS EN ISO 22043 Dondurma dondurucuları [8] ve TS EN ISO 23953 Soğutuculu

teşhir dolapları standartları [9] örnek olarak verilebilir. Bu standartlar, regülasyonlara uyumlu olarak, enerji etiketleme ve eko tasarım gerekliliklerini test etmek için referans alınır ve cihazların gerçek kullanım koşullarına uygun performans göstermesi için kritik öneme sahiptir. Ek olarak bu standartlar test paketlerinin yükleme planlarındaki dizilişini, testlerin gerçekleştiği iklimlendirme odasının ve deneysel düzeneğin şartlarını ve kurulumunu da üreticiye sunmaktadır.

Soğutucu cihazlar için, EEI (Enerji Verimlilik İndeksi), yüzde cinsinden ifade edilir. EEI, AE (Annual Energy) ve referans SAE (Standard Annual Energy) oranı kullanılarak hesaplanır ve aşağıdaki formüle göre belirlenir [6]:

$$EEI = AE / SAE \quad (\%) \quad (1)$$

AE, kWh/yıl birimiyle ifade edilir ve aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$AE = 365 \times E_{\text{günlük}} \quad (\text{kWh/yıl}) \quad (2)$$

$E_{\text{günlük}}$ soğutucu cihazın 24 saatlik enerji tüketimini ifade eder. Bu değer, kWh/24 saat cinsinden ve ürünün ait olduğu sıcaklık sınıfı koşullarına göre ölçülür.

SAE, kWh/yıl cinsinden ifade edilir ve tüm bölmeleri aynı sıcaklık sınıfına sahip soğutucu cihazlar için şu şekilde hesaplanır:

$$SAE = 365 \times P \times (M + N \times Y) \times C \quad (\text{kWh/yıl}) \quad (3)$$

M ve N değerleri soğutucu tipine göre belirlenen ve regülasyon tarafından belirlenmiş katsayılarıdır (Tablo 2). Ticari içecek soğutucuları için M ve N katsayıları sırasıyla 2,1 ve 0,006 sayılarına tekabül etmektedir. C değeri süpermarket dolapları, dondurma teşhir dolapları ve soğutmalı otomatlar için sıcaklık koşulları ve soğutucu tipine göre regülasyon tarafından tablo halinde sunulan bir katsayıdır. Bu kategorilere dahil olmayan doğrudan satış fonksiyonu olan diğer soğutucu cihazlar için C değeri 1,00'dir. Süpermarket dolapları için C katsayısının belirlendiği değerler, örnek olarak Tablo 3'te paylaşılmıştır. P değeri, süpermarket tipi entegre dolaplar için 1,1 ve diğer doğrudan satış fonksiyonlu soğutucu cihazlar için ise 1,00'dir. Bu katsayılar, farklı kullanım amaçlarına sahip ticari soğutucuların enerji performansını adil şekilde değerlendirmek için kullanılır.

Tablo 2. Standart Yıllık Enerji (Standard Annual Energy-SAE) oranı hesaplamasında kullanılan M ve N regülasyon katsayıları

Kategori	M Değeri	N Değeri
İçecek soğutucular	2,1	0,006
Dondurma dondurucuları	2,0	0,009
Soğutmalı otomatlar	4,1	0,004
Dondurma teşhir dolapları	25,0	30,400
Dikey ve kombine süpermarket soğutucu dolaplar	9,1	9,100
Yatay süpermarket soğutucu dolaplar	3,7	3,500
Dikey ve kombine süpermarket dondurucu dolaplar	7,5	19,300
Yatay süpermarket dondurucu dolaplar	4,0	10,300

Tablo 3. Süpermarket dolapları için sıcaklık koşulları ve karşılık gelen sıcaklık katsayısı değerleri

Kategori	Sıcaklık sınıfı	En yüksek sıcaklık (M Paket) (°C)	En düşük sıcaklık (M Paket) (°C)	C değeri
Dikey ve kombine süpermarket soğutucu dolaplar	M2	≤ +7	≥ -1	1,00
	H1 ve H2	≤ +10	≥ -1	0,82
	M1	≤ +5	≥ -1	1,15
Yatay süpermarket soğutucu dolaplar	M2	≤ +7	≥ -1	1,00
	H1 ve H2	≤ +10	≥ -1	0,92
	M1	≤ +5	≥ -1	1,08
Dikey ve kombine süpermarket derin dondurucu dolapları	L1	≤ -15	-	1,00
	L2	≤ -12	-	0,90
	L3	≤ -12	-	0,90
Yatay süpermarket dondurucu dolaplar	L1	≤ -15	-	1,00
	L2	≤ -12	-	0,92
	L3	≤ -12	-	0,92

Y katsayısı içecek soğutucuları için aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$Y = \text{Brüt Hacim} \times ((25 - T_c) / 20) \times CC \quad (4)$$

T_c , soğutucuda talep edilen ortalama sıcaklığı ifade eder (Tablo 4). CC, iklim sınıfı katsayısıdır ve Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 4. İçecek soğutucuları için sıcaklık sınıfları ve bunlara karşılık gelen ortalama kabin sıcaklıkları (T_c)

Sıcaklık Sınıfı	T_c (°C)
K1	+3,5
K2	+2,5
K3	-1,0
K4	+5,0

Tablo 5. İçecek soğutucuları için çalışma koşulları ve CC değerleri

En sıcak ortam sıcaklığı (°C)	Ortam bağıl nemi (%)	CC katsayısı
25	60	1,00
32	65	1,05
40	75	1,10



