دوماهنامه بررسی‌های بازرگانی
Commercial Surveys Bimonthly
سال نوزدهم، شماره ۱۰۷، خرداد و تیر ۱۴۰۰، ۱۰۰-۸۹
Vol.19, No.107, June - July 2021, 89-100

مقاله پژوهشی (نظری)

مدل‌سازی و طراحی انبار عبوری موقت با در نظر گرفتن فضا و رضایت خرده‌فروشان

دریافت: ۹۹/۰۱/۱۸ پذیرش: ۹۹/۰۶/۵

مریم شعاعی[۱]
پروانه سموئی[۲]، نویسنده مسئول

چکیده

طراحی سیستم ورود کالاها به انبار، چیدمان، جابه‌جایی و خروج کالاها از انبار بسیار حیاتی است، تا عملیات انبارها با حداکثر بهره‌وری انجام پذیرد. جهت سرعت بخشیدن به عملیات انبار، استفاده از انبارهای عبوری موقت (Cross Dock) اهمیت چشمگیری یافته است. استفاده از انبارهای عبوری موقت یک استراتژی توزیع است که نقش مهمی در بالا بردن کارایی شبکه‌های توزیع و کاهش زمان پاسخ‌گویی به نیاز مشتریان دارد. در روش تخلیه و بارگیری کالا از طریق انبارهای عبوری موقت، کالاها به‌وسیله کامیون‌های ورودی تخلیه و با اندکی وقفه زمانی و گاهی نیز بدون هیچ‌گونه معطلی، در بخش انبارش موقت، به‌صورت مستقیم در کامیون‌های خروجی بارگیری می‌شوند. این مطالعه به مدلسازی و طراحی انبار عبوری موقت می‌پردازد و هدف اصلی آن، طراحی انبار عبوری موقت و تخصیص خرده‌فروشان مختلف به مکان‌های کف دردسترس انبار است، به‌گونه‌ای که مسافت نهایی طی شده در انبار و نیز فضای خالی انبار حداقل شوند و همچنین رضایت خرده‌فروشان، از طریق درنظر گرفتن اولویت‌های حمل آن‌ها حداکثر شود. برای حل مسأله از روش اپسیلون محدودیت تکامل‌یافته استفاده شده است. در نهایت جهت توسعه مدل، ایده‌ها و پیشنهادهایی ارائه شده است.

طبقه‌بندی JEL: L81، C61

انبار عبوری موقت / چیدمان / اپسیلون محدودیت تکامل‌یافته / عملیات خرده‌فروشی / برنامه‌ریزی عدد صحیح

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی‌صنایع، دپارتمان مهندسی‌صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی‌سینا همدان، ایران. shoaee.m@gmail.com
۲. استادیار، دپارتمان مهندسی‌صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی‌سینا همدان، ایران. p.samouei@basu.ac.ir

۱. مقدمه: طرح مسأله

در دنیای امروز، انبار و خدمات انبارداری نقش غیرقابل انکاری در سازمان‌ها و صنایع مختلف ایفا می‌کنند. نیاز به سهولت دسترسی به بخش‌های مختلف کالاها و سازمان‌دهی سیستم‌های نگهداری کالاها، ایجاد بخشی به نام انبار را ضروری نموده است. طراحی و چیدمان مناسب سیستم انبار، از لحاظ بهره‌وری در زمان و هزینه می‌تواند کمک قابل‌توجهی به سازمان‌ها نماید. امروزه سعی می‌شود انبارها به‌گونه‌ای طراحی شوند که موجب سرعت بخشیدن به عملیات مختلف انبار گردد. یک راه‌کار استفاده از انبارهای عبوری موقت می‌باشد. این نوع انبارها در کاهش هزینه‌ها، کاهش زمان تدارک و تحویل، ارتقای بهره‌برداری از منابع، ارتقای سرویس‌دهی به مشتریان و افزایش سرعت پاسخ‌گویی به نیاز آن‌ها اهمیت به‌سزایی دارند. در روش تخلیه و بارگیری کالا از طریق انبارهای عبوری موقت، کالاها به‌وسیله کامیون‌های ورودی تخلیه و با اندکی وقفه زمانی (گاهی اوقات بدون هیچ‌گونه معطلی)، در بخش انبارش موقت، به‌صورت مستقیم در کامیون‌های خروجی بارگیری می‌شوند. اغلب زمان نگهداری کالا در انبار کمتر از ۲۴ ساعت است. در برخی موارد نیز زمان نگهداری کالاها در انبار عبوری، می‌بایست کمتر از ۱۲ ساعت باشد [۱]. مفهوم انبار عبوری توسط شرکت وال‌مارت معرفی شد که در آن انبارها بیشتر در نقش هماهنگ‌کننده موجودی عمل می‌کنند تا ذخیره‌کننده آن. کینییر و همکاران [۲]، سیستم انبار عبوری موقت را به‌عنوان یک بستر انتقال در زنجیره تأمین ارایه کردند که محصولات از یک مرحله بالادستی دریافت می‌شوند و برمبنای سفارش مشتری، برای مقاصد نهایی منظم می‌شوند.

