

مقاله پژوهشی (نظری)

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

پذیرش: ۹۹/۰۶/۵

دریافت: ۹۹/۰۱/۱۸

مریم شعاعی^۱
 پروانه سموئی^۲، نویسنده مسئول

چکیده

در بخش انبارش موقت، به صورت 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 در دسترس انبار است، به گونه‌ای که مسافت نهایی طی شده در انبار و نیز فضای خالی انبار حداقل شوند و همچنین رضایت خرده‌فروشان، از طریق در نظر گرفتن اولویت‌های حمل آن‌ها حداکثر شود. برای حل مسأله از روش اپسیلون محدودیت تکامل یافته استفاده شده است. در نهایت جهت توسعه مدل، ایده‌ها و پیشنهادهایی ارائه شده است.

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 به وسیله کامیون‌های ورودی تخلیه و با اندکی وقفه زمانی و گاهی نیز بدون هیچ‌گونه معطلی،

طبقه‌بندی JEL: L81، C61

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

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دپارتمان مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ایران. shoace.m@gmail.com

۲. استادیار، دپارتمان مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا 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 قابل توجهی به سازمان‌ها نماید. امروزه سعی می‌شود انبارها به گونه‌ای 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 به وسیله کامیون‌های ورودی تخلیه و با اندکی وقفه زمانی (گاهی اوقات بدون هیچ‌گونه معطلی)، در بخش انبارش موقت، به صورت 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. کینیرو و همکاران [۲]، سیستم انبار عبوری موقت را به عنوان یک بستر انتقال در زنجیره تأمین ارابه کردند که محصولات از یک مرحله بالادستی دریافت می‌شوند و بر مبنای 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 عموماً

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 به این صورت 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 بوده است. بارتولد 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 به گونه‌ای است که برای دوره زمانی قابل ملاحظه‌ای 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 در دسترس در شروع روز طبقه‌بندی شوند. برای هر طبقه می‌توان یک چیدمان ثابت مطابق نوع قبل تعیین نمود. چیدمان انعطاف‌پذیر نیز با توجه به فعالیت‌های روزانه مورد انتظار، هر روز تغییر می‌کند. سه مفهوم ذکر شده بر طراحی چیدمان تمرکز دارند، به ویژه در مورد اطلاعات تعداد راه‌روها و طول آن‌ها. ویز و رودبرگن [۶]، همچنین این مسأله را برای یک انبار عبوری با تابع هدف حداقل نمودن مسافت طی شده 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 حمل و نقل 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 گرفته است. 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. یینر و یازگان [۱۴]، با استفاده از تکنیک داده‌کاوی، به

بررسی اثر طراحی انبار بر متوسط زمان برداشت سفارشات و فاصله طی شده 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 در نظر گرفته شدن 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 طی شده در انبار عبوری، مدنظر قرار گرفته است و از روش اسپیلون محدودیت تکامل یافته، جهت حل مدل استفاده می‌گردد.

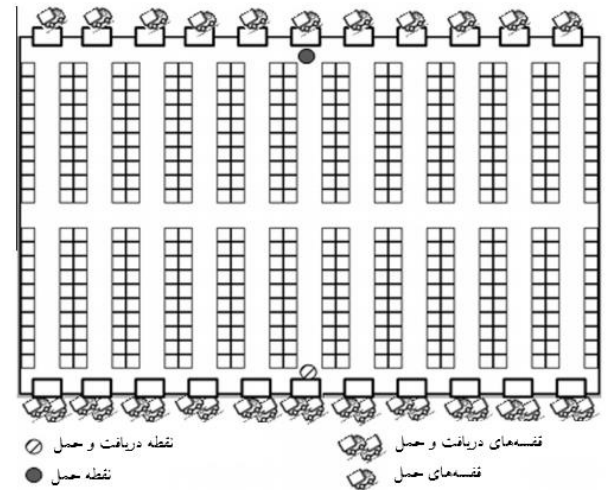
۳. طراحی مدل

الف: ساختار و مفروضات مدل

در مطالعه حاضر، مدل جدیدی به منظور 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 در دسترس انبار است، به‌گونه‌ای که مسافت نهایی طی شده در انبار و نیز فضای خالی انبار حداقل گردند و همچنین رضایت خرده‌فروشان، از طریق در نظر گرفتن اولویت‌های حمل آن‌ها حداکثر گردد. مسافت کل طی شده در انبار به دو بخش تقسیم می‌شود: مسافت طی شده در عملیات برداشتن و مسافت طی شده در طول عملیات حمل و نقل. 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 در نظر 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 حمل و نقل [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 در دسترس در انبار و مجموعه‌ای از خرده‌فروشان برای تخصیص به مکان‌های کف موجود هستند.
- عملیات دریافت تنها در یک طرف انبار صورت می‌گیرد. اما عملیات حمل و نقل 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 حمل و نقل 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 فاصله‌های کناره‌های انبار که قفسه‌ها در آن‌ها قرار دارند، جای گرفته‌اند. هدف از تعریف نقاط میانی حمل و نقل 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 هر یک ظرفیت مشخصی دارند.

