



Konferans Bildirisi

Soğutuculu Teşhir Dolaplarında Faz Değişim Malzemelerinin Enerji Verimliliğine Katkılarının Değerlendirilmesi

Orhan Mert DURANER^{1*}

¹ Kaplanlar Soğutma A.Ş., Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-3491-8106>, e-mail:
oduraner@kaplanlar.com ;0532 419 47 37

Received 03 October 2024

Received in revised form 11 December 2024

In final form 18 December 2024

4th International Conference on Design, Research and Development
(RDCONF 2024)
December 19 - 20, 2024

Reference: Duraner, O. M. (2024). Soğutuculu teşhir dolaplarında faz değişim malzemelerinin enerji verimliliğine katkılarının değerlendirilmesi. Orclever Proceedings of Research and Development, 5(1), 1-33.

Özet

Bu çalışmada, farklı türdeki faz değiştiren materyaller (FDM) kullanılarak açık dikey tip soğutuculu teşhir dolabının performansı deneysel olarak araştırılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmalar ile mevcut enerjiyi en verimli kullanarak karbon ayak izinin azaltılması amaçlanmıştır. Çalışmada bahsedilen FDM'ler ağırlıkça yüksek oranda saf su ve uygulama için uygun erime ve donma sıcaklıkları arasına (-1°C/+5°C) sahip, farklı bileşimlerin belirli kütle oranlarında karıştırılmasından elde edilmiştir. Ayrıca soğutucunun arka-sırt bölümündeki buharlaştırıcıdan sonra konumlandırılmış radyatöre doldurularak; soğutulmuş hava akışının harici radyatörlerden geçmesi sağlanmıştır. Çalışmaya referans olması açısından bire-bir aynı ölçüt ve özelliklerde, FDM içermeyen teşhir dolabı da incelenerek; sistem ve bileşenlerin performansları aynı çalışma koşulunda test edilmiştir. Test sonuçları, FDM radyatörlerin teşhir dolaplarına kurulmasıyla birlikte %7'ye kadar enerji tasarrufu ve daha düşük ürün sıcaklıklarının elde edilebileceğini göstermiştir. Bunlara ek olarak FDM kullanılan teşhir dolabı; buz çözme periyodu sırasında ürün sıcaklıklarının daha uzun süre boyunca sabit kalması gibi ek faydaların elde edilmesini sağlamıştır.

Anahtar: Açık dikey tip soğutucu teşhir dolapları, faz değiştiren materyaller, buharlaştırıcı, yoğunlaştırıcı.



Conference Article

Evaluation of the Contributions of Phase Change Materials to Energy Efficiency in Refrigerated Display Cabinets

Abstract

In this study, the performance of open vertical type refrigerated display cabinet was experimentally investigated by using different types of phase change materials (PCM). Said PCM's were selected from deionized purified water and a water-based material, that is obtained by mixing different compositions in certain mass ratios with suitable melting and freezing temperatures ($-1^{\circ}\text{C}/+5^{\circ}\text{C}$) for the application. In addition, by filling the radiator located next to the evaporator at the back of the cooler, the cooled air flow is provided to pass through the external radiators. A similar study was carried out and applied in the display cabinet without PCM, and tested under the same operating conditions to measure and compare the performances of the both systems and components. Test results have shown that up to 7% energy savings and lower product temperatures can be achieved by installing PCM radiators in display cabinets. In addition to these, display cabinet using PCM; This resulted in additional benefits such as product temperatures being stable for a longer period of time during the de-frost period.

Keywords: Open vertical type refrigerator display cabinets, phase change materials, evaporator, condenser.



1. Giriş

Dünyada sınırlı enerji kaynakları ve yaşadığımız küresel iklim ve çevre kirliliği problemleri, mevcut enerji kaynaklarının etkin kullanımı ilgili çalışmalar artan bir konu haline gelmiştir. 2020 yılında ortaya çıkan toplam sera gazı emisyonu, önceki yıla kıyasla yaklaşık %3,1 artarak 523,9 milyon ton (Mt) CO₂ eşdeğeri (eşd.) olarak hesaplanmıştır. [1] Kişi başına düşen toplam sera gazı emisyonu 1990 yılında 4 ton CO₂ eşdeğerinde iken; bu değer 2019 yılında 6,2 ton CO₂ eşdeğer ve 2020 yılında 6,3 ton CO₂ eşdeğer olarak kayıtlara geçmiştir. [2] Özellikle perakende satış mağazalarında bulunan soğutma sistemleri ve bu sistemlere ait donanımlar, perakende sektöründe gerçekleşen emisyonun %50'sini oluşturmaktadır [3,4]. Perakende satış mağazalarında gıda ürünleri teşhir edilirken, aynı zamanda gıda güvenliğine uygun saklanması amacıyla soğutuculu teşhir dolapları kullanılmaktadır. Bu dolaplardan açık tip soğutuculu teşhir dolapları, müşterilerin gıda ürünlerine kolay erişimini sağlayıp, standartlara göre soğuk tutarak bozulmasını önlediğinden perakende sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. [5]

Soğutuculu teşhir dolaplarında enerji akışını kontrol etmek amacıyla; kompresör kapasite kontrolünün yapılması ve bu amaçla dolap içerisinde termal enerji depolamasının (TED) uygulanması, sistemin kısmi yük koşullarında çalışmasını sağlamada en yaygın yöntemlerdendir. [6] Termal enerji depolama (TED) türleri, faz değiştiren materyallerin (FDM) türlerine göre sınıflandırılabilir. FDM'ler organik ve inorganik karışımlar olarak ikiye ayrılırlar. Yağ asitleri ve parafin gibi organik FDM'ler kendi kendine çekirdeklenme özelliğine sahiptir. Ancak bu durum daha düşük termal iletkenlik ve daha yüksek maliyet olarak geri dönmektedir. Tuz hidratlar gibi inorganik materyaller, daha düşük maliyet ve daha yüksek ulaşılabilirliğe sahiptir, ancak faz ayrımında zorluklar ve uyumsuz bir faz değişimi sergilemektedir. Bu sebeple, uygun işletim ve maliyet koşullarını karşılamak için FDM türünün belirlenmesi çok önemli bir konudur. [6]

Termal enerji depolaması için FDM'lerin kullanılması, enerji tasarrufu ve kontrolü için sistem bileşenlerine veya dolaba doğrudan adapte edilmesi yoluyla soğutma sistemlerinde önemli rol oynamıştır. Bu tür uygulamalar, uzun yıllar boyunca farklı şekillerde incelenmiştir. Örnek olarak; ev tipi bir buzdolabında buharlaşma sıcaklığını arttırarak enerji tüketimini verimleştirmek üzere sulu çözelti ile doldurulmuş FDM levhaları evaporatör bobinlerinin dış plakalarına yapıştırılarak uygulanmıştır [7,8]. Bu çalışmayla sistem soğutma performansının %5-15 oranında arttığı, kompresör çalışma süresinin önemli ölçüde azaldığı hem teorik hem de deneysel olarak gözlemlenmiştir. Dolaba cam kapı eklenerek FDM'lerin birlikte kullanılmasıyla kapı açma ve buz eritme



döngüsünün olumsuz etkilerinin azaltıldığı görülmüştür [9]. Ayrıca, alt kabin sıcaklığı ve donmuş ürün sıcaklıklarında da daha az dalgalanma görülmüştür.

Sistem çalışmadığında veya kapatıldığında etkilerini test etmek için FDM'yi dondurucu bölmelere dahil ederek ticari bir dondurucuda deneysel araştırmalar yapılmıştır [10]. Bu araştırma sonuçlarında, FDM kullanarak soğutma kapalı olsa dahi hem donmuş ürün hem de hava sıcaklıklarının çok daha uzun süre daha düşük değerlerde kalabileceğini göstermiştir. [11].

Benzer şekilde, soğutma sistemleri kapatıldığında gıda depolama odasını istenen sıcaklık ve bağıl nemde tutmak için frigorifik kamyonlara da FDM'lerin uygulandığı görülmüştür [12,13]. Bu çalışmada da, kamyonların duvarlarına FDM paneller yerleştirilerek prototip sistemler oluşturulmuş ve test sonuçları, önerilen sistemler aracılığıyla ısı transfer kayıplarının oranlarının geleneksel olanlardan daha düşük olduğunu ve dolayısıyla daha fazla enerji tasarrufu elde edildiğini göstermiştir.

Şimdiye kadar, FDM'lerin açık tip teşhir dolaplarına uygulanması ile ilgili tek çalışma saptanmıştır. F. Wang, ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmada, sıcaklık farkını azaltmak ve ısı transferini artırmak için ısı boruları rafa entegre ederek yeni bir teşhir dolabı rafı tasarlanmıştır. [14] Ayrıca buz çözme periyodu esnasında ürün sıcaklık artışlarını azaltmak amacıyla da raflar uygun FDM'ler ile doldurulmuştur. Sonuç olarak hem ısı borularını hem de FDM'yi kullanan yeni bir kombine raf inşa edilmiş ve test edilmiştir. Sonuçlar, yeni tasarımın buz eritme periyodunda ürün sıcaklığındaki artışları 1.5 C° azaltma potansiyeline sahip olduğunu ve enerji azaltma ve gıda kalitesini iyileştirme açısından önemli avantajlar sunduğunu göstermiştir.

Yapılan literatür araştırması ve çalışmaların çoğunun, FDM uygulamasının dondurucular ve buzdolapları gibi kapalı tip dolapların veya geleneksel soğutma sistemlerinin performansı üzerindeki etkilerine odaklanmış olduğunu göstermiştir. Ancak enerji tüketiminin yüksek olduğu ve perakende sektöründe oldukça fazla kullanılıp, ciddi oranda enerji kullanımına sahip olan açık tip soğutuculu teşhir dolapları üzerine yeterince odaklanılmamıştır. Bu çalışmanın amacı, farklı türdeki FDM'lerin açık tip dikey soğutuculu teşhir dolabı üzerine uygulayarak; performansı üzerindeki etkisini, enerji tasarrufunu, gıda sıcaklığındaki iyileştirmeleri ve geleneksel dolaplarla deneysel olarak karşılaştırmak ve araştırmaktır.

1.1 Tezin Kapsamı



Bu çalışma; birbirinden farklı özellik ve kimyasal kompozisyonlara sahip faz değiştiren materyallerin soğutucu teşhir dolaplarına uygulanması ile, enerji verimliliği ve dolap üzerindeki termodinamik etkilerini kapsamaktadır.

Yapılan çalışma sonucunda ortaya konulan soğutucu teşhir dolabı; ISO 23953-2:2015 standardında belirtilen kurallara göre test edilecek ve doğrulanacaktır. Bu doğrulama sonrasında uygulamaya en uygun model sonuçları değerlendirilerek belirlenmiş ve gelecekte bu verilerden yararlanılarak yeni çalışmalar gerçekleştirilebilecektir.