۲. پیشینه تحقیق

در ادبیات مسأله، مطالعات مختلفی مسأله چیدمان انبار را مورد بررسی قرار می‌دهند. اما این مطالعات عموما بر انبارهای سنتی تمرکز دارند و مطالعاتی که به طراحی و چیدمان انبارهای عبوری موقت پرداخته باشند، کمتر هستند. جایارمن و رز [۳]، روی مسأله طراحی سیستم تولید، لجستیک، ارسال و انتقال مطالعه نمودند که در آن انبارهای عبوری را در محیط زنجیره تأمین سهیم دانسته‌اند. نگرش آن‌ها نیز در طراحی شبکه به‌این‌صورت بوده است که یک انبار عبوری به یک ناحیه مشتری با کمترین هزینه و در سطوح استراتژیک و عملیاتی، تخصیص می‌یابد. مسأله آن‌ها شامل گروه‌های مختلف محصول، یک سایت مرکزی تولید، چندین مرکز توزیع و انبار عبوری و خرده‌فروشان بوده‌است. بارتولدی و گیو [۴]، به مطالعه مسأله تعیین بهترین شکل برای یک انبار عبوری موقت پرداختند که برای ارزیابی اشکال مختلف، هزینه نیروی انسانی در جابه‌جایی اقلام درون انبار عبوری محاسبه و مورد استفاده قرار گرفت. آن‌ها نشان دادند که شکل مناسب یک انبار عبوری موقت، به اندازه تسهیلات و الگوی جریان محموله‌های درون آن بستگی دارد. ویز و رودبرگن [۵]، سه مفهوم و رویه متفاوت برای طراحی چیدمان انبارهای عبوری موقت ارائه نمودند: چیدمان ثابت، چیدمان مبتنی بر دسته‌بندی و چیدمان انعطاف‌پذیر. چیدمان نوع اول به‌گونه‌ای است که برای دوره زمانی قابل‌ملاحظه‌ای ثابت باشد. چیدمان مبتنی بر گروه‌بندی درصدد ایجاد انعطاف‌پذیری بیشتر نسبت به سایر چیدمان‌ها است. در این نوع چیدمان، فعالیت‌های روزانه می‌توانند بر اساس اطلاعات دردسترس در شروع روز طبقه‌بندی شوند. برای هر طبقه می‌توان یک چیدمان ثابت مطابق نوع قبل تعیین نمود. چیدمان انعطاف‌پذیر نیز باتوجه به فعالیت‌های روزانه مورد انتظار، هر روز تغییر می‌کند. سه مفهوم ذکرشده بر طراحی چیدمان تمرکز دارند، به‌ویژه درمورد اطلاعات تعداد راه‌روها و طول آن‌ها. ویز و رودبرگن [۶]، همچنین این مسأله را برای یک انبار عبوری با تابع هدف حداقل نمودن مسافت طی‌شده در انبار بررسی نمودند که در آن محل قفسه‌های دریافت و حمل برای یک سفارش

خاص، از قبل معلوم هستند. سندل [۷]، نیز همین مسأله را مورد بررسی قرار داد، اما تنها بر فضاهای نزدیک به قفسه‌های حمل تمرکز داشت و اهمیت اولویت‌های حمل‌ونقل را با تخصیص سفارشات به قسمت‌های نزدیک به قفسه‌های حمل نشان داد. مسائل انبارش موقت در سیستم‌های Cross Docking، در مطالعات بل و همکاران [۸]، مورد بازبینی قرار گرفتند که کمبود کار در این حوزه را برجسته نمودند. لادیر و الپان [۹]، برخی شاخص‌های کلیدی عملکردی را برای اندازه‌گیری عملکرد انبارهای عبوری موقت شرح دادند و اظهار داشتند این شاخص‌های کلیدی عملکردی، ممکن است برای برنامه‌ریزی مدل‌های بهینه‌سازی مرتبط مورد استفاده قرار گیرند. برخی از شاخص‌های کلیدی عملکردی مرتبط با مسأله طراحی چیدمان که توسط این نویسندگان پیشنهاد شده‌اند، عبارتند از: مسافت طی شده، بارکاری متعادل شده، تراکم، زمان ماندن نهایی محصول، به‌کارگیری درب و تعداد جابه‌جایی‌های پالت‌ها. هورتا و همکاران [۱۰]، نیز در جهت طراحی چیدمان انبارهای عبوری موقت، در راستای کاهش مسافت‌های طی شده در انبار تلاش نمودند و تخصیص فروشگاه‌ها به قسمت‌های مختلف انبار را نیز مدنظر قرار دادند.

در مطالعات صورت گرفته برای حل مسائل بهینه‌سازی چیدمان انبارها، روش‌های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته‌است. دای بو و همکاران [۱۱]، بهینه‌سازی چیدمان انبارهای مواد شیمیایی خطرناک را مورد بررسی قرار دادند و از الگوریتم ژنتیک بهبودیافته استفاده نمودند. اکرن و همکاران [۱۲]، طراحی انبار را تحت سیاست انبارش مبتنی بر دسته‌بندی و با استفاده از شبیه‌سازی مورد مطالعه قرار دادند. متیک و همکاران [۱۳]، از الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر برای مسأله طراحی انبارهای چندسطحی استفاده کردند و ترکیب این الگوریتم را با سایر الگوریتم‌های فراابتکاری یا دقیق، جهت مطالعات آتی پیشنهاد نمودند. ینر و یازگان [۱۴]، با استفاده از تکنیک داده‌کاوی، به بررسی اثر طراحی انبار بر متوسط زمان برداشت سفارشات و فاصله طی‌شده پرداختند. آن‌ها به‌طور همزمان یک مسأله تخصیص و مسیریابی را با هدف حداقل نمودن تعداد کارگران و بالابرها، هزینه‌های اضافه‌کاری و تراکم رانندگان و همچنین افزایش توانمندی‌های سیستم و رضایت مشتریان، حل نمودند و با کمک شبیه‌سازی، اثربخشی طراحی انبار، تخصیص‌ها و سیاست‌های مختلف برداشت سفارشات را ارزیابی کردند.

با توجه به مطالعات اندک در زمینه مدلسازی و طراحی انبارهای عبوری موقت و همچنین عدم درنظر گرفته‌شدن اهداف کاهش مسافت، کاهش فضای خالی انبار و افزایش رضایت خرده‌فروشان، در این مطالعه نیز رویه‌ی هورتا و همکاران مورد بررسی قرار گرفته است. ضمن آنکه بهره‌گیری مناسب از فضای در دسترس انبار و حداکثر نمودن رضایت خرده‌فروشان نیز در کنار حداقل نمودن مسافت طی‌شده در انبار عبوری، مدنظر قرار گرفته است و از روش اپسیلون محدودیت تکامل‌یافته، جهت حل مدل استفاده می‌گردد.

