

Teşhir Tipi Soğutucular İçin Yenilikçi Kapı Tasarımı ve Performansa Etkisinin DeneySEL Araştırılması

Fatma Nur ERDOĞMUŞ^{1*}, Sedanur BİLGİN¹, Sümeyra İBİŞ¹, Leyziva AYDEMİRLİ²

¹ Nurdil Teknik Soğutma A.Ş.

² Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 14/02/2025
Düzeltilme: 14/04/2025
Kabul: 22/04/2025

Anahtar Kelimeler

Enerji Verimliliği
Endüstriyel Soğutma
CO₂ Soğutucu
Akışkan
Teşhir Tipi Soğutucu

Article Info

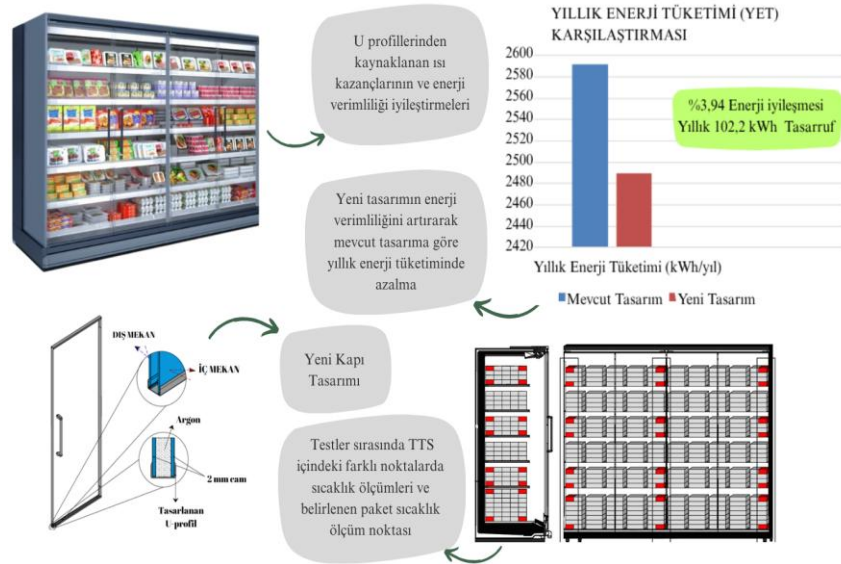
Research article
Received: 14/02/2025
Revision: 17/04/2025
Accepted: 22/04/2025

Keywords

Energy Efficiency
Industrial
Refrigeration
CO₂ Refrigerant
Refrigerated Display
Cabinet

Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Bu çalışma, teşhir tipi soğutucularda (TTS) enerji verimliliğini artırmak amacıyla geliştirilen plastik U-profil ve argon gazı içeren kapı tasarımını ve performansını değerlendirmektedir. / This study evaluates the performance of a newly developed door design for refrigerated display cabinets (RDCs), incorporating a plastic U-profile and argon gas to improve energy efficiency.



Şekil A: Grafik özet / Figure A: Graphical abstract

Önemli noktalar (Highlights)

- TTS kapılarında plastik U-profil ve argon gazı içeren yeni bir tasarım geliştirildi. / A new door design using a plastic U-profile and argon gas was developed for RDCs
- Yeni tasarım, TS EN ISO 23953-2:2024 standardına göre test edildi. / The design was tested according to the TS EN ISO 23953-2:2024 standard.
- Enerji tüketimi %3,94 oranında azaltıldı, üretim süresi %65,66 kısaltıldı ve malzeme maliyeti %1,3 oranında düşürüldü. / Energy consumption was reduced by 3,94%, production time was shortened by 65,66%, and material cost was decreased by 1,3%.

Amaç (Aim): TTS kapılarındaki ısı kazançlarını azaltarak enerji verimliliğini artırmak amacıyla yeni bir kapı tasarımı geliştirilmiştir. / A new door design was developed to reduce heat gains in RDC doors and improve energy efficiency

Özgünlük (Originality): Plastik U-profil ve argon gazının birlikte kullanıldığı bütünsel kapı tasarımı, bu çalışmada deneysel olarak test edilmiştir. / This study presents the first experimental evaluation of an integrated door design using both plastic U-profiles and argon gas.

Bulgular (Results): Yeni tasarım, %30,26 daha iyi ısı yalıtımı sağladı. Enerji tüketimi azaldı, iç ortam sıcaklık dağılımı iyileşti, üretim süresi kısaltıldı. Aynı zamanda ürünlerin daha kararlı koşullarda muhafaza edildiği belirlendi. / The new design achieved 30,26% better thermal insulation. Energy consumption decreased, temperature distribution improved, and production time was shortened. Products were also stored under more stable temperature conditions.

Sonuç (Conclusion): Tasarım, enerji ve maliyet verimliliği sunarak çevre dostu ve rekabetçi bir çözüm sağlamaktadır. / The design offers an environmentally friendly and cost-effective solution by improving energy and operational efficiency.



Teşhir Tipi Soğutucular İçin Yenilikçi Kapı Tasarımı ve Performansa Etkisinin Deneysel Araştırılması

Fatma Nur ERDOĞMUŞ^{1*} , Sedanur BİLGİN¹ , Sümeyra İBİŞ¹ , Leyziva AYDEMİRLİ²

¹ Nurdil Teknik Soğutma A.Ş.

² Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 14/02/2025
Düzeltilme: 14/04/2025
Kabul: 22/04/2025

Anahtar Kelimeler

Enerji Verimliliği
Endüstriyel Soğutma
CO₂ Soğutucu Akışkan
Teşhir Tipi Soğutucu

Öz

Teşhir tipi soğutucular (TTS), gıda sektöründe ürünlerin sergilenmesi ve tazeliğinin korunmasında kritik bir rol oynamaktadır. Ancak, bu sistemlerdeki yüksek enerji tüketimi, sürdürülebilirlik ve verimlilik odaklı çözümlere olan ihtiyacı da beraberinde getirmektedir. Bu çalışmada, TTS kapılarından olan ısı kazançlarını azaltarak yalıtım performansını artırmak ve enerji verimliliğini iyileştirmek amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda çift camlı mevcut sistemde kullanılan hava ve alüminyum U-profil yerine, camlar arasında argon gazı ve plastik U-profil kullanarak yeni bir kapı yapısı tasarlanmıştır. Yeni ve mevcut sistemlerin termal performansları karşılaştırılmış ve prototip, TS EN ISO 23953-2:2024 standardına uygun olarak test edilmiştir. Gerçekleştirilen test sonuçları, yeni kapı tasarımının iç ve dış yüzeyler arasında daha dengeli bir sıcaklık dağılımı sağladığını ve bu sayede ısı transferini azaltarak termal yalıtım performansını artırdığını ortaya koymuştur. Enerji tüketimi açısından değerlendirildiğinde, yeni tasarımın mevcut sisteme kıyasla %3,94 daha az enerji harcadığı, Enerji Verimlilik Endeksi (EVE) değerinde %3,90'luk bir iyileşme sağladığı belirlenmiştir. Aynı zamanda her iki sistem de “B” enerji sınıfında yer almaktadır. Ayrıca, yeni tasarımın malzeme maliyeti %1,3 azalırken, üretim süresi %65,66 kısalmıştır.

Sonuç olarak, geliştirilen kapı tasarımı, enerji tüketimini azaltarak ekonomik ve çevresel açıdan önemli bir iyileştirme sağlamaktadır.

Innovative Door Design for Refrigerated Display Cabinet and Experimental Investigation of Its Effect on Performance

Article Info

Research article
Received: 14/02/2025
Revision: 17/04/2025
Accepted: 22/04/2025

Keywords

Energy Efficiency
Industrial Refrigeration
CO₂ Refrigerant
Refrigerated Display
Cabinet

Abstract

Refrigerated display cabinet (RDC) play a critical role in the food industry in displaying products and preserving their freshness. However, the high energy consumption in these systems brings with it the need for sustainability and efficiency-oriented solutions. In this study, it was aimed to increase insulation performance and improve energy efficiency by reducing heat gains from RDC doors. For this purpose, a new door structure was designed using argon gas and plastic U-profile between the glasses instead of the air and aluminum U-profile used in the existing double-glazed system. The thermal performances of the new and existing systems were compared and the prototype was tested in accordance with the TS EN ISO 23953-2:2024 standard. The test results showed that the new door design provides a more balanced temperature distribution between the inner and outer surfaces, thus reducing heat transfer and increasing thermal insulation performance. When evaluated in terms of energy consumption, it was determined that the new design consumed 3,94% less energy compared to the existing system and provided a 3,90% improvement in the Energy Efficiency Index (EEI) value. At the same time, both systems are in the “B” energy class. In addition, the material cost of the new design has decreased by 1,3%, while the production time has been shortened by 65,66%.

As a result, the improved door design provides a significant improvement in economic and environmental terms by reducing energy consumption.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüz dünyasında en büyük sorunlardan biri yüksek enerji tüketimi ve buna bağlı karbon salımlarıdır. Son yıllarda sıkça gündeme getirilen bu konular ile iklim değişikliğine karşı mücadele edilmektedir. Paris İklim Anlaşması ve Yeşil Mutabakat Eylem Planı'ndaki hedeflerin gerçekleştirilebilmesi için hemen hemen her sektörde iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır. Yapılan bu çalışmalar dünyanın sera gazı dengesini korumak ve yeryüzündeki enerji kaynaklarını verimli kullanmayı amaçlamıştır [1]. Hedeflenen çalışmaların dünya çapında gerçekleştirilmesi için ülkeler arası iklim zirvelerinde alınan kararlar ve bu kararların sürdürülebilirlikleri için birçok çalışma ve faaliyet yürütülmektedir [2]. Her sektörde olduğu gibi soğutma sektöründe de gelişmeler devamlılığını sürdürmektedir. Yürütülen çalışmalarda verimlilik ele alınarak sera gazlarının en aza indirgenmesi hedeflenmektedir. Soğutma sisteminden dolayı oluşan emisyonun büyük bir kısmını gıda sektörü meydana getirmektedir [3].

Temel gıdaların raf ömrünü koruyacak şekilde muhafaza edilmesi gerekmektedir. Bu saklama işlemi TTS'ler aracılığı ile gerçekleşmektedir. TTS'lerin enerji tüketimini; dış ortam faktörleri (sıcaklık ve bağıl nem), izolasyon, ekipman verimliliği, soğutucu akışkan seçimi, kullanım ve işletme koşulları gibi birçok unsur etki etmektedir. Bu çalışmada kapılı TTS'ler için kapı profili ve cam yapısı incelenmiştir.