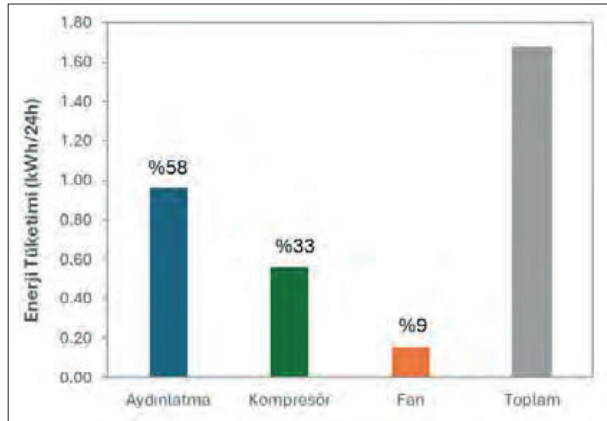
4. MEVCUT UYGULAMALAR

Soğutma yükleri, ticari soğutucunun iç ortam sıcaklığını düşürmek için gereken enerji miktarını belirleyen önemli unsurlardır. Transmisyon yükleri, dış ortamdaki içeriye geçen ısıyı ifade ederken; iç yükler ise ekipmanların ve aydınlatmanın sebep olduğu ısı artışlarını kapsar. Hava akışını sağlayan fanlar ve aydınlatma gibi bileşenler, ısı üretirken toplam soğutma yükünü artırır. Enfiltrasyon ise dış havanın istenmeyen şekilde içeri girmesiyle oluşan ek ısı yüklerini oluşturur. Bu faktörlerin tümü, enerji verimliliğini sağlamak açısından kritik öneme sahiptir. Bu bölümde, mevcut uygulamalar bu perspektiften değerlendirilmiştir.

4.1. Aydınlatma

Ticari tip buzdolaplarında aydınlatma, ürünlerin müşterilere cazip bir şekilde sunulmasında ve satın alma davranışlarının teşvik edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. İçeceklerin muhafaza edildiği soğutucu bölümde, kapıda ve kanopide kullanılabilen aydınlatma grubu, muhafaza edilen ürünlerin net bir şekilde görünmesiyle birlikte daha güzel bir sunumun elde edilmesi sağlar.

Ancak aydınlatma, enerji tüketimi açısından dikkat edilmesi gereken bir unsurdur. Günümüzde geleneksel akkor veya floresan lambalar, yerini LED teknolojisi gibi enerji verimliliği yüksek aydınlatma sistemlerine bırakmıştır. Bu sayede hem enerji tasarrufu sağlanmakta hem de aydınlatma kalitesi artırılmaktadır. Doğru seçilen bir aydınlatma sistemi, işletme maliyetlerini azaltırken çevresel sürdürülebilirliğe de katkıda bulunur.



Şekil 2. 400 litre bir ticari soğutucunun aydınlatma ve soğutma sisteminin enerji tüketimi.

Şekil 2'de yaklaşık 400 litre hacme sahip bir üründe 40W'lık aydınlatma talebinin, deneysel olarak elde edilen günlük enerji tüketimi üzerindeki dağılımı gösterilmektedir. C enerji sınıfına sahip bu üründe aydınlatma tüketimi toplam enerji tüketiminin yaklaşık %60'ını oluşturmaktadır.

Kullanıcı talebine göre ürüne dahil edilen aydınlatmanın enerji tüketimindeki payının soğutma sisteminden daha fazla olması ticari tip buzdolabı üreticilerini bu alanda inovatif çözümler geliştirmeye teşvik etmiştir. Enerji tasarruflu LED'ler kullanılarak doğru aydınlatma açıları ile homojen ve etkili bir aydınlatma sağlanabilir. LED'lerin çip yapısı, lümen değeri, renk sıcaklığı ve enerji tüketimi gibi özellikleri tasarımın genel etkinliğini doğrudan etkiler [10]. Bu amaçla yüksek performanslı LED çipleri sayesinde soğutucu bölmelerinde eşit ışık dağılımı ve optimum enerji tüketimi sağlanabilir. Bununla birlikte, doğru ışık yansıma açıları ve gelişmiş difüzörlerle birleştiğinde ürünlerin görsel güzelliğini artırırken enerji verimliliğinde de önemli iyileştirmeler sağlandığını göstermektedir [11].

4.2. Yalıtım

Ticari tip buzdolaplarında transmisyon yükü, soğutucunun iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkından kaynaklanan enerji kaybını ifade eder. Bu yük, özellikle cam ve poliüretan (PU) gibi farklı malzemelerin kullanıldığı yalıtım yapılarında kritik bir öneme sahiptir. Transmisyon yükünün doğru hesaplanarak verimli bir yalıtım tasarımının sağlanması, enerji maliyetlerini düşürmek ve cihazın performansını artırmak için temel gerekliliklerden biridir. Transmisyon yükü aşağıdaki formül ile hesaplanabilir.

