مکانیک سازه‌ها و شاره‌ها/ سال۱۴۰۲/ دوره ۱۳/ شماره ۴/ صفحه ۱۵۹-۱۷۰

نشریه مکانیک سازه‌ها و شاره‌ها

DOI: 10.22044/JSFM.2023.13014.3737

بهبود عملکرد سیستم سرمایش با بکارگیری ماده تغییر فاز دهنده تقویت شده با فین

مقداد رحیمی[۱]، سیدمحمد جواد حسینی[۲،*]، و علی اکبر رنجبر[۳]

[۱] دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل؛ ایران

[۲] دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی گرگان، دانشگاه گلستان، گرگان؛ ایران

[۳] استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل؛ ایران

مقاله مستقل، تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۳؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۹

چکیده

یخچال‌های خانگی به بخشی ضروری از زندگی مدرن تبدیل شده‌اند. از آنجایی که این وسایل به شبکه برق متصل هستند و کارکرد پیوسته دارند، انرژی زیادی مصرف می‌کنند. مطالعات تجربی نشان می‌دهند که افزودن مواد تغییر فاز در یخچال‌ها در مکان‌های مختلف باعث بهبود بازده انرژی یخچال‌ها می‌شود. در این مطالعه تاثیر افزودن محفظه حاوی ماده تغییر فاز دهنده بر عملکرد حرارتی و مصرف برق یک یخچال/فریزر معمولی تک درب مطالعه می‌شود. محفظه ماده تغییر فاز دهنده با جنس‌های مختلف شامل مس، آلومینیوم و استیل به سطح زیرین اواپراتور متصل می‌گردد. آب با دمای ذوب $0\ ^{\circ}C$ به عنوان ماده تغییر فاز استفاده شده است. برای مطالعه اثر افزایش هدایت حرارتی آب، فین‌هایی با جنس مشابه با محفظه قرار داده می‌شود تا اثر آن بر توزیع دمایی و مصرف انرژی مقایسه گردد. نتایج نشان می‌دهد که وجود محفظه آب در تماس با سطح زیرین اواپراتور به دلیل پتانسیل آب به عنوان ماده تغییر فاز دهنده در جذب و رهاسازی انرژی سرمایشی به کاهش دمای کابین کمک می‌کند؛ هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد که مس به دلیل رسانایی حرارتی بالاتر برای محفظه آب مناسب‌تر بوده و باعث کنترل دمایی بهتر می‌شود. علاوه بر این، بکارگیری فین درون محفظه آب علاوه بر محدودتر کردن محدوده دمایی کابین، به طور میانگین باعث کاهش بیشتر ۱ تا ۴ درصدی مصرف انرژی در مقایسه با حالت بدون فین می‌شود.

کلمات کلیدی: یخچال؛ ماده تغییر فاز دهنده؛ تقویت شده؛ فین؛ بهبود عملکرد.

Performance improvement in refrigeration systems using fin-reinforced phase change material

Meghdad Rahimi[1], Seiyed Mohamad Javad Hosseini[2, *], Ali Akbar Ranjbar[3]

[2] Assoc. Prof., Mech. Golestan University., Gorgan, Iran [1] Ph.D. Student, Babol University of Technology., Babol, Iran

[3] Prof., Mech. Eng., Babol University of Technology., Babol, Iran

Abstract

Domestic refrigerators have become an essential part of modern life. Since these devices are connected to the power grid and operate continuously throughout the day and year, they consume a lot of energy. Experimental studies show that adding phase change materials in refrigerators in different places improves the energy efficiency of these appliances. In this study, the effect of adding a phase change material (PCM) box on the thermal performance and electricity consumption of a single-door refrigerator/freezer is studied. The box of phase change material is attached to the bottom surface of the evaporator with different materials. Water with a melting temperature of zero degrees Celsius has been used as a phase change material. To study the effect of increasing the thermal conductivity of water, fins with the same material (copper, aluminum and steel) as PCM box are placed in the box to evaluate their effect on temperature distribution and power consumption. The results show that the presence of the water box in contact with the bottom surface of the evaporator helps to reduce the temperature of the cabin due to the potential of water as a phase change material in absorbing and releasing cooling energy. Also, the results show that copper is more suitable for water storage because of its higher thermal conductivity and it helps to more evenly distribute the temperature. Furthermore, using a fin inside the water chamber, in addition to limiting the temperature range of the cabin, on average causes a further reduction in energy consumption by 1 to 4% compared to the case without a fin.

Keywords: Refrigerator; Phase Change Material; Reinforced; Fin; Performance enhancement.

* نویسنده مسئول؛ تلفن: ۰۱۷۳۲۴۴۱۰۰۳؛ فکس: ۰۱۷۳۲۴۳۰۵۱۶

آدرس پست الکترونیک: mj.hosseini@gu.ac.ir

۱- مقدمه

امروزه محققان به دنبال راه‌هایی برای به حداقل رساندن مصرف انرژی لوازم خانگی هستند تا میزان بخارات سمی منتشر شده توسط نیروگاه‌ها را کاهش داده، منابع طبیعی زمین را حفظ کرده، اکوسیستم را از تخریب محافظت نموده و هم‌چنین هزینه انرژی را کاهش دهند. یخچال و فریزر خانگی از پرمصرف‌ترین لوازم برقی مصرفی در کشورهای مختلف هستند. با توجه به کاربرد گسترده آنها در هر خانه و کارکرد پیوسته آن‌ها در طول ۲۴ ساعت، بهبود جزئی در عملکرد این لوازم منجر به کاهش مصرف کلی انرژی می‌شود. برای این منظور، تحقیقات گسترده‌ای برای بهبود عملکرد یخچال‌ها با استفاده از روش‌های مختلف از جمله افزایش راندمان کمپرسور، بهبود عایق حرارتی و نیز بهبود انتقال حرارت از مبدل‌های حرارتی قرار گرفته در یخچال مانند کندانسور و اواپراتور انجام شده است.

علاوه بر این، استفاده از پتانسیل گرمای نهان مواد تغییر فاز دهنده در ذخیره و آزادسازی گرما/سرما در طول فرآیند تغییر فاز و استفاده از آن در سیکل تبرید تقریباً یک روش جدید در بهبود عملکرد لوازم یخچال و فریزر است. این مواد با ذخیره گرما/آزادسازی سرما از حالت جامد به مایع و با آزادسازی گرما/ذخیره سرما از حالت مایع به جامد تغییر فاز می‌دهند. با استفاده مناسب از این ظرفیت می‌توان به پوشش عدم تطابق بین عرضه و تقاضا کمک کرد. مواد تغییر فاز دهنده دارای مزیت گرمای نهان زیاد و تغییر فاز در دمای تقریباً ثابت هستند. بر این اساس می‌توان مواد تغییر فاز دهنده را مطابق با دمای ذوب خود در بخش‌های مختلف یخچال از جمله کندانسور، کابین و اواپراتور استفاده نمود. بسیاری از مطالعات تجربی و عددی، نتیجه بکارگیری این مواد در بخش‌های مختلف چرخه تبرید را بررسی کرده‌اند.