1.2 Teorik Açıklamalar ve Literatür Araştırmaları

1.2.1 Faz değiştiren maddeler (FDM)

Faz değiştiren maddeler (FDM), faz geçişinde ısı/soğutma sağlamak için yeterli enerjiyi serbest bırakan veya enerjiyi içine çeken maddelerdir. Bu enerji transferi maddenin katı – sıvı halleri arasında gerçekleşmektedir. Faz değişiklikleri, bir maddenin belirli bir kristal yapıya uyması, daha yüksek veya daha düşük bir enerji seviyesinde diğerine uyum sağlaması veya kristallerin ayrışması gibi farklı madde durumları arasında da gerçekleşebilir. [15]

Duyulur ısı depolamanın aksine, bir FDM, faz değişim sıcaklığında eriyerek veya katılaşarak büyük miktarlarda enerji depolayabilir ya da serbest bırakabilir. Malzemenin temel yapısı, katıdan sıvıya dönüştüğünde değiştiğinden veya tersi durumda, ısı emilir veya açığa çıkar. Sonuç olarak; FDM'ler gizli ısı depolama malzemeleri olarak da bilinir.

Faz değiştiren materyaller şu alt sınıfta incelenebilirler;

- Organik
- İnorganik
- Higroskopik materyaller
- Katı-Katı FDM'ler.

Organik FDM'ler; Hidrokarbonlar, başlıca parafinler (C_nH_{2n+2}) ve lipidler, ayrıca şeker alkollerinden oluşmaktadır.

Avantajları

- Kolay dondurulabilme ve erime,



- Geleneksel yapı malzemeleri ile uyum,
- Kararlı kimyasal bileşim,
- Reaksiyona girmeyen ve güvenlik seviyesi yüksek,

Dezavantajları

- Maddenin katı halinde ısı iletkenliğinin düşük olması,
- Faz değişimi esnasında ısı transfer miktarının fazla olma gerekliliği,
- Hacimsel gizli ısı depolama kapasitesi düşüklüğü,

İnorganik FDM'ler; Yüksek bir füzyon ısısına sahip olan tuz hidratlar (MnH_2O), nitratlar ve metallerdir. Bu materyaller ayrıca yüksek gizli ısı değerleri sunar; yanıcı değildirler, ucuzdurlar ve kolaylıkla temin edilebilirler. Bununla birlikte, inorganik FDM'lerin dezavantajları, organik FDM'lerin araştırılmasına yol açmıştır. İnorganik FDM'lerin avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibidir. [16]

Avantajları

- Gizli ısı depolama kapasitesi yüksek,
- Piyasada bulunabilir ve ekonomik,
- Belirgin erime noktası,
- Yüksek ısı iletkenliği,
- Yanıcı olmayan,

Dezavantajları

- Metaller gibi diğer birçok malzeme için aşındırıcı,
- Bazı karışımların hacim değişiminin fazla olması,

Higroskopik materyaller;

Birçok doğal yapı materyali higroskopiktir, yani suyu emebilir (su yoğunlaşır) ve serbest bırakabilir (su buharlaşır). Bu süreç aşağıdaki gibidir;



Yoğunlaşma (gazdan sıvıya) $\Delta H < 0$; entalpi azalır (ekzotermik süreç) ısı verir.

Buharlaştırma (sıvıdan gaza) $\Delta H > 0$; entalpi artışları (endotermik süreç) ısıyı emer (veya soğutur).

Bu işlem az miktarda enerji açığa çıkarırken, yüzey alanı geniş binalarda, 1–2 °C ısıtma veya soğutmaya izin verir.

Katı-Katı FDM'ler;

Bu FDM çeşidi; çok fazla ısı emildiğinde ve serbest bırakıldığında katı/katı faz geçişine uğrar. Sabit ve iyi tanımlanmış bir sıcaklıkta, bu malzemeler kristal yapılarında bir kafes konfigürasyonundan diğerine kaymaya uğrar. Bu dönüşüm, en verimli katı/sıvı FDM'lere benzer ve gizli ısınmalara neden olabilir. Bu tür malzemeler, katı/sıvı FDM'lerin aksine aşırı soğutmayı önlemek için çekirdeklenme gerektirmez. Ek olarak, bu bir katı/katı faz değişikliği olduğundan, FDM'nin görünümünde bir değişiklik yoktur ve sıvıların depolanması ile ilgili herhangi bir sorun oluşturmamaktadır. Katı-katı FDM çeşidi; -50 °C ile +175 °C sıcaklık aralığı arasında çalışabilmektedir. [16]

Faz değiştiren materyaller; ısı yatakları ve giysilerde de dahil; sabit sıcaklıkların ve enerji depolamanın gerekli olduğu ve tüm durumlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak; binalarda ısıtma ve iklimlendirme, solar enerji depolama, ısı pompaları ve ısı dağıtım sistemleri gibi sistemler verilebilir. Ayrıca sıcaklık değişimine karşı duyarlı gıda ürünleri ve organ nakillerinde canlı organların muhafazası ve transferi için faz değiştiren maddelerden yararlanılmaktadır. Faz değiştiren maddelerin ısıtma amaçlı yastık, kemer vb. kişisel bakım ürünleri olarak da kullanımları mevcuttur. Ayrıca birçok farklı ticari uygulamada da etkin olarak kullanılmaktadır. [17,18]

1.2.2 Literatür araştırmaları

Selvnes ve diğerleri [18] tarafından yapılan bir çalışmada, soğutma sistemlerine uygulanan soğuk termal enerji depolama (CTES) sisteminde faz değiştiren materyaller (FDM) üzerine son gelişmeleri içerecek şekilde, kapsamlı bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada; iklimlendirme sistemlerinde (20 °C) gıdaların düşük sıcaklıkta dondurulmasına (– 60 °C) kadar uygulanan farklı FDM türlerinin bir sınıflandırmasını içermektedir. FDM'leri etkileyen termofiziksel özelliklerinin yanı sıra ilgili karakterizasyon yöntemlerine genel bir bakış sunulmaktadır. 10 °C ila – 65 °C sıcaklık aralığında piyasada bulunan mevcut FDM'ler listelenmiştir. Son olarak, soğutma sistemlerinde faz değiştiren materyallerin kullanımı ve soğuk termal enerji depolama



(CTES) üzerine araştırmalar gözden geçirilerek gıda taşımacılığı, paketleme, ticari soğutma ve diğerk çeşitli soğutma sistemleri için olası etkilerinden bahsedilmiştir.

Lu ve Tassou [19] tarafından yapılan çalışmada, soğutma ekipmanlarında enerji depolamak için faz değıştiren materyallerin kullanımı ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Burada bahsedilen çalışmadaki ana amaç; ekipmanın termal kapasitesini arttırmak ve sık kapı açılmaları, kompresörün açma-kapama döngüsü ve şebeke elektriğı kesintisi sırasında ürün sıcaklığını güvenli sınırlar içinde tutmaya çalışmaktır. Bu çalışmada; 0 °C ile +5 °C arasındaki ürün sıcaklık aralığında çalışan gıda soğutma dolaplarında kullanılmak üzere faz değışim materyallerini ele almaktadır.

Khana ve arkadaşlarının [20] gerçekleştirdiğı çalışmada; Ev tipi bir buzdolabının kompresör açma-kapama döngüsüne faz değıştiren materyallerin (FDM) etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. FDM'ler, evaporatör kabininin arkasında konumlandırılmakta ve evaporatör bobini FDM ile irtibatlandırılmaktadır. Araştırma için farklı termal yüklerde iki tip FDM kullanılmıştır. FDM ile yapılan deneysel sonuçlar; test edilen süre içindeki kompresör açma-kapama döngülerinin sayısının FDM'siz sisteme göre yaklaşık 3 kat daha düşük olduğunu ve sonuçta geleneksel bir soğutma sistemine kıyasla sistemin verimlilik kayıplarını azalttığını göstermektedir. FDM ile yapılan deneysel sonuçlar, FDM'siz ile karşılaştırıldığında ortalama kompresör çalışma süresinin yaklaşık %5-30 oranında azaldığını ve FDM ile yapılan test sonuçları, kabin içindeki sıcaklık dalgalanmasında gözle görülür bir azalma olduğunu kanıtlamaktadır.

Liu ve arkadaşlarının [21] gerçekleştirdiğı çalışmada; Soğutmalı kamyonları istenen termal koşullarda tutmak için faz değışim materyali (FDM) içeren yenilikçi bir soğutma sistemi önerilmiştir. Düşük sıcaklıkları korumak için FDM kullanmanın avantajı, araçta geleneksel bir soğutma sisteminin bulunmasının gerekmemesidir. Ayrıca sistem daha az enerji tüketmekte ve çok daha düşük yerel sera gazı (GHG) emisyonu oluşturmaktadır. Faz değıştiren termal depolama ünitesi (PCTSU), sabit durumdayken aracın dışına yerleştirilmiş bir soğutma ünitesi tarafından şarj edilmektedir. FDM üzerine depolanan bu enerji, araç hareket halindeyken ek soğutma sağlamak ve aracı sabit 18°C sıcaklık koşullarında tutmak için uygun bulunmuştur. Ayrıca çalışmada mevcut FDM'lerden daha düşük maliyetli yeni bir FDM geliştirilmiştir. Bahsedilen FDM, 26,7°C'lik bir erime sıcaklığına ve 154,4 kJ/kg'lık bir gizli ısıya sahiptir. Çalışmada uygulamayı gerçekleştirmek üzere bir prototip sistem inşa edilmiş ve test sonuçları, önerilen soğutma sisteminin mobil taşıma için uygun olduğunu kanıtlamıştır. Bu çalışma ile; önceden soğutulmuş ürün teslimatının, geleneksel soğutma sistemine kıyasla, FDM sistemi ile yapılabileceğini göstermiştir.



Mohammed ve arkadaşlarının [22] yaptığı çalışmada; her rafının altına yerleştirilmiş bir faz değişim materyali (FDM) içeren bir dolap için; termal performansın CFD (Hesaplamalı akışkanlar dinamiği) simülasyonuna odaklanmıştır. Bu çalışmada kullanılan FDM, organik tip FDM'lerden biridir. Kompresörün kapalı durumda olmasıyla, toplam 30 dakikalık bir süre boyunca buzdolabı içindeki termal ortam için geçici bir simülasyon gerçekleştirilmiştir. Kompresörün kapatılmasından simülasyon süresinin sonuna kadar her 5 dakikada bir buzdolabı alanı içindeki sıcaklık dağılımları sunulmuştur. Simülasyonun sonuçları, FDM kullanılan ve FDM kullanılmayan olarak incelenmiştir. FDM'nin soğuk alana eklenmesinin etkisini göstermek amacıyla iki durum özetlenmiştir. Mevcut çalışmadan elde edilen bulgular, FDM eklenerek daha düşük sıcaklık değeri elde edildiğini göstermiştir. FDM katı haldeyken sıcaklık yükselmeye başladığında FDM buzdolabı boşluğundan ısıyı emmeye başlamış, sonrasında ise erimeye başlamıştır. Bu işlem, enerjinin kesilmesi durumunda soğuk alanlarda sıcaklık değerlerindeki artış oranının azaltılmasına veya kompresörün kapalı çevrim süresinin uzamasına yardımcı olarak enerji tasarrufunda önemli bir rol oynayabileceğini göstermiştir.