$$\dot{Q} = U \times A \times \Delta T \quad (W) \quad (5)$$

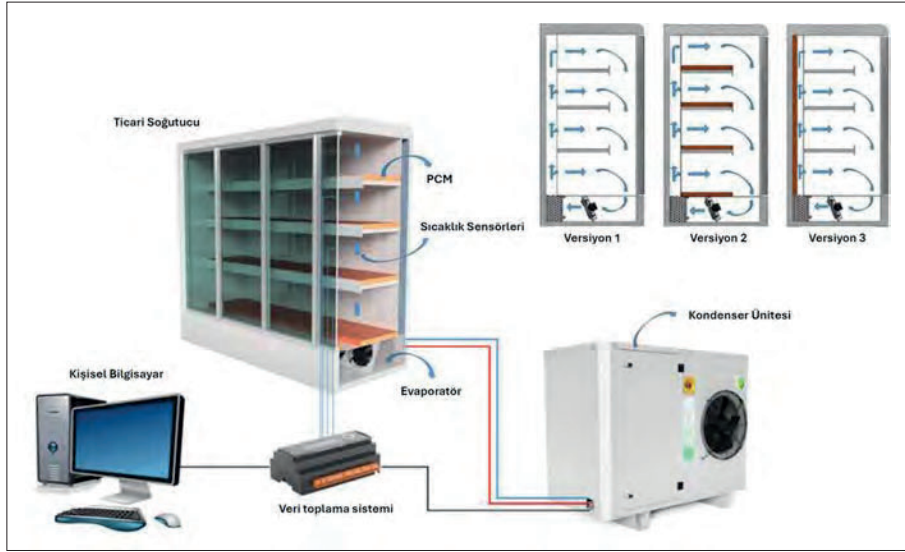
Bu denklemde U, soğutulan hacim ile çevre arasındaki toplam ısı transfer katsayısını, A soğutulan hacmin toplam ısı transfer alanı ve ΔT ise iç ve dış ortam sıcaklık farkını ifade eder.

Genel yalıtım uygulamaları, enerji verimliliğini artırmak için bütünsel bir yaklaşımı içerir. Bu uygulamalar, yalıtım kalınlığının optimize edilmesi, düşük ısı iletim katsayısına (k) sahip malzemelerin seçilmesi ve cam yüzeylerin enerji kaybını azaltacak şekilde tasarlanmasını kapsar. Cam, ticari tip soğutucularda sıklıkla vitrini oluşturmak için kullanılır, ancak poliüretana kıyasla daha fazla transmisyon yüküne neden olur. Bu durum, cam yüzeylerin yalıtımı için →

özel çözümler gerektirir. Camın enerji verimliliği üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için genellikle low-e kaplamalar, çift camlı sistemler veya argon gazı dolgululu camlar tercih edilir.

Poliüretan düşük ısı iletkenliği ve kolay uygulanabilirliği nedeniyle ticari tip buzdolaplarında yaygın olarak tercih edilen bir yalıtım malzemesidir. Gelişmiş yalıtım teknolojileri arasında VIP (Vakum İzolasyon Paneli) önemli bir konuma sahiptir. VIP çok düşük ısı iletkenliğine sahip olması sayesinde poliüretan ile karşılaştırıldığında transmisyon kayıplarını minimuma indirir. Kullanıldığında ticari tip soğutucularda kullanılabilir hacmi artırırken enerji tüketimini düşürerek cihazın enerji sınıfını iyileştirebilir. Ancak, VIP'in maliyetinin yüksek olması ve tasarımda dikkatli bir entegrasyon gerektirmesi, yaygın kullanımını sınırlayan faktörlerdir.

Faz değişim malzemeleri (PCM), enerji depolama yeteneğine sahip malzemelerdir. Bu özellikleri sayesinde PCM'ler ticari soğutucularda enerji verimliliğini artırmak ve sıcaklık kontrolünü iyileştirmek için öne çıkmaktadır. Beek ve Jong, [12] gerçekleştirdiği deneysel çalışmada, ticari bir soğutucunun arka kanalına uygulanan PCM'in enerji tüketimi üzerindeki etkisini incelemiştir. Sonuçlar, PCM uygulamasının soğutucunun enerji tüketiminde %10'a kadar azalma sağladığını göstermiştir. Yılmaz ve ark., [13] PCM'nin raflara yerleştirilmesinin kabin içi sıcaklık dağılımını daha homojen hale getirdiği ve belirli sıcaklık seviyelerini korumada daha etkili olduğu sonucuna ulaşmıştır (Şekil 3). Raflardaki PCM kullanımı, enerji tüketiminde %4,4'lük bir azalma sağlarken, arka tarafta kullanılan PCM'nin enerji tüketimini %8 artırdığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte PCM'lerin üretim ve entegrasyon maliyetleri yüksektir ve uzun süreli kullanımda kullanılan malzemeye göre kimyasal stabilite sorunları ve performans kayıpları görülebilmektedir.



Şekil 3. Raf ve arka yüzeyde PCM kullanımı [13].

Ticari buzdolaplarında cam yüzeylerde yoğuşmayı önlemek için genellikle kapı rezistansları kullanılır, ancak bu rezistanslar yüksek enerji tüketimine neden olur. Anti-fog (buhar önleyici) kaplamalar, cam yüzeyinde yoğuşmayı fiziksel veya kimyasal olarak engelleyen özel bir kaplama içerir ve ek enerji tüketimi gerektirmez. Genellikle hidrofobik (su itici) veya hidrofilik (su yayılımını artıran) özellik gösterebilirler. Hidrofobik kaplamalar, suyun küçük damlacıklar yerine cam yüzeyinde ince bir film halinde yayılmasını sağlayarak görüşün net kalmasını sağlar. Hidrofilik kaplamalar ise suyun daha homojen bir şekilde

dağılmasını sağlayarak buğu oluşumunu engeller. Bununla birlikte, bu kaplamalar zamanla etkinliğini kaybedebilir ve yüksek nemli ortamlarda tek başına yeterli olmayabilir. Bu nedenle, kaplama ve rezistans kombinasyonları veya ortam koşullarına göre optimize edilmiş çözümler tercih edilmelidir.

Bahar ve ark., [14], endüstriyel tip R290 soğutucu akışkan kullanan 3 kapılı dikey derin dondurucuların enerji verimliliğini artırmak amacıyla kapı camlarında rezistans kullanmak yerine anti-fog kaplamaya sahip camları test etmiştir. Mevcut ürün E enerji sınıfına

sahipken; rezistanslı cam kapıya göre anti-fog kaplamanın günlük enerji tüketiminde 9 kWh enerji tasarrufu sağladığı, bu sayede test edilen ticari soğutucunun D enerji sınıfına ulaştığı sonucuna varılmıştır.