Cüce vd. (2022), çift cam teknolojisinde kullanılan 3 farklı gaz olan hava, argon ve kripton ile sayısal bir çalışma yapılmışlardır. 20 mm gaz kalınlığına sahip 4 mm çift cam arasına 3 farklı gaz yerleştirilerek U değerini hesaplamışlardır. Pencerenin içindeki gazın türü ısı transferi değerlerini değiştirmiştir. Çift camlar arasında hava yerine kripton kullanılması yalıtımı %45,4 oranında artırdığını gözlemlemişlerdir. İzolasyonuna, üçüncü bir cam katmanının, gaz katmanının içerisine yerleştirilmesiyle gaz hareketini kısıtlayarak izolasyonun artırılabilceğini gözlemlemişlerdir. Üç camlı pencerede meydana gelen ısı kayıplarının hava, argon ve kripton için sırasıyla %12,9, %14,8 ve %45,48 oranında azaltılabileceğini hesaplamışlardır [4]. Cho vd. (2023), yeni binalarda cam panellerin ısı geçirgenliğinde değişimler ve enjekte edilen gazda sızıntı olmasıyla ilgili bazı sorunlar tespit etmişlerdir. Bu çalışmada, argon gazı ile doldurulmuş çift camlı pencerelerin mevcut durumu araştırmışlardır. Yapılan analizlerde argon gazı dolum oranı %95'ten %0'a düştüğünde termal performansın %10,9 azaldığını gözlemlemişlerdir.

Zamanla argon gazı doluluk oranının düştüğünü belirterek, projenin tamamlanmasından iki yıl sonra doluluk oranının %65'ten az olması ihtimalinin %92 olduğunu hesaplamışlardır. Bu durumda yalıtım kaybı oranı yaklaşık %4,3 olmuştur [5].

Li vd. (2018), bu çalışmada hava boşluğu kalınlığının çift camın ısı transfer katsayısına etkisi ve argon dolum oranını incelemişlerdir. Karşılaştırma, kaplamalı çift cam (düşük emisyonlu kaplamalı bir cam panel) ile kaplamasız çift cam arasında yapılmıştır. 9 – 18 mm aralığındaki hava boşluğu kalınlığında, hava boşluğu kalınlığı ne kadar yüksek olursa, argon gazı doldurma oranı o kadar yüksek olur, ısı yalıtım performansı o kadar iyi olacağını belirlemişlerdir [6]. Baek ve Kim (2021), binalarda sera gazı kaynağına yönelik çalışmanın bir parçası olarak CO₂ katkılı bir çift cam geliştirmiştir. Simülasyon programı ile tasarlanan binaya sırasıyla CO₂, hava, argon ve kripton gazları içeren çift cam uygulayarak, iç mekân camındaki saatlik yüzey sıcaklıklarını, saatlik enerji kayıplarını ve binadaki toplam enerji tüketimi hesaplamışlardır. Bu verileri karşılaştırdıklarında CO₂ gazlı camların iç yüzey sıcaklıklarının argon gazlı camlarla benzer olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Hava, argon, CO₂ ve kriptonun enerji tüketim değerleri sırasıyla 449,5 -445,5-444,8 ve 441,2 kWh şeklinde hesaplanmıştır. Enerji performansı analizinde CO₂ camlı binanın ısıtma enerjisini argon gazına benzer düzeyde tükettiğini göstermişlerdir [7]. Onatayo vd. (2024), bu araştırmada asal gazlarla dolu olan ve olmayan çift camlı pencerelerin U faktörünün hesaplanmasına yönelik veri odaklı bir yaklaşım sunmuşlardır. Çalışmada hava veya belirli bir yüzdede asal gaz (%75 argon, %85 argon ve %95 argon) içeren çift camlı pencerelerle çalışmışlardır. Yapılan analizler emisyonunun pencerelerin termal performansını etkilemedeki önemli rolünün altını çizmişlerdir. Modelin sonuçlarında simüle edilen pencereler karşılaştırıldığında %1,7 ile %4,4'lük bir fark aralığı kaydetmişlerdir. Düşük emisyon değerlerinin camın yalıtım özelliklerini artırdığını ve dolayısıyla genel U faktörünü azalttığını ortaya koymuşlardır [8].

Cüce (2018), araştırmalarında argon dolgu çift camlı pencerelerin ısı transfer performans analizini yapmışlardır. Teorik ve sayısal U değerleri sırasıyla 0,80 ve 0,89 olarak bulunmuştur. Hesaplanan değerlerin arasında iyi bir uyum olmasına rağmen, çevresel oda testlerinden elde edilen deneysel U değerlerinin, ısı köprüsü ve kenar etkilerinden dolayı gözle görülür derecede yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Simüle edilmiş çalışma koşullarında U değerinin pencere örneğinin üst, orta

ve alt konumları için 1,25- 1,18 ve 1,32 W/m²K olduğu görülmektedir. Bu açıdan cam ürünlerinin gerçek U değeri performansında ısı köprüleri ve kenar etkilerinin önemli rol oynadığı sonucuna varılmıştır [9]. Summ vd. (2023), araştırmada argon konsantrasyonun yalıtkan camlı düz plakalı kolektörlerin verimliliği üzerindeki etkisini belirlemişlerdir. Argon gazı konsantrasyonunun artırılması ile kayıpların azaldığını belirtmişlerdir. %90 'dan %50 'ye argon sızıntısı olması durumunda, kolektör performansının ortalama %1,7-4,8 oranında düşüşüne yol açmıştır. Kolektör tasarımcıları argon konsantrasyonunun kolektörün kullanım ömrü içerisinde yarıya düşmemesini sağlaması gerektiğini ve %50 'ye kadar argon sızıntılarının kabul edilebilir olduğu sonucuna varmışlardır [10]. Sadeghi vd. (2019), silindirik bir güneş enerjili su ısıtıcısının bakır bobin soğurucusu ile cam kapağı arasındaki dolgu gazı olarak hava ve argon gazlarının ısı performansları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Argon gazının kullanılması, daha az ısı iletkenliğe sahip olması nedeniyle deneylerin her aşamasında sıcaklık farkının artmasına neden olmuştur. Soğurucu bobin arasındaki boşlukta argon gazının kullanılması, kolektörün enerji verimliliğini yaklaşık %4 'e kadar arttırmıştır. En yüksek enerji verimliliği değerleri %48,17 ve %52,14 ile hava ve argon için sırasıyla 3,5 kg/h optimum kütle akış hızında elde edilmiştir [11].

Lolli vd. (2016), pencereler için yalıtım alternatifi olarak aerogel ve argon gazı kullanılan bir konut binası modellemiştir. Yeni alternatifte göre enerji kullanımı ve sera gazı emisyonlarını hesaplamışlardır. Camlarda aerogel ve argon gazı kullanımının artırılmasıyla emisyon tasarrufunun %5 'ten %9 'a çıktığını göstermişlerdir. Aerogel kullanımının alan ısıtma için binaya verilen enerjinin %20 'sine kadar tasarruf sağladığını ve gazın üretiminden kaynaklanan sera gazı emisyonunun şu anda rapor edilen emisyonlardan 8 kat daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Şeffaf yüzeylerin düşük ısı direncinin üstesinden gelmek için yapılan bu proje aerogel ve argon gazının etkili bir enerji tasarrufu çözümü olduğunu kanıtlamıştır [12]. Bazgaou vd. (2023), Argon Çift Camın sera içindeki etkisini araştırmak için argon çift camın diğer kaplama malzemelerine kıyasla ısıtma ve soğutma gereksinimlerini azaltmada olumlu bir etkiye sahip olduğunu ortaya koyan bir enerji analizi yapmışlardır. Tarımsal seralarda argon çift cam kullanımı, iklim faktörlerinin homojenizasyonunu ve dağılımını optimize ederek enerji verimliliğini artırma ve ısıtma ve soğutma maliyetlerini azaltma konusunda önemli bir potansiyel sunduğunu gözlemlemişlerdir. Çalışmaları sonucunda, argon çift camın seralar için

bir yapı malzemesi olarak yüksek verimliliğini ortaya koymuşlardır ve bunun da sera üretim maliyetlerinde azalma sağlayacağını belirtmişlerdir [13].

Sharmas vd. (2023) R290'ın R22'ye göre daha çevre dostu bir alternatif soğutucu akışkan olduğunu belirten bir çalışma ortaya konulmuştur. Yapılan çalışmada R290 kullanılan bir klimanın performansı hem deneysel hem de analitik olarak incelenmiştir. Sonuç olarak R290 ile çalışan klimaların elektrik tüketimi açısından R22'ye göre %11,4-%12,3 sonuçları arasında daha düşük olduğunu göstermiştir. Ek olarak CO₂ emisyonu açısından %13,1 ila %14,18 arasında bir azalma kaydedilmiştir. Sonuç olarak R290'nın daha çevreci bir akışkan olduğu ortaya konmuştur [14]. Pınar Mert vd. (2022) Al₂O₃-TiO₂-SiO₂ nanopartikülleri ile hazırlanan hibrit nanoakışkanların, 36 litrelik bir taşınabilir termoelektrik buzdolabında soğutucu olarak kullanılması incelenmiştir. Sonuç olarak referans olarak saf su alınmış ve saf su ile karşılaştırmalı olarak %2'lik Al₂O₃-TiO₂-SiO₂ nanoakışkan kullanılmıştır. Soğutma kabini ve ürün sıcaklıklarında önemli iyileştirmeler sağlandığını gösterilmiştir. Alternatif akışkan kullanımında sıcaklık farkında %30,3'lük bir iyileşme kaydedilmiştir. Yapılan çalışma çıktılarında Peltier etkisi nedeniyle COP değerlerinde hafif düşüşler olduğu kaydedilmiştir [15]. Erdem vd. (2020) yaptıkları çalışmada Al₂O₃, TiO₂, SiO₂ nanopartikülleri içeren nanoakışkanların TEC'lerin soğutma güç ve performans parametreleri üzerindeki etkileri deneysel olarak incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda, %1 Al₂O₃ içeren nanoakışkan su ile kıyaslandığında ve ortam sıcaklığı 30°C olarak alındığında iç sıcaklık farkında %26 oranında bir iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanında soğutulmuş su sıcaklıklarında ise %55,2'lik bir iyileşme olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada da benzer çalışmalarda olduğu gibi COP değerlerinde küçük düşüşler meydana gelmiştir. Yeni TEC tasarımının geleneksel tasarıma bakılarak birçok avantaj sağladığı görülmüştür [16].