- هر یک از مکان‌های انبار با یک ظرفیت کلی، حداقل فاصله عملیاتی از یک نقطه دریافت و حداقل فاصله از یکی از نقاط حمل و نقل تعریف می‌گردند.

- هر یک از مکان‌های انبار می‌توانند توسط بیش از یک خرده‌فروش مورد استفاده قرار گیرند.

- در طول عملیات برداشت، هر کارگر 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 زیر را در برمی‌گیرند:

- لیست خرده‌فروشان 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 هر یک از مکان‌های کف.

- فاصله هر مکان کف تا نقطه دریافت. از آنجا 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 (مثلاً ماهیانه).
- تعداد برداشت‌های هر خرده‌فروش در یک دوره زمانی.
- الزامات مکان کف برای هر خرده‌فروش.
- درصد اولویت حمل و نقل 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 طی شده در انبار، هدف دوم حداقل‌سازی فضاهای کف خالی در انبار و هدف سوم نیز حداکثرسازی رضایت خرده‌فروشان از در نظر گرفتن اولویت‌های حمل آن‌ها می‌باشد. اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای به‌کاررفته در مدل ریاضی ارائه شده، به صورت زیر هستند:

اندیس‌ها

f : اندیس مکان‌های کف در دسترس در انبار ($f = 1, 2, \dots, F$)
 s : اندیس خرده‌فروشان برای تخصیص آنها به مکان‌های کف انبار ($s = 1, 2, \dots, S$)
 cl : اندیس خوشه‌های مکان‌های کف انبار ($cl = 1, 2, \dots, CL$)

پارامترها

cap_f : ظرفیت کف (بر اساس 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 حمل شده 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

$$R_s = \left\lceil \frac{D_s}{cap_f} \right\rceil, \forall s = 1, 2, \dots, S$$

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 در دسترس 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 در غیر این صورت 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 (۰ تا ۱۰۰).
 p : حداقل رضایت کلی هر یک از خرده‌فروشان

مدل ریاضی پیشنهاد شده در این مطالعه به صورت زیر می باشد:

(۱)

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

$$\text{Min } z_2 = (\sum_f \sum_s 100 - K_{s,f}) / (100 * F) \quad (2)$$

$$\text{Max } z_3 = p \quad (3)$$

S.T:

$$NV_{cl} \geq NS_s * X_{s,f} \quad \forall cl=1,2,\dots,CL, f=1,2,\dots,F; \quad (4)$$

$$y_{cl,f}=1, \forall s=1, 2,\dots,S$$

$$\sum_f X_{s,f} * cap_f \geq D_s \quad \forall s=1,2,\dots,S \quad (5)$$

$$X_{s,f} \leq X_{s,f+1} + X_{s,f-1} \quad \forall s=1,2,\dots,S : R_s \geq 2, \quad (6)$$

$$\forall f=2,\dots,F-1$$

$$\sum_f X_{s,f} \leq R_s \quad \forall s=1,2,\dots,S \quad (7)$$

$$K_{s,f} \leq 100 * X_{s,f} \quad \forall s=1,2,\dots,S, \forall f=1,2,\dots,F \quad (8)$$

$$K_{s,f} \geq X_{s,f} \quad \forall s=1,2,\dots,S, \forall f=1,2,\dots,F \quad (9)$$

$$\sum_s K_{s,f} \leq 100 \quad \forall f=1,2,\dots,F \quad (10)$$

$$K_{s,f} \leq \frac{D_s}{cap_f} * 100 * X_{s,f} \quad \forall s=1,2,\dots,S, \forall f=1,2,\dots,F \quad (11)$$

$$\sum_{f \in F} [h_{s,f} * X_{s,f}] \geq p \quad \forall s=1,2,\dots,S \quad (12)$$

$$X_{s,f} \in \{0,1\} \quad \forall s=1,2,\dots,S, \forall f=1,2,\dots,F \quad (13)$$