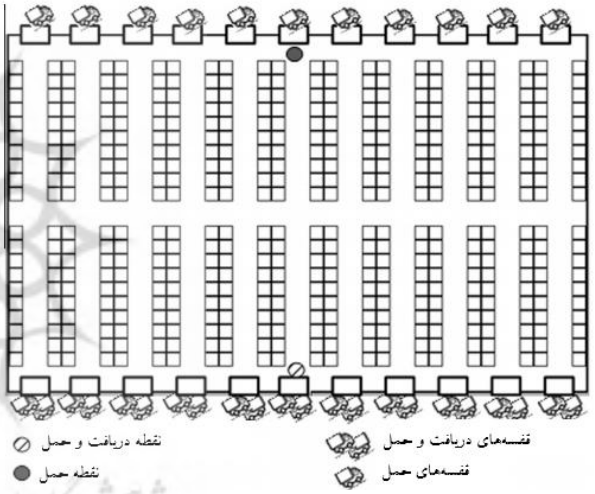
۳. طراحی مدل

الف: ساختار و مفروضات مدل

در مطالعه حاضر، مدل جدیدی به‌منظور طراحی و چیدمان انبار عبوری موقت توسعه داده شده است. چیدمان به‌عنوان تخصیص مکان‌های کف انبار به خرده‌فروشان تعریف می‌شود و هدف اصلی، تخصیص خرده‌فروشان مختلف به مکان‌های کف دردسترس انبار است، به‌گونه‌ای که مسافت نهایی طی‌شده در انبار و نیز فضای خالی انبار حداقل گردند و همچنین رضایت خرده‌فروشان، از طریق درنظرگرفتن اولویت‌های حمل آن‌ها حداکثر گردد. مسافت کل طی‌شده در انبار به دو بخش تقسیم می‌شود: مسافت طی‌شده در عملیات برداشتن و مسافت طی‌شده در طول عملیات حمل‌ونقل. عملیات برداشتن نیز ممکن است به برداشتن واحدهای لجستیکی مختلف مانند

جعبه‌های کارتنی و جعبه‌های پلاستیکی تقسیم شود. برای حل مسأله، خوشه‌های مکان‌های کف انبار درنظر گرفته می‌شوند. یک خوشه گروهی از چندین مکان کف است که همسایه می‌باشند و یکی پس از دیگری و کنار هم قرار داده شده‌اند. این خوشه‌ها توسط کارگر در مسیر برداشت دیده خواهند شد. نمودار (۱)، تصویر کلی انبار در مسأله مورد نظر را نشان می‌دهد.

مطابق نمودار، یک نقطه دریافت از جایی که کلیه عملیات برداشت آغاز می‌شود و همچنین دو نقطه حمل در دو طرف مخالف انبار، یعنی جایی که سفارشات حمل می‌شوند، وجود دارند.



نمودار ۱- تصویر کلی انبار، قفسه‌ها و نقاط دریافت و حمل‌ونقل [۱۰]

مفروضات مدل به شرح ذیل می‌باشد:

- انبار مستطیلی شکل است و در دو طرف انبار قفسه‌ها در جهت‌های مخالف قرار گرفته‌اند (نمودار ۱).
- مجموعه‌ای از مکان‌های کف دردسترس در انبار و مجموعه‌ای از خرده‌فروشان برای تخصیص به مکان‌های کف موجود هستند.
- عملیات دریافت تنها در یک طرف انبار صورت می‌گیرد. اما عملیات حمل‌ونقل می‌تواند از قفسه‌های واقع در دو طرف انبار انجام شود. فرض می‌شود که عملیات دریافت قبل از عملیات برداشت تکمیل شده است، که در این صورت قفسه‌های دریافت می‌توانند نیازهای عملیات حمل‌ونقل را به‌طور کامل برآورده سازند.
- یک نقطه دریافت از جایی که کلیه عملیات برداشت آغاز می‌شود و نیز دو نقطه حمل در دو طرف مخالف انبار، یعنی جایی که سفارشات حمل می‌شوند، تعریف می‌شود. این نقاط در فاصله میانی کناره‌های انبار که قفسه‌ها در آن‌ها قرار دارند، جای گرفته‌اند. هدف از تعریف نقاط میانی حمل‌ونقل و دریافت، کاهش پیچیدگی مدل ناشی از محاسبه فاصله هر قفسه تا هر محل کف انبار است.
- هر مکان انبار به دو بخش تقسیم می‌شود. یک بخش برای محصولات درون جعبه‌های کارتنی و بخش دیگر نیز برای محصولات درون جعبه‌های پلاستیکی که هریک ظرفیت مشخصی دارند.
- هریک از مکان‌های انبار با یک ظرفیت کلی، حداقل فاصله عملیاتی از یک نقطه دریافت و حداقل فاصله از یکی از نقاط حمل‌ونقل تعریف می‌گردند.
- هریک از مکان‌های انبار می‌توانند توسط بیش از یک خرده‌فروش مورد استفاده قرار گیرند.
- در طول عملیات برداشت، هرکارگر می‌تواند برای توزیع محتوای یک پالت از محصول، چندین مکان انبار را در طی یک مسیر برداشت یکسان، برای برآورده کردن تمام تقاضای خرده‌فروشان مختلف، ببیند.

همچنین داده‌های مورد نیاز موارد زیر را دربرمی‌گیرند:

- لیست خرده‌فروشانی که تقاضای آن‌ها باید به‌طور کامل برآورده گردد.
- لیستی از مکان‌های کف که به‌طور کامل شماره‌گذاری شده‌اند.
- خوشه‌هایی از مکان‌های کف که شماره‌گذاری شده‌اند.
- ظرفیت هریک از مکان‌های کف.