Ele alınan bu çalışmada:

- Yeni tasarımın termal davranışını inceleyerek mevcut tasarım ile yeni tasarımın karşılaştırılması,
- Yeni tasarımın enerji tüketimine etkisinin belirlenmesi,
- Maliyet ve operasyonel süreçlerdeki etkisinin değerlendirilmesi,
- Soğutucu içindeki sıcaklık dağılımının analiz edilmesi,

- Yeni malzeme ve izolasyon teknolojilerinin soğutma sistemlerine olan katkısının araştırılması,
- Yeni tasarımın üretim süresine etkisinin ve üretim verimliliğine olan katkılarının belirlenmesi

amaçlanmıştır.

Bu çalışma, mevcut literatürdeki çift cam ve yalıtım teknolojilerine yönelik araştırmaları temel almakla birlikte, özgün katkılar sunmaktadır. Literatürde çift cam arası farklı gaz türlerinin termal performans etkisi detaylıca incelenmiş olsa da TTS kapılarında izolasyon performansını artırmak amacıyla U-profil malzemesi ve iç akışkan yapısı açısından iyileştirme sağlayan bütünsel bir tasarım önerisi sunan çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada, mevcut tasarıma kıyasla daha yüksek ısı dirençli U-profil ve çift cam arasında termal izolasyon sağlayan akışkan kullanılarak yeni bir kapı tasarımı geliştirilmiştir. Ayrıca, geliştirilen tasarımın prototipi üretilerek, uluslararası standartlara uygun olarak test edilmiştir. Yeni kapı tasarımının TTS'nin enerji performansına etkisinin araştırılması ve karşılaştırılmıştır.

2. TEORİK ANALİZ (THEORETICAL ANALYSIS)

Soğutma işleminin gerçekleştiği esnada TTS'in birçok yerinde ısı kazancı meydana gelmektedir. Isı kazançları farklı kaynaklara dayandırılabilir. Bu kaynaklar sistemin farklı noktalarından kaynaklanan ısı transferi ile ilişkilidir. TTS'lerde ısı kazançlarının olduğu noktalar genellikle dört ana kaynaktan oluşmaktadır: cam kapılar, kabin duvarları, iç bileşenler (soğutulan ürün, aydınlatma, defrost sistemi vs.) ve sızdırmazlık noktalarından istem dışı hava akışıdır. Bu durum, sistemin maruz kaldığı ısı yükünü yükseltir.

Çalışmada, TTS cam kapılarda gerçekleşen ısı transferi aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır:

Soğutma kapasitesi ($\dot{Q}_e$), ile hesaplanır, soğutma sistemlerinin performansını analiz etmek ve evaporatörde ortamdaki çekilen ısıyı hesaplamak için kullanılır [17]:

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_{ref} (h_{e,o} - h_{e,i}) \quad (1)$$

Soğutma performans katsayısı (COP_s), eşitlik ile hesaplanır. Bu denklem, bir soğutma sisteminin ne kadar verimli olduğunu belirlemek için kullanılır. COP, sistemin sağladığı soğutma kapasitesinin, harcanan kompresör gücüne oranıdır [17]:

$$COP_s = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{W}_c} \quad (2)$$

Yalıtım malzemesinin termal direnci (R), eşitlik ile hesaplanır. Bu denklem, bir yalıtım malzemesinin termal performansını belirlemek için kullanılır. Termal direnç (R), malzemenin ısı geçişine ne kadar direnç gösterdiğini ifade eder ve kalınlık (L) ile doğru, ısı iletkenlik katsayısı (k) ve yüzey alanı (A) ile ters orantılıdır. Daha yüksek R değeri, daha iyi yalıtım anlamına gelir ve enerji tasarrufu sağlamak için kritik bir parametredir [18]:

$$R = \frac{L}{kA} \quad (3)$$

Isı taşınım katsayısının hesaplanması için aşağıdaki boyutsuz sayılardan yararlanılır [18]:

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} \quad (4)$$

$$Pr = \frac{\mu c_p}{k} \quad (5)$$

$$Nu = 0,664 Re^{0,5} Pr^{\frac{1}{3}} \quad (6)$$

Isı taşınım katsayısı (h), bir yüzey ile akışkan arasındaki ısı taşınım miktarını belirlemek için kullanılır, eşitlik ile hesaplanır [19]:

$$h = \frac{Nu k}{L} \quad (7)$$

Toplam ısı transfer katsayısı (U), iki cam arasındaki toplam ısı direncini hesaplamak için kullanılır eşitlik ile hesaplanır [20]:

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_i} + \frac{2L_{gl}}{k_{gl}} + \frac{L_{ga}}{k_{ga}} + \frac{1}{h_o} \right)} \quad (8)$$

Kapı üzerinden geçen toplam ısı transfer miktarını belirlemek için kullanılır. Toplam ısı transferi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır [18]:

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot (T_o - T_i) \quad (9)$$

Camdaki ısı akısı Eşitlik 10 ile hesaplanır [18]:

$$\dot{q} = U \cdot \Delta T \quad (10)$$

Her test için kaydedilen günlük doğrudan elektrik enerji tüketimi (DET), tüketilen tüm elektrik enerjisinin toplamı olacaktır. DET, aşağıda gösterilen eşitlik ile hesaplanır [21]:

$$E_{DET,24h} = E_{FET,24h} + E_{LET,24h} + E_{DT,24h} \quad (11)$$

Motor grubunun dış ünite de bulunan bir kabinin günlük soğutma elektrik enerjisi tüketimi (SET), $E_{SET,24h}$ aşağıda gösterilen eşitlik ile hesaplanır [21]:

$$\frac{E_{SET,24h}}{(0.34 \times T_{mrün})} = Q_{tot} \times \frac{(T_c - T_{mrün})}{(0.34 \times T_{mrün})} \quad (12)$$

Toplam günlük enerji tüketimi (TET) aşağıda gösterilen eşitlik ile hesaplanır [21]:

$$E_{TET,24h} = E_{DET,24h} + E_{SET,24h} \quad (13)$$

YET yıllık enerji tüketimi, SYET standart yıllık enerji tüketimi ve EVE ise enerji verimliliği endeksi olarak tanımlanır ve 14,15 ve 16'daki eşitlikler sırasıyla aşağıda verilmiştir [22]:

$$YET = 365 \times E_{TET,24h} \quad (14)$$

$$SYET = (M + N \times Y) \times 365 \times C \times P \quad (15)$$

$$EVE = YET / SYET \quad (16)$$

Belirsizlik analizi, yapılan bir ölçümün ne kadar güvenilir ve doğru olduğunu belirlemek için yapılan analizdir. Ölçüm sonucunun gerçek değere ne kadar yakın olabileceğini gösterir. Belirsizlik analizi aşağıda verilen eşitlik ile yapılır [23].

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_n \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_n \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (17)$$

3. MATERYAL VE METOD (MATERIALS AND METHODS)

TTS, mekanik buhar sıkıştırılmalı soğutma çevrimi prensibine göre çalışmaktadır ve çevre dostu özellikleriyle öne çıkan R744 (CO₂) soğutucu akışkanını kullanmaktadır. R744'ün tercih edilmesinin temel nedenleri arasında, çevresel etkiler açısından sağladığı üstünlükler ve soğutma performansı yer almaktadır. Özellikle, 31,06 °C gibi düşük bir kritik sıcaklığa sahip olması, Ozon Tüketim Potansiyeli (OTP) değerinin "0" ve Küresel Isınma Potansiyeli (KIP) değerinin "1" olması ile çevreye minimum etki bırakmasıdır [24]. Ozon tabakasına zarar vermemesi ve küresel ısınma üzerindeki etkisinin düşük seviyelerde olması, bu akışkanın çevre dostu bir seçenek olarak tercih edilirliliğini artırmaktadır.

Mevcut TTS'in kapı yapısı alüminyum U-profilinden oluşmaktadır. Profil üzerinde çift cam ve camlar arasında hava mevcuttur. Ancak bu yapıda ısı kazanç oranı yüksek olup, iç ve dış ortam sıcaklık farkından dolayı hava çiy noktası sıcaklığının altına düşerek profil yüzeyinde yoğunlaşma gerçekleşmektedir. Soğutucu dış yüzeyinde yoğunlaşma gerçekleşmesi hem malzeme ömrü hem de estetik görünüm açısından sorun teşkil etmektedir. Yoğuşmaya ait görsel Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Profil yüzeyinde oluşan yoğuşmaya ait görsel (Visual of the condensation formed on the profile surface)

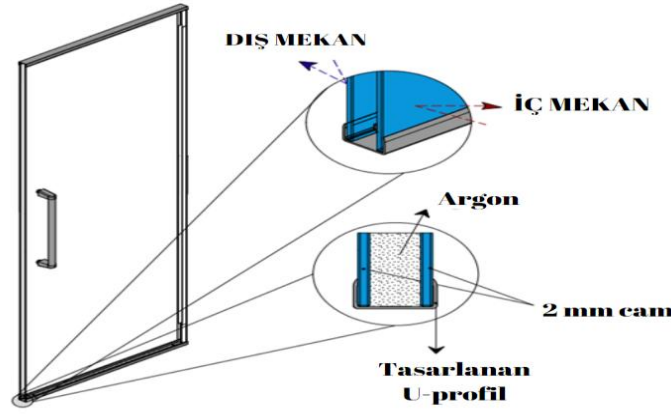
Bahsedilen profillerde metal-metal eşleşmesine bağlı olarak ısı köprüleri oluşmaktadır. Çalışmanın amaçlarından biri ısı köprülerini en aza indirmektir. Bu yüzden profile ısı iletkenlik değeri düşük, ancak alüminyum profilin fiziksel özelliklerini de karşılayabilen plastik bir materyal seçilmiştir.

Yeni tasarımın diğer bölümünde ise çift cam arasında bulunan havanın, daha yüksek ısı dirence sahip farklı bir akışkanla değiştirilmesi gerekmektedir. Bu konuda yeni teknolojiler

araştırılmış ve endüstride sık kullanılan akışkanlar belirlenmiştir. Bu akışkanlar; karbondioksit (CO₂), Argon (Ar) ve Kripton'dur (Kr). Söz konusu gazlar ile teorik ısı transfer hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan hesaplamalara ait detaylı bilgi, bulgu ve sonuç bölümlerinde bulunmaktadır. Isıl direnç hesapları mevcut sistem (hava) ile kıyaslandığında en yüksek ısı dirence sahip akışkan Kr'dur. Ancak Kr, diğer akışkanlara göre daha pahalı ve temin edilmesi daha zor olduğu için, ısı direnci en yüksek ikinci akışkan olan Ar tercih edilmiştir.