ایده و هدف استفاده از ماده تغییر فاز دهنده در کندانسور دستیابی به دمای کندانسور پایین‌تر، مصرف انرژی کمتر و در نتیجه ضریب عملکرد بهتر است [۱]. هر چند این کار می‌تواند تعداد دفعات روشن و خاموش شدن کمپرسور را تحت تاثیر قرار دهد. در همین راستا چنگ و همکاران [۲] نوع جدیدی از مواد تغییر فاز دهنده با ترکیبی از پارافین، پلی اتیلن با چگالی بالا و گرافیت گسترش یافته را مورد مطالعه قرار دادند که در اطراف لوله‌ها کندانسور پوشیده شده بود. آن‌ها بیان داشتند که بخشی از حرارت تراکم در زمان روشن بودن یخچال در ماده تغییر فاز دهنده ذخیره گشته و در زمان خاموشی کمپرسور به محیط دفع گشته و موجب عملکرد پیوسته یخچال می‌گردد. آن‌ها هم‌چنین عنوان کردند که دمای تراکم پایین‌تر، دمای تبخیر بالاتر در خروجی از کندانسور حاصل کار بوده و ٪۱۲ در بازدهی انرژی افزایش مشاهده می‌گردد؛ هم‌چنین چنگ و همکاران [۳] با ارائه مدل دینامیکی مشابه با کار [۲] بیان داشتند که استفاده از ماده تغییر فاز دهنده تقویت شده در اطراف لوله کندانسور باعث افزایش ٪۱۹ ضریب عملکرد شده، هر چند در مقابل اتلاف حرارت ٪۷ در سیستم مشاهده گردیده است. با بهینه‌سازی مدل ارائه شده آن‌ها عنوان کردند که افزایش دمای محیط و کاهش دمای فریزر باعث بهبود بیشتر در عملکرد سیستم می‌شود.

ونگ و همکاران [۴, ۵] در یک کار آزمایشگاهی و عددی جامع به بررسی مکان قرارگیری ماده تغییر فاز دهنده در سیستم سرمایشی یخچال پرداختند. به همین منظور آن‌ها مبدل حرارتی مورد نظر را در بین کندانسور و کمپرسور (PCMA)، بین کندانسور و شیر اختناق (PCMB) و بین اواپراتور و کمپرسور (PCMC) بکار بردند. نتایج تجربی آن‌ها نشان‌دهنده این بود که بکارگیری مبدل حرارتی با ماده تغییر فاز دهنده در موقعیت‌های A و B، منجر به بهبود ضریب عملکرد سیستم بین ٪۸-۶ می‌گردد. در موقعیت C، پایداری حرارتی و سوپرهیت کمتر در کمپرسور مشهود است. هر چند افت فشار ناشی از قرارگیری مبدل حرارتی در قسمت C، ضریب عملکرد را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

در مطالعه دیگری پیرورام و همکاران [۶] ادغام دو ماده تغییر فاز دهنده یوتکتیک را در حالت آبشاری در قسمت پشتی یک کندانسور سیم و لوله یک یخچال خانگی مورد مطالعه قرار دادند. دو ماده تغییر فاز دهنده به ترتیب کاهش دمای ذوب خود در امتداد جهت جریان مبرد قرار گرفتند. آنها نشان دادند که سیستم جدید می‌تواند به طور قابل توجهی دمای سطح کندانسور را کاهش داده و در نتیجه ضریب عملکرد سیستم را افزایش دهد. آنها هم‌چنین بیان کردند که در مقایسه با ماده تغییر فاز دهنده تکی که مصرف انرژی را تا حدود ٪۸ کاهش می‌دهد، حالت دو ماده تغییر فاز دهنده جدید می‌تواند مصرف انرژی را تا ٪۱۳ کاهش دهد.

در یک کار تجربی، کارتیکیان و همکاران [۷] به بررسی اثر استفاده از مواد تغییر فاز دهنده با دماهای ذوب متفاوت در نقاط مختلف یخچال از جمله کندانسور، فریزر و کابین پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که با استفاده از ماده تغییر فاز دهنده دمای کندانسور در بالاترین نقطه و پایین‌ترین نقطه به ترتیب ۶-۴/۸ درجه‌ای دما می‌شود؛ هم‌چنین نوسانات دمایی در فریزر و کابین کمتر صورت می‌گیرد.

صرف‌نظر از بهبودهای حاصل شده در بکارگیری مواد تغییر فاز دهنده در کندانسور، مطالعات انجام شده در این زمینه به علت درصد پایین بهبود عملکردی کم است. در مقابل، استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در فضای کابین یخچال و نیز در محفظه فریزر به علت سهولت در اجرا تحقیقات بیشتری روی آن صورت گرفته است. به همین منظور اونیه‌جکوه [۸] به بررسی استفاده از ماده تغییر فاز دهنده در فریزر سیستم یخچال خانگی پرداخت. او خصوصیات حرارتی فریزر، حجم مناسب ماده تغییر فاز دهنده و آثار لایه‌بندی حرارتی را مورد بررسی قرار داده و نشان داد، استفاده از مخلوط یوتکتیک نمک-آب برای ذخیره‌سازی انرژی حرارتی در بازه‌ی دمایی بین $-15^{\circ}C$ تا $-20^{\circ}C$ بهتر است.

لیو و همکاران [۹] در یک کار تجربی آثار افزودن ماده تغییر فاز دهنده در محفظه یخچال و فریزر را در شرایط حضور و عدم حضور ماده تغییر فاز دهنده و حضور و عدم حضور نمونه مواد غذایی بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که یخچال موجود با حضور ماده تغییر فاز دهنده مزیت بهبود مصرف انرژی (۱۸/۶٪) و افزایش کیفیت مواد غذایی درون آن را داراست. مونا و همکاران [۱۰] به مطالعه پتانسیل کاهش توان و انرژی مصرفی یخچال با استفاده از ماده تغییر فاز دهنده در کابین یخچال به عنوان جاذب حرارت مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که جرم ماده به طور قابل توجهی بر حداکثر توان و مصرف انرژی یخچال تأثیر گذار است. افزایش مقدار ماده باعث کاهش حداکثر توان یخچال و مصرف انرژی می‌شود؛ هم‌چنین آن‌ها بیان کردند که ماده تغییر فاز دهنده قابلیت کاهش حداکثر توان را تا ۲۲ درصد و مصرف انرژی را تا ۷۴/۰ درصد دارد.

اورو و همکاران [۱۱] عملکرد حرارتی فریزرهای تجاری به کمک مواد تغییر فاز دهنده را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها از Climsel با دمای تغییر فاز $-18^{\circ}C$ به عنوان ماده تغییر فاز دهنده استفاده کردند و این مواد را در پنل‌هایی به ضخامت ۱۰mm از جنس فولاد ضد زنگ در نقاط مختلف فضای درون فریزر جاگذاری کردند. آن‌ها نشان دادند که استفاده از ماده تغییر فاز دهنده دمای فریزر را بین $-4^{\circ}C$-۶ پایین‌تر نگه داشته و دمای محصولات فریزری را در زمان قطعی برق ۳ ساعته در مدت زمان طولانی‌تری در حد نرمال حفظ می‌کند.

یو و همکاران [۱۲] به بررسی تجربی و عددی بکارگیری پنج ماده تغییر فاز دهنده با دماهای متفاوت در محفظه فریزر پرداختند. آن‌ها با قراردادن صفحات ماده تغییر فاز دهنده در بالای محفظه فریزر نشان دادند که در مقایسه با فریزر خالی، تا رسیدن به دمای $-10^{\circ}C$، فریزر با ماده تغییر فاز دهنده ۲ ساعت دیرتر به این دما می‌رسد.

جین و همکاران [۱۳] بکارگیری ماده تغییر فاز دهنده (با دمای ذوب و انجماد $-15/4^{\circ}C$) در دیواره داخلی یک یخچال فریزر خانگی برای حفظ پایداری دمایی در زمان بارهای گرمایی را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها دریافتند که میزان مصرف انرژی به ترتیب ٪۲۱-۱۵ و ٪۱۷-۱۱ در زمان برفک‌زدایی و باز بودن درب یخچال افزایش می‌یابد؛ هم‌چنین آن‌ها نشان دادند که بکارگیری ماده تغییر فاز دهنده در فریزر میزان مصرف انرژی در زمان برفک‌زدایی را به مقدار ٪۸ و در زمان باز بودن درب یخچال به مقدار ٪۷ کاهش می‌دهد؛ هم‌چنین بکارگیری ماده تغییر فاز دهنده در محفظه نرخ افزایش دمای هوا و محتویات درون یخچال را کاهش می‌دهد.