$$NV_{cl} \in Z^+ \quad \forall cl=1,2,\dots,CL \quad (14)$$

$$K_{s,f} \geq 0 \quad \forall s=1,2,\dots,S, \forall f=1,2,\dots,F \quad (15)$$

یک خوشه، بزرگتر یا مساوی بزرگترین عدد مربوط به برداشت های خرده فروشانی است که به آن خوشه تخصیص یافته اند. محدودیت (۵) نشان می دهد که ظرفیت کلی فضای اختصاص داده شده به هر خرده فروش، بزرگتر یا مساوی الزامات فضای (بر اساس تعداد پالت) مربوط به آن خرده فروش است. محدودیت (۶) تضمین می کند که اگر یک خرده فروش نیازمند استقرار در حداقل دو مکان کف در فضا باشد، به مکان های کف مجاور یکدیگر اختصاص خواهد یافت. محدودیت (۷) نشان می دهد که تعداد مکان های کف که به یک خرده فروش تخصیص می یابد، باید بزرگتر یا مساوی الزامات متوسط فضای آن باشد. محدودیت های (۸) و (۹) نشان می دهند که هر خرده فروش در صورت تخصیص مکان کف f به او، می تواند تمام یا درصدی از آن مکان را اشغال کند. محدودیت (۱۰) نشان می دهد که تمام فضای هر مکان کف یا درصدی از آن می تواند توسط یک یا چند خرده فروش اشغال شود و یا تمام یا بخشی از آن مکان کف خالی باشد. محدودیت (۱۱) نشان می دهد که در صورت تخصیص یک خرده فروش به یک مکان کف، تعداد پالت های هر خرده فروش که در هر مکان کف قرار می گیرد، حداکثر برابر با الزامات متوسط فضای (بر اساس تعداد پالت) مربوط به آن خرده فروش است. محدودیت (۱۲) نشان دهنده این است که رضایت کلی هر یک از خرده فروشان بزرگتر یا مساوی حداقل آن ها است. در نهایت محدودیت های (۱۳) الی (۱۵) محدوده متغیرها را تعریف می کنند.

ج: روش اسپیلون محدودیت تکامل یافته

صورت کلی یک مسأله بهینه سازی چند هدفه به صورت زیر است:

$$\min (f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)) \quad (16)$$

$$x \in X$$

در مدل ریاضی فوق، تابع هدف (۱)، حداقل کردن کل فاصله طی شده در انبار است. قسمت اول آن مربوط به فاصله طی شده در طول برداشتن محصولات درون کارتن ها است و قسمت دوم آن مربوط به فاصله طی شده در طول برداشتن محصولات درون جعبه های پلاستیکی است. بخش آخر و سوم آن نیز مربوط به فاصله طی شده در انبار در طول عملیات حمل است. تابع هدف (۲)، حداقل کردن فضاهای کف خالی انبار است. تابع هدف (۳)، حداکثر کردن حداقل رضایت کلی هر یک از خرده فروشان از در نظر گرفته شدن اولویت های حمل آن ها است. محدودیت (۴) نشان دهنده این است که تعداد دیده شدن های

تابع هدف آورده می‌شود و سایر اهداف به مقادیر اپسیلون محدود می‌شوند.

مثال عددی

مسئله با داده‌های زیر، به کمک روش اپسیلون محدودیت تکامل یافته 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 برداشته شده (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 هر یک از مکان‌های کف انبار (cap _f)											
f _۱	۱۲	f _۳	۱۲	f _۵	۸	f _۷	۱۰	۹	۱۰	f _{۱۱}	۱۰
f _۲	۱۲	f _۴	۱۲	f _۶	۸	f _۸	۱۰	f _{۱۰}	۱۰	f _{۱۲}	۱۰
فاصله مکان‌های کف انبار تا نقطه حمل (distS _f)											
f _۱	۳	f _۳	۷	f _۵	۴	f _۷	۸	f _۹	۲	f _{۱۱}	۷
f _۲	۵	f _۴	۸	f _۶	۶	f _۸	۹	f _{۱۰}	۵	f _{۱۲}	۱۰

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

خوشه	distPcb _{cl}	distPpb _{cl}	مکان‌های تخصیص یافته به خوشه
cl _۱	۶٫۵	۷	مکان‌های ۱ و ۲ و ۳
cl _۲	۵	۴	مکان‌های ۴ و ۵ و ۶
cl _۳	۷	۵	مکان‌های ۷ و ۸ و ۹
cl _۴	۹	۷	مکان‌های ۱۰ و ۱۱ و ۱۲