Mevcut tasarımda alüminyum profil ve hava kullanılırken yeni kapı tasarımında bunların yerine plastik U-profil ve argon gazı kullanılmıştır. Değişen bu parçalar dışında kalan tüm bileşenler mevcut ve yeni tasarımda aynı kalmıştır. Yeni kapı tasarım yapısının görseli Şekil 2’de verilmiştir. Yapılan bu tasarımda çift cam katmanları arasında

yapısal bir bağlantı sağlanmıştır. Mevcut tasarımda arası 2 mm olan çift camın alt ve üst kısımlarında alüminyum kullanılan U-profil yerine yeni tasarımda plastik kullanılan U-profil ile değiştirilmesi sonucunda ısı direnci daha yükseltilmiş ve ısı kazancı azaltılarak verimliliğe katkı sağlayan yeni kapı tasarımı ortaya konmuştur.



Şekil 2. Yeni kapı tasarımı yapısı (New door design structure)

Soğutucu kabinlerin kapılarında kullanılan U-profillerde malzeme seçimi, sistemin enerji verimliliğini etkilemektedir. Tablo 1’de U-profilin üretiminde mevcutta kullanılan alüminyum malzemenin özellikleri ve yeni tasarımda kullanılan plastik malzemenin özellikleri verilmiştir [25-26]. Plastiğin (PVC) yoğunluğu alüminyumun yoğunluğuna göre oldukça düşüktür. Bu durumda plastiğin alüminyuma göre daha hafif olduğunu gösterir ve yeni tasarım mevcut tasarıma göre daha hafif olduğu söylenebilir. Sertlik açısından ise mevcut tasarımda kullanılan alüminyum yeni tasarımda kullanılan plastiğe bakarak daha dayanıklı ve deformasyon direncinin daha fazla olduğu söylenebilmektedir. Bu durum çekme dayanımı için de benzerlik göstermektedir.

Kopma uzamasında ise tam tersi bir durum söz konusudur. Yani alüminyuma kıyasla plastik malzemenin kopma uzaması daha fazladır ve bu durum da kırılmadan önce daha fazla uzayabildiği bilinmektedir. Mevcut sistemde ısı köprüünün daha yüksek olmasının nedeni, alüminyumun ısı iletkenlik katsayısının plastikten daha yüksek olmasıdır. Yeni tasarımda daha esnek, hafif ve ısı direnci yüksek plastik kullanılarak termal yalıtıklılık sağlanmıştır.

Tablo 1. Tasarımda kullanılan malzemelere ait özellikler (Characteristics of the materials used in the design)

Özellikler	Alüminyum	Plastik (PVC)
Yoğunluk	2,70 g/cm ³	1,45 g/cm ³
Sertlik	75-80 SH.D	65 SH.D
Çekme Dayanımı	250 MPa	35,90 MPa
Kopma Uzaması	%17	%110
Isı İletim Katsayısı (k)	200-209 W/m.K	0,15 W/m.K

Çift cam arasındaki boşlukta bulunan gazın özellikleri de ısı transferini etkilemektedir. Kullanılan gazlara ait özellikler Tablo 2’de verilmiştir [27]. Mevcut sistemde hava kullanılırken

yeni sistemde bu kısımda argon gazı kullanılmıştır. Argon gazı hava ile kıyaslandığında daha yüksek ısı dirence sahip olması sebebiyle kapılardaki ısı

kazançlarını azaltmış ve mevcut sisteme kıyasla enerji kaybı azalmıştır.

Düşük özgül ısı kapasitesi ile argonun ısı birikmesini azaltabileceğini ve bu durumda da

enerji tasarrufuna katkı sağlayabileceğini göstermiştir. Argonun termal özelliklerine bakıldığında ise havanın termal özelliklerine kıyasla daha düşük viskozite ve yoğunluğa sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Hava ve argonun özellikleri (300K) (Characteristics of air and argon (300K))

Özellikler	Hava	Argon
Dinamik Viskozite	$1,85 \times 10^{-5}$ kg/ms	$2,27 \times 10^{-5}$ kg/ms
Yoğunluk	$1,177$ kg/m ³	$1,623$ kg/m ³
Özgül Isı Kapasitesi (c_p)	1005 J/kg.K	$521,64$ J/kg.K
Isı İletim Katsayısı (k)	$0,0261$ W/m.K	$0,0177$ W/m.K

Mevcut kapı tasarımı yeni kapı tasarımı ile değiştirilerek TTS'ye entegre edilmiştir. Mevcut ve yeni tasarım üretilerek, deneysel olarak test edilmiştir.

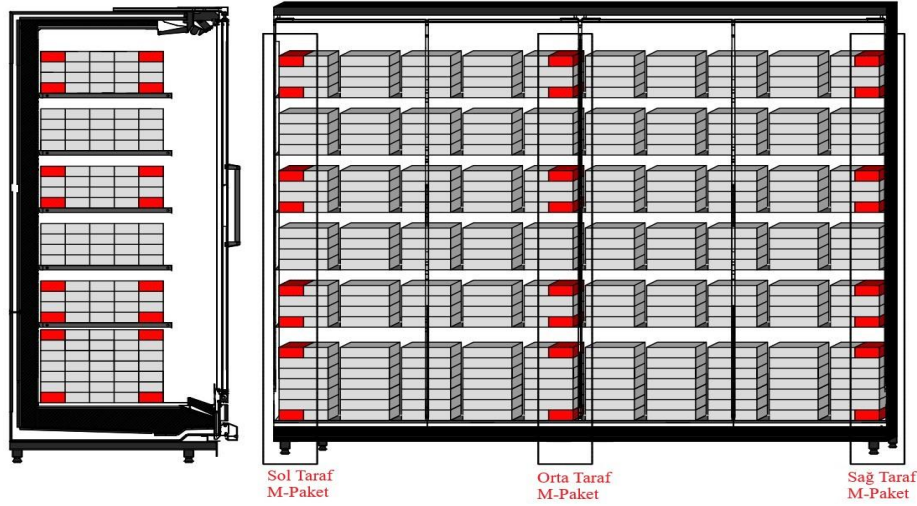
Test odası iklim sınıfı-3 koşullarına sahiptir. Bu koşullar ise $25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ sıcaklık ve $\%60 \pm \%3$ bağıl nemde, $0,1-0,2$ m/s hava hızı olarak standartta belirtilmiştir [21]. TTS test odasına yerleştirilmeden önce bağıl nem ve hava hızı bakımından iklimik oda şartlandırılarak, iklim sınıfı-3 kriterlerine uyumlu hale getirilmiştir. Şekil 3'te test odasında kullanılan test ekipmanları ve TTS ayrıntılı şekilde verilmiştir. Bu çalışmada kullanılan "M1" sıcaklık sınıfında bulunan TTS'in, 5 raflı bir soğutucu için paket sıcaklık ölçüm noktaları işaretlenerek 48

noktadan ölçüm sonuçları alınmış, önden ve yandan görünüşleri Şekil 4'te gösterilmiştir. M-Paket ölçüm noktaları paketlerin tam merkezinde olup ısı çiftleri sayesinde sıcaklık verisi alınmaktadır. Gıdaların muhafazası için gereken paket sıcaklık aralığı M1 sınıfı için $-1^\circ\text{C}/5^\circ\text{C}$ aralığında olması gerektiği standartta belirtilmiştir [21]. Bu test odası şartları ve M-Paket sıcaklıkları bir paket program aracılığı ile takip edilip, kaydedilmektedir.

Deney sisteminde paket sıcaklıklarını etkileyecek ortam sıcaklığı, nem, hava akışı gibi çevresel faktörlerin kontrolü sağlanarak etkileri hesaba katılmıştır. Bu ekipmanların her biri test verilerini toplama, değerlendirme ve analizi sonucunda kritik öneme sahiptir.



Şekil 3. Test odasındaki TTS ve test ekipmanları (TTS and test equipment in the test room)



Şekil 4. TTS için paket sıcaklık ölçüm noktaları (Package temperature measuring points for TTS)

Test sırasında ölçüm yapan cihazlar, Tablo 3'te ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur. Ölçüm cihazları, TTS'nin sıcaklık sınıfına uygunluğunu doğrulamak ve sistemin genel performansını değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır. Ölçüm süreci, sistemde kullanılan R744'ün termodinamik özelliklerini ve çevresel avantajlarını daha iyi anlamak adına

titizlikle gerçekleştirilmiştir. Çalışma, aynı zamanda teşhir tipi soğutucuların çevresel etkilerini azaltma ve performanslarını artırma yönünde önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 3. Soğutma sisteminde kullanılan ölçüm ekipmanlarının özellikleri (Characteristics of the measuring equipment used in the cooling system)

Ekipman	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
Isıl çift	-40/+150 °C	± %0,3
Sıcaklık ve bağıl nem ölçer	0/+50 °C 0-100 %RH	± 0,03 ± %1,5
Anemometre	0-2 m/s	± 0,01
Dijital güç ölçer	95-240 V AC 0.001-74 A	± 0.1%V ± 0.2%A

Tablo 3'te ayrıntılı olarak sunulan ölçüm cihazları, test sürecinde güvenilir veriler elde edilmesini sağlamak amacıyla yüksek hassasiyete sahip olarak seçilmiştir. Bu cihazlar, test edilen soğutucu sistemin sıcaklık sınıfına uygunluğunu doğrulamak ve performans analizlerini hassas bir şekilde gerçekleştirmek için kritik öneme sahiptir.

4. DENEYLERİN YAPILIŞI (PERFORMING OF EXPERIMENTS)

Mevcut ve yeni tasarım TTS'ler, kapı tasarımları dışında tüm yapısal özellikleri, bileşenleri ve çalışma prensipleri açısından birebir aynıdır. Ayrıca, her iki sistem de aynı ortam koşullarında

Ölçümlerin doğruluğu, test sonuçlarının güvenilirliğini ve sistemin tasarım kriterlerine uygunluğunu değerlendirmek açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, kullanılan cihazların hassasiyet seviyeleri ve kalibrasyon durumları test sürecinin başarısını doğrudan etkilemektedir.

test edilerek karşılaştırmalı bir değerlendirme yapılmıştır.

Böylece, elde edilen performans farklarının yalnızca kapı tasarımındaki değişiklikten kaynaklandığı doğrulanmıştır.