- فاصله هر مکان کف تا نقطه دریافت. ازآنجا که هر فضای کف به فضای جعبه‌های کارتنی و پلاستیکی تقسیم شده است، این تقسیم‌بندی ممکن است نیازمند فواصل متفاوتی از نقطه دریافت باشد.
- فاصله هر مکان کف تا نقطه حمل.
- میزان تقاضای هر خرده‌فروش از پالت‌ها در یک دوره زمانی (مثلا ماهیانه).
- تعداد برداشت‌های هر خرده‌فروش در یک دوره زمانی.
- الزامات مکان کف برای هر خرده‌فروش.
- درصد اولویت حمل‌ونقل هر مکان کف برای هر یک از خرده‌فروشان.

ب: مدلسازی ریاضی

مدل ریاضی ارائه شده، یک مدل سه هدفه می‌باشد. هدف اول حداقل‌سازی مسافت نهایی طی‌شده در انبار، هدف دوم حداقل‌سازی فضاهای کف خالی در انبار و هدف سوم نیز حداکثرسازی رضایت خرده‌فروشان از درنظرگرفتن اولویت‌های حمل آن‌ها می‌باشد. اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای به‌کاررفته در مدل ریاضی ارائه شده، به‌صورت زیر هستند:

اندیس‌ها

f: اندیس مکان‌های کف دردسترس در انبار $(f = 1,2,...,F)$

s: اندیس خرده‌فروشان برای تخصیص آنها به مکان‌های کف انبار $(s = 1,2,...,S)$

cl: اندیس خوشه‌های مکان‌های کف انبار $(cl = 1,2,...,CL)$

پارامترها

cap_f: ظرفیت کف (براساس تعداد پالت) برای مکان کف f در دوره زمانی مفروض

$y_{cl,f}$: نشان‌دهنده تخصیص مکان کف f انبار به هر خوشه cl (صفر و یک)

$distS_f$: فاصله از مکان کف f انبار تا نقطه حمل

$distPcb_{cl}$: مسافت مربوط به عملیات برداشت در خوشه cl (برای جعبه‌های کارتنی)

$distPpb_{cl}$: مسافت مربوط به عملیات برداشت در خوشه cl (برای جعبه‌های پلاستیکی)

PS_s: تعداد پالت‌های حمل‌شده به خرده‌فروش s طی دوره زمانی مفروض

D_s: متوسط تعداد پالت مورد نیاز خرده‌فروش s در دوره زمانی مفروض

R_s: متوسط تعداد مکان‌های کف انبار مورد نیاز خرده‌فروش s در دوره زمانی مفروض

$$R_S = \left\lceil \frac{D_S}{cap_f} \right\rceil, \forall s = 1,2,...,S$$

ppb: درصد جعبه‌های پلاستیکی برداشته شده نسبت به کل جعبه‌های برداشته شده در دوره زمانی مفروض

$h_{s,f}$: درصد اولویت مکان کف f برای خرده‌فروش s (۰ تا ۱۰۰)

NS_s: تعداد برداشت‌های خرده‌فروش s در دوره زمانی مفروض

F: تعداد کل مکان‌های کف دردسترس در انبار

S: تعداد کل خرده‌فروشان

CL: تعداد کل خوشه‌های مکان

متغیرها

$X_{s,f}$: متغیر صفر و یک است و اگر خرده‌فروش s به مکان f تخصیص یابد یک و درغیراین‌صورت صفر خواهد بود.

NV_{cl}: متغیر صحیح غیرمنفی که نشان‌دهنده تعداد دیده شدن خوشه cl است.

$K_{s,f}$: درصدی از فضای مکان کف f که توسط خرده‌فروش s اشغال شده است (۰تا۱۰۰).

p: حداقل رضایت کلی هریک از خرده‌فروشان

مدل ریاضی پیشنهاد شده در این مطالعه به‌صورت زیر می‌باشد:

(۱)

$$\text{Min } z_1 = \sum_{cl}[distPcb_{cl} * NV_{cl} * (1 - ppb) + distPpb_{cl} * NV_{cl} * ppb] + \sum_{f} \sum_{s} [distS_f * X_{s,f} * PS_s]$$

$$\text{Min } z_2 = (\sum_{f} \sum_{s} 100 - K_{s,f}) / (100*F) \quad (۲)$$

$$\text{Max } z_3 = p \quad (۳)$$

S.T:

$$NV_{cl} \geq NS_s * X_{s,f} \quad \forall cl = 1,2,...,CL,\ f = 1,2,...,F:\ y_{cl,f} = 1,\ \forall s = 1,2,...,S \quad (۴)$$

$$\sum_{f} X_{s,f} * cap_f \geq D_s \quad \forall s = 1,2,...,S \quad (۵)$$

$$X_{s,f} \leq X_{s,f+1} + X_{s,f-1} \quad \forall s = 1,2,...,S : R_s \geq 2,\ \forall f = 2,...,F-1 \quad (۶)$$

$$\sum_{f} X_{s,f} \leq R_s \quad \forall s = 1,2,...,S \quad (۷)$$

$$K_{s,f} \leq 100 * X_{s,f} \quad \forall s = 1,2,...,S,\ \forall f = 1,2,...,F \quad (۸)$$

$$K_{s,f} \geq X_{s,f} \quad \forall s = 1,2,...,S,\ \forall f = 1,2,...,F \quad (۹)$$

$$\sum_{s} K_{s,f} \leq 100 \quad \forall f = 1,2,...,F \quad (۱۰)$$

$$K_{s,f} \leq \frac{D_s}{cap_f} * 100 * X_{s,f} \quad \forall s = 1,2,...,S,\ \forall f = 1,2,...,F \quad (۱۱)$$

$$\sum_{f \in F} [h_{s,f} * X_{s,f}] \geq p \quad \forall s = 1,2,...,S \quad (۱۲)$$

$$X_{s,f} \in \{0,1\} \quad \forall s = 1,2,...,S,\ \forall f = 1,2,...,F \quad (۱۳)$$

$$NV_{cl} \in Z^+ \quad \forall cl = 1,2,...,CL \quad (۱۴)$$

$$K_{s,f} \geq 0 \quad \forall s = 1,2,...,S,\ \forall f = 1,2,...,F \quad (۱۵)$$

