مقاله ترویجی

مطالعه و رصد ماشین‌های یخچال‌دار حمل مواد غذایی منجمد و سکوهای تخلیه سردخانه‌ها در زنجیره تأمین سرد

حسینعلی حسن‌پور[۱]، رضا رضانژاد[۲*]، سید محمدرضا طاهری[۳]، فرامرز میکائیلی [۴]

دانشگاه جامع امام حسین (ع)

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۱۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۰۲

چکیده

یکی از مشخصه‌های مهم مواد غذایی منجمد، کیفیت آن‌ها هنگام تحویل به مشتریان نهایی می‌باشد که این کیفیت به عوامل متعددی نظیر مدت‌زمان حمل مواد غذایی از تأمین‌کننده تا مصرف‌کننده، دما و رطوبت مطلوب و بهینه یخچال وسیله نقلیه، تعداد دفعات باز و بسته نمودن درب یخچال، دمای اولیه عمق محصول منجمد موقع بارگیری، سرعت تخلیه مواد غذایی در هنگام تحویل به سردخانه و... بستگی دارد. یکی از مشکلات موجود در سیستم حمل مواد غذایی منجمد در یکی از سازمان‌های نظامی کشور تعدد دفعات باز و بسته نمودن درب یخچال حین تحویل بار در چند مکان مختلف و همچنین مناسب نبودن سکوی تخلیه سردخانه‌ها می باشد، از این رو در این مقاله به رصد انواع ماشین‌های یخچال‌دار حمل مواد غذایی منجمد و نحوه احداث سکوهای تخلیه سردخانه‌ها در جهان پرداخته می‌شود و پیشنهادهایی اجرایی برای بهبود کیفیت اقلام غذایی منجمد و حل مشکل مذکور ارائه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تأمین سرد، مواد غذایی، ماشین‌های یخچال‌دار، منجمد، کیفیت

۱- مقدمه

کالاهای با عمر کوتاه به‌خصوص مواد غذایی همواره بیشترین چالش‌ها را برای مدیریت زنجیره‌تأمین به وجود می‌آورد. زنجیره‌تأمین اقلام غذایی منجمد (زنجیره سرد)، به سبب خصوصیات ویژه و فاسدشدنی خود نیازمند توجه خاص می‌باشد. یک زنجیره سرد، یک سیستم ذخیره‌سازی در یخچال و فریزر با کنترل پیوسته دمای آن و حمل‌ونقل کالاها بین تأمین‌کنندگان و مشتریان می‌باشد تا کیفیت محصولات غذایی حفظ شود[۱].

تغییرات ناگهانی دما در زنجیره‌های سرد می‌تواند منجر به کاهش کیفیت مواد غذایی و درنهایت کاهش رضایتمندی مشتری نهایی و حتی هدر رفت مواد غذایی شود. گزارش‌شده است که تقریباً یک سوم تولید جهانی مواد غذایی هرساله هدر می‌رود[۲]. هدر رفت مواد غذایی به سطح غیرقابل قبولی از کیفیت مواد غذایی یا مواد غذایی که توسط خرده‌فروشان یا مصرف‌کنندگان به علت عوامل میکروبی یا بیماری دور ریخته می‌شود، اشاره دارد. بخش قابل‌توجهی از این تلفات مربوط به مدیریت ضعیف پس از برداشت، حمل‌ونقل نامناسب و عدم وجود امکانات مناسب و آموزش ناکافی برای کارکنان در زنجیره سرد می‌باشد[۳].

یکی از دغدغه‌هایی که سازمان خرید مواد غذایی یک سازمان نظامی در زمینه‌ی تهیه و توزیع مواد غذایی در زنجیره سرد با آن‌ها مواجه می‌باشد مربوط به کیفیت مواد غذایی منجمد تحویلی به رده‌های متقاضی است. بدین‌صورت که هنگام بارگیری، حمل و تحویل مواد غذایی منجمد به

۱- استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران
دانشگاه جامع امام حسین (ع)، پست الکترونیک: hahassan@ihu.ac.ir
۲*- دکتری صنایع غذایی، پژوهشگر دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران
دانشگاه جامع امام حسین (ع)، نویسنده مسئول، پست الکترونیک:
rezanezhad@ut.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، پست الکترونیک: g9512454796@ihu.ac.ir
۴- کارشناس علوم و صنایع غذایی، مرکز مطالعات و پژوهش‌های لجستیکی، پست الکترونیک:

مشتریان و یا انبارهای پشتیبانی به دلیل طولانی بودن مدت‌زمان حمل و تعداد و مدت باز شدن درب یخچال و مناسب نبودن سکوی تخلیه سردخانه‌ها، شوک دمایی به محصولات منجمد وارد می‌شود و باعث یخ‌زدایی، شل شدن بافت مواد غذایی منجمد و حتی تولید خونابه می‌شود. از این رو یکی از مشخصه‌های مهم مواد غذایی منجمد، کیفیت و دمای آن‌ها هنگام تحویل به رده‌ها می‌باشد که این کیفیت به زمان حمل مواد غذایی از تأمین‌کننده تا مصرف‌کننده، دمای مطلوب و میزان رطوبت مورد نیاز برای حمل آن‌ها بستگی دارد [۴ و ۵]؛ بنابراین زمانی که یک وسیله نقلیه تقاضای تعدادی از مصرف‌کنندگان را در یک محموله حمل می‌کند، به دلیل زمان حمل طولانی و باز شدن درب یخچال برای سرویس‌دهی به مشتریان، از کیفیت و دمای محصولات باقی‌مانده در وسیله نقلیه کاسته می‌شود[۶]. از این رو در این تحقیق بامطالعه و رصد سیستم‌های حمل‌ونقل مواد غذایی منجمد در جهان و نحوه مناسب احداث سکوهای تخلیه سردخانه‌ها، پیشنهادهایی اجرایی جهت بهبود کیفیت اقلام غذایی منجمد تحویلی به رده‌های مختلف یک سازمان نظامی ارائه می‌شود.

در ادامه، در بخش دوم به مرور ادبیات در حوزه کاهش کیفیت اقلام غذایی در حین حمل پرداخته می‌شود. بخش سوم، به سردخانه‌های نگهداری مواد غذایی منجمد و بخش چهارم به وضعیت موجود حمل‌ونقل مواد غذایی منجمد در ایران می‌پردازد. در بخش پنجم به رصد سیستم حمل‌ونقل مواد غذایی در جهان پرداخته‌شده و در بخش ششم پیشنهادهایی اجرایی جهت بهبود کیفیت اقلام غذایی منجمد تحویلی به رده‌های مختلف یک سازمان نظامی ارائه می‌شود و درنهایت در بخش هفتم، نتیجه‌گیری و زمینه‌هایی برای مطالعات تحقیقات آتی آورده شده است.

۲- مرور ادبیات

اغلب مطالعات نشان می‌دهد که دمای محصولات غذایی در طول مدت‌زمان حمل افزایش می‌یابد و به نوع خاصی از مواد غذایی محدود نمی‌شود.

در ایسلند مشاهده‌شده است که هنگام حمل فیله‌های ماهی قزل‌آلای تازه، ۳۵٪ مواقع در زمان حمل‌ونقل هوایی و ۱۸٪ مواقع در زمان حمل‌ونقل دریایی، دمایی بالاتر از حد مطلوب ($0\pm1^{\circ}C$) دارند[۷]. به همین ترتیب مای و همکاران[۸] گزارش دادند که ۱۷٪ و ۳۶/۱٪ از کل زمان موردنیاز برای حمل هوایی ماهی قزل‌آلا و نوعی ماهی کوچک، درجه حرارت، بالاتر از $5^{\circ}C$ از حد مطلوب می‌باشد.

در فرانسه درنس و همکاران[۹] گزارش دادند که مواد غذایی منجمد در طول حمل بوسیله وسایل نقلیه یخچال‌دار و تحویل آن‌ها به خرده‌فروشان در ۶/۵٪ تا ۷۹/۷٪ مواقع، دمایی بالاتر از دمای مطلوب خود دارند.