TS EN ISO 23953-2:2024 standardına uygun olarak test odasında dikey teşhir tipi soğutucu test edilmek üzere [21];

- Testlerin yapılacağı odanın koşulları, kullanılan standartlara uygun olarak belirlenerek Sınıf-3 şartlarında koşullandırılmıştır.
- Test koşulları, $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ sıcaklık, $0,1-0,2$ m/s hava akış hızı ve $\%60 \pm \%3$ bağıl nemi içermektedir.
- Deneye başlamadan önce TTS içerisine konulan gıda maddeleri yerine standarda uygun olarak $100 \times 100 \times 50$ mm boyutlarında M-paketler kullanılarak sıcaklık ölçümleri alınmak üzere M-paket merkezlerine ısı çiftleri yerleştirilmiştir.
- Sol, orta ve sağ taraf olmak üzere 48 adet M-paket sıcaklık ölçüm noktası ve 12 adet kabinin belirli bölgelerinden ölçümler alınmıştır.
- Test süresi boyunca, cam kapılara 24 saatlik süre içinde 12 saat boyunca döngüsel olarak açma-kapama testleri uygulanmıştır. Kapı açma-kapama periyodu standart gereği testin ilk 12 saatinde yapılmıştır.
- Testler sırasında ölçümler her 20 saniyede bir kaydedilmiştir.
- 24 saatlik enerji tüketimi, enerji analizörü kullanılarak ölçülmüştür.
- Test odasında bulunan; sıcaklık, basınç, akış hızı ve enerji tüketimi ölçüm cihazları, doğru ölçümler yapılabilmesi için belirli periyotlarda kalibre edilmektedir.
- Mevcut ve yeni tasarım TTS'lerin kapıları haricinde tüm özellikleri ve ortam şartları aynıdır.

5. BULGULAR (RESULTS)

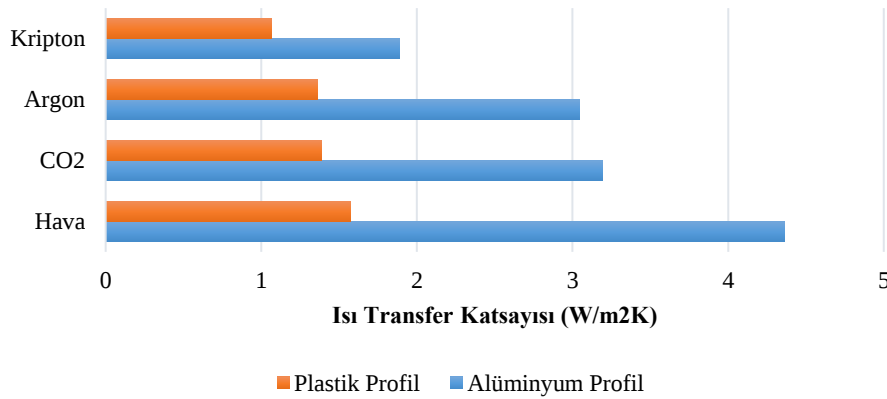
Bu çalışmada geliştirilen yeni kapı tasarımının termal performansı, prototip üretimi ve test süreçleri

ile detaylı olarak incelenmiştir. Mevcut tasarıma kıyasla daha yüksek ısı dirence sahip plastik U-profil ve çift cam arasındaki gelişmiş izolasyon sağlayan argon akışkanın, sistemin genel enerji verimliliğine etkileri değerlendirilmiştir.

Şekil 5'te verilen grafikte farklı gaz ile doldurulmuş kapıların (Kripton, Argon, CO_2 ve hava) plastik profil ve alüminyum U-profil kullanılması durumundaki ısı iletkenlik değeri ($\text{W/m}^2\text{K}$) karşılaştırılmıştır.

Alüminyum profiller, plastik profillere kıyasla her durumda daha yüksek ısı transfer katsayısına sahiptir. Bu, alüminyumun plastikten daha yüksek ısı iletkenliğe sahip olduğunu gösterir ve bu nedenle daha fazla ısı transferine neden olur. Argon, CO_2 ve havaya kıyasla daha düşük ısı iletkenlik değeri sahiptir. En düşük ısı transfer katsayısı Kriptonda olmasına rağmen maliyetinin yüksek ve temin edilmesinin zor olması nedeniyle tercih edilmemiştir.

Şekil 5, yeni bir kapı tasarımında hangi gazın ve profil malzemesinin tercih edilmesi gerektiğine dair karar verme sürecinde önemli veriler sunmaktadır. Özellikle yüksek yalıtım gerektiren uygulamalarda Argon ve plastik U-profil kombinasyonu en iyi seçenek olarak görünmektedir. Yapılan analizler, bu kombinasyonun hem enerji verimliliğini artırdığını hem de ısı kayıplarını önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Yeni sistemin ısı transfer katsayısında $\%30,26$ 'lık bir iyileşme söz konusudur. Bu gelişme, kapının termal performansını artırarak ısı yalıtımını iyileştirmekte ve uzun vadede enerji maliyetlerini düşürmektedir.

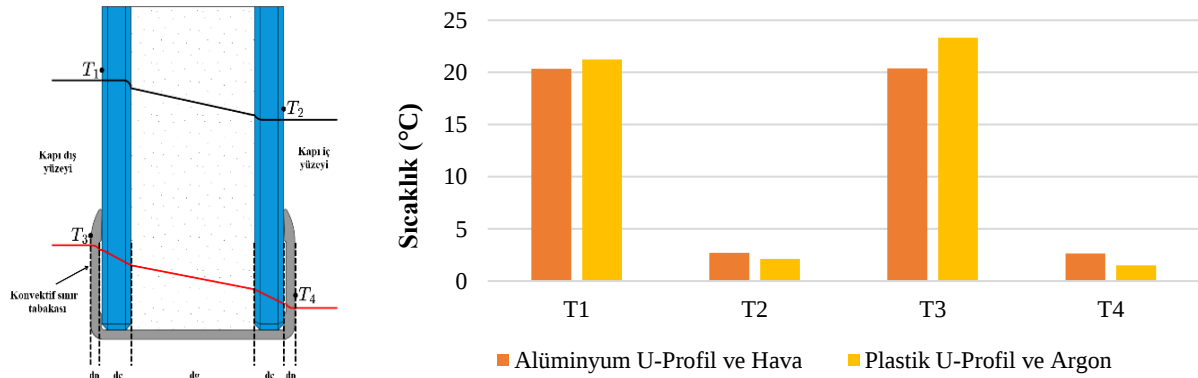


Şekil 5. Plastik ve alüminyum U-profil kullanılan kapıların akışkan değişimine göre ısı iletkenlik değeri karşılaştırma grafiği (Comparison graph of thermal conductivity value of plastic and aluminum U-profile doors according to fluid change)

Yapılan çalışma sonucunda Şekil 6'da belirtilen T_1 , T_2 , T_3 ve T_4 noktalarından yapılan ölçümlerin sonuçları grafik şeklinde verilmiştir. Mevcut durumdaki kapı yapısı kullanılan soğutucunun 25°C sıcaklıktaki ortamda bulunan camın dış yüzey sıcaklığı $20,36^\circ\text{C}$ (T_1), yeni tasarım kapı yapısında ise T_1 sıcaklığı $21,23^\circ\text{C}$ olarak ölçülmüştür. Camın iç yüzey sıcaklığı (T_2) ise sırasıyla $2,7$ ve $2,14^\circ\text{C}$, U-profil dış yüzey sıcaklığı (T_3) $20,37$ ve $23,32^\circ\text{C}$, U-profil iç yüzey sıcaklıkları (T_4) ise $2,65$ ve $1,51^\circ\text{C}$ olarak ölçülmüştür.

Yeni tasarımda dış yüzey ortam sıcaklığına, iç yüzey ise soğutucu sıcaklığına daha fazla yaklaşmıştır. Bu durum, ısı transferinin ve

dolayısıyla ısı kazançlarının azaltıldığını göstermektedir. Plastik U-profil ve Argon kullanımı, alüminyum U-profil ve hava kullanımına kıyasla daha iyi bir termal izolasyon sağlamaktadır. Daha düşük iç yüzey sıcaklığı, soğutucu sistemin daha az enerji harcayarak iç ortam sıcaklığının muhafaza edilmesine yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda, TTS'ler için kritik bir faktör olan toplam teşhir alanı (TTA) $4,3 \text{ m}^2$ değerinde korunmuş olup, yeni tasarımda herhangi bir daralma veya kayıp yaşanmamıştır. Bu sayede, ürünlerin sergilenme kapasitesi mevcut sistemle aynı seviyede tutulmuştur. Böylece, tasarım değişikliği TTA'yı etkilemeden sistemin genel performansını ve verimliliğini artırmıştır.



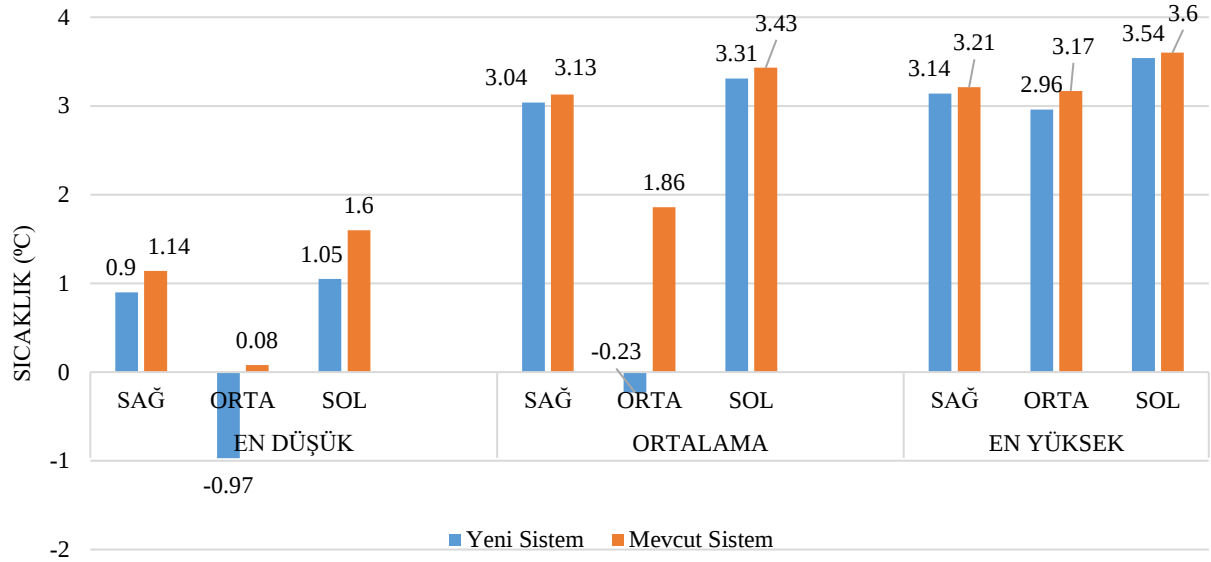
Şekil 6. Mevcut ve yeni tasarım kapı yapılarında belirlenen noktalarındaki sıcaklık ölçümleri karşılaştırma grafiği (Comparison graph of temperature measurements at specified points in existing and new door designs)

Teşhir tipi soğutucular, içinde bulundurdıkları paketlerin sıcaklık sınıflarına göre kategorize edilerek, ürünlerin teşhiri ve depolanması için belirli sıcaklık aralıklarına uygun şekilde tasarlanmaktadır. Ürünlerin güvenli bir şekilde saklanabilmesi için özel sıcaklık sınıfları gerekmektedir. Sıcaklık sınıfları, ürünlerin saklama koşullarının uygunluğuna göre belirlenmektedir.