Salunkhe ve arkadaşlarının [23] yaptığı çalışmada; Bir termal enerji depolama sisteminin (TESS) performansı üzerinde; faz değişim materyali (FDM) kapsülleme etkisinin ayrıntılı bir incelemesini içermektedir. Kapsülleme boyutu, kabuk kalınlığı, kabuk malzemesi ve kapsülleme geometrisi gibi temel kapsülleme parametreleri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Kapsüllenmiş FDM'nin termal ve yapısal stabilitesine karar vermede çekirdek-kaplama oranının önemli bir rol oynadığı gözlemlenmiştir. Kabuk malzemesinin termal iletkenliğinin, FDM ile ısı transfer sıvısı (HTF) arasındaki ısı alışverişi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Bu çalışma ayrıca FDM'nin katılaşma ve erime özelliklerini ve çeşitli kapsülleme parametrelerinin faz değişim davranışı üzerindeki etkisini gözden geçirmektedir. Kabuk malzemesinin daha yüksek bir termal iletkenliği, daha düşük bir kabuk boyutunun ve yüksek HTF sıcaklığının, kapsüllenmiş FDM'nin hızlı erimesine neden olduğu gözlemlenmiştir. Katılaşma ve eriyik proseslerinde sırasıyla iletim ve doğal konveksiyon baskın bulunmuştur. Kapsüllenmiş FDM ve HTF arasındaki doğrudan yüzey teması nedeniyle mikrokapsüllenmiş faz değişim ajanı (MPCA) ile ısı transferinde önemli bir gelişme gözlemlenmiştir. Mikro kapsüllerin hacimsel konsantrasyonunun artmasıyla basınç düşüşü ve viskozitenin de önemli ölçüde arttığı bildirilmiştir.



2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada; aşağıdaki çizelgede içeriği belirtilen üç farklı FDM kullanılarak kıyaslanmıştır.

Çizelge Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..1 : FDM Kimyasal İçeriği

Birinci FDM	İkinci FDM	Üçüncü FDM
%100 H ₂ O	%95 H ₂ O	%92 H ₂ O
	%3 AgI	%6 AgI
	%1.2 C ₁₀ H ₁₄ N ₅ Na ₂ O ₁₂ P ₃	%1.2 C ₁₀ H ₁₄ N ₅ Na ₂ O ₁₂ P ₃
	%0.8 Na ₂ B ₄ O ₇	%0.8 Na ₂ B ₄ O ₇

Suyun 0 °C'den daha düşük bir sıcaklıkta donmaya başladığı ve soğumaya neden olduğu, 310 kJ/kg'lık bir gizli ısı ile 0 °C'de eridiği bilinmektedir. Suyun bu aşırı soğuması (sub-cooling), gümüş iyodür (AgI) eklenerek azaltılabilir. Gümüş iyodür miktarında yapılan artış ile musluk suyunun donma sıcaklığının önemli ölçüde arttığı gösterilmiştir [24]. Bu nedenle, yüksek gizli ısıya sahip su, FDM olarak iyi bir potansiyele sahiptir ayrıca Çizelge 2.1'de bahsedilen ve kullanılan bu içerikler, yapıları gereği FDM'nin inorganik olmasını sağlamıştır. FDM'nin donma başlangıcı, dolabın içinde FDM'nin konumuna bağlıdır. Bu çalışmada kullanılacak üç farklı kimyasal içeriğe sahip faz değiştiren materyaller; evaporatörden hemen sonra konumlandırılmaktadır. Burada bahsedilen evaporatörün çalışma sıcaklığı; teşhir dolabının ISO standardında belirtilen gıda güvenliğini sağlaması amacıyla (3M1, -1°C/+5°C) -1,9°C'dir. İlgili FDM karışımlarının hazırlanmasında kullanılan maddeler ile ilgili açıklamalar aşağıda verilmiştir.

2.1.1 Gümüş iyodür (AgI)

AgI formülüne sahip ve inorganik bir madde olan gümüş iyodür; görünüşte parlak sarıdır, ancak numuneler neredeyse her zaman maddeye grimsi bir renk veren metalik gümüş parçacıklarına sahiptir. Gümüş iyodürün yüksek düzeyde ışığa duyarlılığı; gümüş kontaminasyonuna sebep olmaktadır. Bu da gümüş iyodürün eski tip fotoğrafçılıkta kullanılabilmesini sağlamaktadır. Ayrıca; antiseptik olmasının yanı sıra bulutları tohumlamak için de gümüş iyodür kullanılmaktadır.



Gümüş iyodür, sıcaklığa bağlı olarak bir kimyasal yapı benimsemektedir. AgI'nın en stabil formu, 420 K'nin altında bir wurtzit yapısına sahip olan fazdır. Mineral iyodargirit, bu fazın doğal karşılığıdır. Vücut merkezli kübik bir yapı olan bu motifteki gümüş; 6 oktahedral, 12 Tetrahedral ve 24 Trigonal bölge arasında rastgele dağılmıştır. Ag⁺ iyonlarının malzeme boyunca hızlı hareketi nedeniyle bu sıcaklıkta hızlı iyon iletimi mümkündür. [25]

2.1.2 Guar

Guar fasulyesinden elde edilen guar zamkı olarak bilinen galaktomannan polisakkariti, gıda, yem ve endüstriyel kullanımlarda mükemmel koyulaştırıcı ve dengeleyici özelliklere sahiptir. Guar tohum kabuğu mekanik olarak çıkarılır, su ile birleştirilir, öğütülür ve uygulamaya göre elenir. Normalde bu şekilde oluşan kirli beyaz toz serbest akıcıdır. Guaran, guar sakızının başka bir adıdır. Guar zamkı, galaktoz ve mannoz şekerlerinden yapılmış bir ekzo-polisakkarittir. Polimerin birincil atomik yapısı, kısa yan dallar üretmek için diğer her mannoza 1,6 bağlı galaktoz kalıntıları ile 1,4 bağlı mannoz kalıntılarından oluşan doğrusal bir zincirdir. Guar zamkı ile 80 ° C'lik bir sıcaklığa beş dakika dayanabilir. [25]

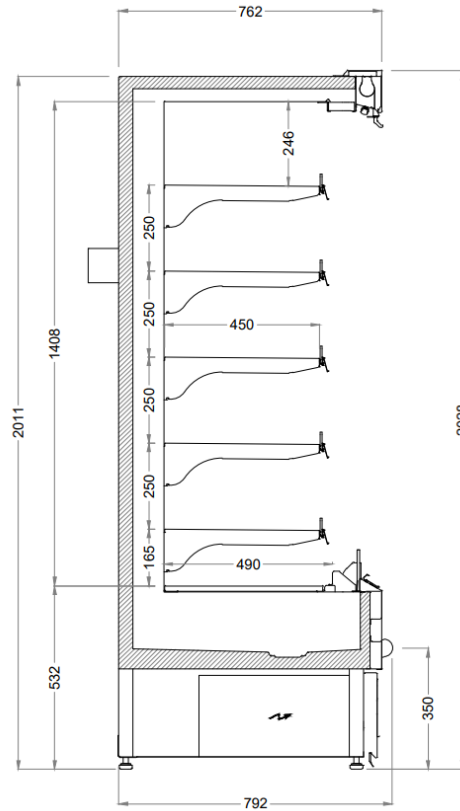
2.1.3 Sodyum tetraborat

Boraks bir tuzdur (iyonik bileşik), sodyumun hidratlı boratıdır, kimyasal formülü Na₂H₂₀B₄O₁₇ olup; genellikle Na₂B₄O₇·10H₂O olarak yazılır. Bazik bir çözelti oluşturmak için suda çözünen renksiz kristal bir katıdır. Genellikle bir akıtma maddesi, bir böcek ilacı olarak ve toz veya granül formunda kullanılır. Deri tabaklamanın bir parçası olarak; suni kullanım, lehim metali, cam, emaye ve seramik dahil olmak üzere çok sayıda ticari ve ev kullanımında bulunmaktadır. Ahşabın yaşlandırılması, odun mantarına karşı koruma ve tıpta alkalileştirici olarak ve kimya laboratuvarlarında tampon görevleriyle kullanılmaktadır. [26]

Deney Sistemi

Deneyler Kaplanlar Soğutma A.Ş'nin, Ar-Ge Merkezi Test Laboratuvarı 2'de gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan soğutuculu açık tip teşhir dolabının kesit görüntüsü Şekil 2.1'de verilmiştir. Farklı üç FDM ve FDM içermeyen dolap da olacak şekilde toplam dört deney çalışması planlanmıştır. Her çalışmada Şekil 2.1'de verilen dolap tipi kullanılmıştır. Kullanılan dolap; soğutuculu açık tip çok rafli teşhir dolabıdır. Bu teşhir dolabının özellikleri Çizelge 2.2'de belirtilmiştir. Evaporatör, dolap arka panelinin alt kısmında konumlandırılmıştır. Evaporatör serpantinlerinin üzerine, dolap etrafındaki hava akışının dolaşımını kolaylaştırmak için altı adet pervane fanı da

monte edilmiştir. Sistemdeki geri kalan bileşenler; altta konumlandırılmış iki kondansatör, bir kılcal boru ve iki kompresörü içermektedir.



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..1 : Açık tip soğutucu teşhir dolabı geometrisi

Çizelge Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..**2 : Açık Tip Teşhir Dolabının Özellikleri**

Boyutlar	2011mm (H) x 792mm (W) x 1250mm (L)
Renk	Siyah
Güç Kaynağı	15 A

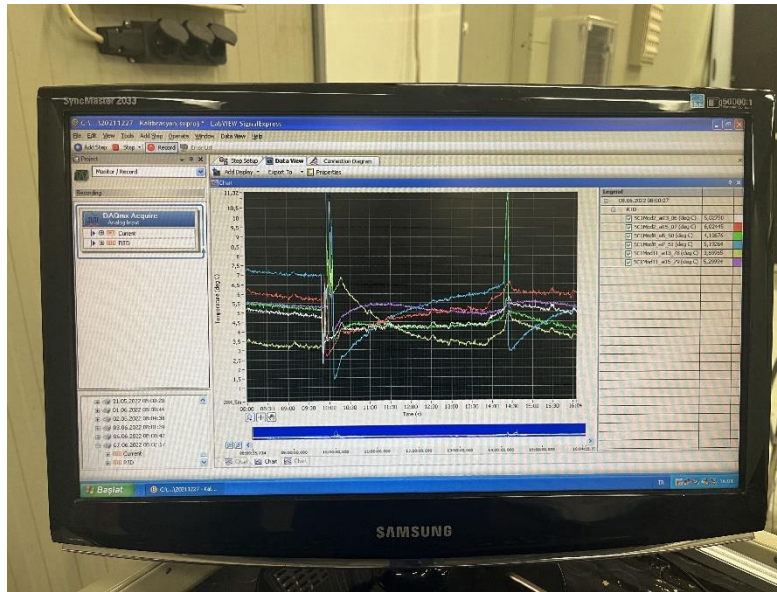


Raf	0+5 Raf
Kapasite	945 L
Sıcaklık	-1+5 °C (M1)
Soğutucu Akışkan	R404
Soğutulan Alan	4.07m ²
Net Ağırlık	575 kg
Buz Çözme Türü	Kapalı-Çevrim (Off-Cycle)

Deneyisel çalışmada kullanılan deney sistemi ISO 23953-2:2015 standardına uygun şekilde tasarlanmış ve kurulmuştur. [27] Dolabın testini gerçekleştirmek üzere; test odası içerisindeki sıcaklığı ve bağıl nemi (RH) korumak için bir merkezi sistem ve bir veri toplama sistemi bulunmaktadır. Tüm testler, iklimlendirme sınıfı 3 (Class 3) yani 25 °C ve %60 bağıl nemde (RH) ve odanın sabit bir kuru termometre sıcaklığında, çapraz hava akış hızının kontrol edildiği kararlı durum koşullarında gerçekleştirilmiştir. Bu iki hava parametresi; sıcaklık ve nemi korumak amacıyla, hava %100 dolaşımında olacak şekilde tasarlanmıştır. Test esnasında kullanılacak ana ölçüm araçları; sıcaklık sensörü, bağıl nem sensörü, hız sensörü, Signal Express LabView yazılımı ve National Instruments veri kayıt modülleridir. Ölçüm verileri bir bilgisayar yardımı ile toplanmakta ve işlenmektedir. Şekil 2.2 ve Şekil 2.3 de ölçüm ve veri toplama düzeneği verilmiştir.



**Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..2 : Veri Kayıt Birimi
ve Modülleri**





Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..3 : LabView Yazılımı ve Test İzleme Sistemi

Test izleme sistemi; soğutuculu dolap içindeki farklı konumlardaki ürün sıcaklıklarını, dolap içi hava sıcaklıklarını, evaporatör havasının açık ve kapalı sıcaklıklarını ölçmek için tam donanımlı algılayıcılar ile donatılmıştır. Ayrıca, soğutma sisteminin erişilebilir noktalarında yoğunlaştırıcı yüzeylerindeki sıcaklıklar da ölçülmüştür. Beraberinde dolabın birim zamandaki güç tüketimi de kaydedilmiştir. Ölçülen parametrelerin, fonksiyonların ve konumların aralığı göz önüne de alınarak iki gruba ayrılmıştır. Bunların arasında çapraz hava akış hızı, test odasındaki sıcaklıklar, bağıl nem, dolap güç tüketiminin izlenmesi ve kaydedilmesi yer almıştır. Bu ölçümlerde kullanılan algılayıcılar ile ilgili sıcaklık ölçüm ve hassaslık bilgileri de aşağıda belirtilen Çizelge 2.3'te belirtilmiştir.

Çizelge Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..3 : Algılayıcı Özellikleri

Algılayıcı Tipi	Model	Tanım	Tutarlılık
Sıcaklık (Rezistans Sıcaklık Algılayıcı)	PT100, PT1000	Sıcaklık ölçmede kullanılmaktadır.	1/3DIN($\pm 0,1^{\circ}\text{C}$), Ölçüt A ($\pm 0,15^{\circ}\text{C}$), Ölçüt B ($\pm 0,3^{\circ}\text{C}$),
Nem	KIMO HM	Ortam nemini ölçme ve değerlendirmede kullanılmaktadır.	($\pm 3\%$),
Sıcaklık	Termokupl	Üfleme/emiş bölümlerinde kullanılan sensör	($\pm 0,2^{\circ}\text{C}$),
Hız Ölçer	TSI Alnor	Test odası içerisindeki hava akış hızını ölçmede ve ortamın uygun standartlarda olduğunu değerlendirmesini sağlamaktadır.	($\pm 0,015$ m/s),

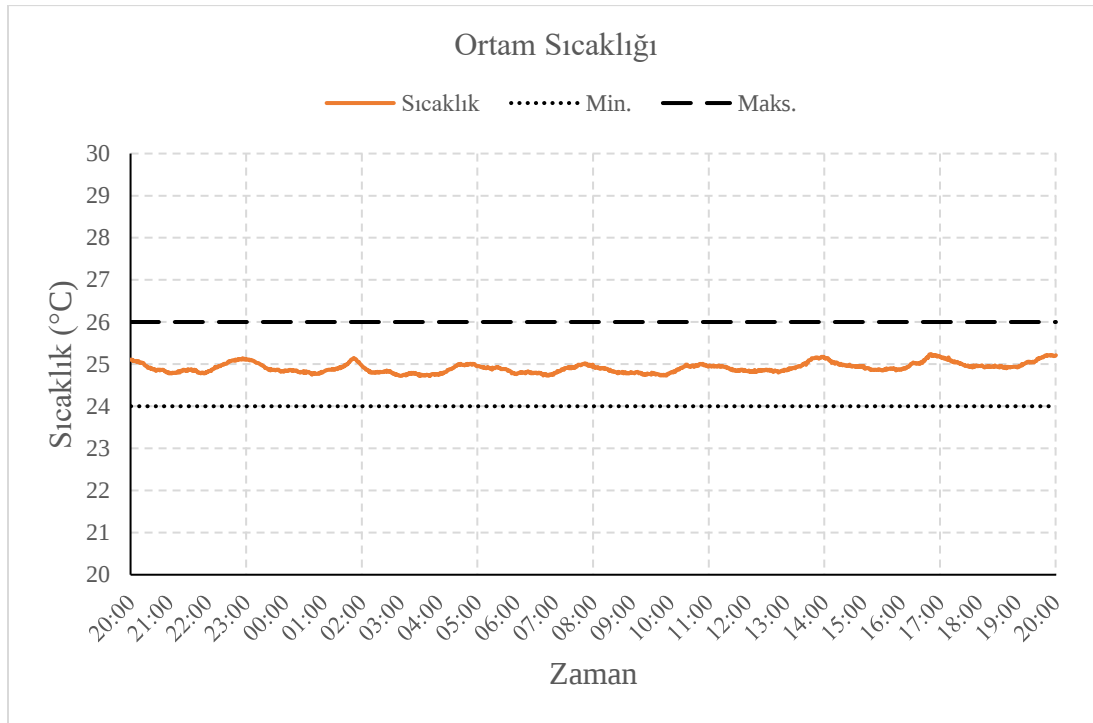


Deneysel çalışmada soğutucu parametreleri ön denemeler ve ISO 23953-2:2015 standartlarına uygun iklimlendirme sınıfı gereğince tespit edilmiştir. Belirlenen bu parametreler Çizelge 2.4'de verilmiştir. Belirlen parametreler her dört koşulda da soğutuculu teşhir dolabına uygulanmıştır. Çizelge 2.4'de bahsedilen tüm parametreler, sırasıyla hava akışı tünelinin üst kısmına, arka tünele ve evaporatör üfleme olan; üç sıcaklık algılayıcısına sahip bir dolapta termostatik kontrolörü kullanılarak ayarlanmıştır. Normal çalışmada dolap kompresörünün açık veya kapalı olduğunu belirlemek; birinci sıcaklık algılayıcı değerinin 1/3'ü ve saniyenin 2/3'ünün ölçüm toplamından saptanmaktadır. Bu bilgiye dayanarak, ayar noktasına ulaştığında kompresör kapalı ve ayar noktası artı diferansiyel sıcaklığın üzerine çıktığında tekrar çalıştırılmıştır.

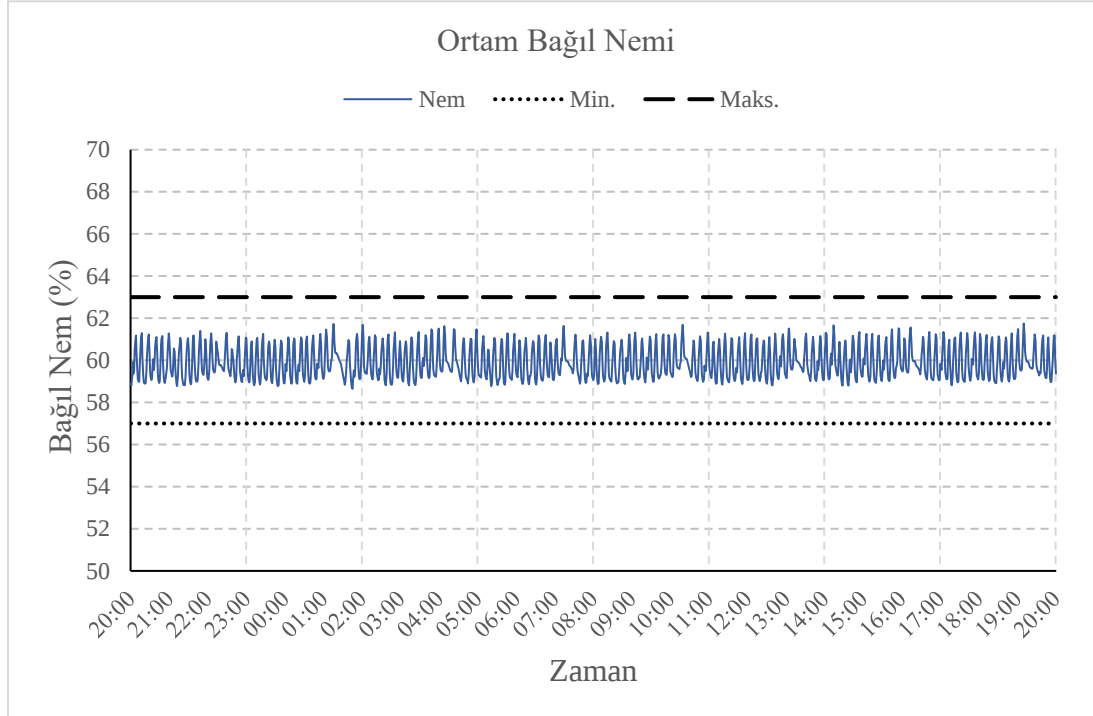
Çizelge Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..4 : Dolap Parametreleri

Set Değeri	-1,9 °C
Minimum Set Değeri	-4 °C
Maksimum Set Değeri	4 °C
Buz Çözme Sonlandırma Noktası	10 °C
Maksimum Buz Çözme Süresi	45 dakika