کوتسومانیس و همکاران[۱۰] مشاهده کردند که در زنجیره‌تأمین شیر پاستوریزه در یونان، دما از $3/6^{\circ}C$ تا $10/9^{\circ}C$ هنگام حمل‌ونقل و از $0^{\circ}C$ تا $11/7^{\circ}C$ در خرده‌فروشی، از حد مطلوب خود نوسان دارد.

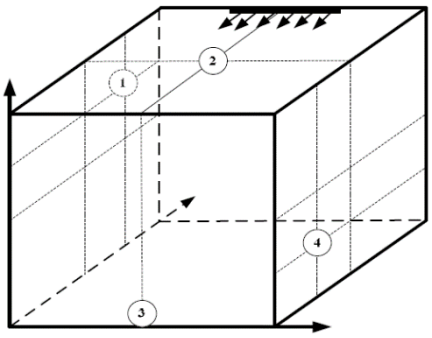
در آمریکا پلتیر و همکاران[۱۱] نشان دادند که دما در زنجیره‌تأمین توت‌فرنگی از $0/7^{\circ}C$ تا $3/7^{\circ}C$ در مراحل نگهداری، حمل‌ونقل و خرده‌فروشی نوسان دارد. این در حالی است که مقداری از توت‌فرنگی به خاطر شرایط رطوبت ناکافی در زمان حمل فاسد می‌شود.

در کانادا ردییرز و همکاران[۱۲] مشاهده کردند که درجه حرارت تا $16^{\circ}C$ در طول زنجیره‌تأمین کاسنی سالادی نوسان دارد که سهم حمل‌ونقل $2^{\circ}C$ می‌باشد.

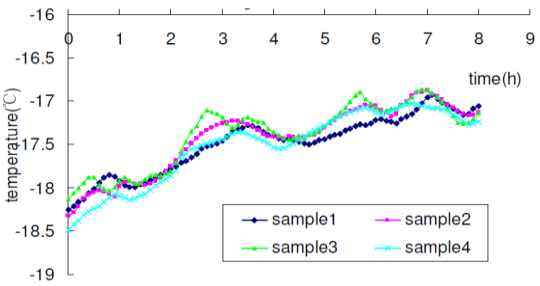
کوساکی و ایزوبه[۱۳] مشاهده کردند که محیط کانتینرهای حاوی فیله‌های منجمد ماهی تیلاپیا در کشور چین از $-18/6^{\circ}C$ تا $16/8^{\circ}C$ بعد از ۶ ساعت حمل‌ونقل دارای نوسان دما می‌باشد.

تینگمن و همکاران[۱۴] آزمایشات متعددی را بر روی فیله‌های ماهی تیلاپیا انجام دادند. آنان محوطه کانتینر را به ۴ گروه تقسیم کردند (شکل ۱) و با استفاده از تجهیزات RFID[۱] نشان دادند که دمای داخل کانتینر حمل فیله‌ها به شدت تغییر می‌کند. فیله‌هایی که در مرکز کانتینر قرار دارند، دارای نوسانات دمایی کمتری نسبت به آن‌هایی که نزدیک درب یخچال قرار دارند هستند؛ زیرا زمانی که درب یخچال برای تخلیه فیله‌ها باز می‌شود تبادل گرمایی با محیط بیرون کانتینر صورت می‌گیرد.

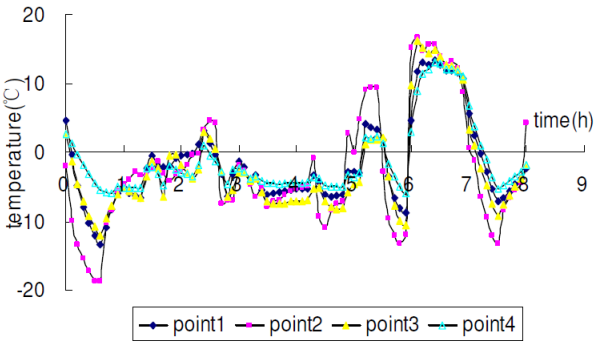
[۱] Radio Frequency Identification



شکل (۱) چهار نقطه از ثبت دما در داخل کانتینر یخچال دار[۱۴]



شکل (۲) نوسانات دما در چهار نمونه تیلاپیا منجمد در ماشین یخچال‌دار [۱۴]



شکل (۳) نوسانات دما در ۴ نقطه در داخل کانتینر یخچال‌دار [۱۴]

شکل (۲) نشان‌دهنده دمای نمونه‌هایی از فیله‌های ماهی در ۴ نقطه از کانتینر بعد از ۹ ساعت حمل می‌باشد که روندی صعودی دارد. آنان ثابت کردند که عمر فیله‌هایی که دارای نوسان دمایی ۰/۵°C هستند دو ماه بیشتر از فیله‌هایی که دارای نوسان دمایی ۲°C هستند می‌باشد. همچنین آنان نشان دادند که نرخ کاهش کیفیت فیله‌ها دارای یک شتاب فزاینده نسبت به گذشت زمان ذخیره‌سازی است.

شکل (۳) نشان‌دهنده دمای داخل کانتینر در ساعت‌های مختلف می‌باشد که دارای نوسانات شدید می‌باشد؛ زیرا هنگامی که درب یخچال برای تخلیه فیله‌های ماهی باز می‌شود دمای داخل کانتینر به خاطر مبادلات بین محیط داخلی و خارجی به‌شدت افزایش می‌یابد و بعد از اینکه فیله‌ها تخلیه شدند، دمای داخل کانتینر دوباره افت می‌کند.

این مقالات نشان‌دهنده انحرافات از دمای مطلوب در زنجیره سرد، کشورهای توسعه‌یافته است. این در حالی است که اطلاعات بسیار اندکی از زنجیره‌های سرد، کشورهای در حال توسعه وجود دارد.

غذاهای منجمد مختلف، به مکانیزم‌های ذخیره‌سازی و دماهای مختلفی برای نگهداری نیاز دارند. میزان فساد مواد غذایی با نوسانات دمایی در محیط ذخیره‌سازی و سردخانه‌ها افزایش می‌یابد.

شرایط دمایی مورد نیاز در زنجیره سرد از تولیدکننده تا مصرف‌کننده باید برقرار باشد. به همین علت نظارت و کنترل زنجیره سرد یک پیش‌شرط برای مدیریت کیفیت محصولات می‌باشد [۱۵]. پس از فرآیند انجماد سریع، محصول منجمد باید در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد و یا سردتر نگهداری شود [۱۶]. از این‌رو قوانین کنترل تجهیزات حمل‌ونقل و درجه حرارت محصولات در هنگام حمل بیش از پیش سختگیرانه‌تر شده است؛ زیرا طول عمر مفید مواد غذایی منجمد بستگی به دمای نگهداری آن‌ها دارد و طول عمر مفید این محصولات با افزایش نوسانات دمایی کاهش می‌یابد؛ بنابراین هم در طول دوره ذخیره‌سازی محصولات غذایی منجمد و هم در طی حمل آن‌ها، باید از تجهیزات مختلف برای پایش پیوسته دمای آن‌ها استفاده شود.

طول عمر مفید مواد غذایی منجمد، به ویژگی‌های محصول غذایی و شرایط محیطی که مواد غذایی منجمد بعد از طی کردن فرآیند انجماد در معرض آن قرار می‌گیرند بستگی دارد. همچنین بسته‌بندی نیز نقش مهمی در حفظ کیفیت مواد غذایی منجمد دارد. موسسه بین‌المللی تبرید[۱] (IIR) دو تعریف از طول عمر مواد غذایی منجمد ارائه داده است [۱۷]:

عمر ذخیره‌سازی عملی[۲] (PSL): یعنی دوره زمانی قابل قبول نگهداری مواد غذایی منجمد بعد از فرآیند انجماد محصول اولیه با کیفیت که از طریق آن مواد غذایی منجمد

۱-International Institude of Refrigeration

۲-Practical Storage Life

ویژگی‌های کیفی خود را حفظ می‌کند و برای مصرف مناسب است.

عمر با کیفیت بالا (HQL): دوره زمانی نگهداری مواد غذایی است که کیفیت اولیه آن از زمان انجماد، به نقطه ۷۰٪ طول عمر خود برسد.