Şekil 7'de mevcut ve yeni tasarıma göre soğutucunun sağ, orta ve sol bölgesinde bulunan paketler işaretlenerek en düşük, ortalama ve en yüksek sıcaklıkların grafiği verilmiştir. Mevcut ve yeni tasarım olarak karşılaştırma yapıldığında yeni tasarımda soğutucunun her bölümündeki paket sıcaklığının daha düşük olduğu ve orta bölgedeki sıcaklık dalgalanmalarını daha iyi yönettiği görülmektedir.

Aynı zamanda paket sıcaklıkları arasındaki fark da azalmıştır. Buna bağlı olarak paketlerin daha homojen sıcaklık dağılımına sahip olduğu görülmektedir. Böylece ürünlerin daha iyi korunmasına olanak sağlanmaktadır. Sağ ve sol bölgelerdeki sıcaklık farkları azalırken, genel soğutma performansı artmıştır. Bu durum, soğutucunun daha dengeli bir hava akışı sağladığını ve ürünlerin daha iyi korunmasını desteklediğini göstermektedir. Ayrıca, sıcaklık homojenliğinin sağlanması, ürünlerin kalite kaybını önleyerek raf ömrünü uzatmaya yardımcı olmaktadır. Bu durum, özellikle hassas sıcaklık gereksinimi olan ürünler için önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Yapılan çıkarıma ek olarak orta bölümdeki hava akımının sağ ve sol bölümlere bakıldığında daha başarılı olduğunu söylemek mümkündür.



Şekil 7. Mevcut ve yeni tasarım için sol, orta ve sağ bölgelerdeki saatlik maksimum, minimum ve ortalama paket sıcaklıkları (Hourly maximum, minimum, and average package temperatures in the left, center, and right regions for the existing and new designs)

Mevcut ve Yeni tasarım kapı kullanılan TTS'lerin enerji tüketimi hesaplamaları gerçekleştirilmiş ve Tablo 4'te listelenmiştir.

Tablo 4. Mevcut ve yeni tasarım kullanılan TTS'lerin Enerji Tüketimi Tablosu (Energy Consumption Table of existing and new design used TTSs)

	DET (kWh/24h)	SET (kWh/24h)	TET (kWh/24h)	YET (kWh/yıl)	SYET (kWh/yıl)	TTA (m ²)	EVE	Enerji Etiket Sınıfı
Mevcut Tasarım	1,938	5,16	7,10	2592	20245	4,3	12,8	B
Yeni Tasarım	1,925	4,90	6,8	2489	20245	4,3	12,3	B

Eşitlik 11 kullanılarak DET değeri hesaplanmıştır. Yapılan analizler sonucunda, mevcut tasarıma sahip TTS'nin, DET değeri 1,938 kWh/24h, yeni tasarıma sahip TTS'in ise 1,925 kWh/24h olarak belirlenmiştir [21]. Bu veriler, yeni tasarımın günlük enerji tüketimi açısından mevcut tasarıma kıyasla daha verimli olduğunu göstermektedir.

Buna ek olarak, SET değerleri de Eşitlik 12 kullanılarak hesaplanmıştır [21]. Mevcut sistemde SET değeri 5,16 kWh/24h olarak belirlenirken, yeni sistemde bu değer 4,9 kWh/24h olarak bulunmuştur.

TET değerleri ise Eşitlik 13 temel alınarak, DET ve SET değerlerinin toplamı ile hesaplanmıştır [21].

Bu hesaplamalar sonucunda, mevcut tasarımın TET değeri 7,10 kWh/24h, yeni tasarımın ise 6,8 kWh/24h olduğu belirlenmiştir. Yeni tasarımın TET değerinde sağlanan düşüş, sistemin toplam enerji tüketiminde önemli bir azalma sağladığını ortaya koymaktadır.

YET, Eşitlik 14 kullanılarak hesaplanmıştır. YET değeri, TET değerinin 365 gün ile çarpılmasıyla elde edilmektedir [22]. Bu hesaplama sonucunda, mevcut tasarıma sahip TTS'in yıllık enerji tüketimi 2592 kWh/yıl, yeni tasarıma sahip TTS'in ise 2489 kWh/yıl olarak belirlenmiştir. Bu veriler, yeni tasarımın yıllık bazda enerji tüketimini azaltarak işletme maliyetlerine olumlu yönde katkı sağladığını göstermektedir.

Standart Yıllık Enerji Tüketimi (SYET), Eşitlik 15 kullanılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamada M, N, Y, C ve P katsayıları dikkate alınmaktadır. Y katsayısı TTA üzerinden hesaplamalara dahil edilirken, diğer katsayılar Kaynak 22 içerisinde yer alan yönetmelik doğrultusunda belirlenmiştir. TTS'lerin kapı tasarımları haricindeki tüm diğer özellikleri aynı olduğu için M, N, C ve P katsayıları her iki sistem için de aynı değerlerde alınmıştır [22].

Bu katsayıların belirlenmesi sürecinde:

- M ve N katsayıları, soğutucunun kategorisine göre seçilmiş olup, çalışmada kullanılan teşhir tipi soğutucu "Dikey ve kombine süpermarket soğutma kabinleri" kategorisine girdiği için $M = 9,1$ ve $N = 9,1$ olarak alınmıştır.
- C katsayısı, TTS'in paket sıcaklık koşullarına göre belirlenmiş olup, dikey ve M1 ($-1/+5^{\circ}\text{C}$) sıcaklık sınıfına sahip olduğu için $C = 1,15$ olarak alınmıştır.
- P katsayısı, TTS'in motor ünitesinin harici veya dahili olmasına bağlı olarak seçilmektedir. Çalışmada değerlendirilen sistem harici motor ünitesine (remote/dıştan motorlu) sahip olduğu için $P = 1$ olarak hesaplamalara dahil edilmiştir [18].

Bu parametrelerin ışığında yapılan hesaplamalar sonucunda, SYET değeri her iki TTS sistemi için de 20.245 kWh/yıl olarak belirlenmiştir.

EVE ise Eşitlik 16 kullanılarak hesaplanmıştır. YET ile SYET oranlandığında, mevcut tasarım için EVE değeri 12,8, yeni tasarım için ise 12,3 olarak belirlenmiştir. Bu EVE değerleri, teşhir tipi soğutucular için geçerli olan enerji etiketi sınıflandırmasına göre değerlendirildiğinde, her iki sistemin de B enerji sınıfına girdiği belirlenmiştir [22].

Çalışmada belirsizlik analizi gerçekleştirilmiş olup, sonuçlar Tablo 5'te sunulmuştur. Analiz kapsamında, M paket sıcaklık ölçümünde kullanılan ısı çiftler, test odası sıcaklık ve bağıl nem ölçümlerinde kullanılan termohigrometre, test odası hava hızı ölçümlerinde kullanılan anemometre ve enerji tüketimi ölçümünde kullanılan dijital güç ölçer değerlendirilmiştir. Ölçümlerde kullanılan her bir ekipman için belirsizlik hesaplamaları yapılarak sonuçlar detaylandırılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen belirsizlik değerlerinin kabul edilebilir seviyelerde olduğu görülmüştür.

Tablo 5. Soğutma sisteminde kullanılan ölçüm ekipmanlarının belirsizlik analizi (Uncertainty analysis of the measurement equipment used in the cooling system)

Ekipman	Birim	Belirsizlik analizi
Isıl çift	$\pm \%$	0,320
Sıcaklık ölçer (Termohigrometre)	$\pm ^{\circ}\text{C}$	0,116
Bağıl nem ölçer (Termohigrometre)	$\pm \%$	1,522
Anemometre	$\pm \text{m/s}$	0,052
Dijital güç ölçer	$\pm \%$	0,387

5.1 Enerji Performans Analizi (Energy Performance Analysis)

Enerji performans analizi sonucunda, yeni tasarımın mevcut tasarım yerine uygulanması durumunda enerji verimliliğine olan etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca, soğutucunun mevcut ve yeni tasarımı arasındaki elektrik tüketim maliyetleri değerlendirilerek, işletme giderleri üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Yıllık tüketilen elektrik gücünü karşılamak için doğalgazın kullanımı durumunda, tüketilecek miktarı hesaplamak için eşitlik 18 kullanılmıştır [28]. Buna ek olarak

elektrik enerjisi birim fiyatı 4,37 ₺/kWh olarak kabul edilmiştir.

$$AC_1 = W \times N \times ET \quad (18)$$

Enerji maliyeti açısından değerlendirildiğinde, mevcut sistemde yıllık enerji gideri 11.324,85 ₺ olarak hesaplanırken, yeni sistemin devreye alınmasıyla bu maliyetin 10.878,24 ₺ seviyesine düştüğü görülmektedir. Bu durum, enerji tüketiminde sağlanan iyileşmeler sayesinde yıllık maliyetlerde %3,94 oranında bir azalma sağlandığını göstermektedir. Sonuç olarak, yeni sistem hem ekonomik hem de çevresel açıdan daha

avantajlı bir çözüm sunmakta olup, uzun vadede işletme maliyetlerini düşürme potansiyeline sahiptir.