در یک مطالعه تجربی، عبدالمالکی و همکاران [۱۴] اثر استفاده از ماده تغییر فاز دهنده را در یک فریزر با هدف یافتن جرم و دمای تغییر فاز بهینه ماده تغییر فاز دهنده یوتکتیک انتخابی مورد مطالعه قرار داد. آنها دریافتند که با استفاده از ماده تغییر فاز دهنده ۲ کیلوگرمی با دمای تغییر فاز $-20^{\circ}C$، می‌توان نوسان دما را تا ٪۴۰/۵۹ کاهش داد. آنها هم‌چنین نشان دادند که استفاده از ۱/۵ کیلوگرم ماده تغییر فاز دهنده می‌تواند انرژی را تا ٪۸/۳۷ ذخیره کند.

در یک کار عددی پاویتران و همکاران[۱۵] به شبیه‌سازی اثر بکارگیری ماده تغییر فاز دهنده در کابین یک یخچال معمولی با هدف مطالعه آرایش‌های مختلف قرارگیری این ماده پرداختند. نتایج آنها نشان داد که ادغام ماده تغییر فاز دهنده در یخچال یک تکنیک امیدوارکننده برای حفظ دما در حالت زمان خاموش بودن کمپرسور است. علاوه بر این، آنها بیان

نمودند که نحوه چیدمان و مکان قرارگیری ماده تغییر فاز دهنده تاثیر قابل توجهی بر حفظ دمای داخل سیستم دارد.
در نهایت روش سوم بهبود عملکرد یخچال و فریزرها به کمک ماده تغییر فاز دهنده با استفاده از بکارگیری این مواد در بخش اواپراتور است. با توجه به اینکه در بیشتر یخچال و فریزرها اواپراتور به گونه‌ای در درون کابین به کمک جدا کننده تعبیه شده است، این کار به طور همزمان باعث بهبود عملکرد سیستم می‌گردد؛ در نتیجه استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در اواپراتور، کمپرسور نیاز به کار برای مدت زمان طولانی‌تری برای شارژ ذخیره انرژی دارد. با این وجود، با توجه به طولانی‌تر بودن زمان روشن بودن کمپرسور در هر چرخه برای شارژ ماده تغییر فاز دهنده، نسبت کلی زمان روشن بودن به دلیل طولانی‌تر بودن زمان خاموش شدن کمپرسور کاهش می‌یابد. مزایای اصلی مدت زمان خاموش شدن طولانی‌تر کمپرسور مصرف انرژی کمتر، کیفیت غذای بهتر و جلوگیری از اثرات مخرب شروع/ توقف مکرر کمپرسور است [۱]. مطالعات گسترده‌ای در این زمینه انجام شده است. ازوز و همکاران [۱۶, ۱۷] افزودن ماده تغییر فاز دهنده در سطح بیرونی اواپراتور یخچال را به صورت عددی و تجربی مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها دماهای تغییر فاز مختلف، ضخامت‌های مختلف ماده تغییر فاز دهنده و بارهای حرارتی مختلف برای مطالعه پارامتری به چرخه یخچال اعمال کردند و دریافتند، عملکرد چرخه وابسته به بار حرارتی وارد شده به سیستمی است که در آن، بار حرارتی بالاتر به استخراج انرژی بالاتر از ماده تغییر فاز دهنده نیاز دارد. مدل آنها ۱۴-۵ درصد افزایش ضریب عملکرد و کاهش روشن و خاموش شدن‌های کمپرسور را پیش‌بینی کرد. آنها هم‌چنین نشان دادند که بسته به بار حرارتی، بین ۴ تا ۸ ساعت بدون منبع تغذیه می‌توان به نگهداری مواد غذایی دست یافت.
طاهر و همکاران [۱۸] عملکرد یک یخچال خانگی با بکارگیری مواد تغییر فاز چندگانه را به صورت عددی بررسی کردند. آنها تأثیر پارامترهای مختلف مانند ضخامت، بار حرارتی و دمای بیرون را بر عملکرد انرژی یخچال در نظر گرفتند. نتایج آنها نشان داد که دمای ذوب باید بر اساس بار حرارتی تخمینی و ضخامت ماده تغییر فاز دهنده مورد استفاده دریخچال انتخاب شود که این امر تأثیر قابل توجهی بر عملکرد سیستم دارد.
تولاپورکار و همکاران [۱۹] یخچال خانگی دو اواپراتور جدیدی با ماده تغییر فاز دهنده را طراحی نمودند و نشان دادند که ضریب عملکرد سیکل که در حالت عادی ۱/۵۶۲ بوده است به مقدار ۲/۰۱ و ۱/۸۱ در زمان بکارگیری ماده تغییر فاز دهنده افزایش می‌یابد. مطالعه آن‌ها نشان داد که پتانسیل ذخیره انرژی به میزان ٪۸ در استفاده از سیستم جدید در مقایسه با سیکل عادی وجود دارد.
قدرتی و همکاران [۲۰] به بررسی تاثیر استفاده از آب و اتیلن گلیکول به عنوان ماده تغییر فاز دهنده در فریزر پرداختند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که استفاده از آب به عنوان ماده تغییر فاز دهنده در ۱۰۰ دقیقه ابتدایی کارکرد سیستم باعث کاهش ٪۳۷ مصرف انرژی شده و در نبود این ماده سیستم ۹۰/۹درصد از انرژی خود را از دست می‌دهد؛ هم‌چنین بکارگیری اتیلن گلیکول در ۵۰۰ دقیقه ابتدایی ۳۵/۹۷درصد انرژی را مصرف می‌نماید.
ویسک و همکاران [۲۱] به بررسی اثر تماس مستقیم اواپراتور با ماده تغییر فاز دهنده در یکی سیستم تبرید دو اواپراتور پرداختند. نتایج کار تجربی آن‌ها نشان‌دهنده این بود که دمای تبخیر به میزان $8/4^{\circ}C$ افزایش یافته و میزان مصرف انرژی ٪۱۹/۹ کاهش می‌یابد؛ هم‌چنین آن‌ها نشان دادند که در صورت استفاده از کندانسور با ٪۳۰ ضریب انتقال حرارت بیشتر بجای کندانسور همراه با فن، حداقل ٪۸/۱ در مصرف انرژی صرفه‌جویی می‌گردد.
در یک کار عددی و آزمایشگاهی قهرمانی و احمدی [۲۲] به بررسی اثر بکارگیری سیستم ذخیره‌ساز انرژی سرمایشی در تماس با اواپراتور یک یخچال پرداختند. آن‌ها از محفظه نگه-دارنده آب به همراه فین استفاده کردند و بیان داشتند که محفظه خالی بدون فین و بدون ماده تغییر فاز دهنده دمای یخچال را به مدت ۳۰ دقیقه در حد مطلوب نگه داشته و در نبود ماده تغییر فاز دهنده افزودن ۳ عدد فین به محفظه موجب افزایش زمان حفظ دمای محفظه به مدت ۶۸ دقیقه می‌گردد. در ادامه آن‌ها نشان دادند که با افزودن ماده تغییر فاز دهنده به محفظه حاوی فین، انرژی مصرفی کمپرسور به میزان ٪۱۷/۴ در هر روز کاهش دارد.
خان و افروز [۲۳] در یک کار آزمایشگاهی به بررسی عملکرد یک یخچال تک اواپراتور و تک درب به همراه ماده تغییر فاز دهنده در شرایط بار حرارتی مختلف و دمای تغییر فاز گوناگون (آب و مخلوط یوتکتیک با دمای تغییر فاز صفر و $-5^{\circ}C$) پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که بسته به نوع ماده تغییر فاز

دهنده و میزان بار حرارتی ٪۲۷-۲۰ بهبود در ضریب عملکرد سیستم، و ٪۳۶-۲ کاهش زمان فعالیت کمپرسور در مقایسه با حالت بدون ماده تغییر فاز دهنده مشاهده می‌گردد.