4.3. Kontrol

Enerji optimizasyonu, modern buzdolabı sistemlerinde enerji tüketimini azaltmak ve verimliliği artırmak için kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, kompresör, rezistans, genişleme valfi, fan ve aydınlatma kontrolü gibi bileşenlerin optimize edilmesi, enerji tasarrufu sağlama noktasında önemli fırsatlar sunmaktadır.

Ticari tip buzdolaplarında enerji yönetim cihazları (energy management device EMD) dolabın çalışma koşullarını optimize ederek gereksiz enerji tüketimini önler, sıcaklık dalgalanmalarını minimize eder ve soğutma sisteminin uzun ömürlü olmasını sağlar. Özellikle yoğun kullanım alanlarında, doğru yapılandırılmış bir EMD sayesinde kompresör, fan ve aydınlatma çalışma süreleri daha verimli yönetilir, böylece hem enerji tasarrufu sağlanır hem de ürünlerin saklama koşulları iyileştirilir. Günümüzde artan sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda, ticari buzdolaplarında EMD kullanımı yalnızca bir seçenek değil, aynı zamanda bir gereklilik haline gelmiştir. Bu noktada elektronik kartın kompresör, fan ve aydınlatma ekipmanlarıyla uyumlu bir yazılıma sahip olması ve soğutucunun ihtiyaçlarına göre hem enerji tüketiminde hem de performans değerlerinde optimum sonuçları sunması büyük önem taşımaktadır.

Değişken kapasiteli kompresörler, enerji verimliliğini artırarak ve sistem performansını iyileştirerek geleneksel tek devirli kompresörlere kıyasla önemli avantajlar sunmaktadır. Bu kompresörler, enerji tüketimini azaltırken daha kararlı ve güvenilir bir performans sağlar, bu da onları modern soğutma sistemleri için cazip bir seçenek haline getirir [15, 16].

Kontrol algoritmalarının gelişimi, değişken kapasiteli (inverter) kompresörlerin verimli çalışmasını sağlamak için kritik bir faktördür. Geleneksel sabit devirli kompresörler, belirlenen sıcaklık eşiklerinde tam kapasiteyle çalışarak enerji dalgalanmalarına neden olurken, değişken kapasiteli kompresörler yük talebine bağlı olarak çalışma hızlarını ayarlayarak enerji tüketimini optimize edebilmektedir. Belman-Flores ve ark., [17] çalışmasında, kapı açılma sıklığı ve süresine göre geliştirilen bulanık mantık kontrol

sistemi sayesinde kompresör hızını kontrol ederek enerji tüketiminde %3 oranında tasarruf sağlamıştır.

4.4. Isı Değiştiricileri

Buzdolaplarında ısı değiştiricileri, soğutma çevrimi içinde soğutucu akışkanın ısı alışverişini sağlayan önemli bileşenlerdir. Temel olarak, bu sistemlerde evaporatör ve kondanser olmak üzere iki ana ısı değiştiricisi bulunur. Evaporatör, soğutucu akışkanın buharlaşarak ortamdaki ısı çektiği bileşendir ve buzdolabının iç kısmında yer alır. Kondanser ise soğutucu akışkanın yoğunlaşarak dış ortama ısı aktardığı bileşendir ve genellikle cihazın arkasında veya altında bulunur. Isı değiştiricilerinin tasarımı ve etkinliği, enerji tüketimi ve soğutma performansı açısından büyük önem taşır [18].

Geleneksel olarak kullanılan boru-kanat tipi değiştiriciler, bakır veya alüminyum boruların etrafına yerleştirilmiş kanatçıklar ile ısı transferini artıran yapıya sahiptir. Ancak son yıllarda mikrokanal ısı değiştiricileri (MCHE) daha yaygın hale gelmiştir. Mikrokanal değiştiriciler, küçük çaplı kanallar sayesinde daha büyük bir yüzey alanına sahip olup ısı transferini artırırken soğutucu akışkan miktarını azaltarak çevresel etkileri de minimize eder. Bu değiştiriciler özellikle enerji tüketimini azaltma ve kompakt tasarım avantajı sunma verimli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır [19].

Mikrokanallarda akışın gerçekleştiği kanalda hidrolik çap azaldıkça, büyük kesit alanlı kanallara göre farklı bir akış rejimi ve ısı transfer mekanizması ortaya çıkmaktadır. Mikro/dikey kanallarda akış sırasında kapiler etkiler baskın hale gelirken kaldırma kuvvetleri etkisini kaybeder. Başka bir deyişle, kanal boyutu küçüldükçe, yerçekimine göre yüzey geriliminin önemi artar. Bu nedenle, yerçekimi ve atalet kuvvetlerinin baskın olduğu büyük kanallar için geliştirilen yoğunlaşma ve buharlaşma modelleri mikro/mini kanallara uygulanamaz [20, 21]. Bu sebeple mikrokanal çalışmalarda sistem ihtiyaçlarının doğru bir şekilde belirlenip kanal içindeki akış rejimi ve basınç düşümü hesaplanarak tasarlanması önem teşkil etmektedir.

5. GELECEK UYGULAMALAR

Gelecek on yıl içinde ticari buzdolaplarında verimlilik uygulamalarında büyük bir dönüşüm beklenmektedir. Bu dönüşüm, enerji verimliliği, çevresel sürdürülebilirlik ve kullanıcı deneyimlerini

iyileştirme hedeflerine odaklanacaktır. Teknolojik ilerlemeler sayesinde, gelecekte buzdolapları sadece enerji tasarrufu sağlamakla kalmayacak, aynı zamanda operasyonel verimlilikte de büyük bir artış gösterecektir. Bu gelişmelerin, 4. bölümde ele alınan aydınlatma, kontrol sistemleri, yalıtım teknolojileri ve ısı değiştiricileri gibi ana başlıklar çerçevesinde şekillenmesi öngörülmektedir.