Mevcut ve yeni sistem için maliyet analizi yapılmıştır. Her iki sistemde de kullanılan cam ve conta bileşenlerinin maliyetlerinde herhangi bir değişiklik olmamış, bu parçalar sabit maliyet unsurları olarak değerlendirilmiştir. Ancak yeni tasarımda alüminyum U-profil yerine plastik U-profil kullanılması ve izolasyon gazı olarak havadan daha yüksek ısı dirence sahip Argon gazının tercih edilmesi, sistemin genel maliyet yapısında farklılık yaratmıştır. Yapılan analizler sonucunda, U-profil değişikliği ve izolasyon gazı seçiminden

kaynaklanan maliyet farkları hesaplanmış ve yeni tasarımın malzeme maliyetinin mevcut sisteme kıyasla %1,3 oranında azaldığı belirlenmiştir. Tablo 5'te, mevcut ve yeni sistemlere ait enerji tüketimi ve yıllık maliyet değerleri detaylı olarak sunulmuştur. Yapılan analizler sonucunda, yeni sistemin uygulanmasıyla yıllık enerji tüketiminde 102,2 kWh'lik bir elektrik tasarrufu sağlandığı belirlenmiştir. EVE değeri 12,8'den 12,3'e düşürülmüş ve TTS'lerin enerji etiketi sınıfı "B" olarak belirlenmiştir. Bu enerji tasarrufu, sadece işletme maliyetlerini düşürmekle kalmayıp, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliğe de katkıda bulunarak elektrik tüketimine bağlı karbon salımını da azaltmaktadır

Tablo 6. Enerji tüketimi, elektrik maliyeti ve üretim süresi (Energy consumption, electricity cost and production time)

	Yıllık Enerji Tüketimi (YET) (kWh/yıl)	Yıllık Elektrik Maaliyeti (₺)	Üretim Süresi (s)
Mevcut Tasarım	2591,5	11.324,85	996
Yeni Tasarım	2489,3	10.878,24	342
İyileşme (%)	3,94	3,94	65,66

Enerji ve maliyet analizine ek olarak, U-profilin üretim süreleri de değerlendirilmiştir. Tablo 5'te görüldüğü üzere mevcut tasarımda kullanılan alüminyum U-profilin üretim süresi 16 dakika 36 saniye iken, yeni tasarımda plastik U-profilin üretim süresi 5 dakika 42 saniyeye düşmüştür. Bu durum, üretim süresinde önemli bir iyileşme sağlamakta ve yeni tasarımın sadece enerji ve maliyet açısından değil, aynı zamanda üretim süresi açısından da daha verimli olduğunu göstermektedir. Daha kısa üretim süresi, toplam üretim kapasitesini artırarak süreçlerin hızlanmasına ve operasyonel verimliliğin yükselmesine katkı sağlamaktadır.

Bahar ve ark. (2021) tarafından yapılan çalışmada, propan soğutucu akışkanı kullanılan endüstriyel tip derin dondurucuda mevcut rezistanlı kapı (Tip1) ile yeni tasarım olan buğu önleyici film kaplamalı kapı (Tip2) kullanılan sistemler karşılaştırılmıştır. Tip2'nin günlük enerji tüketimi 48,34 kWh, Tip1'in ise 39,33 kWh olarak hesaplanmış ve enerji etiket sınıfı E'den D'ye düşürülmüştür [29]. Benzer

şekilde, bu çalışmada da TTS'ler için geliştirilen yeni kapı tasarımının, termal performansı iyileştirdiği ve enerji tüketimini düşürdüğü ortaya konmuştur. Her iki çalışma da kapı tasarımındaki yeniliklerin, çevreci soğutucu akışkanlı sistemlerde sürdürülebilirliği artırarak enerji verimliliğine katkı sağladığını göstermektedir.

Yapılan kapsamlı literatür taramalarında, TTS'ler için yeni kapı tasarımına yönelik çalışmaların kısıtlı olduğu görülmüştür. Mevcut araştırmalar genellikle farklı kapı malzemeleri, çift cam sistemleri veya anti-fog kaplama gibi uygulamaların enerji tüketimi ve termal performans üzerindeki etkilerine odaklanmaktadır. Ancak, bu çalışmada önerilen kapı tasarımı ile hem ısı kazançlarının azaltılması hem de üretim maliyetlerinin optimize edilmesi hedeflenmiş, böylece enerji verimliliği ve operasyonel süreçler açısından önemli bir yaklaşım sunulmuştur. Bu bağlamda, çalışma literatürdeki mevcut araştırmalara önemli bir katkı sağlamaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada, mevcut ve yeni kapı tasarımlarına TTS'ler soğutma performansı, ısıl kazanç, enerji

verimliliği, maliyet, operasyonel süreçler ve CO₂ salımı açısından karşılaştırılmıştır. Çalışmanın literatür ile karşılaştırılması Tablo 7.'de verilmiştir.

Tablo 7. Literatür tablosu (Table of literature)

Çalışmanın Amacı	Çalışma Metodu	Çalışma Sonuçları
Riffat vd. (2015), ticari vakumlu cam ürünlerini sayısal olarak incelemek ve aerogel destek direklerinin termal performansa etkisini araştırmak.	CFD tabanlı analizler kullanılmış, vakumlu cam için aerogel destek direkleri önerilmiş, destek sütunu sayısının U değerine etkisi incelenmiştir.	Aerogel destek direkleri ile U değeri 0,67 W/m ² K'ye düşürülebilirken, mevcut ürün için 1,20 W/m ² K olduğu görülmüştür. Destek sütunu sayısı optimize edilirse U değeri 0,40 W/m ² K'nin altına düşebilir [30]
Aydın (2006), farklı iklim koşulları için çift camlı pencerelerde optimum hava tabakası kalınlığını belirlemek.	İzotermal yüzeyler kabul edilerek birleşik ısı transferi analizi yapılmış, Türkiye'deki farklı iklim bölgeleri için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.	Optimum hava tabakası kalınlığı Antalya için 18–21 mm, Trabzon ve Ankara için 15–18 mm, Kars için 12–15 mm olarak belirlenmiştir. Enerji kayıplarının optimize edilen hava katmanı ile azaltılabileceği gösterilmiştir [31].
Cüce vd. (2015), konut binalarındaki cam yüzeylerden kaynaklanan ısı kayıplarını azaltmak amacıyla yeni cam teknolojilerini incelemek.	Çift ve üçlü cam sistemleri ile vakumlu ve aerogel camların termal performansları karşılaştırılmıştır.	Vakumlu ve aerogel camların U değeri 0,30 W/m ² K olarak bulunmuş, Krypton ve Xenon gazlarının yüksek maliyetli ancak yüksek termal performans sunduğu belirtilmiştir [32].
Cüce vd. (2016), vakum cam teknolojisinin teknik, ekonomik ve çevresel etkilerini değerlendirmek.	Low-E kaplamalar ile vakum cam optimizasyonları üzerine analizler yapılmıştır.	Vakum camın U değeri 0,20 W/m ² K'ye kadar düşürülebileceği belirlenmiş [33],
Alvur vd. (2024), pencere sistemlerinde oluşan ısı köprülerinin bina enerji verimliliğine etkisini incelemek ve azaltma stratejilerini belirlemek.	Pencere çerçeveleri ve pencere-duvar birleşim noktalarındaki ısı köprülerinin etkileri ve yalıtım teknolojileri analiz edilmiştir.	Vakum camı, faz değişim malzemeleri ve ince film kaplamalar gibi teknolojilerin ısı kayıpları azalttığı ve enerji verimliliğini artırdığı görülmüştür [34].
Bu çalışma, teşhir tipi soğutucuların cam kapılarında hava yerine argon kullanımının deneysel analiz edilmesi.	Mevcut çift camlı sistemde kullanılan hava ve alüminyum U-profil yerine argon gazı ve plastik U-profil kullanarak yeni bir TTS kapı tasarımı geliştirilmiş ve bu tasarımın ısı transfer analizleri yapılmıştır.	Enerji tüketimi %3,94 azaltılarak, üretim süresini %65,66 kısaltılmış ve maliyet %1,3 düşürülmüştür.

Tasarlanan sistemin prototipi üretilerek TS EN ISO 23953-2:2024 standardı kapsamında test faaliyetleri gerçekleştirilmiştir. Soğutucunun belirlenen T₁, T₂, T₃ ve T₄ noktalarından sıcaklık ölçümleri alınmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda yorumlanmıştır:

- Plastik U-profil ve Argon gazı kullanımı, mevcut alüminyum U-profil ve hava sistemine kıyasla ısı transferini azaltarak iç yüzey

sıcaklıklarının soğutucu ortam sıcaklığına daha yakın olmasını sağlamıştır.

- Aynı zamanda soğutucu dış yüzey profilinde gerçekleşen yoğunlaşmaların da önüne geçilerek malzeme ömrü ve estetik görünüm korunmuştur.
- Yeni tasarımda, dış yüzey sıcaklığının ortam sıcaklığına, iç yüzey sıcaklığının ise soğutucu sıcaklığına daha fazla yaklaşması, sistemin

daha iyi bir termal denge sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

- Bunlara ek olarak, yapılan yeni tasarımdan TTS'in 4,3 m² olan TTA korunmuş, mevcut sistemdeki ürün sergileme kapasitesi sabit tutulmuştur. Bu durum, perakende satış ortamlarında kullanım açısından herhangi bir dezavantaj oluşturmamıştır.

Mevcut ve yeni tasarım kapı yapısına sahip TTS'in sol, orta ve sağ taraf olmak üzere 48 adet M-paket sıcaklıkları alınmış ve karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları aşağıda verilmiştir:

- Yeni tasarımın teşhir tipi soğutucularda sıcaklık dağılımını daha homojen hale getirdiği ve paket sıcaklıkları arasındaki farkı azalttığı belirlenmiştir. Bu durum, ürünlerin saklama koşullarının iyileştirilmesine ve soğutma performansının artırılmasına doğrudan katkı sağlamaktadır.
- Sağ ve sol bölgelerdeki sıcaklık farkı mevcut ve yeni sistem için sırasıyla en düşük 0,46°C, 0,15°C, ortalama 0,30°C, 0,27°C ve en yüksek 0,39°C, 0,40°C olarak ölçülmüştür. Özellikle, sağ ve sol bölgelerdeki sıcaklık farklarının azalması, soğutucunun her bölgesinde daha kararlı bir sıcaklık ortamı oluşmasını sağlamış ve bu sayede ürünlerin raf ömrünü koruyabilecek daha stabil saklama koşulları elde edilmiştir.

Mevcut ve yeni sistemin ekipman maliyeti, enerji, tüketimi ve operasyonel süreçlerdeki performansı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonuçlarında;

- Yeni sistemin maliyetinde mevcut sisteme göre %1,3 oranında bir azalma sağlamış ve daha ekonomik bir üretim süreci oluşturmuştur.
- Bununla birlikte, yeni sistemin uygulanmasıyla yıllık enerji tüketiminde %3,94 oranında azalma elde edilmiştir. Ayrıca, EVE değeri 12,8'den 12,3'e düşürülerek TTS'lerin enerji etiketi sınıfı "B" olarak belirlenmiştir. Daha düşük TET ve YET değerleri, enerji maliyetlerini azaltırken, karbon salımının da düşmesine katkı sağlamaktadır.
- Yeni sistemde mevcut sisteme göre enerji maliyetinde %3,94 oranında bir azalma sağlamış ve işletme giderlerini uzun vadede düşürme potansiyeli sunmuştur.
- Alüminyum U-profil yerine plastik U-profil kullanılması, üretim süresinde %65,66 oranında bir iyileşme elde edilmiştir.
- Üretim süresindeki bu kısalma, toplam üretim kapasitesinin artmasına, süreçlerin

hızlanmasına ve operasyonel verimliliğin yükselmesine katkıda bulunmaktadır.