ازن و همکاران [۲۴] اثر استفاده از ماده تغییر فاز دهنده با ضخامت‌های گوناگون را در پشت اواپراتور یک یخچال خانگی به صورت سه بعدی مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها تاثیرات ضخامت‌های مختلف ماده تغییر فاز دهنده (۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ میلی‌متر) بر انرژی مصرفی، پایداری حرارتی و خصوصیات جریانی هوای درون موجود را مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند که استفاده از ماده تغییر فاز دهنده موجب افزایش زمان خاموشی کمپرسور شده و دمای هوای درون یخچال در بازه مطلوب می‌گردد. الارم و همکاران [۲۵] بکارگیری طراحی مبدل حرارتی ماده تغییر فاز دهنده جدید در یخچال خانگی را به صورت تجربی و عددی بررسی کردند. آنها از لوله U شکل استفاده کردند که اواپراتور را با PCM Plus-Ice با دمای تغییر فاز ۴°C- می‌پوشاند. نتایج آن‌ها نشان داد که با بکارگیری ایت سیستم، دمای اواپراتور بالاتر، دمای میعان کمتر و مصرف انرژی کمتر و هم‌چنین کاهش زمان کار کمپرسور در هر سیکل را نشان دادند و هم‌چنین نشان دادند که افزایش پوشش ماده تغییر فاز دهده بیش از ٪۷۵ در قفسه‌ها منجر به کاهش قابل توجهی در زمان دستیابی به دمای یکنواخت نمی‌شود.

با مرور منابع ارائه شده می‌توان دریافت مطالعات زیادی در زمینه بکارگیری مواد تغییر فاز دهنده در یخچال‌ها و فریزرها صورت پذیرفته و نتایج مطلوبی از جمله پایداری دمایی بهتر، مصرف انرژی کمتر و افزایش ضریب عملکرد یخچال در طولانی مدت حاصل شده است. عمده مقالات مورد مطالعه در این زمینه محدود به استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در بخش‌های مختلف یخچال و بررسی پاسخ حرارتی و انرژی مصرفی در حضور پارامترهای مختلف از جمله اعمال بار حرارتی (باز کردن درب یخچال، برفک‌زدایی)، قطعی برق، تغییر نوع ماده تغییر فاز دهنده و مکان بکارگیری (اواپراتور، کندانسور و محفظه یخچال) بوده است؛ اما معدود مقالاتی هستند که به بهبود ویژگی‌های انتقال حرارتی این مواد در زمان استفاده آن‌ها در یخچال‌های خانگی پرداخته‌اند. به عنوان مثال چنگ و همکاران [۲] بهبود خواص انتقال حرارتی ماده تغییر فاز دهنده در زمان بکارگیری آن در بخش کندانسور یخچال را با افزودن ماده گرافیتی مورد بررسی قرار دادند. علاوه بر بهبودهای ساختاری در خودِ ماده تغییر فاز دهنده، می‌توان توسعه‌هایی در محفظه نگه‌دارنده این ماده در زمان بکارگیری آن در سیستم یخچال با افزایش سطح انتقال حرارت آن انجام داد. به عنوان مثال مقالات مراجع [۲۵،۲۳۲۲،] با تغییر هندسه و بهبود سطح انتقال حرارتی موجب افزایش عملکردی یخچال گردیدند. با این مطالعات می‌توان دریافت که بکارگیری ماده تغییر فاز دهنده در تماس با اواپراتور که دارای سطح مشترک با دیواره فریزر در یخچال‌های تک‌درب است، روشی موثر برای کنترل دمایی سیستم است؛ هم‌چنین هرگونه بهبود در انتقال حرارت مواد تغییر فاز دهنده که دارای ضریب هدایت حرارتی کم می‌باشند (استفاده از فین) می‌تواند عملکرد سیستم را بهبود ببخشد. بنابراین اثر همزمان این دو عامل یعنی قرارگیری محفظه ماده تغییر فاز دهنده در تماس با اواپراتور و بهبود انتقال حرارت به کمک فین در محفظه موثر است. با در نظر گرفتن موارد بررسی شده می‌توان نتیجه گرفت، مطالعه جامعی روی بهبود انتقال حرارت ماده تغییر فاز دهنده با روشی آسان و سریع همانند بکارگیری فین در محفظه نگه‌دارنده، پارامترهای ساختاری و پاسخ آن بر عملکرد حرارتی و مصرف انرژی باشد انجام نشده است. با بررسی این موارد مشاهده می‌شود که فضا برای بهبود عملکرد در سیستم یخچال به کمک بهبود خواص انتقال حرارتی در این مواد وجود دارد. بنابراین در مطالعه حاضر به منظور بررسی بهبود عملکرد حرارتی و مصرف انرژی یخچال-فریزرهای خانگی، از مواد تغییر فاز دهنده تقویت شده با فین از جنس‌های مختلف با بکارگیری آن در تماس با اواپراتور پرداخته شده است.

۲- بخش تجربی

یخچال-فریزر مورد استفاده در مطالعه حاضر از نوع تک‌درب ((مدل ARJ، ۶۴۴۸، ایران) بوده که در قسمت فوقانی آن محفظه فریزر (محفظه دما-پایین) قرار گرفته و لوله‌های اواپراتور در آن تعبیه شده است، شکل ۱-الف. هم‌چنین محفظه نگه‌دارنده مواد غذایی (محفظه دما-بالا) در قسمت پایین قرار دارد. جدول ۱ مشخصات کلی یخچال فریزر را نشان می‌دهد. آب به عنوان ماده تغییر فاز دهنده در یک محفظه با جنس‌های مختلف قرار می‌گیرد. این محفظه وظیفه نگه‌داری آب و نیز برقراری تماس با اواپراتور را دارد که باعث جذب سرمایش از

فریزر و انتقال آن به فضای نگه‌داری مواد غذایی می‌شود، شکل ۱-ب.

(الف)

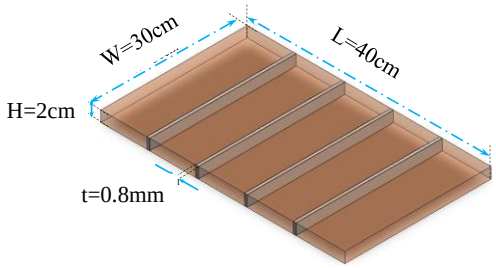
(ب)

شکل ۱- (الف) نمای کلی یخچال/فریزر (ب) محل نصب محفظه نگه‌دارنده ماده تغییر فاز دهنده

جدول ۱- مشخصات عمومی یخچال/فریزر مورد استفاده

جزء مورد نظر	خصوصیت
کابین	حجم کلی ۲۱۰ لیتر
کندانسور	جابجایی طبیعی
کمپرسور	رفت و برگشتی
مبرد	۱۴۵ گرم R۱۳۴a

اشکال عمده مواد تغییر فاز دهنده هدایت حرارتی ضعیف آنهاست. در این مطالعه به منظور بهبود این نقص از فین با خصوصیات مختلف به عنوان عاملی برای بهبود هدایت حرارتی جهت انتقال سرمایش از سطح سرد به آب استفاده می‌گردد. تعداد ۴ فین در عرض محفظه قرار داده می‌شود، شکل ۲. در همین راستا پارامترهای مختلف فین از جمله جنس، ارتفاع و نوع چیدمان آن بر عملکرد حرارتی و مصرف انرژی یخچال/فریزر مورد بررسی قرار می‌گیرد. جدول ۲ نشان‌دهنده تمامی آزمایش‌های انجام شده در مطالعه حاضر است.