Gelecek perspektifi açısından, soğutucu teknolojisinde IoT (Nesnelerin İnterneti) ve yapay zeka (AI) entegrasyonu önemli bir rol oynayacaktır. Bu tür akıllı sistemler, gerçek zamanlı veri analizi ile enerji tüketimini optimize edebilir, arıza tahminlerinde bulunabilir ve bakım maliyetlerini azaltabilir. Ticari soğutucularda enerji tüketimini optimize etmek için son yıllarda yapay zeka destekli akıllı kontrol sistemleri yaygınlaşmıştır. Bu sistemler, sıcaklık sensörleri ve veri analitiği kullanarak soğutucunun gerçek zamanlı enerji tüketimini yönetmekte ve gereksiz enerji kayıplarını minimize etmektedir [22]. Aynı zamanda, IoT (Nesnelerin İnterneti) entegrasyonu sayesinde buzdolaplarının uzaktan izlenmesi ve optimize edilmesi mümkün hale gelmiştir [23]. Bu teknolojilerin entegrasyonu, LED aydınlatma sistemlerini daha verimli ve dinamik hale getirerek aydınlatmanın sadece görsel değil, aynı zamanda operasyonel verimlilik açısından da önemli bir araç haline gelmesini sağlayacaktır. IoT sensörleri sayesinde, aydınlatma yalnızca gerekli olduğunda açılacak şekilde LED ışıklar, buzdolabının içindeki ürünlerin daha iyi görünmesi için akıllıca ayarlanabilir. Bununla birlikte, AI destekli sistemler, kullanıcı alışkanlıklarını analiz ederek, aydınlatma seviyelerini optimize etme ve böylece enerji tüketimini azaltma imkanlarını sunabilmektedir. Ayrıca, LED'lerin ömrü ve arıza durumu izlenebilir, böylece bakım süreleri minimize edilip sistemin verimliliği sürekli olarak iyileştirilebilir.

Transmisyon yükünün en fazla meydana geldiği cam kapılarda sağlanacak verimlilik, inovasyon çalışmalarının odak noktalarından biridir. Vakumlu İzolasyonlu Cam (VIG), iki cam tabakası arasındaki hava veya gazın vakumlanarak oluşturulan bir yalıtım teknolojisidir. Bu yapı, geleneksel çift camlara kıyasla çok daha düşük ısı iletkenliği sağlar. Baetens ve ark. [24] çalışmasında önerilen haliyle, VIG cam, ısı kaybını minimize etmek için düşük emisyonlu (low-E) kaplamalarla kombine edilebilir ve bu sayede yüksek enerji verimliliği sunabilir. Standart çift cam sistemlerinde ısı transferi, iletim ve konveksiyon

yoluyla gerçekleşirken, VIG camda vakum ortamı sayesinde konveksiyon tamamen engellenir ve iletim önemli ölçüde azalır [25]. Ayrıca, VIG camın ince yapısı, yalıtım performansını artırırken ağırlığını ve yer kaplama oranını düşürür, bu da özellikle ticari buzdolaplarında ve enerji verimli binalarda kullanımını cazip hale getirmektedir [26]. Tüm bu özellikleriyle VIG cam, enerji tasarrufu, karbon emisyonunun azaltılması ve uzun ömürlülük açısından standart camlara göre üstünlük sağlamaktadır. VIG cam teknolojisi, mevcut üretim süreçleri açısından sınırlı uygulanabilirliğe sahip olsa da, AR-GE ve deneysel çalışmalarla gelişimini devam ettirmektedir. Maliyetlerin uygun seviyelere indirilmesi durumunda, gelecekte yaygın olarak kullanılma potansiyeline sahip olacaktır.

Geleneksel buzdolaplarında soğutma, buhar sıkıştırma çevrimle sağlanırken, alternatif soğutma teknolojileri, enerji verimliliğini artırma ve çevresel etkiyi azaltma potansiyeliyle giderek daha fazla ilgi çekmektedir. Bu bağlamda, barokalorik ve manyetik soğutma sistemleri, soğutucularda gelecekte önemli bir dönüşüm yaratma potansiyeline sahiptir. Geleneksel soğutucu akışkanlara ihtiyaç duymadan çalışan bu sistemler, daha düşük enerji tüketimi ve çevre dostu yapılarıyla sürdürülebilir soğutma teknolojileri arasında öne çıkmaktadır. Bu teknolojiler henüz ticari uygulamalar açısından erken aşamada olsa da, son yıllarda yapılan araştırmalar, verimliliklerinin artırılması ve maliyetlerinin düşürülmesi yönünde önemli ilerlemeler kaydetmiştir.

Barocaloric etki, bir malzemenin üzerine uygulanan basıncın değişmesiyle entropi ve sıcaklık değişikliklerinin ortaya çıkması olarak tanımlanır ve bu etki, enerji verimli soğutma teknolojileri için yeni bir fırsat sunar. Özellikle elastomerler ve faz geçiş malzemeleri gibi barocaloric özelliklere sahip materyaller, çevre dostu ve yüksek verimli alternatifler olarak dikkat çeker. Ayrıca, basınç kontrollü soğutma mekanizmaları daha sessiz, kompakt ve düşük bakım gerektiren tasarımlara olanak tanıyabilir [27-29]. Bununla birlikte, bazı sınırlamaları nedeniyle ticari uygulamalarda yaygınlaşması kısıtlanmaktadır. Bu sınırlamalar arasında, yüksek basınç gereksinimi, yüksek maliyet ve malzeme yorgunluğu önemli rol oynamaktadır [30].