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

$$\text{Min } f_1(x) \quad (17)$$

$$f_i(x) \leq e_i, i = 1, \dots, n$$

$$x \in X$$

که در آن هدف اول، به عنوان 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 به دست 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 تکامل یافته [۱۸] (AEC) معروف است. در روش AEC، مدل (۱۷) به صورت زیر بازنویسی می‌گردد:

$$\min f_1(x) - \sum_{i=2}^n \phi_i s_i \quad (18)$$

$$f_i(x) + s_i = e_i, i = 2, 3, \dots, n$$

$$x \in X$$

$$s_i \geq 0$$

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

رویکرد به کار رفته در این مطالعه نیز برای حل مدل چند هدفه ارائه شده، روش اپسیلون محدودیت تکامل یافته می‌باشد که در آن هدف اول که حداقل نمودن مسافت کل طی شده در انبار است، به عنوان هدف اصلی مسئله در

جدول ۳- اطلاعات مربوط به خرده‌فروشان

تعداد پالت‌های حمل شده به خرده‌فروش (PS _s)						
S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
5	4	5	6	4	6	4
الزامات متوسط (در تعداد پالت) خرده‌فروش (D _s)						
S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
6	24	7	24	24	24	6
الزامات متوسط فضا (در تعداد مکان‌های کف انبار) خرده‌فروش (R _s)						
S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
1	2	1	2	2	2	1
تعداد برداشت‌های خرده‌فروش (NS _s)						
S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
3	4	2	6	3	4	3

کف انبار نیز حدود ۷ درصد است. همچنین رضایت خرده‌فروشان با توجه 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 هر یک 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 هر یک 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 هر یک از مکان‌های کف توسط هر خرده‌فروش (مقادیر متغیر تصمیم) را نشان می‌دهد.

جدول ۴- اطلاعات مربوط به اولویت‌های حمل خرده‌فروشان

h _{s,f}												
خرده‌فروش	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7	f8	f9	f10	f11	f12
S1	10	10	55	10	0	0	0	0	0	0	5	5
S2	15	30	5	5	0	0	0	10	0	15	15	5
S3	0	0	0	0	10	15	15	30	15	15	0	0
S4	40	10	0	0	10	10	0	0	0	15	0	10
S5	0	0	30	0	35	10	15	0	0	0	0	0
S6	20	0	0	0	5	0	10	25	0	15	5	5
S7	0	10	10	0	0	0	10	0	0	15	30	10

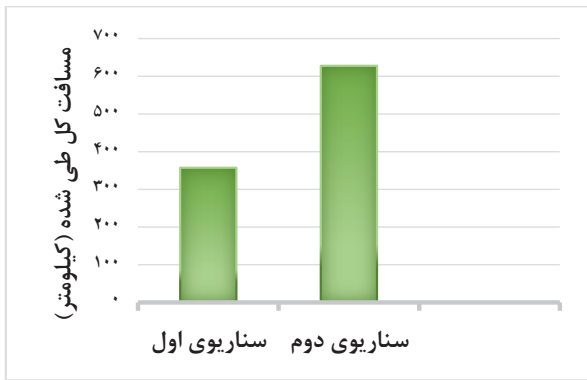
نتایج به‌دست آمده از حل مدل ارائه شده با استفاده از داده‌های فوق، در بخش بعد به تفصیل ارائه شده است. همچنین نتایج حاصل از حل این مثال (سناریوی اول)، با مسأله در ابعاد بزرگ‌تر (سناریوی دوم) مقایسه و تحلیل شده‌اند.

۴. توصیف نتایج مثال عددی و تحلیل حساسیت

نتایج نشان می‌دهد در این مثال، مسافت کلی طی شده در انبار روزانه ۳۵۷٫۳۹ کیلومتر است. میزان فضای خالی

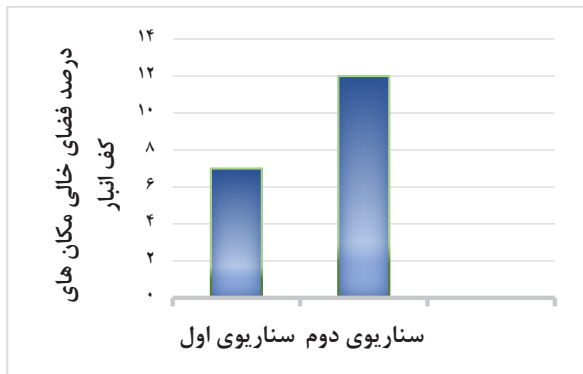
جدول ۷- مقادیر به دست آمده برای متغیر $K_{s,f}$