جدول (۱)، PSL محصولات مختلف در دمای نگهداری مختلف که از IIR اقتباس شده است را نشان می‌دهد.

جدول (۱) PSL محصولات مختلف در دمای نگهداری مختلف (طول عمر به ماه است)[۱۸]

محصول	دمای ذخیره‌سازی (درجه سانتی‌گراد)		
	-۱۲	-۱۸	-۲۴
گوشت گاو قطعه قطعه شده	۶	۱۰	۱۵
استیک گوشت گاو	۸	۱۸	۲۴
استیک گوشت گوساله	۶	۱۲	۱۵
استیک گوشت بره	۱۲	۱۸	۲۴
مرغ (کامل یا تکه تکه شده)	۹	۱۸	بیشتر از ۲۴
بوقلمون (کامل)	۸	۱۵	بیشتر از ۲۴
ماهی پرچرب	۳	۵	بیشتر از ۹
ماهی کم‌چرب	۴	۹	بیشتر از ۱۲
میگو (پخته / پوست‌کنده)	-	۲	۵

۳- سردخانه‌های نگهداری مواد غذایی منجمد

استفاده از سرما و سردخانه برای نگهداری مواد غذایی، از روش‌های پایه و قدیمی برای حفظ کیفیت مواد غذایی و جلوگیری از روند فساد بوده است. در پایان هزاره دوم میلادی، علم تبرید به عنوان یکی از ده اختراع برتر قرن شناخته شد که از سال ۱۸۷۲ و با ابداع سیستم مکانیکی تولید سرما با آمونیاک، عملاً تبرید به شیوه صنعتی آغاز شد که تا به امروز روش‌های متفاوتی برای انجماد و نگهداری مواد غذایی، در سطح دنیا بکار برده شده است. از مهم‌ترین وظائف یک سردخانه، جلوگیری از فساد کالاهای داخل آن با حفظ کیفیت طولانی‌مدت می‌باشد. کاربرد آن در نگهداری مواد غذایی، کشاورزی، انواع داروها، سیستم‌های نظامی، میوه و سبزیجات و ... خلاصه نمی‌شود و بسیار گسترده می‌باشد.

اهمیت سردخانه‌های نگهداری مواد غذایی به حدی است که یکی از معیارهای سنجش رشد فناوری در یک کشور، تعداد واحدهای صنعتی انجماد مواد غذایی و سیستم‌های حمل‌ونقل سردخانه‌دار و سردخانه‌های نگهداری می‌باشد. به موازات سیستم تبرید با آمونیاک، از سال ۱۹۳۰ تولید انواع فریون‌ها شکل گرفت و به‌صورت گسترده‌ای در سیستم‌های خانگی و تجاری مورداستفاده قرار گرفت. در سال ۱۹۸۵ مسئله حفظ لایه ازون و نقش اتم‌های کلر در تخریب لایه ازون مطرح گردید که منجر به قرارداد «وین» گردید. در سال ۱۹۸۷ با تصویب پروتکل مونترال با عنوان «ممنوعیت تولید مبردهای مخرب لایه ازون» طی برنامه زمان‌بندی شده، تمام مبردهای CFC وHCF از برنامه تولید و استفاده خارج شد که این موضوع منجر به اختراع مبردهای جدید HFC شد. مبردهای HFC مشکل تخریب لایه ازون را نداشته ولی پتانسیل بالایی در گرمای گلخانه‌ای داشته که با تصویب پروتکل «کیوتو» در سال ۱۹۹۷ با عنوان «ممنوعیت استفاده از موادی با پتانسیل بالا در گرمایش کره زمین» استفاده از مبردهای HFC نیز ممنوع گردید و منجر به کشف و استفاده از مبردهای ترکیبی و مصنوعی و نیز برگشت به استفاده از

مبردهای طبیعی مثل آمونیاک گردید. متأسفانه با گذشت چندین سال از تصویب پروتکل مونترال و کیوتو هنوز در کشورمان از مبردهای CFC و HCFC در پروژه‌های بزرگ صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد و همواره در بین مهندسین طراح، اختلاف نظر بر سر انتخاب مبرد و دستگاه‌ها برای تجهیز کردن یک سردخانه صنعتی وجود دارد. در حال حاضر سردخانه‌های مورد استفاده در ایران و جهان معمولاً از دو نوع مبرد آمونیاک و فریون استفاده می‌کنند.

۴- وضعیت موجود حمل‌ونقل مواد غذایی منجمد در ایران

در تجارت (خارجی و داخلی) و به شکل صنعتی و امور پشتیبانی نیروهای مسلح کشور غالباً، از مواد غذایی منجمد استفاده می‌کنند و در صورتی که مسافت کم باشد و در صورت پیش‌بینی تجهیزات مناسب برای امور فوق، از مواد غذایی غیرمنجمد نیز استفاده می‌شود. در هر دو صورت، وسایل حمل‌ونقل باید مجهز به سردخانه‌های دارای تجهیزات کنترلی دما و رطوبت باشد. معمولاً برای حمل‌ونقل مواد غذایی منجمد از کامیون‌های کانتینردار مجهز به دستگاه‌های سردکننده که تا ۳۰- درجه سانتی‌گراد قدرت سردکنندگی دارند، استفاده می‌شود؛ اما عملاً دستگاه را روی دمای ۲۰- درجه تنظیم می‌کنند. به‌تناسب وضعیت جغرافیایی، مسافت و امکانات موجود از وسایلی مانند هواپیما، کشتی و قطار نیز استفاده می‌شود. کشتی‌های تجاری مخصوص، دارای امکانات تولید برق برای روشن نگه‌داشتن دستگاه سردکننده بوده و مجهز به سردخانه می‌باشند. قطار مخصوص حمل مواد منجمد در واقع مجهز به واگن‌های سردخانه‌ای است که مواد غذایی منجمد و غیرمنجمد برای حمل، در این واگن‌ها قرار می‌گیرند؛ اما هواپیماهای مخصوص ترابری در حقیقت فاقد سردخانه هستند و برای انتقال سریع مواد غذایی منجمد و سرد در مدت‌زمان کوتاه در مواقعی که استفاده از امکانات دیگر یا مقرون به‌صرفه نیست و یا خیلی طولانی می‌شود، استفاده می‌گردد. مثلاً انتقال مواد غذایی از مرکز کشور (تهران) به جزیره کیش. البته این کار اگر با دقت و سرعت انجام نشود حتماً به کیفیت مواد غذایی منجمد آسیب می‌زند. مشکلات وضعیت موجود حمل‌ونقل مواد غذایی منجمد در ایران عبارتند از:

- دمای محصولات هنگام تحویل در بازه دمایی مطلوب قرار ندارد.
- تجهیزات حمل‌ونقل کامل نیست و برخی از وسایل نیاز به تعمیر دارند. (مثلاً تجهیزات ترموکینگ و ترموگراف ندارند.)
- مطابق با نظر سازمان دامپزشکی کشور، یک وسیله نقلیه یخچالدار مجاز است حداکثر سفارش دو مشتری را در یک محموله بارگیری کند. در صورت باز شدن درب کانتینر نزد مشتری اول، درب کانتینر دوباره پلمپ نمی‌شود و مشتری دوم در بعضی موارد از پذیرش محموله امتناع می‌کند.
- بابت تخلیه در مراکز استان‌ها مشکلات تجهیزاتی وجود دارد و از طرفی مسافت بین شهرها بسیار طولانی است.

۵- رصد سیستم حمل‌ونقل مواد غذایی در جهان

در این قسمت به قوانین حمل‌ونقل مواد غذایی منجمد، شرایط نگهداری حین حمل محصولات منجمد، سکوهای بارگیری و تخلیه مواد غذایی در سردخانه‌ها، عایق‌بندی وسایل حمل مواد غذایی منجمد، گردش هوا در وسایل حمل مواد غذایی منجمد، سیستم انتقال انرژی و پارتیشن‌بندی وسایل نقلیه پرداخته می‌شود و در انتها پیشنهادهای اجرایی برای سازمان خرید مواد غذایی جهت بهبود کیفیت اقلام تحویلی به رده‌های مختلف یک سازمان نظامی ارائه می‌شود.