Manyetik soğutma, manyetokalorik etkiyi kullanarak soğutma sağlayan çevre dostu bir teknolojidir. Bu yöntemde, belirli manyetik malzemeler bir manyetik alan içine alındığında ısınır ve alan kaldırıldığında soğur, böylece etkin bir soğutma döngüsü oluşturur →

[31]. Ayrıca, daha sessiz ve uzun ömürlü bir soğutma sistemi sunma potansiyeline sahiptir. Ancak, manyetik soğutucuların ticari buzdolaplarında yaygın kullanımı bazı önemli kısıtlamalarla karşı karşıyadır. Öncelikle, bu sistemlerde kullanılan manyetokalorik malzemelerin pahalı olması ve yüksek manyetik alan gereksinimi maliyetleri artırmaktadır [32]. Ayrıca, geleneksel buzdolaplarına kıyasla henüz ticari olarak rekabet edebilecek düzeyde yeterli soğutma gücüne ve verimliliğe ulaşamamıştır [33]. Bu nedenle, teknolojinin yaygınlaşması için malzeme bilimi ve mühendislik alanlarında daha fazla gelişme gerekmektedir.

Son zamanlarda, termoelektrik (TE) cihazlar, farklı soğutma ve ısıtma uygulamaları için umut verici bir teknoloji olarak kabul edilmektedir [34]. TE cihazları, Peltier etkisi ile elektriği ısıya veya Seebeck etkisini kullanarak ısıyı elektriğe dönüştürebilir. DC voltajı uygulandığında, TE cihazları soğutma uygulamalarında Peltier etkisi ile ısıyı bir taraftan diğer tarafa aktarabilir ve soğutma üretimi TE cihazının bir tarafında gerçekleşir. TE cihazları, mekanik hareketli parçaların olmaması, yüksek güvenilirlik, bakım gerektirmemesi, kompakt boyut, hafiflik, uzun ömür, sessiz ve titreşimsiz çalışma, ayrıca sıcaklık kontrolünün kolaylığı gibi dikkate değer avantajlara sahiptir. Bu avantajlar nedeniyle, taşınabilir ve küçük kapasiteli buzdolapları, araba koltukları, fotovoltai ekipmanlar ve elektronik ve çip soğutma gibi uygulamalar, termoelektrik soğutucuların yaygın uygulama alanlarıdır [34]. Bu kapsamda değerlendirildiğinde, TE cihazların avantajlarının ticari soğutuculara aktarılması muhtemeldir. Diğer yandan, TE cihazlarının etkinlik tesir katsayısı (Coefficient of Performance-COP) değerleri oldukça düşük, imalatları zor ve maliyetlidir. Düşük soğutma performansına ve yüksek maliyete sahip olmaları, TE cihazların kullanımını kısıtlamaktadır. Soğutma performansı ve maliyet konusunda yapılacak iyileştirmeler ile özellikle küçük kapasiteli ticari soğutucularda TE cihazların kullanımı yaygınlaşabilir.

Soğutucu sistemlerdeki bu potansiyel iyileştirmeler buzdolaplarının karbon ayak izini azaltarak sürdürülebilirlik hedeflerine önemli katkılar sağlayabilir. Endüstride bu yeni teknolojilere yönelik AR-GE yatırımlarının artırılması, ticari tip dolaplarda çevreci ve yüksek verimli soğutma çözümlerine geçişi hızlandıracaktır.

6. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, ticari buzdolaplarında enerji

verimliliğini artırmaya yönelik mevcut uygulamalar ve gelecekte öne çıkması beklenen teknolojiler değerlendirilmiştir. Mevcut sistemlerde enerji tüketimini düşürmek için aydınlatma, yalıtım, kontrol sistemleri ve ısı değiştiricileri gibi farklı bileşenlerde yapılan yeniliklerin etkileri analiz edilmiştir.

■LED aydınlatmaların doğru kullanımı, değişken kapasiteli kompresörler, gelişmiş yalıtım malzemeleri ve enerji yönetim cihazları (EMD) gibi teknolojiler sayesinde ticari buzdolaplarında enerji yönetiminin daha etkin hale geldiği görülmüştür. Ayrıca, mikrokanal ısı değiştiricileri gibi yenilikçi çözümler, ısı transfer verimliliğini artırarak soğutma sistemlerinin performansını iyileştirmektedir.

■Geleceğe yönelik olarak, IoT tabanlı akıllı sistemlerin yaygınlaşması, vakumlu izolasyon teknolojilerinin geliştirilmesi ve alternatif soğutma yöntemlerinin ticari uygulamalarda kullanılabilir hale gelmesi beklenmektedir. Manyetik soğutma, barokalorik soğutma ve termoelektrik sistemler gibi geleneksel buhar sıkıştırırmalı çevrime alternatif oluşturabilecek çevre dostu teknolojiler, enerji tüketimini daha da azaltma potansiyeline sahiptir.

■Sonuç olarak, ticari buzdolaplarında enerji verimliliğini artırmaya yönelik mevcut çözümler önemli kazanımlar sağlarken, yeni nesil teknolojilerin yaygınlaşmasıyla birlikte daha sürdürülebilir ve düşük maliyetli soğutma sistemlerine geçişin hızlanacağı öngörülmektedir. Sektördeki ilerlemelerin devam edebilmesi için yeni teknolojilerin geliştirilmesine yönelik AR-GE faaliyetlerine öncelik verilmesi gerekmektedir.

AÇIKLAMA

Bu çalışmanın hazırlanmasında Consensus ve ChatGPT araçları yardımcı olarak kullanılmıştır. Yapay zekanın katkıları, literatür taraması ve metin düzenlemesi ile sınırlı olup, çalışmanın bilimsel içeriği ve sonuçları tamamen yazarlar tarafından oluşturulmuş ve doğrulanmıştır.

KAYNAKLAR

[1] XUE, M., KOJIMA, N., MACHIMURA, T., & TOKAI, A., "Flow, stock, and impact assessment of refrigerants in the Japanese household air conditioner sector", Science of the Total Environment, 586, 1308-1315, 2017.

- [2] AB F-Gaz Regülasyonu 517/2014, "Regulation (EU) No 517/2014 of the European Parliament and of the Council of 16 April 2014 on Fluorinated Greenhouse Gases and Repealing Regulation (EC) No 842/2006", the Official Journal of the European Union 2014, 2014, L150/195-230.
- [3] DENEEN, M. A., GROSS, A. C., "The Global Commercial Refrigeration Equipment Market", *Business Economics*, 37(1), 2002.
- [4] TS EN ISO 22044, "Ticari İçecek Soğutucuları Sınıflandırma, Gereklilikler ve Test Koşulları", Türk Standartları Enstitüsü, 2021.
- [5] REGULATION (EU) 2019/2018, "Supplementing Regulation (EU) 2017/1369 of the European Parliament and of the Council with regard to energy labelling of refrigerating appliances with a direct sales function".
- [6] REGULATION (EU) 2019/2024, "Laying down eco-design requirements for refrigerating appliances with a direct sales function pursuant to Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council".
- [7] TAGLIAPIETRA, S., ZACHMANN, G., EDENHOFER, O., GLACHANT, J. M., LINARES, P., LOESCHEL, A., "The European union energy transition: Key priorities for the next five years", *Energy Policy*, 132, 950-954, 2019.
- [8] TS EN ISO 22043, "Dondurma dondurucuları -Sınıflandırma, gereklilikler ve test koşulları", Türk Standartları Enstitüsü, 2021.
- [9] TS EN ISO 23953, "Soğutuculu teşhir dolapları-Sınıflandırma, kurallar ve deney şartları", Türk Standartları Enstitüsü, 2024.
- [10] YANG, M., YU, X., YANG, M., YU, X., "Energy-efficient Technologies", *Energy Efficiency: Benefits for Environment and Society*, 113-126, 2015.
- [11] MAO, P., LIU, C., LI, X., LIU, M., CHEN, Q., HAN, M., MAIER, S., SARGENT, E., ZHANG, S., "Single-step-fabricated disordered metasurfaces for enhanced light extraction from LEDs" *Light, Science & Applications*, 10, 2021.
- [12] BEEK, M. V., JONG, H. D., "Reducing display bottle cooler energy consumption using PCM as active thermal storage", 2014.
- [13] YILMAZ, D., MANCUHAN, E., & YILMAZ, B., "Experimental investigation of PCM location in a commercial display cabinet cooled by a transcritical CO2 system", *International Journal of Refrigeration*, 120, 396-405, 2020.
- [14] BAHAR, E. M., ERTEN, S., AKTAŞ, M., "An Experimental Study Towards Decreasing the Energy Efficiency Index Value in Industrial Refrigerators", *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 9(3), 432-445, 2021.
- [15] DE CARVALHO, B. Y. K., MELO, C., PEREIRA, R. H., "An experimental study on the use of variable capacity two-stage compressors in transcritical carbon dioxide light commercial refrigerating systems" *International Journal of Refrigeration*, 106, 604-615, 2019.
- [16] ZHU, Z., LIANG, K., LI, Z., JIANG, H., MENG, Z., "Thermal-economic-environmental analysis on household refrigerator using a variable displacement compressor and low-GWP refrigerants", *International Journal of Refrigeration*, 123, 189-197, 2021.
- [17] BELMAN-FLORES, J. M., LEDESMA, S., RODRIGUEZ-VALDERRAMA, D. A., HERNANDEZ-FUSILIER, D. "Energy optimization of a domestic refrigerator controlled by a fuzzy logic system using the status of the door", *International Journal of Refrigeration*, 104, 1-8, 2019.
- [18] CENGEL, Y. A., BOLES, M. A., "Thermodynamics: an engineering approach (edition 8)", New York: McGraw-hill, 2014.
- [19] KANDLIKAR, S., GARIMELLA, S., LI, D., COLIN, S., KING, M. R., "Heat transfer and fluid flow in minichannels and microchannels". Elsevier, 2005.
- [20] KANDLIKAR, S. G., COLIN, S., PELES, Y., GARIMELLA, S., PEASE, R. F., BRANDNER, J. J., TUCKERMAN, D. B., "Heat transfer in microchannels-2012 status and research needs". *Journal of Heat Transfer*, 135(9), 091001, 2013.
- [21] BASARAN, A., BENİM, A. C., "Condensation Flow of Refrigerants Inside Mini and Microchannels: A Review". *Applied Sciences*, 14, 2024.
- [22] PEREZ-GOMARİZ, M., LÔPEZ-GÔMEZ, A., & CERDAN-CARTAGENA, F., "Artificial neural networks as artificial intelligence technique for energy saving in refrigeration systems-A review", *Clean Technologies*, 5(1), 116-136, 2023.
- [23] CAI, S., "Research on Intelligent Refrigerator Control based on Artificial Intelligence Algorithm", *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 35, 12-16, 2023.
- [24] BAETENS, R., JELLE, B. P., THUE, J. V., TENPIERIK, M. J., GRYNNING, S., UVSLOKK, S., GUSTAVSEN, A., "Vacuum insulation panels for building applications: A review and beyond". *Energy and Buildings*, 42(2), 147-172, 2010.
- [25] KOWALCZYK, I., KOZANECKI, D., KRASON, S., RABENDA, M., DOMAGALSKI, t., WIROWSKI, A., "Numerical Analysis, Optimization, and Multi-Criteria Design of Vacuum Insulated Glass Composite Panels", *Materials*, 16(13), 4722, 2023.
- [26] KOEBEL, M., RIGACCI, A., ACHARD, P., "Aerogel-based thermal superinsulation: An overview", *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 63, 315-339, 2012.



- [27] APREA, C., GRECO, A., MAIORINO, A., & MASSELLI, C. (2020). The use of barocaloric effect for energy saving in a domestic refrigerator with ethylene-glycol based nanofluids: A numerical analysis and a comparison with a vapor compression cooler. *Energy*, 190, 116404.
- [28] DE OLIVEIRA, N. A., "Barocaloric effect and the pressure induced solid state refrigerator", *Journal of Applied Physics*, 109(5), 2011.
- [29] MANOSA, L., PLANES, A., "Advanced materials for solid-state refrigeration", *Journal of Materials Chemistry A*, 2017.
- [30] BOM, N. M., IMAMURA, W., USUDA, E. O., PAIXAO, L. S., CARVALHO, A. M. G., "Giant barocaloric effects in natural rubber: a relevant step toward solid-state cooling", *ACS Macro Lett* 7: 31-36, 2018.
- [31] EGOLF, P. W., KITANOVSKI, A., VUARNOS, D., DIEBOLD, M., BESSON, C., "An introduction to magnetic refrigeration". In *Proceedings of 22nd International Congress of Refrigeration 2007*, 21-26 August 2007, Beijing, China. 21-26 August 2007.
- [32] BELTRAN-LOPEZ, J. F., PALACIOS, E., VELAZQUEZ, D., & BURRIEL, R., "Design and optimization of a magnet for magnetocaloric refrigeration". *Journal of Applied Physics*, 126(16), 2019.
- [33] APREA, C., GRECO, A., MAIORINO, A., "Magnetic refrigeration: a promising new technology for energy saving" *International Journal of Ambient Energy*, 37(3), 294-313, 2016.
- [34] BASARAN, A., "Experimental investigation of R600a as a low GWP substitute to R134a in the closed-loop two-phase thermosyphon of the mini thermoelectric refrigerator", *Applied Thermal Engineering*, 211, 118501, 2022. ■

ÖZGEÇMİŞ

Halil Doğan KOCA

1992 yılı Yalova doğumludur. 2014 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2016 yılında Yüksek Mühendis ve 2023 yılında Doktor ünvanını almıştır. Şu anda Klimasan Klima Sanayi ve Ticaret A.Ş.'nde AR-GE Laboratuvar ve Sistem Tasarım Şefi ünvanı ile görev yapmaktadır. Bilimsel çalışmaları, soğutma sistemleri, nanoakışkanlar, polimer nanokompozitler ve ısı karakterizasyon yöntemleri konularında çalışmaktadır.

Egemen BİÇEN

1987 yılı Muğla doğumludur. 2009 yılında Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2021 yılında Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. 2023 yılından beri Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünde Doktora eğitimine devam etmektedir. Şu anda Klimasan Klima Sanayi ve Ticaret A.Ş.'de AR-GE Soğutma Tasarım Müdürü ünvanı ile görev yapmaktadır.

Anıl BAŞARAN

1989 yılı İzmir doğumludur. 2009 yılında Manisa Celal Bayar Üniversitesi (MCBÜ) Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2009 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makina Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başlamıştır. 2020 yılında Manisa Celal Bayar Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden doktora derecesi almıştır. 2011-2021 yılları arasında Araştırma Görevlisi, 2021-2024 yılları arasında Dr. öğretim Üyesi olarak görev yapmıştır. 2024 Ocak ayından itibaren Doçent olarak görev yapmaktadır. Doç. Dr. Anıl BAŞARAN, 2018-2019 yılları arasında Duesseldorf University of Applied Sciences-Center of Flow Simulation Almanya'da ziyaretçi araştırmacı olarak görev almıştır. Bilimsel çalışmaları, mikrokanal içi soğutkan akışları ve ısı sistemlerinin enerji-ekserji analizleri üzerinedir. Ayrıca gıda makinelerinin enerji, ekserji, ekonomik ve çevresel etkileri üzerine disiplinler arası çalışmaları bulunmaktadır. 2 adet tescillenmiş uluslararası, 4 adet tescillenmiş ulusal ve 2 adet başvuru aşamasında olan toplam 8 patent buluşçusudur. Kendisi aynı zamanda 2021 yılından beri MCBÜ Üniversite-Sanayi İş Birliği ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (ÜSİTEM) Müdür Yardımcılığı ve MCBÜ İstihdam ve Kariyer Koordinatörlüğü (İKA) Koordinatör Yardımcılığı görevini yürütmektedir. 2023 yılında kurucu ortak olarak mikrokanal ısı değiştiriciler üzerine faaliyette bulunan SMEFF Makina Sanayi Tic. A.Ş.'yi kurmuştur. 2024 Mart ayından beri Manisa Teknokent Teknoloji Transfer Ofisi (TTO) A.Ş. Genel Müdür Yardımcısı görevini ayrıca yürütmektedir.

Abdullah YILMAZ

1981 yılı Manisa doğumludur. 2007 yılında Pamukkale Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Şu anda Klimasan Klima Sanayi ve Ticaret A.Ş.'nde AR-GE Kıdemli Müdürü ünvanı ile görev yapmaktadır.