$K_{s,f}$	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



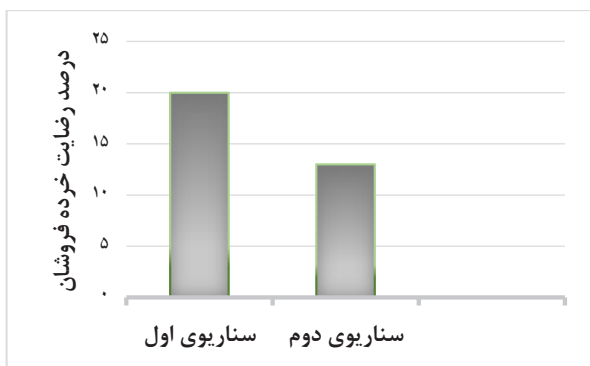
نمودار ۲- مسافت کل طی شده در هر یک از سناریوها

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 هر یک از سناریوها

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



نمودار ۴- درصد رضایت خرده‌فروشان در هر یک از سناریوها

مسئله 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 مسئله، میزان ساعات کاری انبار و تعداد کارگران مورد نیاز برای انجام فعالیت‌ها در انبار نیز تغییر می‌کنند. با بزرگ‌تر شدن سایز مسئله، مسافت‌های طی شده جهت برداشت محصولات و حمل و نقل به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. به طوری که در سناریوی دوم (مسئله با سایز بزرگ‌تر) با در نظر گرفتن ۱۰ خرده‌فروش و ۱۵ مکان کف در انبار در ۵ خوشه مکانی، مسافت کلی طی شده در انبار روزانه به ۶۲۸ کیلومتر افزایش می‌یابد. در این سناریو، میزان فضای خالی کف انبار نیز حدود ۱۲ درصد به دست می‌آید که نسبت به سناریوی اول (مسئله با سایز کوچک‌تر)، افزایش داشته است. رضایت خرده‌فروشان با توجه به اولویت‌های حمل آن‌ها نیز به ۱۳ درصد کاهش می‌یابد. زمان حل مسئله مربوط به سناریوی دوم توسط نرم‌افزار گمز نیز به ۰٫۱۷۲ ثانیه افزایش یافته است.

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

به نتایج قوی تری دست یافت. ضمن آن که می توان اهداف دیگری همچون حداقل نمودن هزینه ها، حداقل نمودن زمان، حداقل نمودن آلودگی محیط زیست، حداکثر نمودن پوشش تقاضا و... را مدنظر قرار داد و از روش های مناسب جهت بهینه سازی چندهدفه بهره گرفت. همچنین این مسأله قابلیت ترکیب با مسأله مسیریابی و بررسی مسیرهای مختلف کارگران انبار برای برداشتن پالت ها را دارد.

حل مثال های متعدد و تحلیل حساسیت مدل، نشان می دهد پارامتر مربوط به ظرفیت هر یک از مکان های کف انبار و همچنین درصد اولویت هر مکان کف انبار برای هر یک از خرده فروشان، جواب مسأله را بیشتر تحت تأثیر قرار می دهند و این دو پارامتر، پارامترهای حساس تر مدل می باشند.

۵. نتیجه گیری و توصیه های سیاستی

نقش انبارهای عبوری موقت در بالا بردن کارایی شبکه های 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 مسافت های طی شده در انبار، حداقل نمودن فضای کف خالی انبار و نیز حداکثر نمودن رضایت خرده فروشان از در نظر گرفتن اولویت های حمل آنان، مورد بررسی قرار بگیرد. در اینجا چیدمان به عنوان تخصیص مکان های کف انبار به خرده فروشان تعریف می گردد. مسافت های در نظر گرفته شده نیز شامل مسافت طی شده در عملیات حمل و نقل و مسافت طی شده در عملیات برداشت می باشد. یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح باتوجه به اهداف مذکور، برای مسأله مورد نظر ارائه شده است. جهت حل مدل، روش اسپیلون محدودیت تکامل یافته به کار رفته و نرم افزار گمز و حل کننده سیپلکس مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج نشان می دهند که در صورت امکان با تغییر چیدمان انبار، توابع هدف مسأله می توانند تغییر نمایند. تغییر چیدمان انبار، می تواند ساعات کاری انبار و تعداد کارگران مورد نیاز برای انجام فعالیت ها را نیز تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین مسأله چیدمان انبارها اهمیت بسیاری داشته و امروزه مدیران در تلاش برای بهینه سازی طراحی و چیدمان انبارهای خود هستند. جهت تحقیقات آتی پیشنهاد می شود که در کنار این روش، از روش های مناسب دیگری نیز استفاده نمود تا بتوان

پی نوشت

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.