۵-۱- قوانین حمل‌ونقل مواد غذایی منجمد

بیشترین توجه در حمل‌ونقل مواد غذایی منجمد به کیفیت، درجه حرارت و انواع روش حمل‌ونقل معطوف می‌باشد. تمام قوانین و دستورالعمل‌های مربوط به ثابت بودن دما و میزان دما برای انواع مواد غذایی به طور صریح و قاطع مشخص‌شده است. ولی در سطوح ملی در کشورها به‌ندرت بر اجرای آن پافشاری می‌شود. درصورتی‌که در تجارت بین‌المللی کنترل بیشتری صورت می‌گیرد.

قوانین اتحادیه اروپا و انگلستان به تجهیزات و الزامات ذخیره‌سازی و حمل‌ونقل غذاهای فاسدشدنی توجه کرده است. قانون EC No 852/2004 در اوایل سال ۲۰۰۶ تجدید نظر شده و این قانون به تأمین‌کنندگان مواد غذایی توصیه‌هایی را در مورد وسایل نگهداری و ذخیره‌سازی و حمل‌ونقل داشته تا مواد غذایی در دمای مناسب نگهداری شود و این دما به‌طور پیوسته مورد پایش قرار گیرد. علاوه

بر این، انگلستان قوانین مجزایی را که در مورد پایش دمایی محصولات سرد که در قانون EC No 852/2004 نادیده گرفته‌شده را به اجرا درآورد است. این قوانین مربوط به مواد غذایی است که در آن میکرو ارگانسیم‌های بیماری‌زا رشد می‌کنند. چنین مواد غذایی باید زیر ۸+ درجه سانتی‌گراد نگهداری شوند [۱۹].

قوانین حمل‌ونقل محصولات فاسدشدنی و تجهیزات مورداستفاده در حمل این محصولات، توسط توافقنامه کمیته حمل‌ونقل داخلی کمیته اقتصادی سازمان ملل متحد برای اروپا در سال ۱۹۷۰-۱۹۷۱ تنظیم‌شده است. این توافقنامه با عنوان توافقنامه ATP[۱] شناخته می‌شود. بر اجرای این توافقنامه در اروپا خیلی سخت‌گیری می‌شود. نتیجه این توافقنامه توجه بیشتر و شدیدتر به کیفیت تجهیزات، عایق-بندی ساختمان و کانتینرهای مخصوص حمل مواد غذایی منجمد بود. ضمن اینکه در کشورهای اروپایی یک سیستم ملی برای کنترل و بازرسی تشکیل گردید. توافقنامه ATP در سال ۱۹۸۳ توسط ۱۹ کشور به تصویب رسید. یکی از موارد آن مربوط به ثابت بودن دما در زمان حمل‌ونقل مواد غذایی منجمد است. همچنین افزایش موقتی ۳ درجه‌ای دما نیز مجاز دانسته شده است [۲۰].

در برخی از کشورهای اروپایی نظیر فرانسه، آلمان، ایتالیا، پرتغال و ... استانداردهای ملی بسیار شبیه به ATP وجود دارد و یا ATP به‌عنوان قانون ملی به تصویب رسیده است. استانداردهای استرالیا دارای ارتباط قوی با ATP هستند؛ اما در ایالات‌متحده آمریکا، بسیاری از استانداردها داوطلبانه می‌باشند، اما هیچ استاندارد واحدی پذیرفته‌نشده است [۱۸].

۲-۵- شرایط نگهداری حین حمل محصولات منجمد

شرایط نگهداری محصولات منجمد در طول حمل، باید برقرار باشد؛ اما با توجه به عوامل متعدد، نگهداری محصولات منجمد حین حمل در دمای مناسب بسیار مشکل است:

۱) دمای محصولات هنگام بارگیری و تخلیه بالا می‌رود.

۲) اثرات دیفراست شدن محصول در مرحله حمل‌ونقل بیشتر است. (دیفراست یا یخ‌زدائی، موجب کاهش رطوبت مواد غذایی منجمد، حالت برفکی شدن و کاهش ارزش غذایی آن می‌شود.)

۳) در حین حمل، ممکن است محصولات به دیواره‌های کانتینر یخچالدار تماس داشته باشند و باعث تبادل حرارتی بین آن‌ها شود.

برای عامل شماره ۱ دو جنبه مسئله حائز اهمیت است:

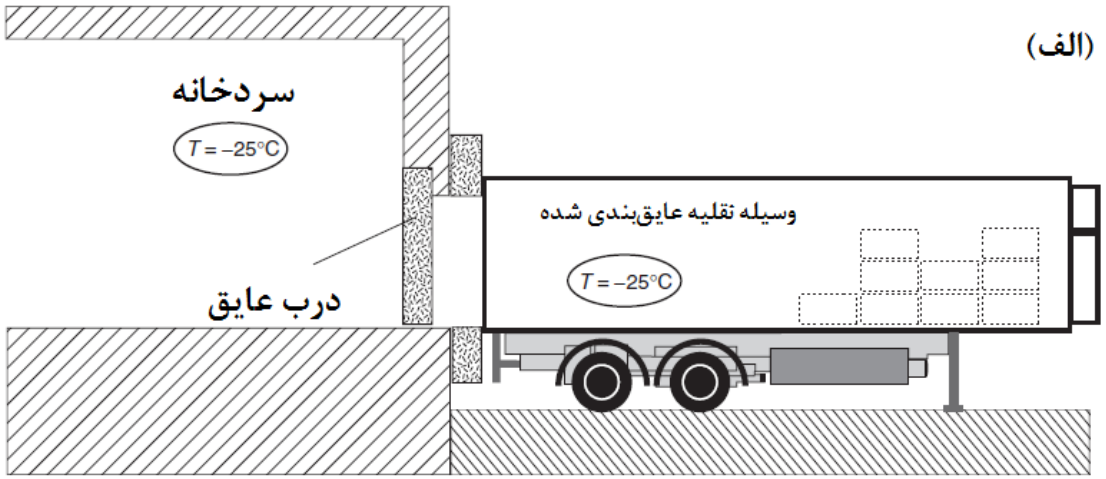
الف) مدت‌زمان بارگیری و تخلیه باید حداقل باشد.

ب) سطح محافظت از محموله‌ها در طول بارگیری و تخلیه باید حداکثر باشد (شکل ۴)[۲۱].

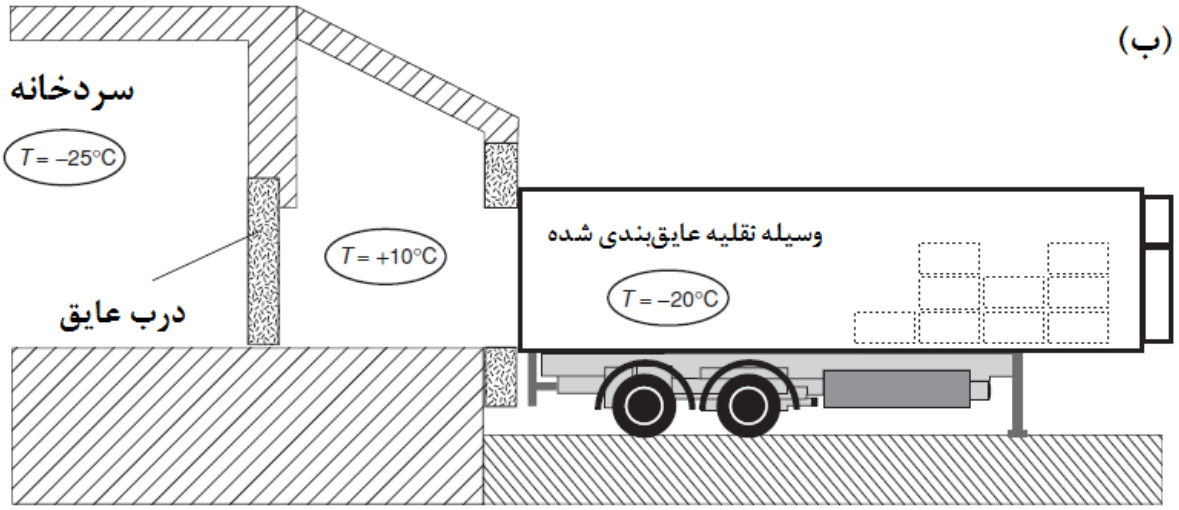
برای عامل شماره ۳، زمانی که نور آفتاب به‌طور مستقیم بر سقف و دیواره‌های جانبی کانتینر می‌تابد، مشکل می‌تواند بیشتر شود. در این موارد دمای بیرون کانتینر تا ۹۰+ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد و تبادل حرارتی از طریق سقف و دیواره‌ها صورت می‌گیرد.