در مدل ریاضی فوق، تابع هدف (۱)، حداقل کردن کل فاصله طی‌شده در انبار است. قسمت اول آن مربوط به فاصله طی‌شده در طول برداشتن محصولات درون کارتن‌ها است و قسمت دوم آن مربوط به فاصله طی‌شده در طول برداشتن محصولات درون جعبه‌های پلاستیکی است. بخش آخر و سوم آن نیز مربوط به فاصله طی‌شده در انبار درطول عملیات حمل است. تابع هدف (۲)، حداقل کردن فضاهای کف خالی انبار است. تابع هدف (۳)، حداکثر کردن حداقل رضایت کلی هر یک از خرده‌فروشان از درنظر گرفته شدن اولویت‌های حمل آن‌ها است. محدودیت (۴) نشان‌دهنده این است که تعداد دیده شدن‌های یک خوشه، بزرگ‌تر یا مساوی بزرگ‌ترین عدد مربوط به برداشت‌های خرده‌فروشانی است که به آن خوشه تخصیص یافته‌اند. محدودیت (۵) نشان می‌دهد که ظرفیت کلی فضای اختصاص داده شده به هر خرده‌فروش، بزرگ‌تر یا مساوی الزامات فضای (بر اساس تعداد پالت) مربوط به آن خرده‌فروش است. محدودیت (۶) تضمین می‌کند که اگر یک خرده‌فروش نیازمند استقرار در حداقل دو مکان کف در فضا باشد، به مکان‌های کف مجاور یکدیگر اختصاص خواهد یافت. محدودیت (۷) نشان می‌دهد که تعداد مکان‌های کف که به یک خرده‌فروش تخصیص می‌یابد، باید بزرگ‌تر یا مساوی الزامات متوسط فضای آن باشد. محدودیت‌های (۸) و (۹) نشان می‌دهند که هر خرده‌فروش در صورت تخصیص مکان کف f به او، می‌تواند تمام یا درصدی از آن مکان را اشغال کند. محدودیت (۱۰) نشان می‌دهد که تمام فضای هر مکان کف یا درصدی از آن می‌تواند توسط یک یا چند خرده‌فروش اشغال شود و یا تمام یا بخشی از آن مکان کف خالی باشد. محدودیت (۱۱) نشان می‌دهد که در صورت تخصیص یک خرده‌فروش به یک مکان کف، تعداد پالت‌های هر خرده‌فروش که در هر مکان کف قرار می‌گیرد، حداکثر برابر با الزامات متوسط فضای (بر اساس تعداد پالت) مربوط به آن خرده‌فروش است. محدودیت (۱۲) نشان‌دهنده این است که رضایت کلی هر یک از خرده‌فروشان بزرگ‌تر یا مساوی حداقل آن‌ها است. در نهایت محدودیت‌های (۱۳) الی (۱۵) محدوده متغیرها را تعریف می‌کنند.

ج: روش اپسیلون محدودیت تکامل‌یافته

صورت کلی یک مسأله بهینه‌سازی چند هدفه به‌صورت زیر است:

$$\min (f_1(x), f_2(x), \ldots, f_n(x)) \quad (۱۶)$$

$$x \in X$$

فرض کنید هدف اول به‌عنوان هدف اصلی در نظر گرفته می‌شود و سایر اهداف به حد بالای اپسیلون محدود می‌شوند و در قیود مسأله اعمال می‌شوند. در این صورت بر اساس روش اپسیلون محدودیت [۱۵] (EC)، مدل تک هدفه زیر حاصل می‌شود:

$$\text{Min } f_1(x) \qquad (۱۷)$$
$$f_i(x) \le e_1, i = 1, , \ldots, n$$
$$x \in X$$

که در آن هدف اول، به‌عنوان هدف اصلی در نظر گرفته شده است و اهداف دوم تا nام به مقدار حداکثر e_i محدود می‌شوند. در روش اپسیلون محدودیت (رابطه (۱۷))، با تغییر مقادیر جواب‌های مختلفی به‌دست می‌آید که ممکن است کارا [۱۶] نباشند (کارای ضعیف [۱۷] هستند). با اصلاح یا تکمیل مدل (۱۷)، می‌توان مشکل مذکور را رفع کرد که به روش اپسیلون محدودیت تکامل‌یافته [۱۸] (AEC) معروف است. در روش AEC، مدل (۱۷) به‌صورت زیر بازنویسی می‌گردد:

$$\min f_1(x) - \sum_{i=2}^{n} \phi_i s_i \qquad (۱۸)$$
$$f_i(x) + s_i = e_i, i = 2,3,\ldots,n$$
$$x \in X$$
$$s_i \ge 0$$

که در آن S_iها متغیرهای نامنفی کمکی و $\emptyset_i$ یک پارامتر برای نرمال‌سازی اهداف هستند. با به‌دست آوردن ماتریس پی‌آمد [۱۹] اهداف، چندین مقدار مختلف برای e_i ∈[min(fi), max(fi)] انتخاب می‌شود و جبهه پارتو به این روش به‌دست می‌آید.

رویکرد به‌کار رفته در این مطالعه نیز برای حل مدل چند هدفه ارائه‌شده، روش اپسیلون محدودیت تکامل‌یافته می‌باشد که در آن هدف اول که حداقل نمودن مسافت کل طی شده در انبار است، به‌عنوان هدف اصلی مسأله در تابع هدف آورده می‌شود و سایر اهداف به مقادیر اپسیلون محدود می‌شوند.