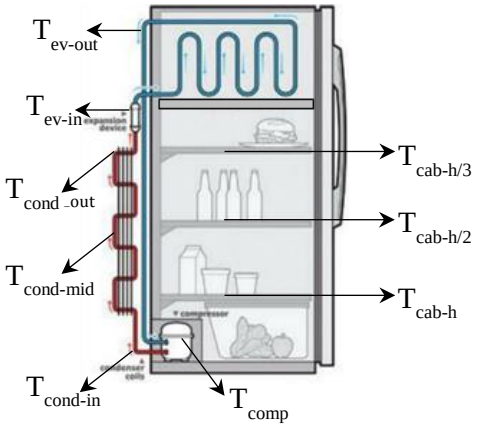
شکل ۲- ابعاد محفظه نگه‌دارنده آب به همراه فین‌های اجرا شده

جدول ۲- ترتیب آزمایش‌های انجام گرفته

Case A- یخچال/فریزر معمولی
Case B-1- یخچال/فریزر معمولی به همراه محفظه نگه‌دارنده آب از جنس مس
Case B-2- یخچال/فریزر معمولی به همراه محفظه نگه‌دارنده آب از جنس آلومینیوم
Case B-3- یخچال/فریزر معمولی به همراه محفظه نگه‌دارنده آب از جنس استیل
Case C-1- یخچال/فریزر معمولی به همراه محفظه نگه‌دارنده آب از جنس مس و فین مسی
Case C-2- یخچال/فریزر معمولی به همراه محفظه نگه‌دارنده آب از جنس آلومینیوم و فین آلومینیومی
Case C-3- یخچال/فریزر معمولی به همراه محفظه نگه‌دارنده آب از جنس استیل و فین استیل

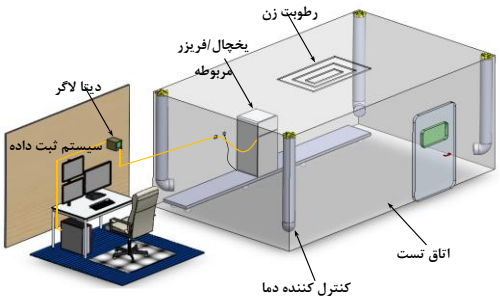
ترتیب و روند انجام آزمایشات به این صورت می‌باشد که در ابتدا به منظور داشتن معیار برای مقایسه، یخچال/فریزر خالی (Case A) به برق وصل شده و پس از ثابت شدن نوسانات دمایی درون سیستم، دما در نقاط مختلف ثبت شده و نیز مصرف انرژی آن نیز ثبت می‌گردد. در ادامه به منظور بررسی تاثیر استفاده از ماده تغییر فاز دهنده، محفظه آب با جنس مس (Case B-1)، آلومینیوم (Case B-2) و استیل (Case B-3) به ترتیب در سه تست متفاوت در تماس با سطح زیرین اواپراتور قرار داده شده و همانند آزمایش اول دما و مصرف انرژی آن‌ها ثبت می‌گردد. برای انتخاب جنس مناسب برای محفظه، در مرحله بعد ۴ فین از سه جنس مس (Case C-1)، آلومینیوم (Case C-2) و استیل (Case C-3) در محفظه قرار داده شده که وظیفه بهبود هدایت حرارتی آب را دارند. با بررسی پاسخ حرارتی از بین این شش آزمایش و مقایسه نتایج، بهترین ماده برای جنس محفظه انتخاب می‌گردد.

دما در مکان‌های مختلف مانند اواپراتور، کندانسور، کابین و محیط اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. مکان ترموکوپل‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. ترموکوپل‌های نوع K برای ثبت تغییرات دما استفاده می‌شوند؛ همچنین مصرف انرژی با استفاده از دیتالاگر موجود در اتاق تست ثبت می‌شود.



شکل ۳- مکان ترموکوپل‌ها

به منظور بررسی عملکرد یخچال/فریزر، تمامی تست‌ها در داخل اتاق تست، شکل ۴، در شرکت تولیدی یخچال فریزر کلور در نیشابور استان خراسان رضوی انجام می‌شود. شرایط آزمون استاندارد ۱۳۷۰۰ روی همه آزمایش‌ها تنظیم شده است. اتاق آزمایش به خوبی از محیط بیرون عایق شده و دمای آن روی ۲۵°C با رطوبت نسبی ٪۷۰ تنظیم شده است.



شکل ۴- اتاق تست یخچال به همراه تجهیزات مربوطه

آزمون‌های تجربی همیشه با عدم قطعیت‌های ناشی از اندازه‌گیری خطاهای اجزا و خطاهای خواندن داده‌ها مواجه می‌شوند. به منظور اجتناب از این خطاها، یک تحلیل عدم قطعیت بر اساس روش ارائه شده توسط کلاین و مک کلینتاک [۲۶] در این رابطه اعمال می‌شود. با فرض اینکه "f" تابعی از متغیرهای مستقل x1; x2; x3; …; xn معادله (۱) به دست می‌آید:

$$f = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \qquad (۱)$$

و با فرض اینکه Ui عدم قطعیت شناخته شده پارامتر i است، مقدار عدم قطعیت تابع با استفاده از معادله زیر برآورد می‌شود:

$$U_f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}U_1\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}U_2\right)^2 + \cdots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n}U_n\right)^2}^{1/2} \qquad (۲)$$

دقت ابزارهای مورد استفاده در مطالعه تجربی در جدول ۲ آورده شده است. محاسبه مربوطه نشان داد که مقدار دما در معرض عدم قطعیت ٪±۴ است.

جدول ۲- دقت ابزارهای اندازه‌گیری در اتاق تست

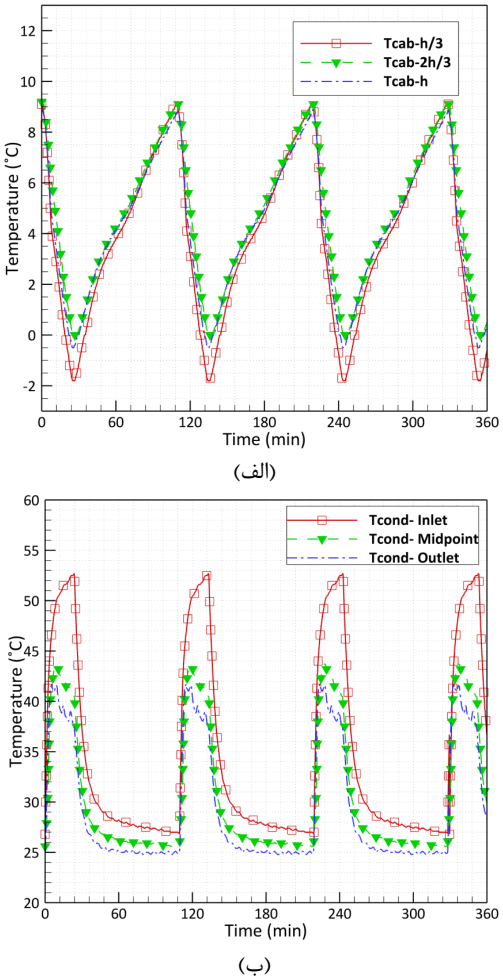
ابزار	دقت
ترموکوپل	۰/۱°C
دیتالاگر	۰/۱°C
ولت متر	۰/۱V

۳- نتایج

۳-۱- عملکرد یخچال معمولی

شکل ۵-الف دمای درون کابین یخچال معمولی در ارتفاع‌های مختلف را نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل مشخص است، افزایش و کاهش دمای کابین مرتبط با روشن و خاموش شدن کمپرسور یخچال است. بالاترین مقدار در هر نمودار شروع زمان روشن شدن کمپرسور را نشان می‌دهد. از طرف دیگر کمترین مقدار در هر نمودار مرتبط با خاموشی کمپرسور است. همانطور که از این شکل مشخص است، در یک یخچال/فریزر معمولی، میانگین زمان روشن و خاموش شدن کمپرسور به ترتیب حدود ۲۷ دقیقه و ۸۵ دقیقه است و این چرخه در صورت عدم اعمال بار خارجی به سیستم تکرار می‌گردد؛ همچنین در شکل ۵-ب دمای کندانسور در نقاط ورودی، میانی و خروجی نمایش داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌گردد، در نقطه ورودی کندانسور به علت خروج مبرد از کمپرسور دما بیشینه بوده و

با حرکت در راستای کندانسور و تبادل حرارت با محیط دما در نقاط میانی و خروجی کمتر خواهد بود.



شکل ۵- (الف) دمای کابین (ب) دمای کندانسور یخچال معمولی در نقاط مختلف

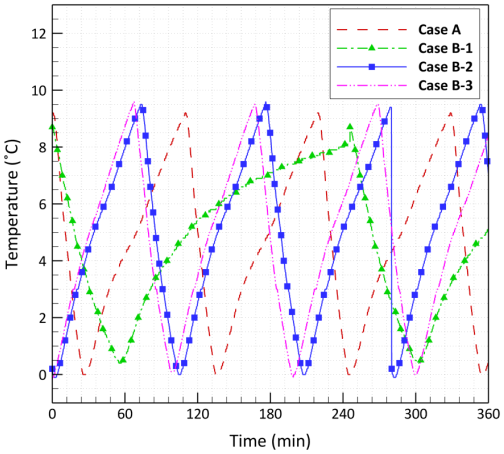
همانگونه که در شکل ۵ مشاهده گردید، به علت نوسانات دمایی درون کابین و نیز کندانسور، روشن و خاموش شدن‌های متوالی کمپرسور منجر به افزایش مصرف انرژی می‌شود. در مرحله بعد با بکارگیری محفظه آب با جنس‌های مختلف به عنوان جاذب انرژی سرمایشی در تماس با اواپراتور، پاسخ دمایی سیستم به این عامل بررسی و نتایج با یخچال معمولی مقایسه می‌گردد.

۳-۲- پاسخ سیستم به قرارگیری محفظه آب

شکل ۶ نمایش‌دهنده دمای میانگین کابین برای یخچال معمولی و یخچال با محفظه آب با جنس‌های مس، آلومینیوم و استیل است. نتایج در بازه زمانی ۳۶۰ دقیقه‌ای برای بررسی تاثیر پارامترهای مختلف در یک زمان خاص گرفته شده است . همانطور که در شکل مشخص است، در یخچال/فریزر معمولی، Case A، میانگین زمان روشن و خاموش بودن کمپرسور برای این حالت به ترتیب حدود ۲۷ دقیقه و ۸۵ دقیقه است. بیشترین و کمترین مقادیر دمای میانگین کابین برای این حالت ۹/۱°C و ۰°C است. همانطور که مشخص است، در زمان روشن شدن کمپرسور، مبرد از طریق لوله‌ها جریان یافته و بار حرارتی را از فضای فریزر و کابین یخچال جذب کرده و در نتیجه دمای داخل یخچال کاهش می‌یابد تا به حداقل مقداری که مطابق با دمای ترموستات تنظیم شده کاهش یابد .با خاموش شدن کمپرسور، دمای هوای داخل به تدریج به مقدار تنظیم شده افزایش می‌یابد و چرخه تکرار می‌شود.

با قرار دادن محفظه آب در زیر سطح اواپراتور، زمان روشن و خاموش شدن کمپرسور و دمای کابین روندهای متفاوتی را تجربه می‌کنند. با روشن شدن کمپرسور و جریان یافتن مبرد در لوله‌ها دریافت گرما از فضای درون کابین انجام می‌گردد. با توجه به اینکه در این حالت محفظه آب در تماس با اواپراتور است، محفظه نیز نیاز به زمان برای کاهش دمای آب دارد. در نتیجه زمان روشن بودن کمپرسور نسبت به یخچال ساده افزایش دارد؛ هم‌چنین با خاموش شدن کمپرسور، زمان افزایش دمای کابین به علت قرار داشتن محفظه آب که انرژی سرمایشی ذخیره شده در خود را به فضای درون کابین انتقال می‌دهد تحت تاثیر بوده و زمان خاموشی کمپرسور افزایش می‌یابد. زمان روشن و خاموش شدن کمپرسور برای محفظه آب با جنس مس،Case B-1، به ترتیب ۵۵ دقیقه و ۱۹۱ دقیقه است، جدول ۳. هم‌چنین زمان روشن/خاموش کمپرسور برای Case B-2 ۲۸و ۷۴ دقیقه و برای Case B-3 به ترتیب ۳۳ و ۶۸ دقیقه است. این اثر نشان می‌دهد که قرارگیری محفظه آب در زیر سطح اواپراتور بر زمان روشن و خاموش شدن کمپرسور بسته به جنس محفظه تأثیرگذار است. نسبت خاموش به روشن بودن کمپرسور با قرارگیری محفظه مس در مقایسه با یخچال معمولی و محفظه با جنس‌های آلومینیوم و استیل بیشتر است که نشان از بهتر شدن عملکرد سیستم در مصرف انرژی دارد؛

هم‌چنین مطابق شکل ۶، محفظه آب با جنس مس پتانسیل کاهش زمان روشن بودن سیستم به نسبت زمان خاموشی را در کنار محدود کردن محدوده دمای کابین دارد. بیشترین و کمترین مقادیر دمای میانگین کابین برای Case B-1، محفظه آب با جنس مس ۸/۴°C و ۰/۴°C است. این در حالی است که محفظه آب از جنس آلومینیوم و استیل دارای بیشترین مقادیر دمای کابین ۸/۷°C و ۹/۳°C هستند. همچنین کمترین دمای میانگین کابین برای Case B-2 و Case B-3 به ترتیب ۰°C و ۰/۲°C است. این به این دلیل است که محفظه آب اضافه شده به عنوان یک بار اضافی برای سیستم عمل کرده و در مقایسه با یخچال معمولی، کمپرسور به زمان بیشتری برای پایین آوردن دمای کابین و دمای محفظه آب نیاز دارد. اما مس به علت خواص انتقال حرارتی بهتر، کنترل بیشتری بر دمای کابین دارد. به علاوه همانطور که مشاهده می‌شود، محفظه آب از جنس مس پتانسیل کاهش دامنه دمای کابین و هم‌چنین کاهش نسبت زمانی روشن به خاموش را دارد که می‌تواند در چرخه تبرید مفید باشد.

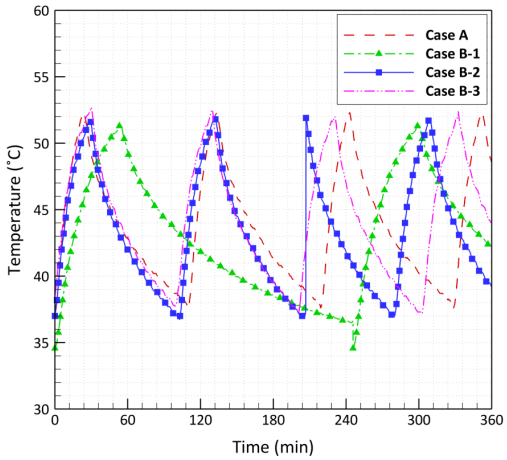


شکل ۶- دمای کابین یخچال برای یخچال معمولی و محفظه آب با جنس‌های مختلف

جدول ۳- زمان عملکرد کمپرسور (دقیقه) برای یخچال معمولی و یخچال با محفظه آب از جنس‌های مختلف

	Case A	Case B-1	Case B-2	Case B-3
روشن	۲۷	۵۵	۲۸	۳۳
خاموش	۸۵	۱۹۱	۷۴	۶۸
خاموش / روشن	۳/۱۴	۳/۴۷	۲/۶۸	۲/۰۶

شکل ۷ دمای میانگین کندانسور برای یخچال معمولی و یخچال با محفظه آب با جنس‌های مس، آلومینیوم و استیل را نشان می دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، با وجود برخی نوسانات، یخچال معمولی بالاترین دمای کندانسور را در بین موارد مورد بررسی دارد که نشان‌دهنده تلفات حرارتی بالا است. در زمان‌های روشن و خاموش شدن سیکل، مشابه یخچال معمولی (Case A)، Case B-2 و Case B-3 که محفظه آب از جنس آلومینیوم و استیل هستند با داشتن دمای کندانسور بالاتر نسبت به محفظه آب از جنس مس، روند یکسانی دارند. در Case B-1، حدود ۱/۷°C و ۵/۱°C اختلاف دمایی بین بیشترین و کمترین دمای کندانسور در مقایسه با حالات دیگر دارد. با توجه به اینکه مس زمان خاموشی کمپرسور بیشتری در مقایسه با حالات دیگر دارد بنابراین به علت دمای کمینه پایین‌تر با روشن شدن کمپروسر دیرتر افزایش دما داشته و بیشینه دمای آن نسبت به سه حالت دیگر کم می‌شود. در نهایت استفاده از محفظه آب از جنس مس دارای پتانسیل بهتری در کاهش دمای کندانسور به همراه کنترل دمای متوسط کابین دارد که در شکل ۶ مورد بحث قرار گرفت.

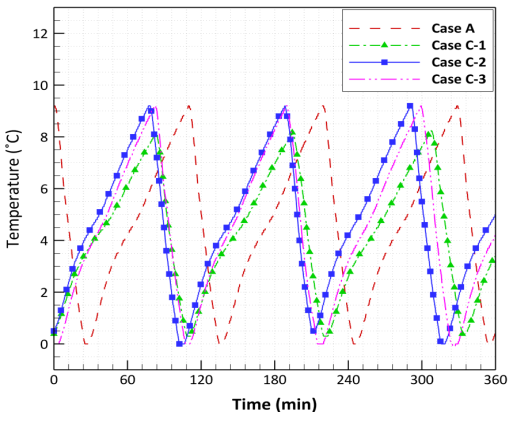


شکل ۷- دمای میانگین کندانسور برای یخچال معمولی و محفظه آب با جنس‌های مختلف

۳-۳- پاسخ سیستم به قرارگیری محفظه آب به همراه فین

در کنار ارزیابی اثر افزودن محفظه آب با سه جنس مختلف، به دلیل هدایت حرارتی پایین آب به عنوان ماده تغییر فاز دهنده،

۴ عدد فین به محفظه آب اضافه شده تا جریان گرما/سرما از طریق این فین‌ها به سیال تسریع گردد. بر این اساس، شکل ۸ دمای متوسط کابین را برای Case A، یخچال/فریزر معمولی و Case C-1، Case C-2 و Case C-3 که به ترتیب محفظه آب از جنس مس با فین مسی، از جنس آلومینیوم با فین آلومینیومی و از جنس استیل با فین استیل است، نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، در مقایسه با یخچال/فریزر معمولی، افزودن فین با جنس یکسان با محفظه آب، به کاهش بیشتر دمای متوسط کابین از طریق افزایش رسانش گرمایی از دیواره بالا که در تماس با اواپراتور است به حوزه سیال (PCM) کمک می‌کند. به طور خاص، Case C-1 با مواد مسی مشابه آنچه در بخش ۳-۱ مورد بحث قرار گرفته است، به دلیل رسانایی حرارتی بالاتر ماده مس در مقایسه با دو ماده دیگر، به کنترل بهتر نوسانات دما در داخل یخچال کمک می‌کند. به علاوه فین با جنس‌های آلومینیوم و استیل نیز در مقایسه با یخچال معمولی و هم‌چنین محفظه بدون فین محدوده دمایی درون کابین را بیشتر کاهش داده و عملکرد بهتری دارد. به عنوان نمونه در مقایسه با محفظه بدون فین، محدوده دمایی درون کابین برای فین‌های مس، آلومینیوم و استیل به ترتیب کاهش ۰/۶، ۰/۳۵ و ۰/۳ درجه سانتیگراد دارد؛ هم‌چنین در جدول ۴ عملکرد زمانی کمپرسور در روشن و خاموش شدن و نیز نسبت زمان خاموش بودن کمپرسور به روشن بودن آن نمایش داده شده است. مطابق این جدول نسبت خاموش به روشن بودن کمپرسور برای مس، آلومینیوم و استیل به ترتیب ٪۲/۲، ٪۹/۲ و ٪۱۰/۵ کاهش پیدا می‌کند.

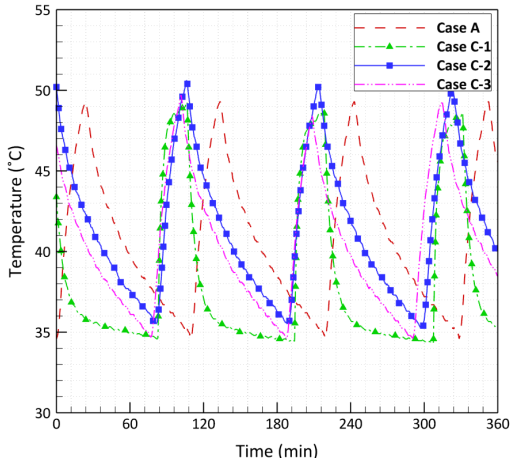


شکل ۸- دمای میانگین کابین یخچال برای یخچال معمولی و محفظه آب به همراه فین با جنس‌های مختلف

جدول ۴- زمان عملکرد کمپرسور (دقیقه) برای یخچال معمولی و یخچال با محفظه آب و فین از جنس‌های مختلف

	Case A	Case C-1	Case C-2	Case C-3
روشن	۲۷	۲۷	۲۷	۲۸
خاموش	۸۵	۸۳	۷۷	۷۹
خاموش / روشن	۳/۱۴	۳/۰۷	۲/۸۵	۲/۸۱

به منظور درک بیشتر اثر افزودن فین به محفظه آب، دمای متوسط کندانسور برای حالات مختلف در شکل ۹ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، افزودن فین به محفظه آب می‌تواند به تغییر الگوی دمای کندانسور در مقایسه با یخچال/فریزر معمولی کمک کند. در بین سه ماده فین متمایز، مس توانایی بیشتری برای پایین آوردن بالاترین دما را در کندانسور دارد، در حالی که نوسان دمای کندانسور در دو ماده دیگر، یعنی آلومینیوم و استیل مشاهده می‌گردد.

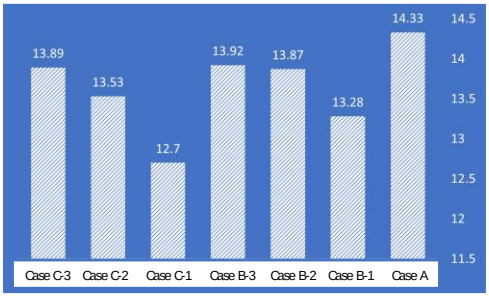


شکل ۹- دمای میانگین کندانسور برای یخچال معمولی و محفظه آب به همراه فین با جنس‌های مختلف

۳-۴- مصرف انرژی ماهانه برای حالات مختلف

مصرف برق در ماه (kW.hr) برای تمامی حالات بررسی شده، یخچال ساده، یخچال با محفظه آب از جنس‌های مختلف و یخچال با محفظه آب و فین از جنس‌های مختلف در شکل ۱۰ نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد، یخچال/فریزر معمولی دارای بیشترین مصرف برق در ماه است که برابر با ۱۴/۳۳kW.hr است. با بارگذاری محفظه آب این

مقدار مصرف انرژی کاهش یافته است، به طوری که برای محفظه آب از جنس مس، آلومینیوم و استیل به ترتیب ٪۷/۳۳، ٪۳/۲۲ و ٪۲/۸۶ کاهش در مصرف انرژی ماهانه مشاهده می‌گردد که نشان‌دهنده بهبود عملکرد سیستم در مصرف انرژی علاوه بر بهبود عملکرد دمایی آن است. بعلاوه با قرار دادن فین در درون محفظه آب، کاهش مصرف انرژی بیشتری نیز قابل مشاهده است. در مقایسه با یخچال/فریزر معمول، مصرف انرژی برای Case C-1، Case C-2 و Case C-3 به ترتیب دارای کاهش به مقدار ٪۱۱/۳۷، ٪۵/۵۸ و ٪۳/۰۷ است.



شکل ۱۰- مصرف انرژی ماهانه حالات مختلف

۴- نتیجه گیری

یک مطالعه تجربی بر روی اثر افزایش هدایت حرارتی با استفاده از پره‌ها در یک محفظه ماده تغییر فاز دهنده موجود در یک یخچال/فریزر خانگی بررسی شده است. محفظه آب در زیر سطح اواپراتور فریزر قرار می‌گیرد. اثرات افزودن فین به عنوان تقویت هدایت حرارتی با مواد مختلف بر عملکرد حرارتی و مصرف برق یخچال ارزیابی گردید. نتایج نشان می‌دهد که با قرار دادن محفظه آب در زیر سطح اواپراتور دمای کابین در محدوده استاندارد باقی می‌ماند. علاوه بر این، محفظه آب با مواد رسانای حرارتی بالاتر، پاسخ بهتری را هم در عملکرد حرارتی و هم در مصرف برق نشان می‌دهد که در آن ماده مس بهترین گزینه در مقایسه با آلومینیوم یا فولاد است (مس C ۱/۷° و C ۵/۱°) اختلاف دمایی را بین پایین‌ترین و بالاترین دمای کابین نشان می‌دهد؛ هم‌چنین مصرف کلی سیستم یخچال در حین بکارگیری محفظه آب با فین مسی در مقایسه با یک یخچال معمولی ٪۱۱/۳۷ کاهش نشان می‌دهد.

۵- مراجع

[1] Joybari MM, Haghighat F, Moffat J, Sra P (2015) Heat and cold storage using phase change materials in domestic refrigeration systems: The state-of-the-art review. Energy Build;106:111-24.

[2]Cheng W-L, Mei B-J, Liu Y-N, Huang Y-H, Yuan X-D (2011) A novel household refrigerator with shape-stabilized PCM (Phase Change Material) heat storage condensers: An experimental investigation. Energy. 36(10):5797-804.

[3] Cheng W-L, Yuan X-D (2013) Numerical analysis of a novel household refrigerator with shape-stabilized PCM (phase change material) heat storage condensers. Energy;59:265-76.

[4] Wang F, Maidment G, Missenden J, Tozer R (2007) The novel use of phase change materials in refrigeration plant. Part 1: Experimental investigation. Appl. Therm. Eng . 27(17-18):2893-901.

[5] Wang F, Maidment G, Missenden J, Tozer R (2007) The novel use of phase change materials in refrigeration plant. Part 3: PCM for control and energy savings. Appl. Therm. Eng. 27(17-18):2911-8.

[6] Pirvaram A, Sadrameli S, Abdolmaleki L (2019) Energy management of a household refrigerator using eutectic environmental friendly PCMs in a cascaded condition. Energy. 181:321-30.

[7] Karthikeyan A, Sivan VA, Anderson A (2021) Performance improvement of vapour compression refrigeration system using different phase changing materials. Materials Today: Proceedings. 44:3540-3.

[8] Onyejekwe DC (1989) Cold storage using eutectic mixture of NaCl/H2O: an application to photovoltaic compressor vapour freezers. Sol. Wind Tech. 8-11:(1)6.

[9] Liu Z, Zhao D, Wang Q, Chi Y, Zhang L (2017) Performance study on air-cooled household refrigerator with cold storage phase change materials. Int. J. Refrig. 79:130-42.

[10] Mona Y, Thiangchanta S, Chaichana C. Electricity peak load reduction of a refrigerator using phase change material. Energy Rep. 2022;8:48-53.

[11] Oró E, Miró L, Farid M, Cabeza L (1984) Improving thermal performance of freezers using phase change materials. Int. J. Refrig. 91-984:(4) 35,2.201.

[12] You H, Sun J, Xie J (2022) Numerical simulation and experimental verification of a small refrigerated

warehouse with PCM plates. Energy Rep. 8:15040-7.

[13] Gin B, Farid M, Bansal P (2010) Effect of door opening and defrost cycle on a freezer with phase change panels. Energy Convers. Manag. 51(12):2698-706.

[14] Abdolmaleki L, Sadrameli S, Pirvaram A (2020) Application of environmental friendly and eutectic phase change materials for the efficiency enhancement of household freezers. Renew. Energ. 145:233-41.

[15] Pavithran A, Sharma M, Shukla AK (2021) An investigation on the effect of PCM incorporation in refrigerator through CFD simulation. Mater. Today: Proc. 46:5555-64.

[16] Azzouz K, Leducq D, Gobin D (2008) Performance enhancement of a household refrigerator by addition of latent heat storage. Int. J. Refrig. 31(5):892-90.

[17] Azzouz K, Leducq D, Gobin D (2009) Enhancing the performance of household refrigerators with latent heat storage: an experimental investigation. Int. J. Refrig. 32(7):1634-44.

[18] Taher MB, Ahachad M, Mahdaoui M, Zeraouli Y, Kousksou T (2022) Thermal performance of domestic refrigerator with multiple phase change materials: Numerical study. J. Energ. St.55:105673.

[19] Tulapurkar C, Subramaniam PR, Thagamani G, Thiyagarajan R (2010) Phase change materials for domestic refrigerators to improve food quality and prolong compressor off time.

[20] Ghodrati A, Zahedi R, Ahmadi A (2022) Analysis of cold thermal energy storage using phase change materials in freezers. J. Energ. St. 51:104433.

[21] Visek M, Joppolo CM, Molinaroli L, Olivani A (2014) Advanced sequential dual evaporator domestic refrigerator/freezer: System energy optimization. Int. J. Refrig. 43:71-9.

[22] Zarajabad OG, Ahmadi R (2018)Employment of Finned PCM Container in a Household Refrigerator as a Cold Thermal Energy Storage System. Therm. Sci. Eng. Prog. 2018.

[23] Khan MIH, Afroz H (2014) Diminution of temperature fluctuation inside the cabin of a household refrigerator using phase change material. Recent Adv. Mech. Eng.(IJMECH). 3(1):43-52.

[24] Ezan MA, Doganay EO, Yavuz FE, Tavman IH (2017) A numerical study on the usage of phase change material (PCM) to prolong compressor off period in a beverage cooler. Energy Convers. Manag. 142:95-106.

[25] Elarem R, Mellouli S, Abhilash E, Jemni A (2017) Performance analysis of a household refrigerator integrating a PCM heat exchanger. Appl. Therm. Eng. 125:1320-33.

[26] Kline SJ (1963) Describing uncertainties in single-sample experiments. Mech. Eng. 1963;75:3-8.