۱-The Agreement on Transport of Perishable ۱

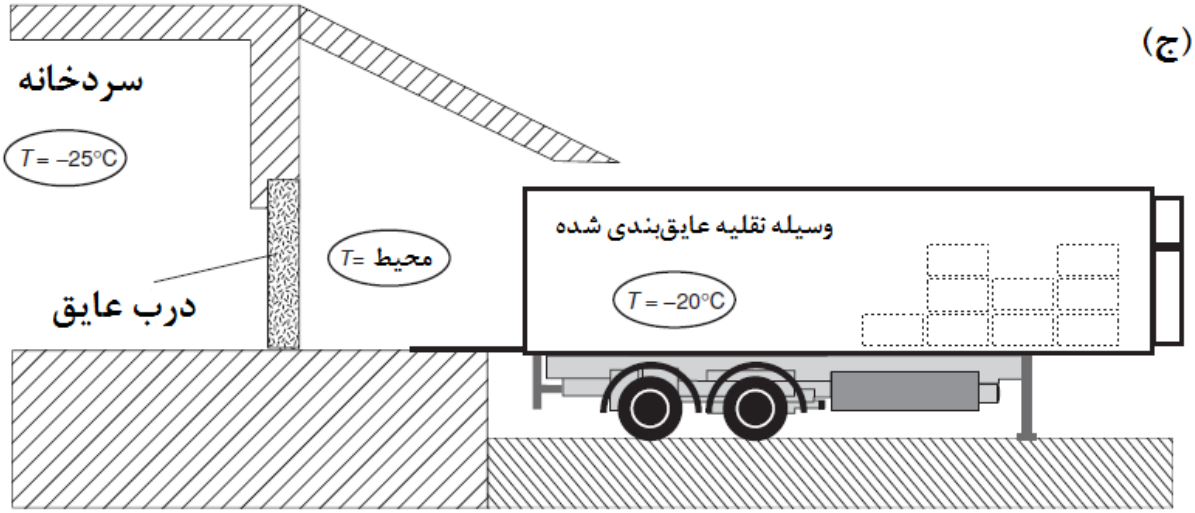
(الف)


سردخانه
T = -25°C
درب عایق
وسیله نقلیه عایق‌بندی شده
T = -25°C

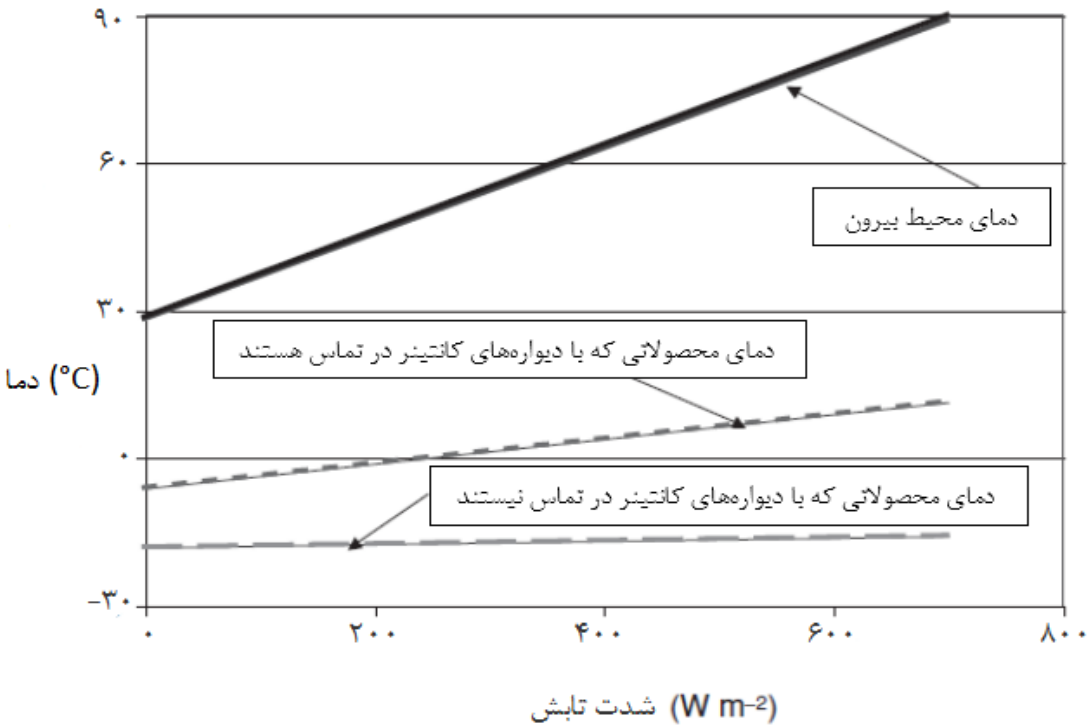
(ب)


سردخانه
T = -25°C
درب عایق
T = +10°C
وسیله نقلیه عایق‌بندی شده
T = -20°C

(ج)


سردخانه
T = -25°C
درب عایق
محیط T=
وسیله نقلیه عایق‌بندی شده
T = -20°C

شکل (۴) شرایط مختلف برای بارگیری و تخلیه محصولات [۲۱]



الف) محموله‌ها مستقیماً از سردخانه به وسایل نقلیه انتقال داده می‌شوند (و بالعکس) و هیچ‌گونه تغییر دمایی وجود ندارد.

ب) سکوی بارگیری و تخلیه بین وسیله نقلیه و سردخانه وجود دارد که دمایی بین دمای محیط بیرون و داخل سردخانه دارد.

ج) شبیه به حالت (ب) است اما دمای سکوی بارگیری و تخلیه برابر با دمای محیط است.

د) سکوی بارگیری و تخلیه وجود ندارد و محصولات ابتدا به محیط بیرونی و سپس به سردخانه منتقل می‌شوند. در این حالت تبادل حرارتی بسیار زیاد بوده و مدت‌زمان بارگیری و تخلیه باید تا حد امکان کوتاه باشد.

شکل (۵) دمای محیط بیرون و محصولات داخل کانتینر به ازای شدت تابش مختلف نور خورشید (زمانی که وسیله نقلیه در یک مکان ثابت ایستاده باشد) [۲۲]

۵-۳- عایق‌بندی وسایل حمل مواد غذایی منجمد

مشکل اصلی کانتینرهای ایزوله‌ای که هم‌اکنون مورداستفاده قرار می‌گیرند این است که ضریب تبادل حرارتی بسیار بالایی دارند.

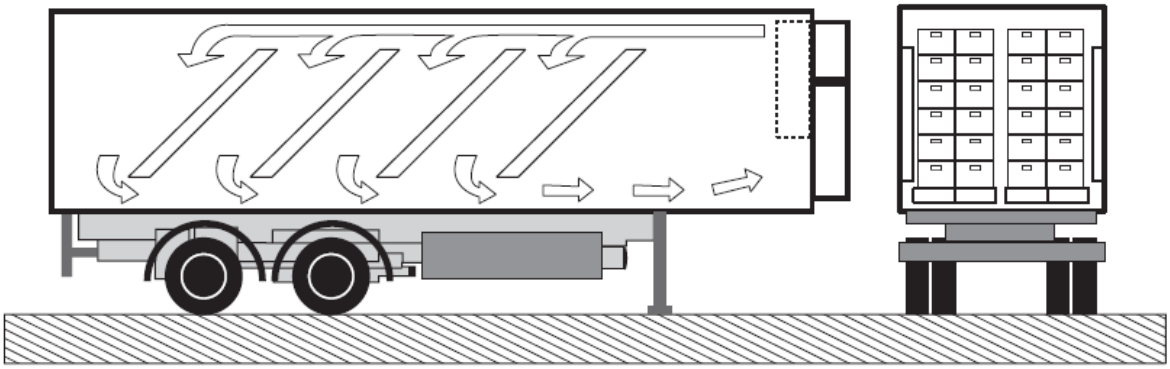
مقدار ضریب تبادل حرارتی را می‌توان با افزایش ضخامت دیواره‌های جانبی بهبود بخشید؛ اما فضای داخلی مفید کانتینرها جهت بارگیری و ذخیره‌سازی محصولات منجمد، کاهش پیدا می‌کند. در اروپا، پالت‌ها در دو ردیف کنار هم بارگیری می‌شوند که پهنای آن ۲/۴m است. درحالی‌که پهنای وسایل نقلیه مورد تأیید ATP، ۲/۶m است؛ بنابراین ضخامت دیواره نمی‌تواند بیشتر از ۰/۱m باشد و این میزان ضخامت دیواره برای کاهش ضریب تبادل حرارتی کافی نیست.

برخی از کارخانجات برای فائق آمدن بر این مشکل، ضخامت دیواره‌های سقف و کف را افزایش داده‌اند. (افزایش ضخامت دیواره عقب کانتینر به دلیل وجود درب و دیواره جلوی کانتینر نیز به دلیل وجود سیستم خنک‌کننده غیرممکن است). با این روش ضریب تبادل حرارتی کاهش پیدا می‌کند اما استهلاک وسیله نقلیه به دلیل افزایش وزن کانتینر ایزوله شده، افزایش می‌یابد [۲۳].

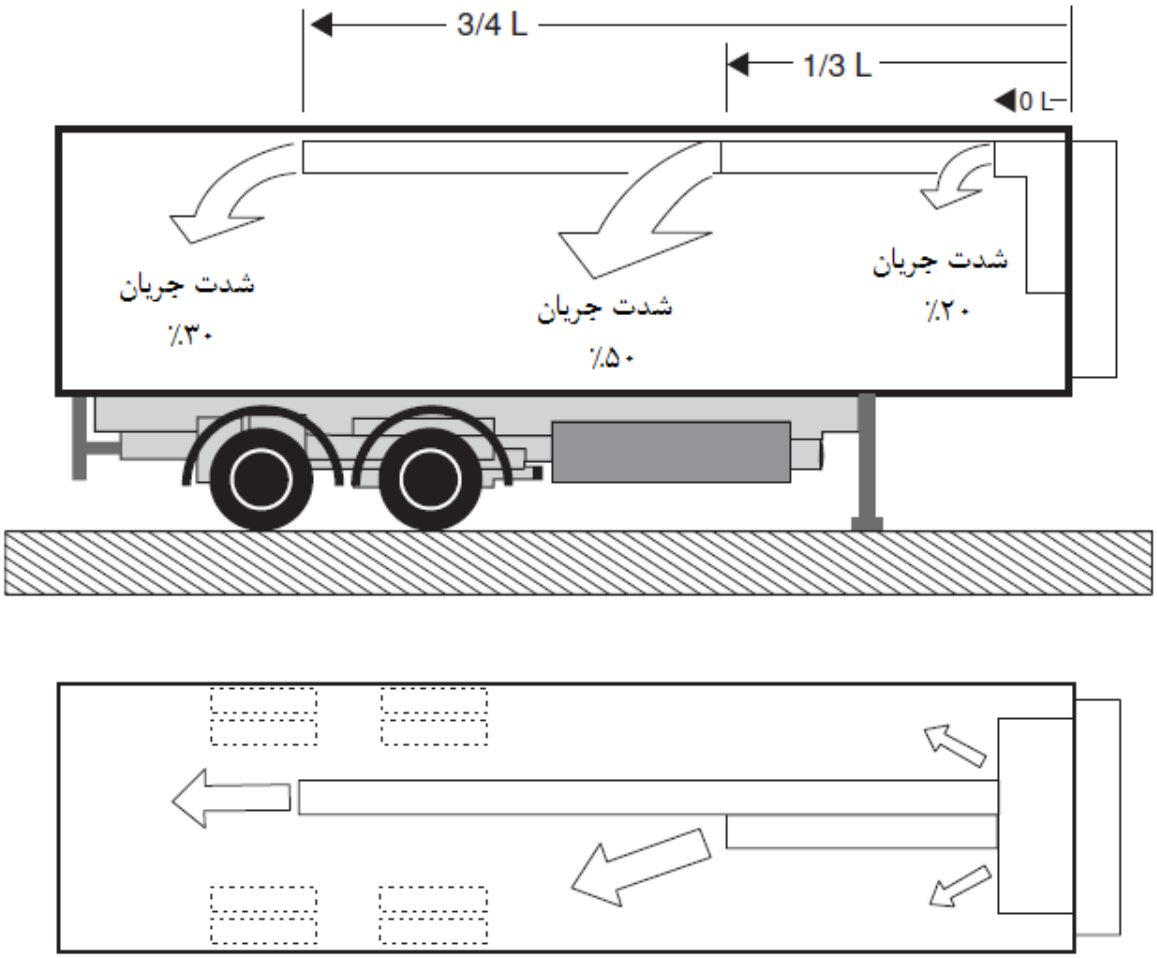
۵-۴- گردش هوا در وسایل حمل مواد غذایی منجمد

چینش محصولات در کانتینرهای حمل باید به‌گونه‌ای باشد که هوای خنک در اطراف محموله، گردش داشته باشد تا گرمایی که از دیواره‌ها وارد محفظه می‌شود را از بین ببرد و محموله را خنک نگه دارد. برای این منظور، فاصله مناسبی باید بین محموله و دیواره ایجاد شود. (می‌توان از چند میله مناسب که به دیواره متصل می‌شود استفاده کرد.) (شکل ۶) [۲۱].

همچنین استفاده از داکت‌های سقفی نیز پیشنهاد می‌گردد. این داکت‌ها معمولاً دارای طول‌های مختلفی هستند که کوتاه‌ترین آن باید دارای یک سوم طول کانتینر و بلندترین آن نیز باید دارای سه چهارم طول کانتینر باشد (شکل ۷)؛ بنابراین با استفاده از این کانال‌ها و داکت‌ها جریان هوای خنک به‌خوبی در سرتاسر کانتینر توزیع می‌شود. توزیع جریان هوای خنک بدین صورت است: ۲۰٪ که مستقیماً از سیستم خنک‌کننده به داخل محفظه کانتینر انتقال می‌یابد. ۵۰٪ به‌وسیله داکت کوتاهتر و ۳۰٪ نیز به‌وسیله داکت بلندتر وارد محفظه می‌شود [۱۷ و ۲۴].



شکل (۶) شماتیک اتصال میله به بدنه کانتینر و انتقال جریان هوا بین پالت‌ها [۲۱]



شکل (۷) شماتیک داکت‌های متصل به سقف [۲۴]

۵-۵- سیستم انتقال انرژی

سیستم‌های مختلف تولید و انتقال انرژی دمایی موردنیاز محموله، در وسایل نقلیه حمل مواد غذایی منجمد استفاده می‌شود. یکی از این سیستم‌های پرکاربرد، سیستم یوتکتیک است [۲۱]. این سیستم شامل یک سری صفحاتی است که بر سقف کانتینر نصب می‌شوند (شکل ۸)[۲۱].
این سیستم نسبت به سیستم‌های تبرید مستقیم چند مزیت دارد:

۱) هیچ سروصدایی در توزیع مواد غذایی ایجاد نمی‌کند (مقررات برخی از شهرها در اروپا به کاهش سروصدای تولیدی اشاره دارد).