مثال عددی

مسأله با داده‌های زیر، به‌کمک روش اپسیلون محدودیت تکامل‌یافته و با استفاده از نرم‌افزار بهینه‌سازی گمز نسخه ۲۴٫۱٫۲ حل شده است.

- تعداد مکان‌های کف انبار (f): ۱۲
- تعداد خوشه‌های مکان (cl): ۴
- تعداد خرده‌فروشان (s): ۷
- درصد جعبه‌های پلاستیکی برداشته شده نسبت به کل جعبه‌های برداشته‌شده (ppb): ۰٫۲۳

جداول (۱) تا (۴) نیز سایر اطلاعات مربوط به مثال عددی را نشان می‌دهند که در ادامه آورده شده‌اند.

جدول ۱- اطلاعات مربوط به مکان‌های کف انبار

ظرفیت هریک از مکان‌های کف انبار (cap_f)											
f۱	۱۲	f۳	۱۲	f۵	۸	f۷	۱۰	۹	۱۰	f۱۱	۱۰
f۲	۱۲	f۴	۱۲	f۶	۸	f۸	۱۰	f۱۰	۱۰	f۱۲	۱۰
فاصله مکان‌های کف انبار تا نقطه حمل ($distS_f$)											
f۱	۳	f۳	۷	f۵	۴	f۷	۸	f۹	۲	f۱۱	۷
f۲	۵	f۴	۸	f۶	۶	f۸	۹	f۱۰	۵	f۱۲	۱۰

جدول ۲- اطلاعات مربوط به خوشه‌های مکان(گروهی از چندین مکان کف همسایه)

خوشه	$distPcb_{cl}$	$distPpb_{cl}$	مکان‌های تخصیص یافته به خوشه
cl۱	۶٫۵	۷	مکان‌های ۱ و ۲ و ۳
cl۲	۵	۴	مکان‌های ۴ و ۵ و ۶
cl۳	۷	۵	مکان‌های ۷ و ۸ و ۹
cl۴	۹	۷	مکان‌های ۱۰ و ۱۱ و ۱۲

جدول ۳- اطلاعات مربوط به خرده‌فروشان

تعداد پالت‌های حمل شده به خرده‌فروش s (PS_s)						
S۱	S۲	S۳	S۴	S۵	S۶	S۷
۵	۴	۵	۶	۴	۶	۴
الزامات متوسط (در تعداد پالت) خرده‌فروش s (D_s)						
S۱	S۲	S۳	S۴	S۵	S۶	S۷
۶	۲۴	۷	۲۴	۲۴	۲۴	۶
الزامات متوسط فضا (در تعداد مکان‌های کف انبار) خرده‌فروش s (R_s)						
S۱	S۲	S۳	S۴	S۵	S۶	S۷
۱	۲	۱	۲	۲	۲	۱
تعداد برداشت‌های خرده‌فروش s (NS_s)						
S۱	S۲	S۳	S۴	S۵	S۶	S۷
۳	۴	۲	۶	۳	۴	۳

جدول ۴- اطلاعات مربوط به اولویت‌های حمل خرده‌فروشان ($h_{s,f}$)

خرده‌فروش	f۱	f۲	f۳	f۴	f۵	f۶	f۷	f۸	f۹	f۱۰	f۱۱	f۱۲
S۱	۱۰	۱۰	۵۵	۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵	۵	۵
S۲	۱۵	۳۰	۵	۵	۰	۰	۰	۱۰	۰	۱۵	۱۵	۵
S۳	۰	۰	۰	۱۰	۱۵	۱۵	۳۰	۱۵	۱۵	۰	۰	۰
S۴	۴۰	۱۰	۰	۰	۱۰	۱۰	۰	۵	۱۵	۰	۰	۱۰
S۵	۰	۰	۳۰	۱۰	۳۵	۱۵	۱۰	۰	۰	۰	۰	۰
S۶	۲۰	۰	۰	۰	۵	۱۰	۲۵	۰	۱۵	۱۵	۵	۵
S۷	۰	۱۰	۱۰	۰	۰	۱۰	۰	۰	۱۵	۱۵	۳۰	۱۰

نتایج به‌دست‌آمده از حل مدل ارائه شده با استفاده از داده‌های فوق، در بخش بعد به تفصیل ارائه شده است. همچنین نتایج حاصل از حل این مثال (سناریوی اول)، با مسأله در ابعاد بزرگ‌تر (سناریوی دوم) مقایسه و تحلیل شده‌اند.

۴. توصیف نتایج مثال عددی و تحلیل حساسیت

نتایج نشان می‌دهد در این مثال، مسافت کلی طی‌شده در انبار روزانه ۳۵۷٫۳۹ کیلومتر است. میزان فضای خالی کف انبار نیز حدود ۷ درصد است. همچنین رضایت خرده‌فروشان باتوجه به اولویت‌های حمل آن‌ها، ۲۰ درصد حاصل شده است. در این حالت، مکان‌های کف ۱ و ۲ و ۳ به‌طور کامل و بخشی از فضای مکان‌های کف ۷ و ۱۱ توسط خرده‌فروشان مورد استفاده قرار می‌گیرند. سایر مکان‌ها نیز خالی باقی می‌مانند که حدود ۷ درصد از فضای کف در دسترس کل انبار را شامل می‌شود. زمان حل این مسأله با استفاده از نرم‌افزار گمز، ۰٫۱۲۵ ثانیه گزارش شده است.

جدول (۵)، چگونگی تخصیص هریک از خرده‌فروشان به مکان‌های موجود در کف انبار (مقادیر متغیر تصمیم) را نشان می‌دهد.