Bu çalışmada, mevcut ve yeni kapı tasarımlarına sahip TTS sistemleri karşılaştırılmış ve yeni tasarımın enerji tüketimini ve maliyetleri düşürdüğü, ısı kayıplarını azaltarak soğutma verimliliğini artırdığı belirlenmiştir. Ayrıca, üretim süresindeki iyileştirmeler operasyonel süreçleri hızlandırmış, enerji verimliliği ve azaltılmış karbon salımı, iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir katkı sağlamaktadır. Önerilen sistem, enerji verimliliğini artıran ve karbon salımını azaltan yenilikçi tasarım özellikleriyle eko-tasarım gerekliliklerine uygun olarak geliştirilmiştir. Sonuç olarak, yeni kapı tasarımı, enerji verimliliği ve sistem performansını artıran yenilikçi bir çözüm sunmaktadır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Çalışmaya vermiş oldukları desteklerinden dolayı Nurdil Teknik Soğutma A.Ş.'ye teşekkür ederiz. / We would like to thank Nurdil Refrigeration Inc. for their support of the study.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The authors of this article declare that the materials and methods they used in their work do not require ethics committee approval and/or legal-special permission.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Fatma Nur ERDOĞMUŞ: Sonuçların analizi ve makalenin yazım işlemlerini gerçekleştirmiştir.

Performed the analysis of the results and the writing of the article.

Sedanur BİLGİN: Deneylerin gerçekleştirilmesi, ısı transferi hesaplamaları ve makalenin yazım işlemlerini gerçekleştirmiştir.

Performed the experiments, heat transfer calculations and writing of the article.

Sümeyra İBİŞ: Teknik çizimlerin oluşturulması, literatür araştırması ve makalenin yazım işlemlerini gerçekleştirmiştir.

Carried out the creation of technical drawings, literature research and writing of the article.

Leyziva AYDEMİRLİ: Literatür araştırması, ısı transfer hesaplarının yapılması ve makalenin yazım işlemlerini gerçekleştirmiştir.

Carried out the literature research, heat transfer calculations and writing of the article.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Resmi Gazete, 2024. Florlu Sera Gazlarına İlişkin Yönetmelik, Sayı: 32693. 15 Ekim 2024 Salı.
- [2] Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. 12. Kalkınma Planı (2024-2028).
- [3] Erten S., Erdoğan F.N., Öder M., Ezber A.B., Ataş Ş. Ve Aktaş M. (2024). Soğutma Sistemlerinin ve Çevresel Etkilerinin Uluslararası Standart ve Yönetmelik Kriterleri Doğrultusunda İncelenmesi. Yenilikçi Teknolojiler ve Bilimsel Araştırma Yöntemleri, Ankara/Türkiye.
- [4] Cüce, P.M., Cüce, E. & Şen, H. (2022). Numerical investigation of barrier effect with air, argon and krypton gases in double glazing application. 19th International Conference on Sustainable Energy Technologies, İstanbul, Turkey, pp.355-362, 2022.
- [5] Cho, K., Cho, D.W., Koo. B., Yun, Y. (2023). Thermal Performance Analysis of Windows, Based on Argon Gas Percentages between Window Glasses. Buildings 2023, 13(12), 2935.
- [6] Li, J., Tian, Y., Sun, S. & Li, J., Zhang, L. & Chen, K. (2018). Effect of Argon Filling Ratio on Heat Transfer Coefficient of Double-Glazing. Advanced Functional Materials, 327-336.
- [7] Baek, S., Kim, S. (2021). Analysis of the Surface Temperature and Energy Performance for the Double Paned Glazing Filled with Carbon Dioxide as an Insulating Gas. Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT). 12. 617-625.
- [8] Onatayo, D., Aggarwal, R, & Srinivasan, R. & Shah, B. (2024). A data-driven approach to thermal transmittance (U-factor) calculation of double-glazed windows with or without inert gases between the panes. Energy and Buildings. 305. 113907.
- [9] Cüce, E. (2018). Accurate and reliable U-value assessment of argon-filled double glazed windows: A numerical and experimental investigation. Energy and Buildings, Volume 171, 2018, Pages 100-106, ISSN 0378-7788.
- [10] Summ, T., Ehrenwirth, M., Trinkl, C., Zörner, W., Pischow, K., Greenough, R., Oyindola M., (2023). Effect of argon concentration on thermal efficiency of gas-filled insulating glass flat-plate collectors. Applied Thermal Engineering, Volume 230, Part A, 2023, 120657, ISSN 1359-4311.
- [11] Sadeghi, G., Safarzadeh, H., Bahiraei, M., Ameri, M. & Raziani, M. (2019). Comparative study of air and argon gases between cover and absorber coil in a cylindrical solar water heater: An experimental study. Renewable Energy, Volume 135, 2019, Pages 426-436, ISSN 0960-1481.
- [12] Lolli, N. & Andresen, I. (2016). Aerogel vs. argon insulation in windows: A greenhouse gas emissions analysis. Building and Environment, Volume 101, 2016, Pages 64-76, ISSN 0360-1323.
- [13] Bazgaou, A., Aqili, N., Benahmed, A., Ibaz, K., Oubenmoh, S., Er-Raki, M., Belhorma, B., Amenjou, N., Saadaoui, A., Hartiti, B., Labrim, H., Marah, H. (2023). Optimizing greenhouse design: Effect of argon double glazing on climatic factors distribution and energy savings. Solar Energy, Volume 265, 2023, 112145, ISSN 0038-092X.
- [14] Shaik S.B., Gorantla K., Shaik S., Afsal A., Rajhi A., Cuce E., (2023) Experimental and theoretical examination of the energy performance and CO2 emissions of room air conditioners utilizing natural refrigerant R290 as a substitute for R22. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry Volume 148, January 2023.
- [15] Mert Cuce P., Cuce E., Guclu T., Shaik S., Alshahrani S., Saleel A., (2022). Effect of using hybrid nanofluids as a coolant on the thermal performance of portable thermoelectric refrigerators. Sustainable Energy Technologies and Assessments Volume 53, Part C, October 2022, 102685.
- [16] Cuce E., Guclu T., Mert Cuce P., (2020). Improving thermal performance of thermoelectric coolers (TECs) through a nanofluid driven water to air heat exchanger design: An experimental research. Energy Conversion and Management Volume 214, 15 June 2020, 112893.
- [17] Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Kaynaklı, Ö., Coşkun, S. & Yamankaradeniz, N. (2017). Soğutma Tekniği ve Isı Pompası Uygulamaları, Bursa: Dora Yayıncılık.

- [18] Çengel Y., A., (2009). Isı ve Kütlesel Transferi Pratik Bir Yaklaşım, 3.basım, İzmir: Güven Bilimsel Yayınları.
- [19] Aydın, O. (2006). Conjugate heat transfer analysis of double pane windows. *Building and Environment*, Volume 41, Issue 2, 2006, Pages 109-116, ISSN 0360-1323.
- [20] Chaomuang, N., Laguerre, O., Flick, D. (2020). A simplified heat transfer model of a closed refrigerated display cabinet. *Thermal Science and Engineering Progress*, Volume 17, 2020, 100494, ISSN 2451-9049.
- [21] TS EN ISO 23953-2:2024 Soğutuculu teşhir dolapları-Bölüm:2 Sınıflandırma, kurallar ve deney şartları (ISO 23953-2:2023)
- [22] 2019/2018 of 11 March 2019 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. official journal of the European Union, (2019).
- [23] Erten, S., Öder, M., Aktaş, M., Şevik, S., & Şensoy, B. (2024). Design and experimental analysis of condensate pan for plug-in refrigerated display cabinets: Improving drying efficiency. *Applied Thermal Engineering*, 248, 123198
- [24] Jarahnejad, M., “New Low GWP Synthetic Refrigerants”, Master of Science Thesis, 2012.
- [25] Referans Metal Ltd. AMS 4156 AlMg0.7Si 6063 T6. <https://www.referansmetal.com/alasimli-aluminyum/product/260/uzay-havacilik-savunma/boru-profil-ekstruzyon/ams-4156-almg0-7si-6063-t6>
- [26] Plastimak- Plastik Profil Enjeksiyon San. Tic. A.Ş. (2021, January 5). Pls Hard Pvc – 10 Technical Information. <https://www.plastimak.com/>
- [27] Yakut A.K., Selbaş R. ve Yakut M.Z. (2022). Mühendislikte Isı Transferi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Yayın No: 008.
- [28] Aktekeli B., Aktaş M., Koşan M., Arslan E. ve Şevik S. (2025). Experimental study of a novel design bi-fluid based photovoltaic thermal (PVT)-assisted heat pump dryer. *Renewable Energy* Volume 238, January 2025, 12197.
- [29] Bahar E.M., Erten, S., ve Aktaş M. (2024). 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.
- [30] Riffat, S.B., Cüce, E. (2015). Aerogel-Assisted Support Pillars for Thermal Performance Enhancement of Vacuum Glazing: A CFD Research for a Commercial Product. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 40(8). 10.1007/s13369-015-1727-5
- [31] Aydın, O. (2006). Conjugate heat transfer analysis of double pane windows. *Building and Environment*, Volume 41, Issue 2, 2006, Pages 109-116, ISSN 0360-1323. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.01.011>
- [32] Cuce, E., Riffat, S. B. (2015). A state-of-the-art review on innovative glazing technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 41, Pages 695-714, ISSN 1364-0321. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.084>.
- [33] Cuce, E., Cuce, P., M. (2016). Vacuum glazing for highly insulating windows: Recent developments and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 54, Pages 1345-1357, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.134>.
- [34] Alvur, E., Cuce P. M., Cuce, E., Bouabidi, A., Soudagar, M., E., M. (2024). Thermal Bridging in Windows: A Critical Review on Mitigation Strategies for Enhanced Building Energy Efficiency. *Sustainable and Clean Buildings*. Volume 1, Issue 1,(1):176-93. <https://ojs.wiserpub.com/index.php/scb/article/view/6066>.