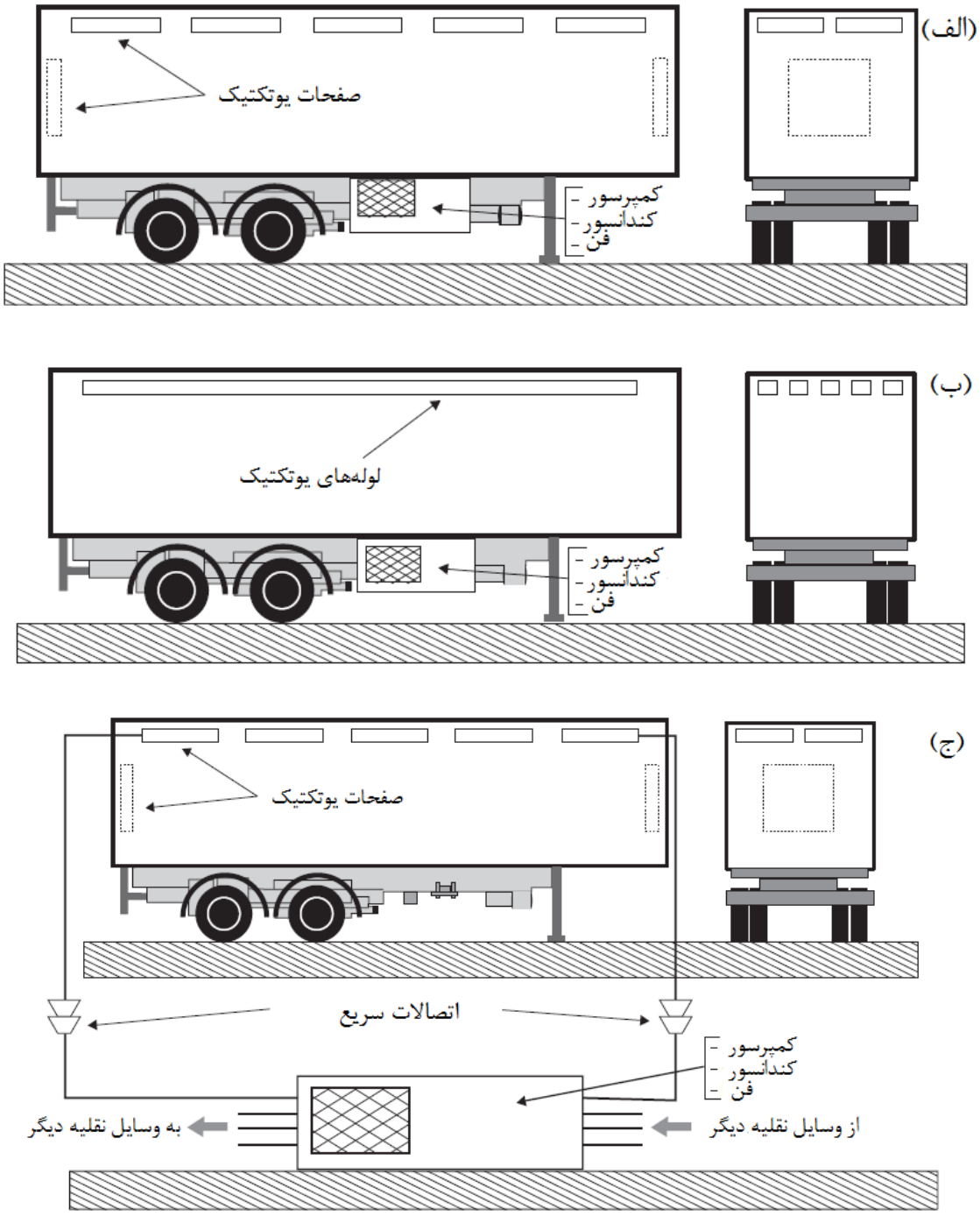
۲) توانایی خنک کردن سریع محفظه، زمانی که درب کانتینر برای بارگیری و تخلیه باز می‌شود، دارد.

۳) قابلیت اطمینان بالا: زیرا زمانی که این سیستم از کار بیفتد، انرژی تا مدت‌زمان طولانی در کانتینر باقی می‌ماند.

به‌علاوه این سیستم دو مشکل دارد:

۱) استفاده از این سیستم وزن وسایل نقلیه را بالا می‌برد.

۲) هزینه اولیه برای راه‌اندازی این سیستم زیاد است.



شکل (۸) سیستم یوتکتیک [۲۱]

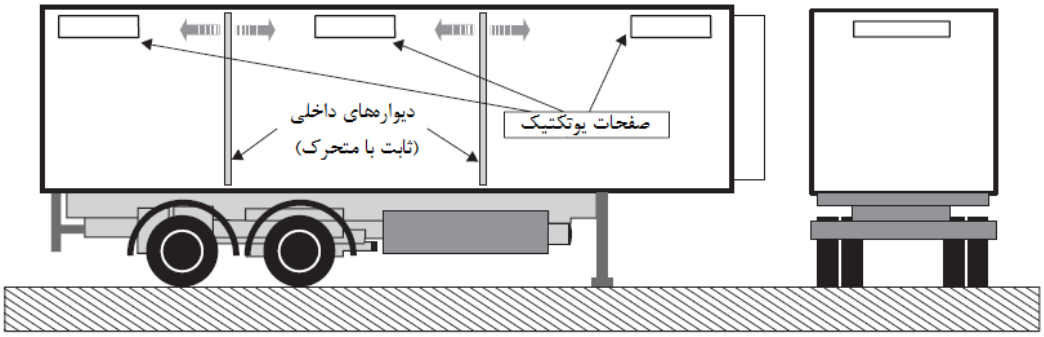
الف) جانمایی صفحات سیستم بر روی سقف. همچنین اگر صفحات بیشتری موردنیاز باشد، این صفحات بر دیواره‌های جلویی (در صورت عدم وجود درب) و پشتی نیز نصب می‌شود.

ب) شبیه (الف)، اما به‌جای صفحات مجزا از لوله‌های یوتکتیک استفاده‌شده است.

ج) سیستم یوتکتیک که کمپرسور و کندانسور در آن قرار ندارد و توسط واحد خنک‌کننده مجزا کار می‌کند. این واحد خنک‌کننده می‌تواند هم‌زمان برای چند وسیله نقلیه استفاده شود و برای تحویل محموله‌ها در مسافت کم کاربرد دارد.

۶-۵- پارتیشن‌بندی وسایل نقلیه

پارتیشن‌بندی وسایل نقلیه می‌تواند برای حمل محصولات تازه و یا منجمد مورداستفاده قرار گیرد. در این پارتیشن‌ها از سیستم تبرید مجزا و یا مشترک استفاده می‌شود و تخلیه و بارگیری محصولات تأثیر تبادل حرارتی کمی بر محصولات دیگر پارتیشن دارد (شکل ۹).



شکل (۹) پارتیشن‌بندی کانتینر [۱۸]

۶- پیشنهادهای اجرایی جهت بهبود کیفیت اقلام تحویلی به رده‌های مختلف یک سازمان نظامی

با توجه به رصد مبانی سیستم تحویل اقلام غذایی منجمد، پیشنهادهای زیر جهت بهبود کیفیت اقلام تحویلی به رده‌های مختلف یک سازمان نظامی ارائه می‌گردد:

۱) ساخت سکوی بارگیری و تخلیه ایزوله در سردخانه‌های بزرگ

۲) استفاده از چند میله مناسب که به دیواره کانتینر متصل شده است تا با ایجاد فاصله مناسب بین محموله و دیواره، گرمایی که از دیواره‌ها وارد محفظه می‌شود را از بین ببرد و محموله را خنک نگه دارد.

۳) پارتیشن‌بندی وسایل نقلیه حمل مواد غذایی منجمد به‌طوری که هر پارتیشن درب جداگانه و سیستم خنک‌کننده مستقل داشته باشد (نظیر سیستم خنک‌کننده یوتکتیک)؛ یعنی در هر یک از پارتیشن‌ها، صفحات جداگانه نصب شود و تمامی صفحات نصب‌شده در پارتیشن‌ها، از یک سیستم خنک‌کننده واحد استفاده کنند (نظیر سیستم اسپلیت خانگی با یک موتور خنک‌کننده خارجی و چند پنل داخلی). در این صورت از یک وسیله نقلیه می‌توان برای خدمت‌دهی به بیش از ۲ مشتری استفاده کرد و با باز شدن درب یک پارتیشن، هیچ تبادل حرارتی با دیگر پارتیشن‌ها صورت نمی‌گیرد. از این رو کیفیت اقلام غذایی منجمد در دیگر پارتیشن‌ها حفظ می‌شود. از طرفی از این وسیله نقلیه می‌توان برای تحویل هم‌زمان چندین اقلام غذایی منجمد (و یا حتی تازه) استفاده کرد؛ زیرا اولاً دمای هر پارتیشن به‌طور مجزا قابل تنظیم است و ثانیاً مسائل بهداشتی در حمل اقلام غذایی منجمد مختلف، به دلیل استفاده از چند پارتیشن جداگانه رعایت می‌شود. همچنین با خالی شدن یک پارتیشن، سیستم خنک‌کننده مربوط به آن پارتیشن خاموش شده و در انرژی مصرفی صرفه‌جویی می‌گردد.

۷- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله به یکی از دغدغه‌های سازمان خرید اقلام غذایی منجمد در یک سازمان نظامی پرداخته شد. بدین‌صورت که با افزایش زمان حمل و یا باز شدن درب یخچال برای تخلیه مواد غذایی در به رده‌ها، شوک دمایی به محصولات منجمد وارد می‌شود که باعث یخ‌زدایی، شل شدن بافت مواد غذایی منجمد و حتی تولید خونابه می‌شود. پس از بررسی وضعیت موجود حمل مواد غذایی منجمد در ایران، به مطالعه سیستم‌های حمل‌ونقل مواد غذایی منجمد در جهان پرداخته شد و به مواردی نظیر قوانین حمل‌ونقل مواد غذایی منجمد، شرایط نگهداری حین حمل محصولات منجمد، سکوهای بارگیری و تخلیه مواد غذایی در سردخانه‌ها، عایق‌بندی وسایل حمل مواد غذایی منجمد، گردش هوا در وسایل حمل مواد غذایی منجمد، سیستم انتقال انرژی و پارتیشن‌بندی وسایل نقلیه اشاره شد و ۳ پیشنهاد اجرایی جهت بهبود کیفیت اقلام تحویلی به رده‌های مختلف یک سازمان نظامی ارائه شد.

در نظر گرفتن اختلال در بخش حمل‌ونقل مواد غذایی منجمد نظیر خرابی وسایل نقلیه و یا خرابی یخچال‌ها می‌تواند حوزه‌ای برای تحقیقات آتی باشد. همچنین رصد سیستم‌های منجمدکننده و ذخیره‌سازی مواد غذایی منجمد و همچنین سامانه‌های کنترل و ثبت دما می‌تواند زمینه دیگری برای تحقیقات آتی باشد.

سپاسگزاری

این مقاله از رساله دوره دکترای حرفه‌ای مهندسی صنایع در دانشگاه جامع امام حسین (ع) استخراج شده است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از مسئولین مرکز مطالعات و پژوهش‌های لجستیکی به‌خصوص مدیر کمیته آماد آقای دکتر حسین غفاری توران و جانشین سازمان خرید آقای مهندس علی قربان پور که در انجام و ارتقاء کیفی این پژوهش یاری دادند، اعلام نمایند.

۸-منابع و مآخذ

[1] Montanari, R., "Cold chain tracking: a managerial perspective", Trends in Food Science & Technology, 19(8), 425-431, 2008.

[2] Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Van Otterdijk, R., & Meybeck, A., "Global food losses and food waste", The Swedish Institute for Food and Biotechnology, Save Food Congress, Düsseldorf 16 May 2011.

[3] Ndraha, N., Hsiao, H. I., Vlajic, J., Yang, M. F., & Lin, H. T. V., "Time-temperature abuse in the food cold chain: Review of issues, challenges, and recommendations", Food Control, 89, 12-21, 2018.

[4] Song, B.D. and Y.D. Ko, "A vehicle routing problem of both refrigerated- and general-type vehicles for perishable food products delivery", Journal of Food Engineering, 169, 61-71, 2016.

[5] Nedović, V., Raspor, P., Lević, J., Šaponjac, V. T., & Barbosa-Cánovas, G. V. (Eds.), "Emerging and traditional technologies for safe, healthy and quality food", Cham, Germany: Springer International Publishing, 257-268, 2016.

[6] Hsu, C. I., Hung, S. F., & Li, H. C., "Vehicle routing problem with time-windows for perishable food delivery", Journal of food engineering, 80(2), 465-475, 2007

[7] Martinsdóttir, E., Lauzon, H. L., Margeirsson, B., Sveinsdóttir, K., Þorvaldsson, L., Magnússon, H., & Eden, M., "The effect of cooling methods at processing and use of gel packs on storage life of cod (Gadus morhua) loins. Effect of transport via air and sea on temperature control and retail-packaging on cod deterioration". Report/Skýrsla Matís, 10-18, 2010.

[8] Mai, N. T. T., Margeirsson, S., Bogason, S. G., Sigurgisladottir, S., & Arason, S., "Temperature mapping of fresh fish supply chains–air and sea transport". Journal of food process engineering, 35(4), 622-656, 2012.

[9] Derens, E., Palagos, B., & Guilpart, J., "The cold chain of chilled products under supervision in France". In 13th world congress of food science & technology. 823-833, 2006.

[10] Koutsoumanis, K., Pavlis, A., Nychas, G. J. E., & Xanthiakos, K., "Probabilistic model for Listeria monocytogenes growth during distribution, retail storage, and domestic storage of pasteurized milk". Applied and Environmental Microbiology, 76(7), 2181-2191, 2010.

[11] Pelletier, W., Brecht, J. K., do Nascimento Nunes, M. C., & Emond, J. P., "Quality of strawberries shipped by truck from California to Florida as influenced by postharvest temperature", management practices. HortTechnology, 21(4), 482-493, 2011.

[12] Rediers, H., Claes, M., Peeters, L., & Willems, K. A., "Evaluation of the cold chain of fresh-cut endive from farmer to plate". Postharvest Biology and Technology, 51(2), 257-262, 2009.

[13] Koseki, S. and S. Isobe, "Prediction of pathogen growth on iceberg lettuce under real temperature history during distribution from farm to table". International Journal of Food Microbiology, 104(3), 239-248, 2005.

[14] Tingman, W., Jian, Z., & Xiaoshuan, Z., "Fish product quality evaluation based on temperature monitoring in cold chain". African Journal of Biotechnology, 9(37), 6146-6151, 2010.

[15] Giannakourou, M.C., Taoukis, P., and Nychas, G.J., "Monitoring and control of cold chain freezing". In: D.W. Sun, ed. Handbook of Frozen Food Processing and Packaging. Boca Raton, FL: CRC/Taylor & Francis Group, 279–307, 2006.

[16] EU Directive 92/1., "Monitoring of Temperatures in the Means of Transport, Warehousing and Storage of Quick Frozen Foods for Human Consumption", Brussels, Official Journal, 34,28–29, 1992.

[17] IIR., "Control of the cold chain for quick-frozen foods". handbook, 1999.

[18] Evans, J.A., "Frozen Food Science and Technology", Blackwell Publishing, 2008.

[19] Tymkow, P., Tassou, S., Kolokotroni, M., & Jouhara, H., "Building services design for energy efficient buildings". Routledge, 2013.

[20] UN Economic Commission for Europe – Inland Transport Committee. ATP as amended on 7 November 2003 – Agreement on the International Carriage of Perishable Foodstuff and on the Special Equipment to be Used for such Carriage, 2003 (available online, http:// www.unece.org/trans/main/wp11/atp.html).

[21] Panozzo, G., "13 Frozen Food Transport". Frozen Food Science and Technology, 2008.

[22] Panozzo, G. and Cortella, G., "Connections between standards and technologies in perishable foodstuffs transport". In: Proceedings of the 3rd Central European Congress on Food, Sofia (Bulgaria), 1–24, 2006.

[23] Giuri, S., "Analisi statistica sulla velocit`a di degrado delle caratteristiche termiche dei veicoli isolate; (Statistical analysis about the ageing velocity the thermal characteristics of insulated vehicles)", Degree Thesis. University of Padova DFT. 10 March, 2006.

[24] IIR., "Guide to refrigerated transport". handbook,199