جدول ۵- مقادیر به‌دست آمده برای متغیر $X_{s,f}$

$X_{s,f}$	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰
۴	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۵	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰

جدول (۶)، تعداد دفعات دیده‌شدن هریک از خوشه‌های مکانی (مقادیر متغیر تصمیم) را نشان می‌دهد.

جدول ۶- مقادیر به‌دست آمده برای متغیر NV_{cl}

cl	۱	۲	۳	۴
NV_{cl}	۶	۰	۲	۳

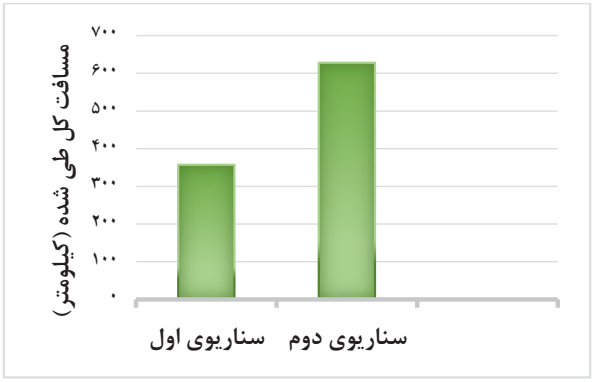
جدول (۷)، درصد اشغال فضای هریک از مکان‌های کف توسط هر خرده‌فروش (مقادیر متغیر تصمیم) را نشان می‌دهد.

جدول ۷- مقادیر به‌دست آمده برای متغیر $K_{s,f}$

$K_{s,f}$	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱	۰	۰	۵۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۷۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۵	۰	۹۷	۵۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶	۹۸	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶۰	۰

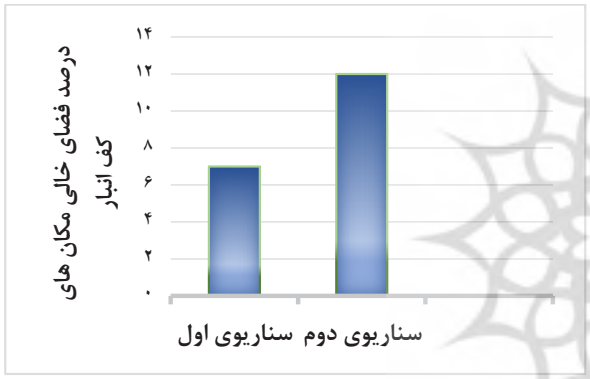
مسأله مورد نظر تحت سناریوی دیگری در ابعاد بزرگ‌تر نیز بررسی و حل شده است. نتایج نشان می‌دهد با تغییر سناریوی چیدمان انبار، علاوه بر تغییر توابع هدف مسأله، میزان ساعات کاری انبار و تعداد کارگران مورد نیاز برای انجام فعالیت‌ها در انبار نیز تغییر می‌کنند. با بزرگ‌تر شدن سایز مسأله، مسافت‌های طی شده جهت برداشت محصولات و حمل‌ونقل به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که در سناریوی دوم (مسأله با سایز بزرگ‌تر) با در نظر گرفتن ۱۰ خرده فروش و ۱۵ مکان کف در انبار در ۵ خوشه مکانی، مسافت کلی طی‌شده در انبار روزانه به ۶۲۸ کیلومتر افزایش می‌یابد. در این سناریو، میزان فضای خالی کف انبار نیز حدود ۱۲ درصد به‌دست می‌آید که نسبت به سناریوی اول (مسأله با سایز کوچک‌تر)، افزایش داشته است. رضایت خرده‌فروشان با توجه به اولویت‌های حمل آن‌ها نیز به ۱۳ درصد کاهش می‌یابد. زمان حل مسأله مربوط به سناریوی دوم توسط نرم‌افزار گمز نیز به ۰٫۱۷۲ ثانیه افزایش یافته است.

نمودار (۲)، مقایسه مقدار تابع هدف اول (مسافت کل طی‌شده در انبار جهت برداشت و حمل‌ونقل محصولات) در دو سناریو را نشان می‌دهد.



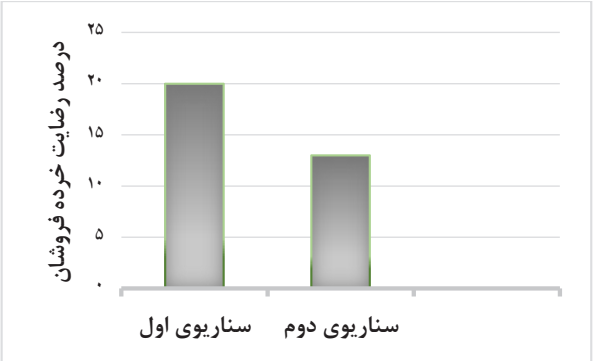
نمودار ۲- مسافت کل طی‌شده در هریک از سناریوها

نمودار (۳)، مقایسه مقدار تابع هدف دوم (درصد فضای خالی مکان‌های کف انبار) در دو سناریو را نشان می‌دهد.



نمودار ۳- درصد فضای خالی مکان‌های کف انبار در هریک از سناریوها

نمودار (۴) نیز مقایسه مقدار تابع هدف سوم (درصد رضایت خرده‌فروشان از درنظر گرفتن اولویت‌های حمل آن‌ها) در دو سناریو را نشان می‌دهد.



نمودار ۴- درصد رضایت خرده‌فروشان در هریک از سناریوها

حل مثال‌های متعدد و تحلیل حساسیت مدل، نشان می‌دهد پارامتر مربوط به ظرفیت هر یک از مکان‌های کف انبار و همچنین درصد اولویت هر مکان کف انبار برای هر یک از خرده‌فروشان، جواب مسأله را بیشتر تحت‌تأثیر قرار می‌دهند و این دو پارامتر، پارامترهای حساس‌تر مدل می‌باشند.