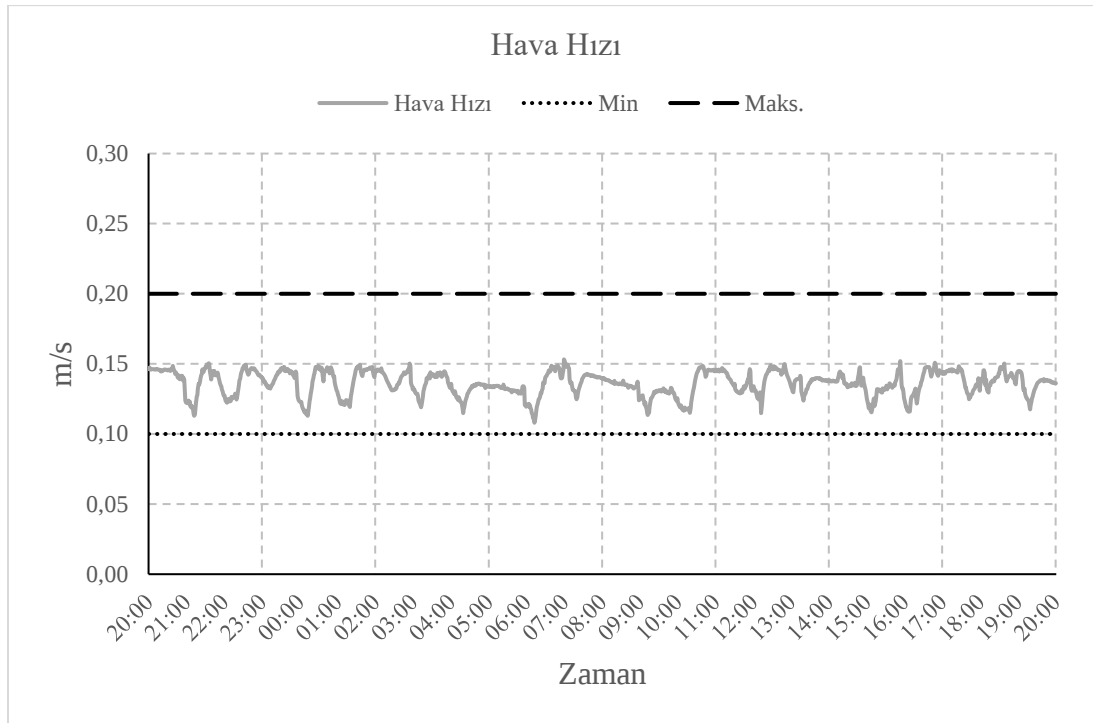
Ek olarak, evaporatör üfleme noktasında bulunan üçüncü sıcaklık sensörü buz çözme işlemini belirleyecektir. Test süreci sırasında, ürünlerin sıcaklıkları, hava perdesi çıkışı, evaporatör üfleme ve emiş sıcaklıkları, güç tüketimi, gibi önemli parametreler ölçülerek kayıt edilmiştir. Ayrıca; test odası içindeki sıcaklık, bağıl nem ve test odası hava akış hızı gibi ortam koşulları testin kararlılığı açısından ölçülmüş ve aşağıdaki Şekil 2.4, Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da görülebilmektedir.



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..4 : Test Odası Ortam Sıcaklığı



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..5 : Test Odası Ortam Bağıl Nemi

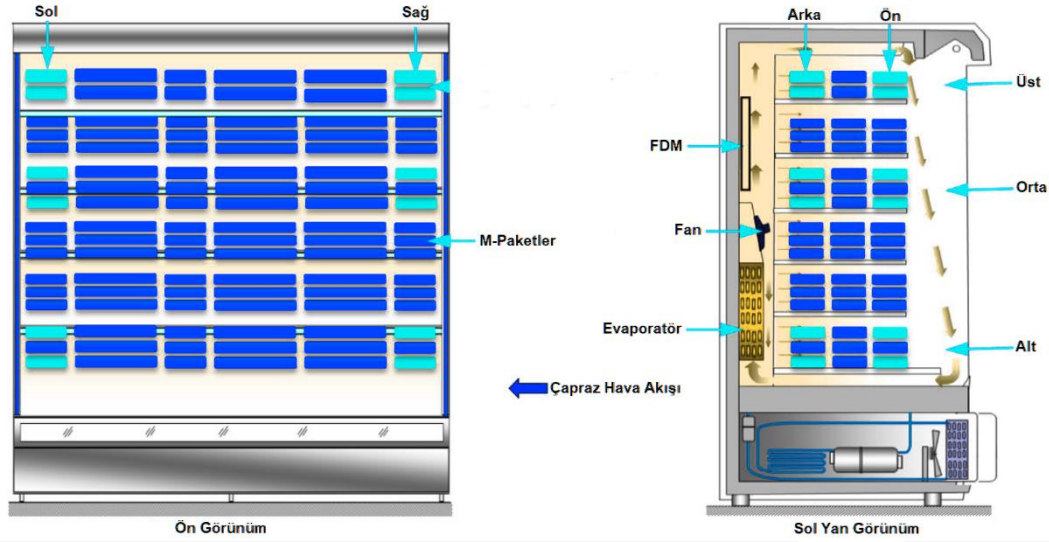


Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..6 : Test Odası Hava Hızı

Şekil 2.4, 2.5 ve 2.6'dan görüleceği üzere; test odası standartların minimum ve maksimum noktasını aşmamaktadır. Bu durum da test odasından alınacak verilerin standartlar dâhilinde uygun olacağını belirtmektedir.

Dolap içerisindeki bölmelere, gerçek koşullar altında dolaptaki gıdanın termal kütlesini benzetim (simulation) etmek amacıyla kullanılan test paketleri (M-pack) ile İngiliz standardına (BS EN ISO,23953-2:2015) göre yüklenmiştir. Her test paketinin kimyasal bileşimi, %30 selüloz, %70 su ve tuzdan oluşmaktadır. Fiziksel özellikleri arasında 0 °C 'de 1000 kg/m³ yoğunluk, 0,3 W/m-K termal iletkenlik ve 3500 J/kg-K özgül ısı, 200mmx100xmmx50 mm (yükseklik genişlik derinliği) boyutundadır. Dolaptaki tüm gıda ürünleri (M-paketler), soğutulduğu evaporatör ve arka delikli panelden yukarı doğru hareket edip, hava perdesinden geri dönen hava akımıyla soğutulmuştur. Dolap içindeki her bir rafta, Şekil 2.7'de gösterildiği gibi hem ön hem de arka kenarlarda sol ve sağ tarafa yerleştirilmiş sekiz paket ürün bulunmaktadır. Ürün sıcaklıkları, yüklenen ürünler için tek tek ölçülmüştür. Şekilde mavi ile vurgulanan üst, orta ve alt seviyelerdeki raflar, belirtilen ürünlerin her biri için, ortalama sıcaklığı ölçmek amacıyla merkeze sıcaklık algılayıcılar yerleştirilerek yapılmıştır. Tüm algılayıcılar, veri toplama sistemi tarafından her 10 saniyede bir örneklenen ve kısa bir süre sonra işlenmek üzere her 60 saniyede bir veri dosyasına kaydetmektedir. Veri ölçümü yapılmadan önce tüm

algılayıcılar ve sistem kalibre edilmiştir. Ayrıca test edilen dolabın test odasındaki görseli de Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..7 : M Paketlerin Dizilimi



Ortam sıcaklığı ve
nem sensörleri
grubu

ISO
Standartlarına
Uygun Test
Paketleri

Soğutuculu
Teşhir Dolabı
Motor Grubu

Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..8 : Test Dolabı ve Test Ortamı



Deneylerin Yapılışı

Bu çalışmada bahsedilen FDM'yi oluşturan bileşenler ve oranları; 3. Bölümün (Deneysel Çalışma) Materyal kısmında bahsedilmiştir. Bu bileşenler homojen olarak karıştırıldıktan sonra; kalıp olarak birleştirilerek radyatör şekline getirilmiş ve tek bir ünite olarak kullanılmıştır. Bahsedilen FDM radyatör soğutucu dolabın arkasında, evaporatörün üzerinde ve hava kanalı üzerinde uygun bir alana konumlandırılmıştır.

FDM etkisiyle evaporatörün duyulur soğutma kapasitesi hesaplamasında aşağıdaki (2.1) denklem kullanılmıştır.

$$Q_{evap} = mC_p(T_{on} - T_{off}) \quad (2.1)$$

Burada; m kütleyi, Cp ısı kapasitesini, Ton ve Toff ise sırasıyla sıcaklıklarını göstermektedir.

Yapılan ölçümlerden evaporatör duyulur soğutma kapasitesi 2.2475 kW olarak hesaplanmıştır.

Buz çözme süresinin ortalama 10 dakika olduğu ve bu süreden sonra dolap sıcaklığının buz çözme bitiş sıcaklığına ulaşacağı test sonuçlarından bulunmuştur. Ayrıca, buz çözme süresi boyunca, dolap sıcaklığı tepe değerine ulaşmadan önce kademeli olarak arttığı gözlemlenmiştir. Buz çözme periyodunun ilk üç dakikasında, evaporatör yüzeyinde eriyecek buz henüz tam erimediğinden evaporatör üfleme sıcaklığı normal aralık içerisinde olduğu saptanmıştır. Bu nedenle, buz çözme süresinin bu kısmı normal bir kapalı çevrim olarak kabul edilmiştir. Buna göre evaporatörün devre dışı kalması için efektif süre her buz çözme periyodunda yaklaşık 4 dakikadır. (240s) Hesaplanan ve tasarlanan FDM miktarı bu süreyi kapsayacak kadar yeterli olmalıdır. Bu, her bir buz çözme süresinin yedi dakikası boyunca dolap sıcaklığının normal aralıkta olacağı anlamına gelmektedir. Bu normal (FDM uygulanmayan) dolaba göre dört dakika daha uzun olacaktır. Bu bilgiden kesin olmak amacıyla FDM'leri 4 dakika boyunca ısı depolamak veya serbest bırakmak için gereken enerjinin hesaplanması gerekir. Bu hesaplama ise aşağıdaki Eş.(2.2) yardımı ile yapılmıştır.

$$E_{evap} = Q_{evap} \times T_{Mdef} \quad (2.2)$$



Burada; E; duyulur ısı Q evaparatör ısısı, TMdef ise efektif zaman periyodunu göstermektedir. Radyatörlerdeki FDM miktarı bu nedenle aşağıda verilen Eş.(2.3) yardımı ile hesaplanmıştır.

$$M_{FDM} = \frac{E_{evap}}{L\Delta T_{FDM}} \quad (2.3)$$

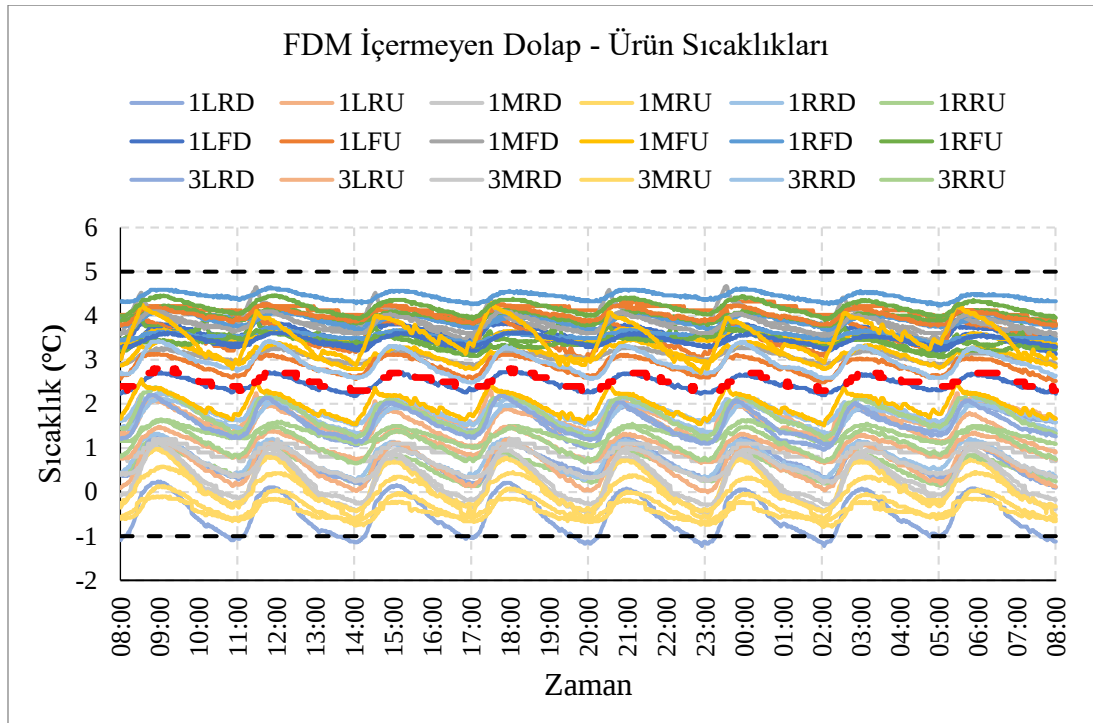
Burada; MFDM FDM'nin kütlesini, Eevap, evaparatörün enerjisini, LATFDM FDM'nin gizli ısısını belirtmektedir. FDM'nin ulaşacağı ortalama sıcaklık 4 °C olarak sisteme bağlı sıcaklık algılayıcılardan ölçülmüştür.

3. Bulgular ve Tartışma

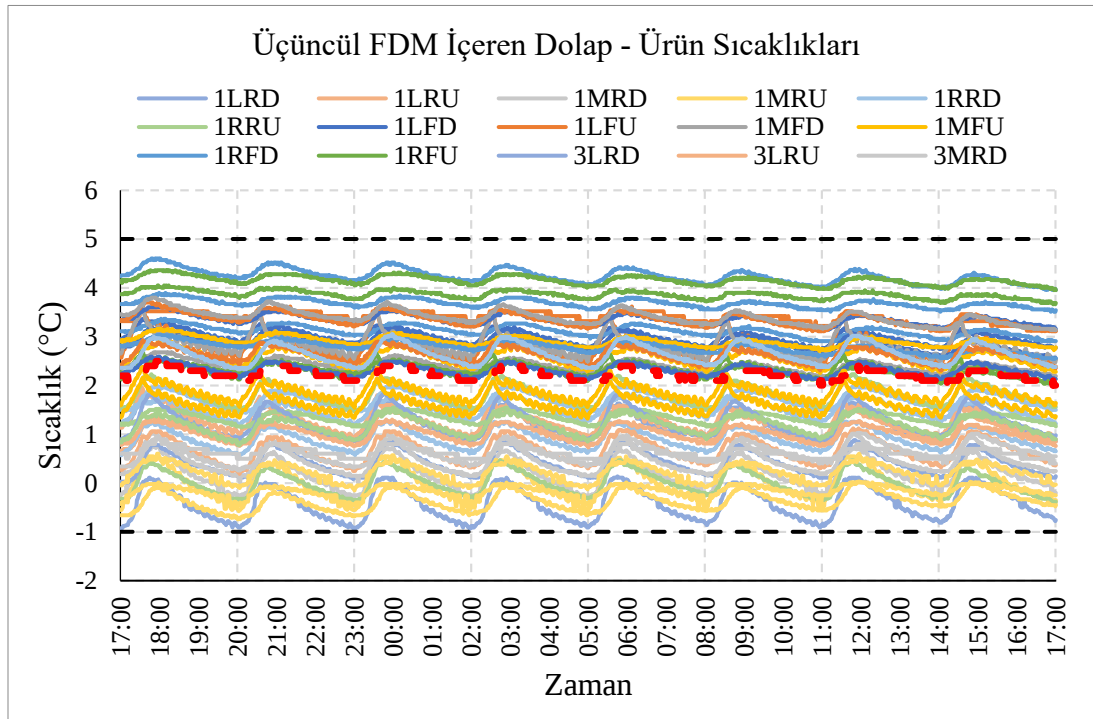
Test sonuçları, ürün sıcaklıklarını, güç tüketimini ve performans karşılaştırmasını içermektedir. Testler hem FDM uygulanmayan soğutuculu dolap üzerinde hem de üç farklı FDM'nin kullanımı ve uygulamasını içerecek şekilde gerçekleştirilmiştir.

Ürün Sıcaklık Ölçümleri

24 saatlik bir test periyodu sırasında FDM'siz ve farklı türde FDM içeren radyatörlü dolap ürün sıcaklıkları sırasıyla Şekil 3.1 ve 3.2'de gösterilmektedir. Grafiği açık ve okunabilir kılmak amacıyla, her durum için 2 saatlik aralıklarıyla test sonuçları gösterilmektedir. Her dolapta, dolap içerisindeki ürün paketlerinin (M paket) konumuna bağlı olarak, her biri dört harfli farklı isimler altında temsil edilen 24 ürün sıcaklık ölçümü vardır. İlk harfler sırasıyla üst, orta ve alt anlamına gelen T, M ve B'yi içerir; ikinci harfler, her biri sol ve sağ gösteren L ve R'den oluşur; F ve R'nin üçüncü harfleri sırasıyla ön ve arkadır; son harfler sırasıyla üst ve alt kısmı belirten U ve L'dir. Örneğin TLRL, ürünün dolap üst, sol, arka ve alt kısmındaki konumunu temsil etmektedir. Şekil 3.1 ve 3.2'de görüldüğü üzere, (hem FDM içeren hem de FDM içermeyen) her iki durumda da ürün sıcaklıkları, kompresörün açılıp kapanmasına ve 24 saatlik bir süre boyunca buz eritme döngülerine tepki olarak küçük dalgalanmalarla sabit kalmaktadır.



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..9 : FDM İçermeyen Dolap Ürün Sıcaklıkları



**Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..10 : FDM İçeren Dolap Ürün Sıcaklıkları**

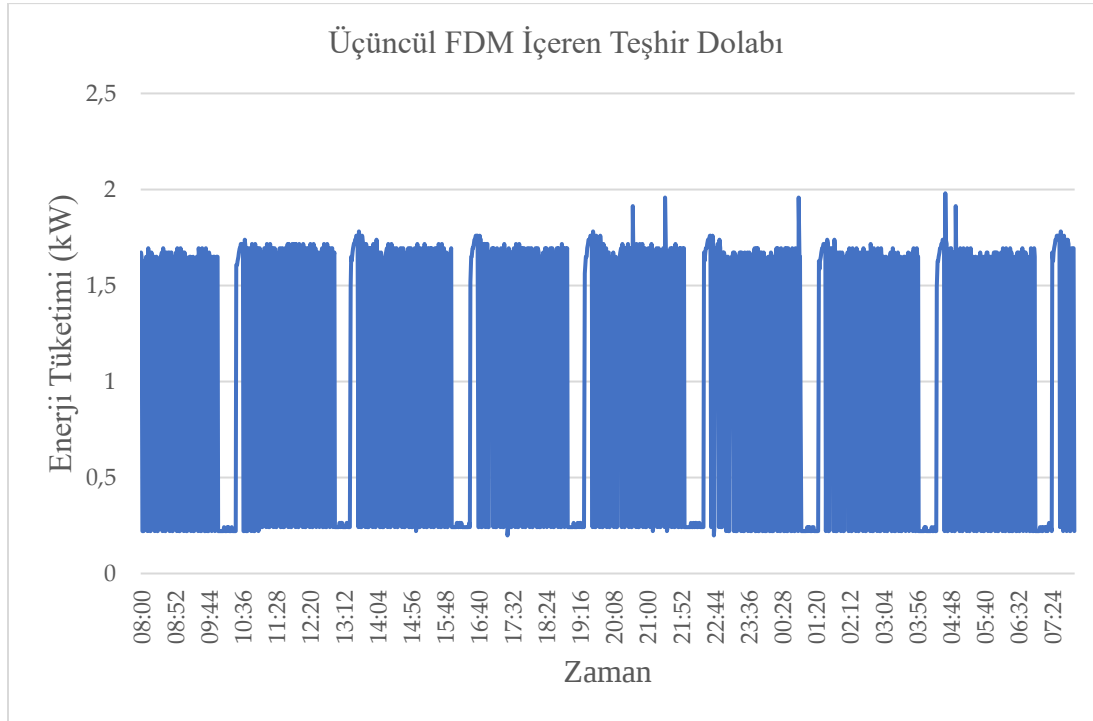
Şekil 3.1 ve 3.2'den FDM içermeyen dolap için, ürün sıcaklık değişim aralıkları, FDM içeren dolaba kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca, beklendiği gibi, ürün sıcaklıklarında yaklaşık 1°C azalma sağlanmasında FDM eklenmesinin etkisi çok açıktır. Bunun nedeni, ürünlerle doğrudan temas halinde olan dolap içi hava sıcaklığının FDM etkisiyle daha geç düşmesidir. Bu sıcaklık düşüşü, ürünlerin kabul edilebilir sınırlar içinde olmasını sağlayacaktır. Tüm faz değiştiren materyaller için incelenen durumlar ve sıcaklık farklılıkları Çizelge 3.1'de özetlenmiştir.

Çizelge Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..5 : Ürün Sıcaklık Özeti

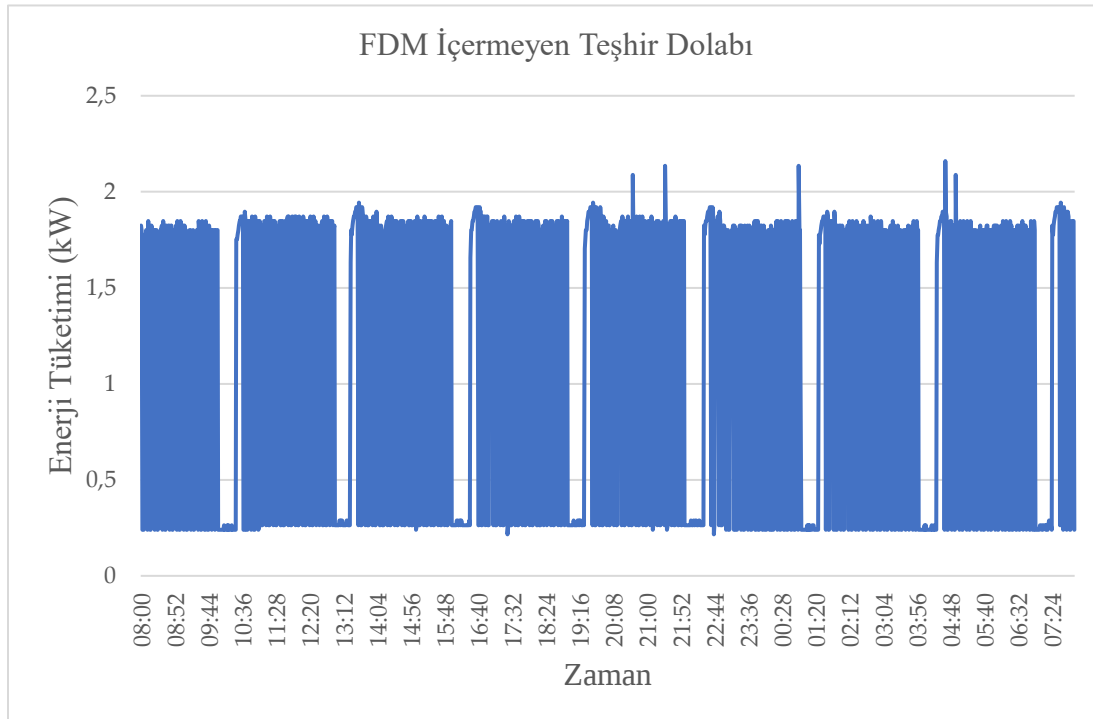
Sıcaklıklar (°C)	FDM Uygulanmayan	Birinci FDM (%100 H ₂ O)	İkinci FDM (%95 H ₂ O, %3 AgI)	Üçüncü FDM (%92 H ₂ O, %6 AgI)	En İyi Senaryoya Göre (Üçüncü FDM) İyileşme Oranı
Tort	2,42	2,12	2,08	2,03	16,11%
Tmaks	4,5	4,3	4,15	4,02	10,66%
Tmin	-0,51	-0,64	-0,93	-0,98	92,15%

Enerji Tüketimi ve Dolap Hava Sıcaklıkları

FDM radyatörlerini kullanan sistemler ve temel sistem için 24 saatlik bir test süresi boyunca anlık gücün zamanla değişimi, Şekil 3.3'de gösterilmektedir. Verileri anlamlandırabilmek adına; hem İkincil FDM içeren hem de FDM içermeyen olarak toplam güç grafikleri 20 dakikalık ve 2 saatlik periyot aralıklarıyla aşağıda gösterilmektedir. Her dolabın toplam enerji tüketimi anlık olarak güç kaynağından gözlemlenmiş ve ilgili grafikler dolapların kontrolcülerinden çekilmiştir.

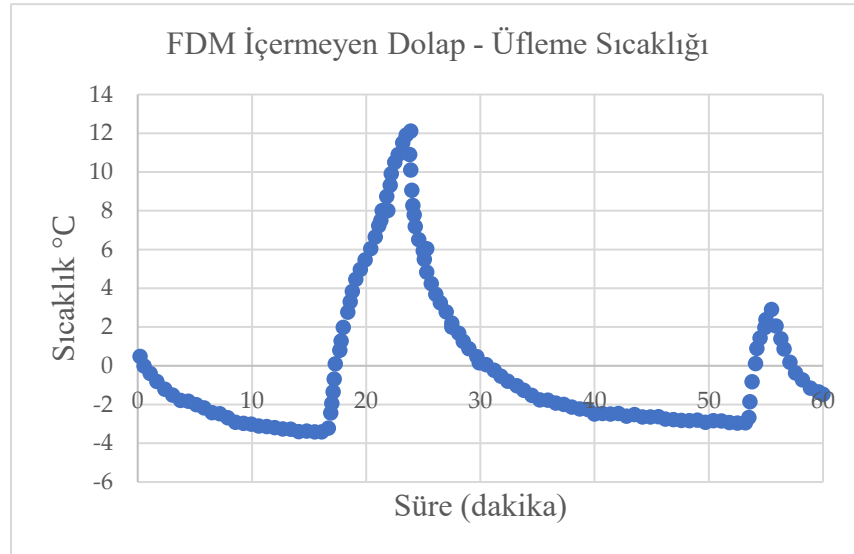


Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..11 : Üçüncül FDM İçeren Teşhir Dolabı Anlık Güç/Zaman Grafiği

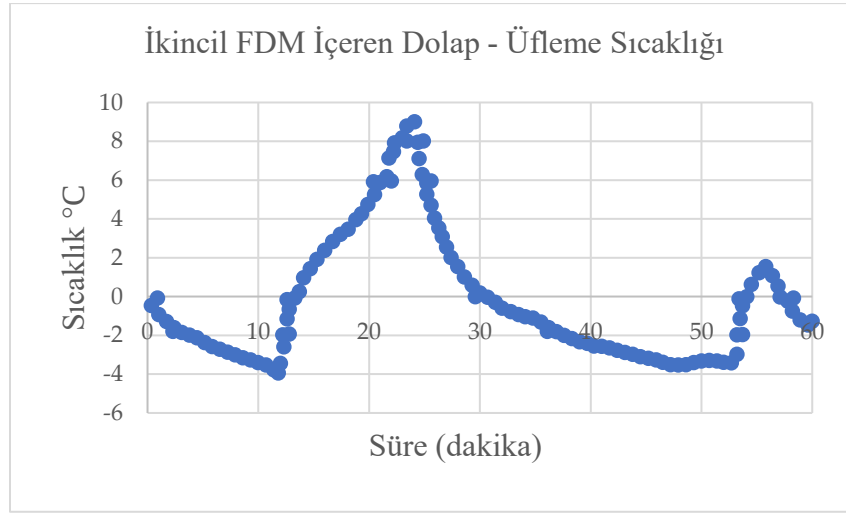


Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..12 : FDM İçermeyen Teşhir Dolabı Anlık Güç/Zaman Grafiği

Yukarıdaki Şekil 3.4’de görülebileceği üzere, FDM kullanılmayan durumda, soğutma ihtiyacını gidermek üzere dolap kontrolcüsü kompresörü daha çok devreye sokarak soğutma sistemini çalıştırmıştır. Ancak Şekil 3.3 durumunda görüleceği üzere FDM kullanılan dolap, ortamını daha uzun süre serin tutmuş ve gerekli soğutma ihtiyacını karşılamak üzere kompresörü daha az tetiklemiştir. Bunun yanında FDM radyatörleri tarafından sağlanan ek soğutma kapasitesi, buz eritme işlemi sırasında dolap sıcaklığını muhafaza etmektedir. FDM radyatörlerinin eklenmesinin buz eritme süresini arttırdığına da dikkat edilmelidir. Buz eritme esnasında kompresör kapalı konumdadır ve FDM radyatörleri havayı daha uzun süre boyunca standartlar gereği izin verilen yüksek sıcaklık sınırının altında tutarak ekstra evaporatör görevi görmüştür.



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..13 : FDM İçermeyen Dolap Üfleme Sıcaklığı



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..14 : İkincil FDM İçeren Dolap
Üfleme Sıcaklığı

Yukarıdaki Şekil 3.5 ve 3.6'da görüldüğü üzere, FDM içermeyen dolap için buz eritme süresi yaklaşık 12 dakika, FDM içeren dolap için ise 18 dakikadır. FDM'den çekilen enerji, kompresör durdurulduğunda ihtiyaç duyulan soğutma kapasitesini sağlamıştır. Şekil 3.5 ve 3.6'da ayrıca FDM durumunda maksimum hava çıkış sıcaklığının 2 °C daha düşük olduğu ve bunun nedeninin radyatörün konumunun üfleme sıcaklık algılayıcıdan önce olması ve böylece FDM'nin bu sıcaklık üzerindeki etkisinin net olması dikkat çekicidir. FDM içeren dolabın hem sol hem de sağ taraflarındaki üfleme, emiş ve hava perdesi çıkış sıcaklıklarının dolap sıcaklıkları üzerindeki etkisini açıkça göstermektedir. Her durum için ilk 2 saatlik test sonuçları, ilgili uzun dönem sonuçlarının altında gösterilmektedir.

FDM tamamen eridiğinde, dolap hava sıcaklığı kademeli olarak yükselmiştir ve kompresör yeniden başlatılarak dolabın çalışması sağlanmıştır. Kompresör açıkken, FDM kademeli olarak yeniden soğuk havayı absorbe edip, donmuştur. Enerji tüketimi tam çevrim yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Her iki testte dolabın ortalama anlık gücü, çalışma süresi ve enerji tüketimi Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.



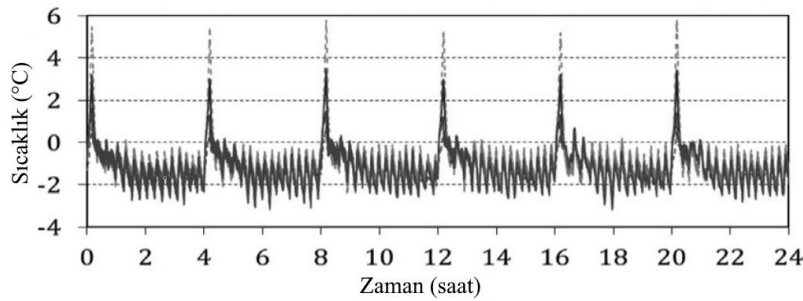
Çizelge Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..6 : Teşhir Dolabı Enerji Parametreleri

Enerji Parametreleri	FDM İçermeyen	Birinci FDM	İkinci FDM	Üçüncü FDM	En İyi Senaryoya Göre (Üçüncü FDM) İyileşme Oranı
Ortalama Anlık Güç (w)	1748.3	1704.9	1678.3	1625.9	7%
Çalışma Süresi (saat)	21.07	20.3	19.8	19.5	7,45%
Enerji Tüketimi (kW)	32.7	31.8	31.3	30.4	7,03%

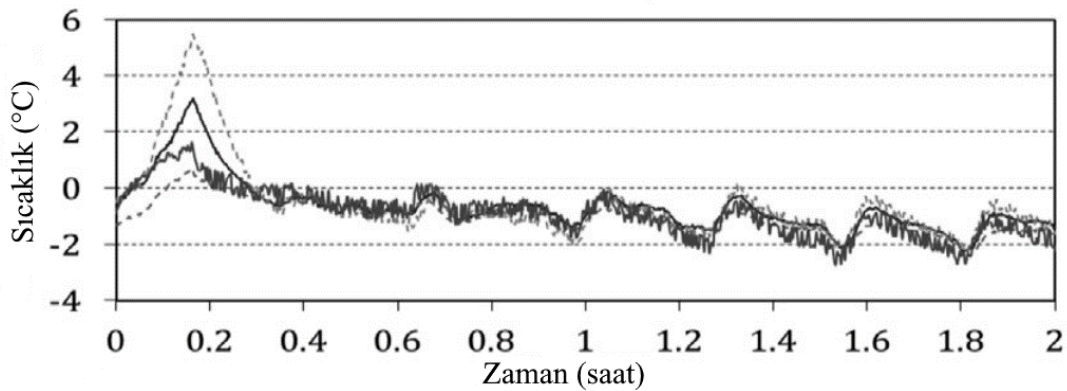
Bu çizelgeye göre dolabın toplam enerji tüketimleri ve FDM arasında direk bağlantı kurulabilmektedir. Test odasında uygulama esnasında direk alınabilen enerji tüketimi (kW) değerlerine tabloda yer verilmiştir. Ayrıca bu tabloda FDM içeriklerine göre de dolabın çalışma süresi arasındaki bağıntı kurulabilmektedir. Buna göre; FDM içermeyen dolaba kıyasla en iyi FDM kurgusunun bulunduğu ve üçüncü FDM'yi içeren dolap %7,57 daha verimlidir. Bunu takiben ikincil FDM içeren dolap %4,47 birinci FDM içeren dolap ise toplam enerji tüketimi üzerinden %2,83 daha fazla verim sağlamaktadır.

FDM'nin kapalı çevrim periyotları üzerindeki etkisi, FDM içeren dolap için çok küçük olup; bu nedenle kapalı her üç durumda da yaklaşık 3 dakika civarında sabit kalmıştır. FDM uygulamasının görünen tek negatif etkisi buz eritme periyodunun uzamasına sebep olmasıdır. Ancak bu durumda teşhir dolabı içerisinde bulunan sıcaklık algılayıcı en iyilemesi ile aşılabileceği öngörülmüştür. Bu negatif etkinin, daha önce de bahsedildiği gibi ürün sıcaklıklarına doğrudan bir etkisi yoktur.

Aşağıdaki SystemLabView yazılımından alınan grafik Şekil 3.7a ve Şekil 3.7b üzerinde gösterilmiştir. Bu grafikler; dolaba FDM entegre edildiğinde dolap içi hava sıcaklıklarının daha kararlı ve homojen olduğu göstermektedir. Buna ek olarak bu şekilde FDM yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi, 24 saatlik ölçümler ile gösterilmektedir. FDM sıcaklıklarının her buz eritme periyodundan sonra kademeli olarak düştüğü ve bir saat sonra 2 °C sıcaklığa ulaştığı görülmektedir. Bu noktada, FDM'nin asıl işlevi, açık çevrimler sırasında (soğutma sistemi çalışırken) enerjiyi korumaya ve kapalı çevrimler sırasında (buz eritme) serbest bırakmaya başlamasıdır. Bu sayede dolap içerisindeki ürün sıcaklıkları FDM'de depolanan enerji sayesinde dengeli hale gelmekte ve gıda güvenliği korunurken enerji tasarrufu gerçekleştirilmektedir.



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..15a : FDM Yüzey Sıcaklık Değişim Grafiği (24 saat)



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..16b : FDM Yüzey Sıcaklık Değişim Grafiği (2 saat)



Deney Esnasında Karşılaşılan Zorluklar

FDM'lerin dolap içerisine yerleşimi

Dolap içerisinde özellikle dolap sırt bölgesinde kısıtlı alan bulunduğu için FDM konumlandırılmalarının yapılabilmesini zorlaştırmıştır. Aynı zamanda dolap içerisindeki hava sirkülasyonunun, FDM'ler tarafından bozulmasını önlemek amacıyla fanın hemen önüne hava yönlendirme sacı kullanılmıştır. Dolayısıyla bu geliştirme ile hem hava sirkülasyonu etkilenmemiş, hem de FDM aktif olarak ısı depolayabilmiştir.

Buz çözme sensörü konumlandırılması

Çalışmanın başında FDM yerleştirildiğinde dolabın hiç buz çözme periyoduna girmediği; ancak buharlaştırıcının (evaporatör) buzlandığı görülmüştür. Bunun sebebini anlamak amacıyla dolabın Buz Çözme modülü ve sensörleri kontrol edilmiştir. FDM'nin soğutma etkisinden bu problemin olabileceği saptanmış ve FDM ile bahsedilen sıcaklık algılayıcı sensörün arasındaki mesafe arttırılarak Buz Çözme periyoduna girmesi sağlanmıştır. Tüm testler yapılan geliştirme sonucu tekrar edilmiştir.



4. Sonuç

Açık tip dikey soğutuculu teşhir dolabının arka gövdesine konumlandırılan farklı üç türdeki FDM ile dolabın çalışması esnasında sistem performansının arttığı ve dolap içi hava ve ölçülen ürün sıcaklıklarında azalma olduğunu göstermektedir. Deneyler karşılaştırmanın gerçekleştirilebilmesi amacıyla önce FDM entegrasyonu olmayan, ardından üç farklı FDM'nin soğutuculu teşhir dolabına uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları; güç tüketimini, ürün sıcaklıklarını en aza indirmede ve buz eritme süresini artırmada her üç türdeki FDM içeren dolapta tepkisinin olumlu olduğunu göstermiştir.

Gerçekleştirilen deneylerde; enerji verimliliği ve ürün sıcaklıkları açısından en iyi değeri üçüncü FDM vermiş olup, iklim sınıfı 3 koşullarında (25 °C ve %60 RH) enerji kullanımının %7,57 oranında iyileştiği görülmüştür. Gerçekleştirilen uygulama; ürün ve dolap sıcaklıklarına önemli açıdan fayda sağlamıştır. Sağlanan bu fayda; testler ve ürün sıcaklık ölçümleri ile de desteklenmiştir. Bununla birlikte FDM'nin kullanılması en çok buz eritme sürecinin uzunluğunu etkilemiştir. Referans alınan buz eritme süresine oranla, FDM uygulanan dolapta buz eritme işleminin 6 dakika daha uzun olduğu görülmüştür. Elde edilen tasarrufların; ortam sıcaklığı, bağıl nem, dolap çalışma ayarlarının ve FDM donma noktasının bir fonksiyonu olduğunu belirterek; bu değişkenlerin tümünün gelecekte yapılacak çalışmalar için dikkate alınması gerektiğini belirtmekte fayda bulunmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen deneysel sonuçlar ile gelecekte bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD-CFD) simülasyon modelini karşılaştırmak ve oluşan verilerin doğrulanmasında kullanılması uygundur. Model daha sonra iklim sınıfı ve dolap içindeki FDM ve FDM radyatörlerinin tipi, miktarı ve konumu gibi çeşitli parametreleri değiştirerek dolap performansını tahmin ve optimize etmek için kullanılabilir.



Teşekkür

Bu tez çalışmasında günümüzde yeni yeni duyduğumuz ancak gelecekte ısı depolamada sıkça kullanılması beklenen; faz değiştiren materyallerin, dünyanın en büyük endüstrilerinden biri olan perakende sektöründeki soğutuculu teşhir dolaplarına uygulanması ve çevresel etkilerinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir.

Uygulama ve test aşamalarında halihazırda istihdam edildiğim ve imkanlarını öncelikli olarak kullandığım Kaplanlar Soğutma A.Ş.'ye ve bu zorlu tez sürecinde test olanakları ve uygulamalarını gerçekleştirmeme yardımcı olan Ar-Ge Test Müdürü Çağrı BALKAN'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.



Referanslar

- [1] Sera Gazi Emisyon İstatistikleri, 1990-2020, TUIK (2022).
- [2] A.Raeisi, I.N. Suamir, S.A. Tassou (2013)Energy storage in freezer cabinets using phase change materials, in: 2nd IIR International Cold Chain Conference, Paris,.
- [3] Tahir, A., Bansal, P.K. (2005) MEPR versus EEPR valves in open supermarket refrigerated display cabinets, Applied Thermal Engineering. 25 (2)
- [4] Y.T. Ge, S.A. Tassou, A. Hadawey, (2010) Performance simulation of multi-deck medium temperature display cabinets with the integration of CFD and cooling coil models, Appl. Energy 87
- [5] Y.T. Ge, S.A. Tassou, (2012) The impact of geometric structure and flow arrangement on the performance of CO2 evaporators in multi-deck medium temperature display cabinets, Int. J. Refrig. 35
- [6] F. Bruno, (2004) Using Phase Change Materials (PCMs) for Space Heating and Cooling in Buildings, Paper presented at the 2004 AIRAH performance enhanced buildings environmentally sustainable design conference, , pp.
- [7] K. Azzouz, D. Leducq, D. Gobin, (2008) Performance enhancement of a household refrigerator by addition of latent heat storage, Int. J. Refrig. 31 (5)
- [8] K. Azzouz, D. Leducq, D. Gobin, (2009) Enhancing the performance of household refrigerators with latent heat storage: an experimental investigation, Int. J. Refrig. 32 (7)
- [9] B. Gin, M.M. Farid, P.K. Bansal, (2010) Effect of door opening and defrost cycle on a freezer with phase change panels, Energy Convers. Manag. 51 (12)
- [10] E. Oro, L. Miro, M. Farid, L. Cabeza, (2012) Thermal analysis of a low temperature storage unit using phase change materials without refrigeration system, Int. J. Refrig. 35 (6)
- [11] E. Oro, L. Miro, M. Farid, L. Cabeza, (2012) Improving thermal performance of freezers using phase change materials, Int. J. Refrig. 35 (4)
- [12] M. Liu, W. Saman, F. Bruno, (2012) Development of a novel refrigeration system for refrigerated trucks incorporating phase change material, Appl. Energy 92.
- [13] M. Ahmed, O. Meade, M.A. Medina, (2010) Reducing heat transfer across thinsulateded walls of refrigerated truck trailers by the application of phase change materials, Energy Convers. Manag. 51 (3)
- [14] F. Wang, G. Maidment, J. Missenden, R. Tozer, (2007) The novel use of phase change materials in refrigeration plant. Part 3: PCM for control and energy savings, Appl. Therm. Eng. 27 (17)
- [15] Erkan, G., (2014) Enhancing The Thermal Properties of Textiles With Phase Change Materials, RJTAVol. 8 No. 2.



- [16] Phase Change Energy Solutions, 2018, "ENRG Blanket powered by BioPCM". Erişim Tarihi: 5 Haziran 2022.
- [17] F. Wang, G. Maidment, J. Missenden, R. Tozer, (2007) The novel use of phase change materials in the refrigeration plant. Part 1: experimental investigation, Appl. Therm. Eng. 27 (17)
- [18] H. Selvnnes, A. Hafner, Y. Allouche, (2021) Cold Thermal Energy Storage (CTES) for industrial applications, Appl. Therm. Eng. 27 (17)
- [19] W. Lu, S.A. Tassou, (2013) Characterization and experimental investigation of phase change materials for chilled food refrigerated cabinet applications, Appl. Energy 112
- [20] Hossen, K. Afroz, H. (2015) Effect of PCM on compressor on-off cycling of a household refrigerator, HVAC&R RESEARCH 21(4):462-468,
- [21] Liu, M. Saman, W., Bruno F., (2011) Development of a novel refrigeration system for refrigerated trucks incorporating phase change material, Applied Energy,
- [22] Khalil, E. Sobhi M., (2020) CFD Simulation of Thermal and Energy Performance for a Display Cabinet Refrigerator Containing a Phase Change Material (PCM), AIAA Propulsion and Energy 2020 Forum,
- [23] Salunkhe, B. Shembekar, S. (2012) A review on effect of phase change material encapsulation on the thermal performance of a system, Renewable and Sustainable Energy Reviews,
- [24] Binner, J. G. P. ; Dimitrakakis, G. Price, D. M. Reading, M. (2006) Vaidhyanathan, B. "Hysteresis in the β - α Phase Transition in Silver Iodine" Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 84 (2): 409-412. Erişim Tarihi: 5 Temmuz 2022.
- [25] Trostle, Calvin. (18 Mayıs 2012). "Guar Update, West Texas". Texas AgriLife Research & Extension Center. Erişim Tarihi: 5 Haziran 2022.
- [26] Levy, H. A.; Lisensky, G. C. (1978) "Crystal structures of sodium sulfate decahydrate (Glauber's salt) and sodium tetraborate decahydrate (borax). Redetermination by neutron diffraction".
- [27] Refrigerated display cabinets — Part 2: Classification, requirements and test conditions;ISO23953-:2015, Erişim Tarihi: 19.12.2022, <https://www.iso.org/standard/62002.html>