۵. نتیجه‌گیری و توصیه‌های سیاستی

نقش انبارهای عبوری موقت در بالا بردن کارایی شبکه‌های توزیع و کاهش سطح کالاهای موجود در انبارها و کاهش زمان پاسخ‌گویی به نیاز مشتریان غیرقابل انکار است. در این مطالعه تلاش شد تا مسأله طراحی و چیدمان انبارهای عبوری موقت با هدف حداقل نمودن مسافت‌های طی‌شده در انبار، حداقل نمودن فضای کف خالی انبار و نیز حداکثر نمودن رضایت خرده‌فروشان از درنظر گرفتن اولویت‌های حمل آنان، مورد بررسی قرار بگیرد. در اینجا چیدمان به‌عنوان تخصیص مکان‌های کف انبار به خرده‌فروشان تعریف می‌گردد. مسافت‌های درنظر گرفته شده نیز شامل مسافت طی‌شده در عملیات حمل‌ونقل و مسافت طی‌شده در عملیات برداشت می‌باشد. یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح باتوجه به اهداف مذکور، برای مسأله موردنظر ارائه شده است. جهت حل مدل، روش اپسیلون محدودیت تکامل‌یافته به‌کار رفته و نرم‌افزار گمز و حل‌کننده سیپلکس مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهند که درصورت امکان با تغییر چیدمان انبار، توابع هدف مسأله می‌توانند تغییر نمایند. تغییر چیدمان انبار، می‌تواند ساعات کاری انبار و تعداد کارگران مورد نیاز برای انجام فعالیت‌ها را نیز تحت‌تأثیر قرار دهد. بنابراین مسأله چیدمان انبارها اهمیت بسیاری داشته و امروزه مدیران در تلاش برای بهینه‌سازی طراحی و چیدمان انبارهای خود هستند.

جهت تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود که در کنار این روش، از روش‌های مناسب دیگری نیز استفاده نمود تا بتوان به نتایج قوی‌تری دست یافت. ضمن آن‌که می‌توان اهداف دیگری همچون حداقل نمودن هزینه‌ها، حداقل نمودن زمان، حداقل نمودن آلودگی محیط زیست، حداکثر نمودن پوشش تقاضا و... را مدنظر قرار داد و از روش‌های مناسب جهت بهینه‌سازی چندهدفه بهره گرفت. همچنین این مسأله قابلیت ترکیب با مسأله مسیریابی و بررسی مسیرهای مختلف کارگران انبار برای برداشتن پالت‌ها را دارد.

پی‌نوشت

1. Apte and Viswanathan, 2000.
2. Kinnear et al, 1997.
3. Jayarman and Ross, 2003.
4. Bartholdi and Gue, 2004.
5. Vis and Roodbergen, 2011.
6. Vis and Roodbergen, 2008.
7. Sandel, 2005.
8. Belle et al, 2012.
9. Ladier and Alpan, 2016.
10. Horta et al, 2016.
11. Dai bo et al, 2018.
12. Ekren et al, 2015.
13. Matic et al, 2012.
14. Yener and Yazgan, 2019.
15. Epsilon Constraint.
16. Efficient.
17. Weakly Efficient.
18. Augmented Epsilon Constraint.
19. Pay off matrix.

منابع

Aghaei, J., Amjady, N., & Shayanfar, H. A. (2011), Multi-objective electricity market clearing considering dynamic security by lexicographic optimization and augmented epsilon constraint method. Applied Soft Computing, 11(4), 3846-3858.

Apte, U. M., & Viswanathan, S. (2000), "Effective cross docking for improving distribution efficiencies". International Journal of Logistics, 3(3), 291-302.

Bartholdi, J. J., & Gue, K. R. (2004), The best shape for

PapersOnLine, I. F. A. C. (2018), Research on Optimization for Safe Layout of Hazardous Chemicals Warehouse Based on Genetic Algorithm Dai bo*, Li yanfei*, Ren haisheng**, Liu xuejun*, Li cuiqing.

Sandal, S. (2005), Staging approaches to reduce overall cost in a crossdock environment (Doctoral dissertation, University of Missouri--Columbia).

Van Belle, J., Valckenaers, P., & Cattrysse, D. (2012), Cross-docking: State of the art. Omega, 40(6), 827-846.

Vis, I. F., & Roodbergen, K. J. (2008), Positioning of goods in a cross-docking environment. Computers & Industrial Engineering, 54(3), 677-689.

Vis, I. F., & Roodbergen, K. J. (2011), Layout and control policies for cross docking operations. Computers & Industrial Engineering, 61(4), 911-919.

Yener, F., & Yazgan, H. R. (2019), Optimal warehouse design: Literature review and case study application. Computers & Industrial Engineering, 129, 1-13.

a crossdock. Transportation Science, 38(2), 235-244.

Ekren, B. Y., Sari, Z., & Lerher, T. (2015), Warehouse design under class-based storage policy of shuttle-based storage and retrieval system. IFAC-PapersOnLine, 48(3), 1152-1154.

Horta, M., Coelho, F., & Relvas, S. (2016), Layout design modelling for a real world just-in-time warehouse. Computers & industrial engineering, 101, 1-9.

Jayaraman, V., & Ross, A. (2003), "A simulated annealing methodology to distribution network design and management". European Journal of Operational Research, 144(3), 629-645.

Kinnear, E. (1997), Is there any magic in cross-docking?. Supply Chain Management: An International Journal, 2(2), 49-52.

Ladier, A. L., & Alpan, G. (2016), Cross-docking operations: Current research versus industry practice. Omega, 62, 145-162.

Matić, D., Kratica, J., Filipović, V., & Dugošija, D. (2012), Variable neighborhood search for multiple level warehouse layout problem. Electronic Notes in Discrete Mathematics, 39, 161-168.

Mavrotas, G. (2009), Effective implementation of the ε-constraint method in multi-objective mathematical programming problems. Applied mathematics and computation, 213(2), 455-465.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی