



ارائه مدل تخلیه انبار پیک با ظروف ناهمگن در شرایط اضطرار با رویکرد الگوریتم های هوش ازدحامی

امیر رضا احمدی کشاورز

دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرند

داود جعفری (نویسنده مسؤل)

استادیار اول مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرند

Email: djaafari1350@gmail.com

مهران خلیج

استادیار دوم مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرند

پر شنگ دوکوهکی

استاد مشاور مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرند

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۱۵ * تاریخ پذیرش ۱۴۰۰/۰۷/۲۳

چکیده

برنامه ریزی برای تخلیه سلول های انبارها یکی از مسائل چالش برانگیز در زمان وقوع بحران است. نیاز به لجستیک اضطراری جهت استفاده موثر از تجهیزات، از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مطالعه یک مدل برنامه ریزی دو هدفه مسیریابی و زمان بندی هم زمان وسایل نقلیه ناهمگن (ظروف پیک) جهت تخلیه سلول های انبار پیک در شرایط اضطراری (عدم انطباق قطعه با برنامه پیک)، به منظور حداقل کردن زمان جابجایی و حداکثر کردن قابلیت اطمینان مسیرها به دلیل ازدحام راهرو های انبار پیشنهاد شده است. برای حل مدل پیشنهادی از روش محدودیت پسینون توسعه یافته استفاده شده است. در مدل پیشنهادی امکان ارائه خدمت جهت هر سلول انبار که می بایست تخلیه گردد، توسط ظروف پیک ناهمگن به مناطق لجستیکی/ انبار بازاری با ظرفیت محدود در نظر گرفته شده است. برای نشان دادن کارایی مدل پیشنهادی، مدل بر روی یک مثال تصادفی اجرا و نتایج محاسباتی ارائه شده است. نتایج حاصل از حل مسئله نشان دهنده وجود تعارض بین توابع هدف استفاده شده می باشد. جهت بررسی مدل در مقیاس بزرگ با توجه به Np-hard بودن مسائل مسیریابی، از سه الگوریتم ازدحام ذرات (PSO)، کلونی مورچگان (ACO) و کلونی زنبور عسل (ABC)، از گروه الگوریتم های هوش ازدحامی استفاده شده و نتایج با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج حل مسئله در مقیاس بزرگ جهت یافتن بهترین مسیر جابجایی نشان دهنده عملکرد بهتر الگوریتم ازدحام ذرات می باشد.

کلمات کلیدی: ازدحام راهروهای انبار، الگوریتم های هوش ازدحامی، ظروف پیک ناهمگن، عملیات پیکینگ، لجستیک اضطراری.

۱- مقدمه

فرآیند لجستیک درون کارخانه‌ای، همواره یکی از مباحث مورد نظر محققین در مجموع فرآیندهای تولیدی کارخانه بوده است که در حدود ۶۵٪ از کل هزینه های عملیاتی را شامل می‌گردد (Chen et al, 2015). فعالیتهای انبار به عنوان یکی از اصلی ترین بخشهای لجستیک درون کارخانه‌ای شامل دریافت قطعات، انبارش، طبقه‌بندی سفارشات و انتقال به کنار خطوط تولیدی در هر سیستم عرضه درون کارخانه بیش از سایر موارد مورد توجه محققین بوده است (Van Gils et al, 2018). بسیاری از شرکتها و بنگاه های تولیدی، کاهش و حذف هزینه ها و ارتقاء بهره وری در سیستم لجستیکی خود را از اهم فعالیت های بهبود در نظر می‌گیرند (DeKoster et al, 2007). به منظور کاهش هزینه های انبارداری و استفاده از متدهای نوین در لجستیک درون کارخانه‌ای، توجه به جریان تحقیقات گذشته بیانگر آن است که پیکینگ سفارشی به عنوان یکی از روش‌های مورد استفاده در سیستم لجستیک درون کارخانه‌ای بیشتر مورد توجه بوده و بیش از ۵۵٪ از هزینه‌های عملیاتی انبار را شامل می‌شود (Grosse et al, 2016; et al, 2017). همچنین یکی از اهداف فرآیند لجستیک درون کارخانه‌ای همسویی کلیه فعالیت های لجستیکی می‌باشد، که بر این اساس، مدیریت انبار باید تقاضای خط تولید را به موقع تأمین کند و روند عملیات پیکینگ را، که نشان دهنده ۵۰٪-۷۰٪ هزینه های عملیاتی در سیستم انبار است، بهبود بخشد (DeKoster et al, 2007). از یک منظر انتخاب سفارشات و برنامه ریزی انتخاب مسیرهای پیک بر زمان توزیع تأثیر می‌گذارد (Lin et al, 2016)، از منظر دیگر انعطاف پذیری و توانمندی نیروی انسانی در برابر تغییرات با توجه به محدودیت های در دسترس موجب تسهیل در فرآیند می‌گردد (Grosse et al, 2015). لجستیک اضطراری یک فعالیت ویژه لجستیکی برای مقابله با بحران است. در مقایسه با فرآیند لجستیک معمولی، لجستیک اضطراری دارای ویژگی ناگهانی و به موقع است، که ناشی از دشواری پیش بینی زمان و موقعیت اضطراری است (Lei & Jianmin, 2003). مسئله مدیریت بحران، یکی از مهمترین مسائلی است که در سالهای اخیر به آن پرداخته شده است. در واقع، مدیریت بحران برای جلوگیری یا کاهش اثرات بحران، قبل، حین و پس از وقوع بحران انجام می‌گیرند (Gupta et al, 2016). مدیریت بحران شامل چهار فاز اصلی، پیشگیری، آمادگی، پاسخ و بازیابی و بهبود است. فاز پاسخ، مجموعه عملیاتی است که در زمان وقوع بحران برای کاهش خسارت انجام می‌شود (Duan & Liao, 2014). در فرآیند لجستیک درون کارخانه‌ای، از جمله عملیات منسجم در فاز پاسخ به بحران (تغییر برنامه تولید و یا مشکل کیفی قطعات) تخلیه قطعات معیوب یا خارج از برنامه از سلولهای انبار پیک به انبارهای بازیابی یا مناطق لجستیکی به منظور جلوگیری از ارسال قطعات نامناسب به خطوط تولید و کاهش تأخیر در ارسال سفارشات می‌باشد. در این راستا مسیریابی کارآمد ظروف پیک سبب کاهش هزینه ناشی از ضایعات قطعات یا توقف خطوط می‌گردد، اگرچه در کلیه تحقیقات انجام شده در مسئله مسیریابی در انبار پیک به ازدحام راهروهای انبار پرداخت نشده و راهروهای انبار بدون ازدحام و ترافیک ظروف پیک در نظر گرفته شده است (Ardjmand et al, 2018). در سالهای اخیر مطالعات فراوانی در زمینه مسیریابی انجام گرفته و بیشتر مطالعات در ارتباط با پیک سفارش، بر مشکلات دسته بندی سفارش و مسیریابی متمرکز است (Ardjmand et al., 2018; Chen et al., 2017; Van Gils et al., 2019; Scholz et al., 2015). در حالی که مسیریابی جهت پیک اضطراری برای تخلیه قطعات معیوب و یا خارج از برنامه بعنوان حوزه جدیدی در تحقیقات شناخته شده است. در همین راستا پژوهش حاضر به دنبال بررسی و ارائه مدلی جهت پاسخ مناسب در شرایط اضطرار در محوطه پیکینگ، با ظروف پیک ناهمگن می‌باشد و بدین منظور یک مدل ریاضی دو هدفه جهت تخلیه قطعات از سلول های انبار پیکینگ به مناطق لجستیکی و انبارک ها پیشنهاد شده است. دو هدف در نظر گرفته شده در مدل شامل حداقل کردن کل زمان جابجایی و حداکثر کردن قابلیت اطمینان مسیرها است.

الف) پیشینه پژوهش

در سطح عملیاتی، جمع آوری سفارش شامل، تخصیص سفارش، دسته بندی سفارش، تعیین توالی و مسیریابی پیک کننده است. تحقیقات قبلی به مشکلات عملیات پیکینگ در شرایط مختلف پرداخته است (Cergibozan & Tasan, 2019). جدول ۱، خلاصه برخی از مطالعات قبلی است که شامل مشکلات مربوط به عملیات پیکینگ، چیدمان انبار، روش‌های استفاده شده و

اهداف می‌باشد. می‌توان مشاهده کرد که در شرایط عادی، بیشتر مطالعات بر روی کل زمان و مسافت طی شده در انبار پیکینگ متمرکز شده‌است. دسته بندی سفارش بیشترین مشکل مطرح شده در تمام مطالعات موجود در جدول ۱، است. مطالعه ادبیات تحقیق در مورد عملیات پیکینگ نشان می‌دهد، محققان علاقه بیشتری به پرداختن همزمان مشکلات عملیات پیکینگ داشته‌اند. با این حال، وقتی مشکلات مختلف باهم ترکیب می‌شوند، روش‌های دقیق معمولاً به اندازه کافی سریع نیستند (Scholz et al, 2017). به همین دلیل، از رویکردهای ابتکاری برای مسئله مسیریابی پیک کننده استفاده شده‌است. جستجوی محله متغیر، الگوریتم ژنتیک و روش‌های متاهیورستیک از جمله روش‌های حل مسئله مسیریابی بوده‌اند (Cortes et al, 2017).

جدول شماره (۱): خلاصه تحقیقات گذشته درباره عملیات پیکینگ

مطالعه	تخصیص	دسته بندی	مسیریابی	توالی	مکان	روش	هدف
ایسلر و همکاران ۲۰۱۶		✓			راهرو موازی	هیورستیک	کاهش مجموع مسافت و زمان
لین و همکاران ۲۰۱۶		✓	✓		راهرو موازی	ازدحام ذرات	کاهش مجموع مسافت و زمان
کورتس و همکاران ۲۰۱۷		✓			راهرو موازی	TS(Tabu)	کاهش مجموع مسافت و زمان
اردجمند و هو ۲۰۱۷		✓	✓		راهرو موازی	مرتب سازی غیر غالب GA-II NSGA-II	کاهش مجموع مسافت، زمان و طول زمان آماده سازی
مندز و همکاران ۲۰۱۷ a		✓		✓	راهرو موازی	جستجوی محله متغیر (VNS)	کاهش تأخیر
مندز و همکاران ۲۰۱۷ b		✓			راهرو موازی	جستجوی محله متغیر (VNS)	کاهش مجموع مسافت و زمان
مندز و همکاران ۲۰۱۷ c	✓	✓			راهرو موازی	جستجوی محله متغیر (VNS)	حداقل / حداکثر زمان بازیابی دسته‌ها
پانسارت و همکاران ۲۰۱۸			✓		راهروی موازی با چند راهروی میانی	برنامه نویسی پویا	کاهش مجموع مسافت و زمان
شولز و همکاران ۲۰۱۷	✓	✓	✓	✓	راهروی موازی با راهروی میانی	جستجوی محله متغیر (VNS)	تأخیر کلی
واله و همکاران ۲۰۱۷		✓	✓		راهروی موازی با راهروی میانی	روش دقیق	کاهش مجموع مسافت و زمان
اردجمند و همکاران ۲۰۱۸	✓	✓	✓		راهرو موازی	الگوریتم ازدحام ذرات-کلنی مورچه- MMI-VND	طول زمان آماده سازی
ونگیلز و همکاران ۲۰۱۹		✓	✓		راهرو دو طرفه	الگوریتم جستجوی محلی تکراری	افزایش انتخاب سفارشات
اردجمند و همکاران ۲۰۲۰	✓	✓	✓	✓	راهرو موازی	PSA-ACO CG	طول زمان آماده سازی
کوبلر و همکاران ۲۰۲۰	✓	✓	✓		انبار پویا	هیورستیک	کاهش مجموع مسافت و زمان
کانو و همکاران ۲۰۲۰		✓	✓	✓	انبار دو بعدی و سه بعدی	فروشنده دوره گرد/حل دقیق	کاهش مجموع مسافت و زمان
واله و بیسلی ۲۰۲۰		✓	✓		راهروی موازی با چند راهروی	هیورستیک	کاهش مجموع مسافت و زمان

مقاطع

در برخی از مطالعات، نویسندگان با توجه به اینکه انتخاب سفارشات برای تشکیل دسته ها و توالی دسته ها بر مسافت مسیریابی برداشت و همچنین بر زمان مقرر شده برای برداشت سفارش تأثیر می گذارند، به مسئله دسته بندی، تعیین توالی و مسیریابی بطور همزمان پرداختند. (Kulak et al., 2012; Matusiak et al., 2014; Cheng et al., 2015; Lin et al., 2017; Scholz & Wäscher, 2017; Scholz et al., 2017; Li, Huang & Dai, 2017; al., 2016).

کانو و همکاران (۲۰۲۰)، یک مدل سازی ریاضی برای مسئله دسته بندی سفارش و مسیریابی و یک مدل برای مسئله دسته بندی، توالی و مسیریابی معرفی می نماید. بدین منظور، برای مسافت طی شده و زمان پیک در فرآیند پیکینگ در انبارهای تک بلوک و چند بلوک، فرمول هایی را ارائه می دهند و از مدل فروشنده دوره گرد^۱ استفاده کردند. همچنین تعدادی متغیر باینری، پویا و محدودیت ها را محاسبه می کنند تا پیچیدگی حل را با استفاده از روش های حل دقیق نشان دهند.

مطالعه (Van Gils et al, 2019)، به سه مشکل اصلی برنامه ریزی چیدمان عملیاتی (دسته بندی سفارش، مسیریابی و زمان بندی پیک کننده) با هدف افزایش کارایی انتخاب سفارش، در عین اطمینان از سطح سرویس دهی بالا در انبار می پردازد و یک الگوریتم جستجوی محلی تکراری را برای حل مسئله معرفی کرده است و با یک مثال واقعی مزایای عملکرد یکپارچه سازی سفارشات را نشان می دهد. همچنین مطالعه (Kübler et al, 2020)، به سه مشکل تخصیص سفارش، ادغام سفارش و مسیریابی پیک کنندگان در انبار برای انتخاب سریع سفارش اشاره می کند. در این مطالعه با یک روش ابتکاری تکراری به حل مسئله به طور همزمان می پردازد. نتایج مطالعات فوق نشان می دهد که این روش منجر به صرفه جویی قابل توجهی در میزان مسافت پیک می شود، اگرچه به مشکل انتخاب سریع مسیر جهت تخلیه سلول انبار پیک پرداخته نشده است. کانو و همکاران (۲۰۲۱)، یک الگوریتم ژنتیکی گروه بندی شده (GGA) را برای حل مسئله دسته بندی و تعیین توالی با چندین پیک کننده و با در نظر گرفتن دستگاه هایی با ظرفیت بار ناهمگن به منظور به حداقل رساندن کل زمان تکمیل سفارش معرفی می کنند. همچنین برخی از مطالعات، مسائل مربوط به برنامه ریزی عملیات چیدمان سفارش را با در نظر گرفتن تعادل بار کاری و اثر خستگی کارگران بررسی کرده اند. (Feng & Hu, 2021; Vanheusden et al., 2021).

اردجمند و همکاران (۲۰۱۸)، در پژوهشی دسته بندی سفارش و مسیریابی پیک کننده با چندین پیک کننده را مورد مطالعه قرار داده اند که مدل ریاضی پیشنهادی با استفاده از یک الگوریتم دقیق حل شده است. از آنجایی که روش دقیق زمان بر می باشد، برای مسائل کوچک از یک روش ابتکاری تجزیه لاگرانژی^۲ همراه با الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات (LD-PSO) استفاده شده است و برای حل مشکلات در مقیاس بزرگ، یک الگوریتم تیرید شبیه سازی شده و الگوریتم کلنی مورچگان (-PSA ACO)، بصورت ترکیبی ارائه شده است. نتایج مطالعه اردجمند و همکاران (۲۰۱۸)، نشان می دهد، افزایش تعداد پیک کننده و ظرفیت ظروف پیک تأثیر بیشتری در کاهش طول زمان دارد. با این وجود فرض بر این است که ازدحامی در راهروهای انبار وجود ندارد. یوسفی خوشبخت و همکاران (۲۰۱۴)، مساله مسیریابی وسیله نقلیه با ناوگان ناهمگن ثابت (HFFVRP) را مطرح کردند که می بایست مقداری کالا را در نقطه ای از انبار بارگذاری کرده و به دیگر مشتریان که در اطراف انبار وجود دارند برسانند، به شرط آنکه هر مشتری فقط یک بار و فقط به وسیله یکی از این وسایل نقلیه مقدار کالای مورد نیاز خود را دریافت کند. احمدی زر و همکاران (۲۰۱۵)، مسئله مسیریابی و زمان بندی وسایل نقلیه ناهمگن با چند انبار عبوری و چند نوع محصول با هدف کمینه سازی هزینه های نگهداری، حمل و نقل و خرید را مورد مطالعه قرار دادند. آنها یک مدل غیر خطی و یک الگوریتم ژنتیک ترکیبی معرفی کردند. موسوی و همکاران (۲۰۱۴)، مسئله مکانیابی-مسیریابی وسایل نقلیه با چند انبار عبوری را در نظر گرفتند و یک مدل دو مرحله ای فازی ارائه کردند. پیشینه پژوهش ها نشان می دهد در مقالات مورد بررسی در فرآیند پیکینگ، مساله تخلیه اضطراری قطعات مورد بررسی قرار نگرفته است. همچنین در مقالات مورد بررسی در فرآیند پیکینگ در

¹ Steiner traveling salesman

² Lagrangian Decomposition

مسیریابی، به ویژگی هایی از قبیل امکان ارائه خدمت به هر سلول توسط ظروف پیک ناهمگن کمتر توجه شده است و اکثر مقالات تک هدفه بوده و قابلیت اطمینان مسیره‌ها (ازدحام راهروها) در انبار در نظر گرفته نشده است. در روند تحقق سفارشات یک زنجیره تأمین، اغلب این انبار است که نقشی اساسی دارد. سیاست مدیریت انبارداری یک مسئله اساسی در مدیریت لجستیک است و برای کاهش هزینه باید به طور موثر و کارآمد مدیریت شود. با توجه به اینکه مدیران انبار در یک زنجیره تأمین باید فراتر از عملکرد تک بعدی باشند و معاملات را از معیارهای مختلف در نظر بگیرند، در این پژوهش سعی شده است، مسئله مسیریابی در شرایط اضطراری جهت تخلیه قطعات از سلول های انبار پیک با ظروف ناهمگن و با در نظر گرفتن ازدحام راهروها و محدودیت پیک کنندگان بررسی شود، بطوریکه انتقال قطعات معیوب به مکان های تعیین شده در برنامه عادی پیک سایر پیک کنندگان خللی وارد نکند.

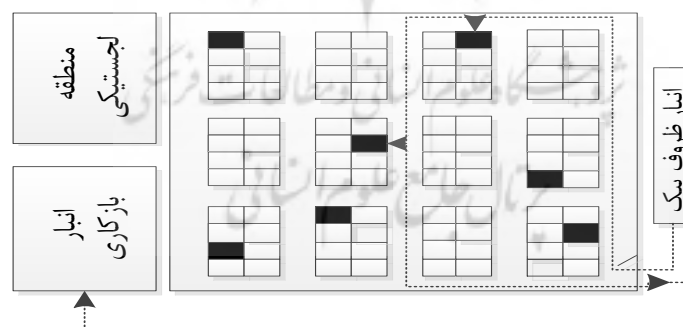
بنابر این سوال اساسی این تحقیق این است که مدل تخلیه انبار پیک در شرایط اضطرار با ظروف ناهمگن چگونه است؟

۲- روش شناسی پژوهش

به منظور تحلیل یافته های تحقیق ابتدا مدل ریاضی دارای دو هدف زمان و هزینه ارائه شده، سپس مثال عددی ارائه شده در مقیاس کوچک با روش حل قطعی و با تکنیک اپسیلون توسعه یافته مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه، با توجه به اینکه پیچیدگی مسئله مسیریابی از نوع NP-Hard می باشد و یافتن جواب بهینه در زمان مناسب برای مسئله با تکرار بالا غیر محتمل بوده و روش های دقیق معمولاً به اندازه کافی سریع نیستند (Scholz et al, 2017)، به منظور حل مدل در مسئله با مقیاس بزرگتر از الگوریتم های ابتکاری استفاده شده است. در این راستا با توجه به دسته بندی الگوریتم های متاهوریستیک توسط میرجلیلی و لویز (۲۰۱۶)، از سه الگوریتم ازدحام ذرات^۳ (PSO)، کلونی مورچگان^۴ (ACO) و کلونی زنبور عسل^۵ (ABC)، از گروه الگوریتم های هوش ازدحامی^۶ استفاده شده و نتایج با یکدیگر مقایسه شده است.

۱-۲ مفروضات مسئله

انبار مورد مطالعه مستطیل شکل و با راهروهای موازی است و یک نقطه خروجی وجود دارد که در پایین سمت راست قرار دارد، این انبار دارای ۱۳ راهرو عمودی و ۸ راهرو افقی می باشد. در این پژوهش، انتقال قطعات نامنطبق از سلول ها به انبار بازکاری و یا مناطق لجستیک، مطابق شکل ۱، در نظر گرفته شده است.



شکل (۱): انتقال قطعات ناسالم از سلولها به انباربازکاری

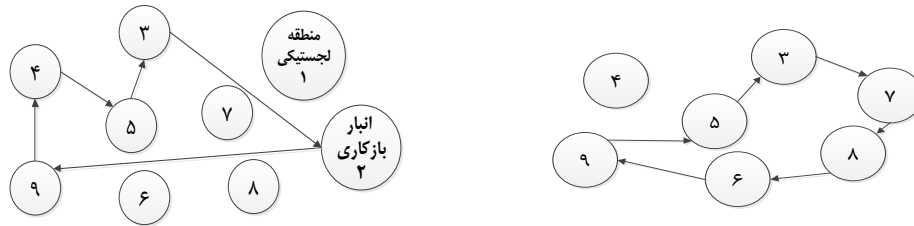
در شرایط پیک عادی، پیک کننده به همراه ظرف پیک از محل انبار ظروف پیک (گره ۹) حرکت خود را آغاز کرده و پس از طی توری از مسیر و بازدید از سلول های مشخص شده بر اساس برنامه پیک عادی و جمع آوری سفارشات به نقطه شروع باز می گردد (شکل ۲). در این تور پیک کننده الزاماً از تمام سلول های انبار (تمام گره ها) عبور نمی کند.

³ Particle swarm optimization

⁴ Ant colony optimization

⁵ Artificial bee colony

⁶ Swarm Intelligence



شکل (۱): شرایط پیک عادی در انبار پیک

شکل (۲): شرایط پیک اضطراری

در حالی که در شرایط پیک اضطراری، پیک کننده به همراه ظرف پیک در صورت اعزام، حرکت خود را از انبار ظروف پیک (گره ۹) آغاز کرده و با در نظر گرفتن ظرفیت ظروف پیک، ظرفیت انبار بازکاری و میزان قابلیت اطمینان مسیره‌ها، با توجه به ازدحام راهروهای انبار و ترافیک ناشی از برنامه پیک سایر پیک کنندگان، به انتقال قطعات از سلول هایی که می بایست تخلیه گردند، می پردازد و بهترین مسیر را برای انتقال قطعات به مناطق لجستیکی (گره ۱) یا انبار بازکاری (گره ۲) انتخاب می کند و سپس بعد از اتمام عملیات، ظروف پیک دوباره به مکان شروع حرکتش باز می گردند (شکل ۲). مسیر تور طی شده توسط پیک کننده در این حالت متفاوت از پیک عادی بوده و تنها شامل گره های قطعات نامنطبق و مناطق لجستیکی (گره ۱) // انبار بازکاری (گره ۲) می باشد. ظروف پیکی که برای تخلیه در نظر گرفته شده اند، ناهمگن و با ظرفیت محدود هستند. ظرفیت مناطق لجستیکی و انبار بازکاری محدود بوده و هر ظرف پیک تنها می تواند قطعات را در یک منطقه قرار دهد. در فرآیند تخلیه قطعات از انبار پیک، برای اینکه عملیات به بهترین شکل ممکن انجام شود و امکان ارائه خدمت به هر سلول دارای قطعه نامنطبق وجود داشته باشد، چندین ظرف پیک در نظر گرفته شده است. زمان های جابجایی بین تمام نقاط شبکه به صورت سیمتریک بوده و از رابطه نامساوی مثلثی پیروی می کند. قابلیت اطمینان هر مسیر به شکل عددی در بازه صفر تا یک در نظر گرفته شده است. هر چه این عدد به یک نزدیکتر باشد، قابلیت اطمینان مسیر بیشتر است.

۲-۲ مدل ریاضی

مجموعه ها و زیروندها (اندیس ها)

E : مجموعه سلول های انبار پیک که می بایست تخلیه شوند

S : مناطق لجستیکی و انبار بازیابی

V : مجموعه ظروف پیک که با $\forall v \in V$ مشخص می شود

D : انبار ظروف پیک

N : مجموعه کل نقاط (اجتماع سه مجموعه D, E, S) که با پارامترهای $i, j \in N$

مشخص می شود.

c_{ij} : زمان انتقال از گره $i \in N$ به گره $j \in N$

τ_{ij} : قابلیت اطمینان مسیر بین گره $i \in N$ و گره $j \in N$

d_i : تعداد قطعه ای که می بایست تخلیه شوند $i \in N$

Cap_i : ظرفیت مناطق لجستیکی / انبار بازکاری $i \in S$

Cap_v : ظرفیت ظروف پیک $\forall v \in V$

Dt_i : زمان ارائه خدمت در گره $i \in S \cup E$

M : مقدار خیلی بزرگ

متغیرهای تصمیم

X_{vij} : برابر یک است، اگر ظرف پیک $v \in V$ از گره $i \in N$ به گره $j \in N$ حرکت کند، در غیر این صورت، برابر صفر است.

Y_{vi} : برابر یک است، اگر ظرف پیک $\forall v \in V$ به گره $i \in S \cup E$ تخصیص داده شود، در غیر این صورت، برابر صفر است.

Z_v : برابر یک است، اگر ظرف پیک $\forall v \in V$ اعزام شود، در غیر این صورت، برابر صفر است.

Q_{vi} : تعداد قطعاتی که از سلول انبار پیک تخلیه می‌گردد ($i \in E$) و در ظرف پیک $\forall v \in V$ بارگیری می‌شوند یا تعداد قطعاتی که از ظرف پیک $\forall v \in V$ در مناطق لجستیکی/ انبار بازاری $i \in S$ تخلیه می‌گردند.

T_{vi} : زمان رسیدن ظرف پیک $\forall v \in V$ به گره $i \in N$.

توابع هدف و محدودیت‌ها

$$\text{Min} \sum_{v \in V} \sum_{i \in D \cup E} \sum_{j \in S \cup E} c_{ij} X_{vij} \quad (۱)$$

$$\text{Max} \sum_{v \in V} \sum_{i \in D \cup E} \sum_{j \in S \cup E} r_{ij} X_{vij} \quad (۲)$$

$$\sum_{i \in D} \sum_{j \in E} X_{vij} = Z_v \quad \forall v \in V \quad (۳)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in D} X_{vij} = Z_v \quad \forall v \in V \quad (۴)$$

$$\sum_{i \in D \cup E} X_{vij} = \sum_{i \in S \cup E} X_{vji} \quad \forall j \in E, \forall v \in V \quad (۵)$$

$$\sum_{i \in E} X_{vij} = \sum_{i \in D} X_{vji} \quad \forall j \in S, \forall v \in V \quad (۶)$$

$$\sum_{v \in V} Q_{vi} = d_i \quad \forall i \in E \quad (۷)$$

$$\text{Cap}_v Y_{vi} \geq Q_{vi} \quad \forall i \in S \cup E, \forall v \in V \quad (۸)$$

$$\sum_{j \in D \cup E} X_{vji} = Y_{vi} \quad \forall i \in E, \forall v \in V \quad (۹)$$

$$\sum_{j \in E} X_{vji} = Y_{vi} \quad \forall i \in S, \forall v \in V \quad (۱۰)$$

$$X_{vii} = 0 \quad \forall i \in N, \forall v \in V \quad (۱۱)$$

$$\sum_{v \in V} Q_{vi} \leq \text{Cap}_i \quad \forall i \in S \quad (۱۲)$$

$$\sum_{i \in E} Q_{vi} \leq \text{Cap}_v Z_v \quad \forall v \in V \quad (۱۳)$$

$$\sum_{i \in S} Q_{vi} = \sum_{i \in E} Q_{vi} \quad \forall v \in V \quad (۱۴)$$

$$\sum_{v \in V} Z_v \leq |V| \quad (۱۵)$$

$$T_{vi} = 0 \quad \forall i \in D, \forall v \in V \quad (۱۶)$$

$$(T_{vi} + Dt_i + c_{ij}) - M(1 - X_{vij}) \leq T_{vj} \quad \forall j \in E, \forall v \in V, \forall i \in D \cup E \quad (۱۷)$$

$$(T_{vi} + Dt_i + c_{ij}) - M(1 - X_{vij}) \leq T_{vj} \quad \forall j \in S, \forall v \in V, \forall i \in E \quad (۱۸)$$

$$X_{vij} \in \{0, 1\} \quad \forall j \in N, \forall v \in V, \forall j \in N \quad (۱۹)$$

$$Y_{vi} \in \{0, 1\} \quad \forall v \in V, \forall i \in S \cup E \quad (20)$$

$$Z_v \in \{0, 1\} \quad \forall v \in V \quad (21)$$

$$Q_{vi} \geq 0, \text{ Integer} \quad \forall v \in V, \forall i \in S \cup E \quad (22)$$

$$T_{vi} \geq 0, \text{ Integer} \quad \forall i \in N, \forall v \in V \quad (23)$$

تابع هدف (۱) کل زمان جابجایی را حداقل می کند. تابع هدف (۲) قابلیت اطمینان مسیرها را حداکثر می کند. محدودیت (۳) بیانگر این مساله است که در صورت اعزام ظرف پیک جهت تخلیه اضطراری آن ظرف پیک از محل انبارش به سمت یکی از سلول هایی که می بایست تخلیه گردد شروع به حرکت می کند. محدودیت (۴) بیانگر این است که در صورت ارسال ظرف پیک، آن ظرف پیک بعد از قراردادن قطعات در انباربازیابی / مناطق لجستیکی مجدداً به انبار ظروف پیک بر می گردد. محدودیت (۵) نشان دهنده محدودیت جریان برای سلول هایی است که می بایست تخلیه گردد. محدودیت (۶) نشان دهنده محدودیت جریان در هر انباربازیابی / مناطق لجستیکی است. محدودیت (۷) نشان دهنده تخلیه تمام قطعات نامنطبق از سلول هایی که می بایست تخلیه شوند. محدودیت (۸) بیانگر ارتباط بین Q_{vi} و Y_{vi} در هر سلولی که می بایست تخلیه گردد و هر انباربازیابی / مناطق لجستیکی می باشد. محدودیت (۹) بیان کننده این است که اگر ظرف پیک جهت تخلیه اضطراری به یک سلول انبار اختصاص یابد، قبل از آن سلول فقط انبار ظروف پیک یا یک سلول جهت تخلیه دیگر وجود دارد. محدودیت (۱۰) نشان دهنده این است که اگر ظرف پیک جهت تخلیه اضطراری به یک منطقه لجستیکی / انبار بازیابی اختصاص یابد قبل از آن منطقه لجستیکی فقط یک سلول جهت تخلیه قرار گرفته است. محدودیت (۱۱) از ایجاد حلقه در یک گره جلوگیری می کند. محدودیت (۱۲) نشان دهنده حداکثر ظرفیت هر انبار بازیابی / مناطق لجستیکی برای قطعات می باشد. محدودیت (۱۳) بیانگر حداکثر ظرفیت هر ظرف پیک می باشد. محدودیت (۱۴) نشان دهنده تعداد قطعاتی است که از سلول های مختلف به ظروف پیک اختصاص می یابند و تنها به یک انباربازیابی / مناطق لجستیکی منتقل می شوند. محدودیت (۱۵) بیانگر حداکثر تعداد ظروف پیک در دسترس می باشد. محدودیت (۱۶) نشان دهنده این است که، زمان شروع حرکت هر ظرف پیک از محل انبارش ظروف پیک، صفر در نظر گرفته می شود. محدودیت (۱۷) و (۱۸) به ترتیب زمان رسیدن هر ظرف پیک به هر سلول و هر انبارک را نشان می دهد. محدودیت (۱۹) تا (۲۳) نشان دهنده نوع متغیرها می باشد.

۳-۲ رویکرد حل محدودیت اپسیلون توسعه یافته

تکنیکهای مختلفی برای حل مسائل چندهدفه وجود دارد که یکی از آنها، روش محدودیت اپسیلون توسعه یافته است (Mavrotas, 2009). مراحل روش محدودیت اپسیلون توسعه یافته عبارت اند از:

۱. یکی از توابع هدف به عنوان تابع هدف اصلی انتخاب می شود.
۲. هر بار با در نظر گرفتن یکی از توابع هدف، مسئله حل شده و بهترین مقدار آن به دست می آید.
۳. با استفاده از روش لکسیکوگرافی، بدترین مقدار هر تابع هدف حساب می شود. بدین صورت که بهینه سازی توابع هدف فرعی با در نظر گرفتن محدودیتی که تابع هدف اصلی در بهترین مقدار خود باقی بماند، انجام شده و بدترین مقدار هر تابع هدف تعیین می شود و بازه بهترین و بدترین بر اساس روابط (۲۴) و (۲۵) مشخص می شود.

$$[f_i^{max}, f_i^{min}] \quad (24)$$

$$r_i = f_i^{max} - f_i^{min} \quad (25)$$

۴. بازه بین دو مقدار بهینه توابع فرعی، به تعداد از قبل مشخص شده ای (qi) تقسیم شده و بر اساس رابطه (۲۶)، مقادیر مختلف برای پارامتر اپسیلون به دست می آید.

$$\varepsilon_i^k = f_i^{max} - \frac{r_i}{q_i} \times k \quad k = 0, 1, \dots, q_i \quad (26)$$

۵. هر بار با در نظر گرفتن هریک از مقادیر پارامتر اپسیلون، مسئله با تابع هدف اصلی حل می‌شود؛ بدین صورت که محدودیت‌های مربوط به توابع هدف فرعی با استفاده از متغیرهای کمبود یا اضافی به صورت محدودیت‌های مساوی تبدیل شده و با در نظر گرفتن ضریب دلتا بین $(10)^{-3}$ تا $(10)^{-6}$ برای این متغیرهای مازاد یا کمبود، مسئله حل شده و جواب‌های کارا تولید می‌شود. رابطه (۲۷) روش محدودیت اپسیلون توسعه یافته را نشان می‌دهد.

$$\begin{aligned} \min\{f_1(x) - \delta \times (s_1 + s_2 + \dots + s_p)\} \\ f_2(x) = \varepsilon_2 + s_2 \\ f_3(x) = \varepsilon_3 + s_3 \quad x \in X, s_i \in R^+ \\ \dots \\ f_p(x) = \varepsilon_p + s_p \end{aligned} \quad (27)$$

الگوریتم کلونی مورچگان (ACO)

بهینه‌سازی کلونی مورچگان (ACO) یک روش موثر برای حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی NP-hard است و کاربردی مؤثر در حل مسئله فروشنده دوره گرد (TSP)، مسئله تخصیص درجه (QAP^y)، و مسئله چند هدفه‌ی حمل و نقل (VRP[^]) دارد (Dorigo et al, 2000). در این الگوریتم احتمال اینکه مورچه k در زمان t از گره i به گره j حرکت کند با رابطه (۲۸) محاسبه می‌گردد.

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \times [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in N_i^k} [\tau_{il}]^\alpha \times [\eta_{il}]^\beta} & j \in N_i^k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (28)$$

در رابطه (۲۸)، τ_{ij} مقدار فرومون و η_{ij} مقدار مؤلفه ابتکاری یال ij است که گویای جذابیت انتخاب این مسیر هست. همچنین α مؤلفه میزان تأثیر اثر فرومون و β مؤلفه میزان تأثیر مقدار ابتکاری است. N_i^k مجموعه گره‌های همسایه گره i به ازای مورچه k ام است، که قبلاً ملاقات نشده‌اند. در زمان t از میان گره‌هایی که مورچه k میتواند انتخاب کند، گره‌ای که احتمال پذیرش آن بر اساس رابطه (۲۸) بیشتر است، انتخاب شده و در آرایه S_k قرار گرفته و پس از هر دور کامل یا یک گشت که مورچه‌ها طی می‌کنند، مقدار فرومون در تکرار $t+1$ طبق رابطه (۲۹) به‌نگام می‌گردد.

$$\tau_{ij}(t+1) = \tau_{ij}(t) \times (1-p) + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k(t) \quad (29)$$

در رابطه (۲۹)، p نرخ تبخیر اثر فرومون است که $0 \leq p \leq 1$. همچنین m تعداد مورچه‌ها و $\Delta \tau_{ij}^k$ مقدار فرومونی است که مورچه k روی یال ij به جا می‌گذارد و معمولاً با رابطه (۳۰) تعریف می‌شود.

$$\Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{|S_k(t)|} & \text{اگر یال } (i, j) \text{ توسط مورچه } k \text{ طی شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (30)$$

در رابطه (۳۰)، $|S_k(t)|$ طول مسیری است که k امین مورچه در آخرین دور طی کرده است. به این معنا که اگر مورچه‌ای در آخرین دور موفق شده باشد مسیر کوتاهتری را طی نماید فرومون بیشتری را روی این یال به جا می‌گذارد. همچنین Q تابع کیفیت است که در یک حالت ساده می‌تواند برابر یک باشد.

۲-۵ الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)

این الگوریتم اولین بار توسط جیمز کندی و رسل ابره‌ارت در سال ۱۹۹۵ ارائه شد. در PSO ذرات در فضای جستجو پخش شده‌اند. هر ذره مقدار تابع هدف را در موقعیتی از فضا که در آن قرار گرفته است، محاسبه می‌کند، سپس با ترکیب اطلاعات

⁷ Quadratic assignment problem

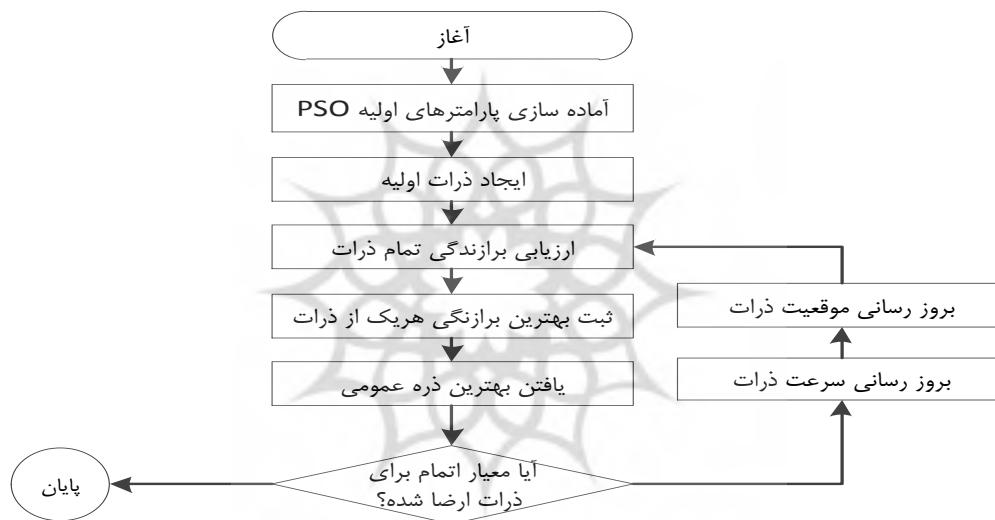
⁸ Vehicle routing problem

محل فعلی اش و بهترین محلی که قبلا در آن بوده است و همچنین اطلاعات یک یا چند ذره از بهترین ذرات موجود در جمع، جهتی را برای حرکت انتخاب می کند. پس از انجام حرکت جمعی، یک مرحله از الگوریتم به پایان می رسد. فلوجارت PSO در شکل شماره (۳)، نمایش داده شده است. این مراحل چندین بار تکرار می شوند، تا آن که جواب مورد نظر بدست آید. با اعمال شرط توقف، الگوریتم متوقف شده و جواب با بهترین تابع هدف، یعنی کمترین مقدار تابع هدف برای مسئله ارائه می شود، که تمام مقادیر مذکور طبق روابط (۳۱) و (۳۲) روز می شود:

$$v_i^{t+1} = w \cdot v_i^t + c_1 \cdot r_1 (pbest_i - x_i^t) + c_2 \cdot r_2 (gbest - x_i^t) \quad (31)$$

$$x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^{t+1} \quad (32)$$

در روابط بالا w ضریب اینرسی، r_1 و r_2 اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت بین ۰ و ۱ است. c_1 و c_2 پارامترهای یادگیری هستند و با توجه به نوع و صورت مسئله برای بهبود کارایی و کنترل رفتار الگوریتم تنظیم می گردند.



شکل شماره (۳): فلوجارت الگوریتم PSO

الگوریتم زنبور عسل (ABC)

الگوریتم کلونی زنبورهای مصنوعی (ABC) توسط کارابوگا و آکای، در سال ۲۰۰۹ برای بهینه سازی واقعی پارامترها ارائه شد. مدل کمیته انتخاب جستجویی که الگوریتم ABC اتخاذ کرده است، شامل سه نوع زنبور است: زنبورهای کارگر، زنبورهای ناظر، و زنبورهای پیشاهنگ (یا دیده ور). مراحل اصلی الگوریتم ABC که این رفتار را شبیه سازی می کند عبارت است از:

- ۱- مقدار دهی اولیه به موقعیت های منابع غذایی
- ۲- هر زنبور کارگر یک منبع غذایی جدید در مکان منبع غذایی خود تولید می کند و منبع بهتر را استخراج می کند.
- ۳- هر زنبور دیده ور یک منبع را وابسته به کیفیت راه حلش انتخاب می کند و یک منبع غذایی جدید را در مکان منبع غذایی انتخاب شده تولید می کند و منبع بهتر را استخراج می کند.
- ۴- تعیین منبعی که باید متروک شود و تخصیص زنبورهای کارگر آن به عنوان دیده ور برای جستجوی منابع غذایی جدید.
- ۵- بخاطر سپردن بهترین منبع غذایی پیدا شده تاکنون.
- ۶- تکرار مرحله های ۲-۵ تا زمانی که معیار توقف مقتضی شود.

در مرحله اول الگوریتم، x_i (i = 1, . . . , SN) راه حل ها به صورت تصادفی تولید می شوند که در آن SN تعداد منابع غذایی است. در مرحله دوم الگوریتم، برای هر زنبور کارگر، که تعداد کل آنها برابر با نصف تعداد منابع غذایی است، یک منبع جدید بوسیله رابطه زیر تولید می شود:

$$V_{ij} = x_{ij} + \phi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (33)$$

ϕ_{ij} یک عدد تصادفی بطور یکنواخت توزیع شده در بازه $[-1, 1]$ است که تولید موقعیت منابع غذایی همسایه را در اطراف x_{ij} کنترل می کند، k شاخص راه حل است که به صورت تصادفی از کلونی انتخاب شده است ($K = \text{int}(\text{rand} * \text{SN}) + 1$) و $j = 1, \dots, D$ ابعاد مسئله است. بعد از تولید V_{ij} این راه حل جدید با x_i مقایسه می شود و زنبور کارگر منبع بهتر را استخراج می کند. در مرحله سوم الگوریتم، یک زنبور ناظر یک منبع غذایی را با احتمال رابطه (۳۴) انتخاب می کند و منبع جدیدی را در مکان منبع غذایی انتخاب شده توسط رابطه (۳۳) تولید می کند و به همان شکل روش زنبور کارگر، منبع بهتر برای استخراج شدن مورد تصمیم گیری قرار می گیرد.

$$p_i = \frac{fit_i}{\sum_{n=1}^{SN} fit_n} \quad (34)$$

fit_i میزان شایستگی راه حل x_i است. بعد از آنکه تمام زنبورهای ناظر در منابع توزیع شدند، منابع مورد بررسی قرار می گیرند که آیا باید ترک شوند یا خیر. اگر تعداد چرخه هایی که یک منبع نمی تواند بهبود یابد بزرگتر از محدوده از قبل تعیین شده باشد آن منبع به عنوان منبع تمام شده در نظر گرفته می شود. زنبور کارگر مربوط به منبع تمام شده یک زنبور دیده ور شده و یک جستجوی تصادفی را در قلمرو مسئله بوسیله رابطه (۳۵) به وجود می آورد.

$$x_i^j = x_{min}^j + \text{rand}[0,1](x_{max}^j - x_{min}^j) \quad (35)$$

۳- نتایج و بحث

در این بخش، یک مثال برای تخلیه اضطراری سلول های انبار پیک معرفی می شود تا بتوان نتایج حل و کارایی مدل را بر روی آن نشان داد. شبکه در نظر گرفته شده، شامل ۹ گره است که گره های ۱ و ۲ انبار بازاری و منطقه لجستیکی، گره های ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، به عنوان سلول های حاوی قطعات نامنطبق و گره ۹ به عنوان انبار ظروف پیک معرفی شده است. برای تخلیه قطعات نامنطبق حداکثر شش وسیله در دسترس است. در جدول ۲ و ۳ اطلاعات مورد نیاز برای مثال معرفی شده، بیان شده است.

جدول (۱): اطلاعات مربوط به گره های شبکه

گره	زمان ارائه خدمت (دقیقه)	ظرفیت انبار بازکاری / منطقه لجستیکی (قطعه)	تعداد قطعه نامنطبق
۱	۱۰	۷۰	-
۲	۱۰	۷۰	-
۳	۱۰	-	۲۰
۴	۱۰	-	۲۰
۵	۱۰	-	۳۰
۶	۱۰	-	۳۰
۷	۱۰	-	۱۵
۸	۱۰	-	۱۵

جدول (۲): اطلاعات مربوطه به ظروف پیک

شماره ظرف پیک	ظرفیت ظرف پیک (قطعه)
۱ و ۲ و ۳ و ۴	۲۰
۵ و ۶	۳۰

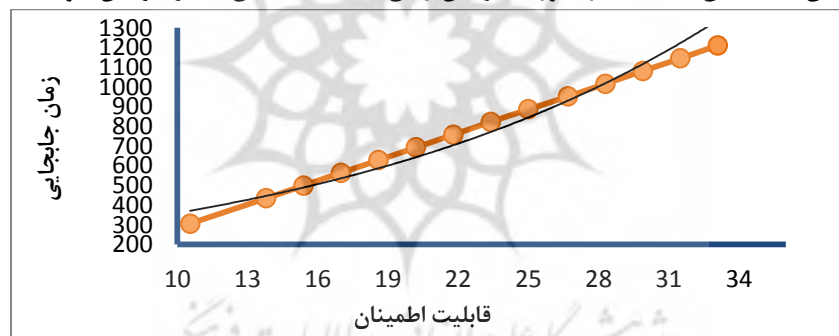
مسئله کوچک

در این بخش، مدل ریاضی ارائه شده برای مسئله در مقیاس کوچک با استفاده از روش محدودیت اپسیلون توسعه یافته بر روی داده های مثال عددی معرفی شده، اجرا و حل شده است. این کار به وسیله نرم افزار GAMS 28.2.0 بر روی رایانه ای با مشخصات Intel Core i7 4702MQ 2.20GHz up to 3.20 GHz and 6GB RAMDDR3under Win Seven انجام گرفت. برای حل این مسئله، تابع هدف زمان حمل و نقل به عنوان اولویت اول و تابع هدف قابلیت اطمینان به عنوان اولویت دوم در نظر گرفته شده است. جدول شماره (۳)، جدول بده _ بستان است که بهترین و بدترین مقدار توابع هدف را نشان می دهد. فاصله میان بدترین و بهترین مقدار تابع هدف دوم به چهارده قسمت تقسیم شده است.

جدول شماره (۳): بده بستان میان توابع هدف

تابع هدف زمان جابجایی	تابع هدف قابلیت اطمینان
۳۰۵	۱۰.۵۵
۱۲۱۰	۳۳.۱

همانطور که در شکل شماره (۴) مشاهده می شود، از آنجایی که تابع هدف زمان حمل و نقل از نوع کمینه سازی و تابع هدف قابلیت اطمینان از نوع بیشینه سازی است، شیب مثبت نمودار حاکی از وجود تعارض و فضای پارتویی قوی میان این دو تابع هدف است و نتایج نشان دهنده این است که در صورت افزایش زمان، قابلیت اطمینان مسیر افزایش خواهد داشت.



شکل شماره (۴): تعارض میان دو تابع هدف

نتایج حاصل از حل مسئله در مقیاس کوچک، با توجه به تقسیم بندی فضای حل به ۷ اپسیلون در جدول شماره (۴) نمایش داده شده است و مسیرهای پیشنهادی روش اپسیلون محدودیت را در حل دقیق مسئله نشان می دهد. در حل مسئله در مقیاس کوچک، ظروف پیک با توجه به حداکثر ظرفیت هر ظرف بر اساس کوتاهترین و قابل اطمینان ترین مسیرهای بررسی شده، قطعات نامنطبق را با توجه به تعداد قطعات موجود در هر سلول و حداکثر ظرفیت دریافت منطقه لجستیکی و انبار بازاری به هر یک از گره های ۱ و ۲ اختصاص داده اند. به عنوان مثال، ظرف پیک شماره ۲، حرکت خود را از انبار ظروف پیک (گره ۹) آغاز کرده و پس از بازدید از گره های ۵، ۷، ۴، ۳ و برداشت تعداد معینی از قطعات معیوب از هر سلول با توجه به ظرفیت بارگیری ظرف، قطعات را در منطقه لجستیکی (گره ۱) تخلیه و به محل ظروف پیک (گره ۹) باز می گردد.

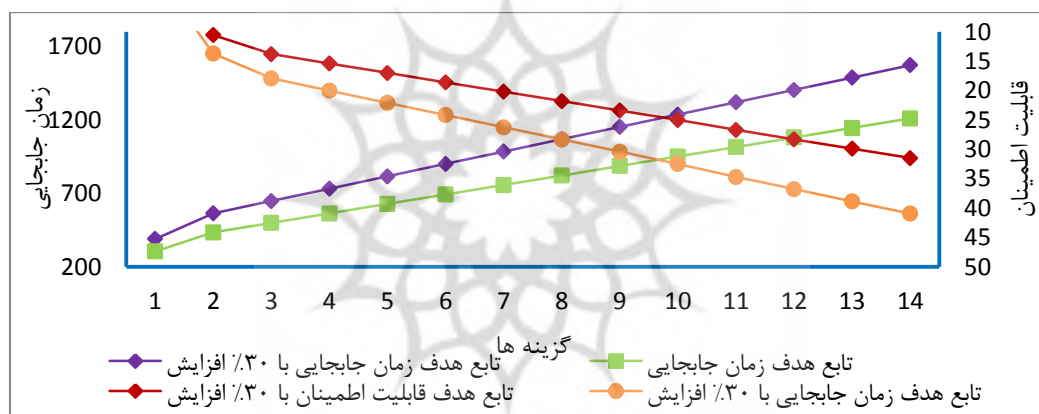
جدول شماره (۴): نتایج حاصل از حل مدل در مقیاس کوچک به روش اپسیلون

شماره ظرف پیک	مسیر	تعداد قطعه بارگیری شده یا تخلیه شده در مسیر (قطعه)	زمان رسیدن به هر گره (دقیقه)
۱	۹-۵-۸-۳-۴-۷-۶-۱-۹	۰-۱-۱-۱-۱-۱-۱۵-۲۰-۰	۰-۲۰-۵۰-۷۰-۹۰-۱۱۰-۱۳۵-۱۵۵-۱۷۵
۲	۹-۵-۷-۴-۳-۱-۹	۰-۹-۱-۱-۹-۲۰-۰	۰-۲۰-۴۰-۶۰-۸۰-۱۰۰-۱۲۰
۳	۹-۵-۷-۴-۳-۱-۹	۰-۱۷-۱-۱-۱-۲۰-۰	۰-۲۰-۴۰-۶۰-۸۰-۱۰۰-۱۲۰

۰-۲۰-۴۰-۶۰-۸۰-۱۰۰-۱۲۰	۰-۱-۱-۷-۱۰-۰	۹-۵-۷-۴-۳-۱-۹	۴
۰-۲۰-۵۰-۷۰-۹۰-۱۱۰-۱۳۵-۱۵۵-۱۷۵	۰-۱-۱-۱-۳-۱۰-۱۴-۳۰-۰	۹-۵-۸-۳-۴-۷-۶-۲-۹	۵
۰-۲۰-۴۰-۶۰-۸۰-۱۰۰-۱۳۵-۱۶۵-۱۷۵	۰-۱-۱-۱۳-۱-۱۳-۱-۳۰-۰	۹-۵-۷-۴-۳-۸-۶-۲-۹	۶

تحلیل حساسیت

از جمله مهمترین مزایای روش محدودیت اپسیلون توسعه یافته این است که به تصمیم گیران حوزه مدیریت بحران اجازه می دهد تا براساس شرایط حاکم بر سیستم، از میان جواب های خروجی، بهترین گزینه ای که مدنظرشان هست، انتخاب نمایند تا بهترین عملکرد در فاز پاسخ به بحران صورت گیرد. در این قسمت، از میان پارامترهای مدل، بر روی ظرفیت انبار بازرگاری/ منطقه لجستیکی و ظرفیت ظروف پیک، تحلیل حساسیت انجام گرفته است. همانطور که در شکل (۵) مشاهده می شود، در اکثر گزینه ها مقادیر تابع هدف زمان جابجایی با افزایش ۳۰٪ ظرفیت انبار بازرگاری/ منطقه لجستیکی نسبت به حالت بدون تغییر کاهش یافته است. همچنین در اکثر گزینه ها، تابع هدف قابلیت اطمینان مسیره با افزایش ۳۰٪ ظرفیت انبار بازرگاری و منطقه لجستیکی نسبت به حالت بدون تغییر، افزایش یافته است، زیرا با افزایش ظرفیت انبار بازرگاری/ منطقه لجستیکی، برای انتقال قطعات نامنطبق به این مناطق سعی می شود، از مسیرهایی با قابلیت اطمینان بیشتر و نزدیکتر به انبار بازرگاری و منطقه لجستیکی استفاده شود.



شکل (۵): تحلیل حساسیت توابع به ازای تغییر ظرفیت انبار بازرگاری/ منطقه لجستیکی

مسئله بزرگ

با توجه به نشان دادن وجود تعارض بین توابع هدف مدل پیشنهادی در حل مسئله در مقیاس کوچک، در حل مسئله بزرگ بدنبال پیدا کردن بهترین جواب از نظر مسیر قابل اطمینان در بهترین زمان جابجایی می باشیم. جهت حل مسئله در مقیاس بزرگ از اطلاعات جداول ۲ و ۳ با تکرار بالا (۲۰۰۰ تکرار) استفاده شده است و با سه الگوریتم کلونی مورچگان (ACO)، ازدحام ذرات (PSO) و کلونی زنبور عسل (ABC) در نرم افزار متلب Matlab R2020b v9.9.0.1570001 مسئله حل شده و جواب بدست آمده از توابع هدف مقایسه شده است.

۳-۳-۱ حل مسئله بزرگ با روش الگوریتم کلونی مورچگان

جدول ۶ پارامترهای قابل تنظیم جهت حل مسئله بزرگ را با روش الگوریتم کلونی مورچگان (ACO)، نشان می دهد.

جدول شماره (۵): پارامترهای اولیه الگوریتم کلونی مورچگان

پارامتر	تعداد کلونی اولیه	تعداد مورچه	تعداد تکرار	آلفا	Kp	Kd	نرخ افزایش فرومون	نرخ کاهش فرومون
مقدار	۵۰	۳۰	۲۰۰۰	۰/۳۵	۰/۲	۰/۰۵	۰/۵	۰/۹۹

نتایج حاصل از حل مسئله بزرگ با روش الگوریتم کلونی مورچگان (ACO)، در جدول شماره ۷، نشان دهنده مسیرهای انتخاب شده توسط این الگوریتم جهت بارگیری قطعات از سلول های مورد نظر و تخلیه قطعات در منطقه لجستیکی و انبار بازرگاری می باشد. با توجه به ظرفیت منطقه لجستیکی و انبار بازرگاری، ظرفیت ظروف پیک و تعداد قطعات نامنطبق در هر گره، مسیرهای موجود بررسی و بهترین مسیرهای قابل استفاده از نظر این الگوریتم انتخاب شده است.

جدول شماره (۶): نتایج حاصل از حل مدل با الگوریتم مورچگان

شماره ظرف پیک	مسیر	تعداد قطعه بارگیری شده یا تخلیه شده در مسیر (قطعه)	زمان رسیدن به هر گره (دقیقه)
۱	۹-۵-۴-۳-۱-۹	۰-۱۱-۴-۵-۲۰-۰-۰	۰-۲۰-۱۳۰-۱۵۰-۱۷۰-۱۹۰
۲	۹-۵-۴-۳-۱-۹	۰-۱۰-۵-۵-۲۰-۰-۰	۰-۲۰-۱۳۰-۱۵۰-۱۷۰-۱۹۰
۳	۹-۷-۶-۱-۹	۰-۱۵-۵-۲۰-۰-۰	۰-۷۵-۱۰۰-۱۲۰-۱۴۰
۴	۹-۸-۶-۲-۹	۰-۱۰-۱۰-۲۰-۰-۰	۰-۸۵-۱۲۰-۱۵۰-۱۶۰
۵	۹-۵-۴-۳-۲-۹	۰-۹-۱۱-۱۰-۳۰-۰-۰	۰-۲۰-۱۳۰-۱۵۰-۱۸۰-۱۹۰
۶	۹-۸-۶-۲-۹	۰-۵-۱۵-۲۰-۰-۰	۰-۸۵-۱۲۰-۱۵۰-۱۶۰

حل مسئله بزرگ با روش الگوریتم ازدحام ذرات

پارامترهای اولیه مورد نظر جهت حل مسئله بزرگ را با روش الگوریتم ازدحام ذرات (PSO)، در جدول شماره ۸ نشان داده شده است.

جدول شماره (۷): پارامترهای اولیه الگوریتم ازدحام ذرات

پارامتر	تعداد جمعیت اولیه	تعداد تکرار	w	C1	C2	wdamp
مقدار	۱۰۰	۲۰۰۰	۱	۲	۲	۰/۹۹

جدول شماره ۹ نتایج حاصل از مسیرهای پیشنهادی الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) را بر اساس ظرفیت دریافت منطقه لجستیکی و انبار بازرگاری، ظرفیت ظروف پیک و تعداد قطعات نامنطبق در هر سلول را بر اساس زمان سپری شده نشان می دهد.

جدول شماره (۸): نتایج حاصل از حل مدل با الگوریتم ازدحام ذرات

ظرف پیک	مسیر	تعداد قطعه بارگیری شده یا تخلیه شده در مسیر (قطعه)	زمان رسیدن به هر گره (دقیقه)
۱	۹-۳-۴-۷-۵-۱-۹	۰-۴-۵-۹-۲-۲۰-۰-۰	۰-۲۰-۴۰-۶۰-۸۰-۱۴۰-۱۶۰
۲	۹-۵-۸-۶-۳-۱-۹	۰-۴-۳-۵-۸-۲۰-۰-۰	۰-۲۰-۵۰-۸۵-۱۴۰-۱۶۰-۱۸۰
۳	۹-۵-۶-۴-۲-۹	۰-۵-۴-۱-۱۰-۰-۰	۰-۲۰-۷۰-۱۱۰-۱۶۰-۱۷۰
۴	۹-۶-۸-۴-۲-۹	۰-۵-۱۲-۳-۲۰-۰-۰	۰-۲۰-۵۵-۱۱۰-۱۶۰-۱۷۰
۵	۹-۶-۵-۷-۲-۹	۰-۱۶-۱۰-۴-۳۰-۰-۰	۰-۲۰-۷۰-۹۰-۱۵۰-۱۶۰
۶	۹-۳-۴-۷-۵-۱-۹	۰-۸-۱۱-۲-۹-۳۰-۰-۰	۰-۲۰-۴۰-۶۰-۸۰-۱۴۰-۱۶۰

حل مسئله بزرگ با روش الگوریتم زنبور عسل

پارامترهای مورد نظر جهت حل مسئله بزرگ را با روش الگوریتم کلونی زنبور عسل (ABC)، در جدول شماره ۱۰، نشان داده شده است.

جدول شماره (۹): پارامترهای اولیه الگوریتم زنبور عسل

پارامتر	تعداد کلونی اولیه SN	تعداد تکرار MSN	تعداد ظرف پیک
مقدار	۵۰	۲۰۰۰	۱۰۰

جدول شماره ۱۱، نتایج حاصل از حل مدل را با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل (ABC) نشان می دهد. با توجه به ظرفیت منطقه لجستیکی و انبار بازاری، ظرفیت ظروف پیک و تعداد قطعات نامنطبق در هر گره، مسیرهای پیشنهادی الگوریتم (ABC) بر اساس میزان زمان سپری شده برای برداشت و یا تخلیه هر گره در جدول شماره ۱۱ قابل مشاهده است.

جدول شماره (۱۰): نتایج حاصل از حل مدل با الگوریتم زنبور عسل

ظرف پیک	مسیر	تعداد قطعه بارگیری شده در مسیر (قطعه)	زمان رسیدن به هر گره (دقیقه)
۱	۹-۳-۴-۱-۹	۰-۶-۱۴-۲۰-۰	۰-۲۰-۴۰-۱۲۰-۱۴۰
۲	۹-۷-۳-۶-۱-۹	۰-۱۰-۱-۹-۲۰-۰	۰-۷۵-۱۳۰-۱۸۵-۲۰۵-۲۲۵
۳	۹-۴-۸-۱-۹	۰-۵-۱۵-۲۰-۰	۰-۴۰-۹۵-۱۵۰-۱۷۰
۴	۹-۳-۴-۱-۹	۰-۹-۱-۱۰-۰	۰-۲۰-۴۰-۱۲۰-۱۴۰
۵	۹-۳-۵-۶-۲-۹	۰-۴-۱۷-۹-۳۰-۰	۰-۲۰-۱۱۰-۱۶۰-۱۹۰-۲۰۰
۶	۹-۷-۵-۶-۲-۹	۰-۵-۱۳-۱۲-۳۰-۰	۰-۷۵-۹۵-۱۴۵-۱۷۵-۱۸۵

بهترین جواب بدست آمده الگوریتم مورچگان برای تابع هدف قابلیت اطمینان ۴۳/۵۶ و تابع هدف زمان جابجایی ۱۲۵۶ دقیقه می باشد. همچنین بهترین جواب الگوریتم ازدحام ذرات برای تابع هدف قابلیت اطمینان ۴۸/۹۶ و تابع هدف زمان جابجایی ۱۲۵۳ دقیقه و برای الگوریتم زنبور عسل بهترین جواب تابع هدف قابلیت اطمینان ۴۴/۹۸ و تابع هدف زمان جابجایی ۱۲۶۳ دقیقه بوده است. همانطور که ملاحظه می شود، الگوریتم ازدحام ذرات دارای بهترین عملکرد از نقطه نظر زمان و قابلیت اطمینان مسیر می باشد. همچنین الگوریتم زنبور عسل از نظر قابلیت اطمینان و الگوریتم کلونی مورچگان از نظر زمان جابجایی دارای عملکرد بهتری نسبت به یکدیگر می باشند.

در این مقاله، یک مدل دو هدفه برنامه ریزی ریاضی خطی عددی صحیح مختلط برای مسئله مسیریابی و زمان بندی همزمان ظروف پیک امدادی جهت تخلیه اضطراری قطعات نامنطبق از سلولهای انبار پیک که می بایست تخلیه و به انباربازایی یا مناطق لجستیکی ارسال شوند ارائه شد. اهداف مدل پیشنهادی، کمینه سازی کل زمان جابجایی قطعات و حداکثر کردن قابلیت اطمینان مسیرها است. نوآوری این مقاله نسبت به مطالعات پیشین در نظر گرفتن مسأله تخلیه اضطراری قطعات از سلولهای انبار پیک و قابلیت اطمینان مسیرها با در نظر گرفتن ازدحام راهروهای انبار و ترافیک مسیرها می باشد که در مطالعات گذشته در خصوص انبار پیک در نظر گرفته نشده است (Ardjmand et al., 2018). همچنین ظروف پیک ناهمگن در نظر گرفته شده و با توجه به اینکه تمامی مدل های ارائه شده در بحث مسیریابی انبار پیک تک هدفه بوده اند یک مدل دو هدفه در این مطالعه ارائه شده است. برای حل مدل ارائه شده در مسئله با مقیاس کوچک از روش اپسیلون توسعه یافته جهت بررسی رفتار دو تابع هدف و در مسئله با مقیاس بالا (۲۰۰۰ تکرار)، با توجه به دسته بندی الگوریتم های متاهورستیک توسط میرجیلی و لویز (۲۰۱۶)، از سه الگوریتم ازدحام ذرات (PSO)، کلونی مورچگان (ACO) و کلونی زنبور عسل (ABC)، از گروه الگوریتم های هوش ازدحامی استفاده شده و نتایج با یکدیگر مقایسه شد. نتایج حل در نمونه کوچک نشان دهنده وجود تعارض و فضای قوی پارتویی در توابع هدف مدل پیشنهادی دارد. همچنین از میان پارامترهای مدل، بر روی ظرفیت انبار بازاری/ منطقه لجستیکی و ظرفیت ظروف پیک، تحلیل حساسیت انجام گرفته که نشان داده با افزایش ۳۰٪ ظرفیت انبار بازاری/ منطقه لجستیکی تابع هدف زمان جابجایی کاهش داشته و تابع هدف قابلیت اطمینان مسیرها دارای افزایش می باشد. در حل مسئله بزرگ بهترین جواب از نظر زمان جابجایی و قابلیت اطمینان مسیر بررسی شد. نتایج نشان می دهد که از میان ۳ الگوریتم پیشنهادی، الگوریتم ازدحام ذرات دارای بهترین عملکرد در هر دو تابع هدف می باشد. همچنین الگوریتم کلونی مورچگان نسبت

به الگوریتم زنبور عسل دارای عملکرد بهتری در میزان زمان جابجایی و الگوریتم زنبور عسل از نظر قابلیت اطمینان مسیر دارای عملکرد بهتری در مقایسه با الگوریتم کلونی مورچگان می باشد. این نتایج به مدیران اجازه می دهد تا بر اساس شرایط سیستم، نسبت به انتخاب روش بهتر بر اساس اولویت عملکرد در فاز پاسخ به بحران اقدام نمایند. جهت تحقیقات آینده در فاز پاسخ به بحران، می توان به مسائل مربوط به مکان یابی انبارهای بازایی و مناطق لجستیکی و یا مشکلات مختلف مربوط به تسهیلات و مسیرهای تخلیه سلول های انبار، که بر کارایی و سرعت عملیات تخلیه سلولها و انتقال به انبارهای بازایی و یا مناطق لجستیکی تاثیر می گذارد، پرداخته شود. همچنین می توان وجود تعارض در توابع هدف مدل را در مسائل بزرگ با تکرار های متعدد مورد بررسی قرار داد.

۴- منابع

1. Ahmadizar, F., Zeynivand, M., & Arkat, J. (2015). Two-level vehicle routing with cross-docking in a three-echelon supply chain: A genetic algorithm approach. *Applied Mathematical Modelling*, 39(22):7065-7081.
2. Ardjmand, E., & Huh, D. W. (2017). Coordinated warehouse order picking and production scheduling: A nsgaii approach. In 2017 IEEE *Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)* (pp. 1-8). IEEE.
3. Ardjmand, E., Ghalekhondabi, I., Young II, W. A., Sadeghi, A., Weckman, G. R., & Shakeri, H. (2020). A hybrid artificial neural network, genetic algorithm and column generation heuristic for minimizing makespan in manual order picking operations. *Expert Systems with Applications*, 159, 113566.
4. Ardjmand, E., Shakeri, H., Singh, M., & Bajgiran, O. S. (2018). Minimizing order picking makespan with multiple pickers in a wave picking warehouse. *International Journal of Production Economics*, 206: 169-183.
5. Cano, J. A., Correa-Espinal, A. A., & Gómez-Montoya, R. A. (2020). Mathematical programming modeling for joint order batching, sequencing and picker routing problems in manual order picking systems. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 32(3): 219-228.
6. Cano, J.A., Cortés Achedad, P., Campo, E.A., & Correa Espinal, A.A. (2021). Solving the order batching and sequencing problem with multiple pickers: A grouped genetic algorithm. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 11(3): 2516-2524.
7. Cergibozan, Ç. & Tasan, A. S. (2019). Order batching operations: an overview of classification, solution techniques, and future research. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 30(1): 335-349.
8. Chen, T. L., Cheng, C. Y., Chen, Y. Y., & Chan, L. K. (2015). An efficient hybrid algorithm for integrated order batching, sequencing and routing problem. *International Journal of Production Economics*, 159: 158-167.
9. Cheng, C. Y., Chen, Y. Y., Chen, T. L., & Yoo, J. J. W. (2015). Using a hybrid approach based on the particle swarm optimization and ant colony optimization to solve a joint order batching and picker routing problem. *International Journal of Production Economics*, 170: 805-814.
10. Cortés, P., Gómez-Montoya, R. A., Muñuzuri, J., & Correa-Espinal, A. (2017). A tabu search approach to solving the picking routing problem for large-and medium-size

- distribution centres considering the availability of inventory and K heterogeneous material handling equipment. *Applied Soft Computing*, 53: 61-73.
11. De Koster, R., Le-Duc, T., & Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European journal of operational research*, 182(2):, 481-501.
 12. Dorigo, M., Bonabeau, E., & Theraulaz, G. (2000). Ant algorithms and stigmergy. *Future Generation Computer Systems*, 16(8): 851-871.
 13. Duan, Q., & Liao, T. W. (2014). Optimization of blood supply chain with shortened shelf lives and ABO compatibility. *International Journal of Production Economics*, 153: 113-129.
 14. Feng, X., & Hu, X. (2021). A Heuristic Solution Approach to Order Batching and Sequencing for Manual Picking and Packing Lines considering Fatiguing Effect. *Scientific Programming*, 2021.
 15. Glock, C. H., Grosse, E. H., Elbert, R. M., & Franzke, T. (2017). Maverick picking: the impact of modifications in work schedules on manual order picking processes. *International Journal of Production Research*, 55(21): 6344-6360.
 16. Grosse, E. H., Glock, C. H., & Müller, S. (2015). Production economics and the learning curve: A meta-analysis. *International Journal of Production Economics*, 170: 401-412.
 17. Grosse, E. H., Glock, C. H., & Neumann, W. P. (2017). Human factors in order picking: a content analysis of the literature. *International Journal of Production Research*, 55(5): 1260-1276.
 18. Gupta, S., Starr, M. K., Farahani, R. Z., & Matinrad, N. (2016). Disaster management from a POM perspective: Mapping a new domain. *Production and Operations Management*, 25(10): 1611-1637.
 19. Isler, C. A., Righetto, G. M., & Morabito, R. (2016). Optimizing the order picking of a scholar and office supplies warehouse. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 87(5): 2327-2336.
 20. Karaboga, D., & Akay, B. (2009). A comparative study of artificial bee colony algorithm. *Applied mathematics and computation*, 214(1): 108-132.
 21. Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. In Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks .Vol. 4: 1942-1948). IEEE.
 22. Kübler, P., Glock, C. H., & Bauernhansl, T. (2020). A new iterative method for solving the joint dynamic storage location assignment, order batching and picker routing problem in manual picker-to-parts warehouses. *Computers & Industrial Engineering*, 147: 106645.
 23. Kulak, O., Sahin, Y., & Taner, M. E. (2012). Joint order batching and picker routing in single and multiple-cross-aisle warehouses using cluster-based tabu search algorithms. *Flexible services and manufacturing journal*, 24(1): 52-80.
 24. Lei, F., & Jianmin, H. (2003). Model and algorithm for optimal selection of emergency system. *Systems Engineering-theory and Practice*, 18(1): 49-54.
 25. Li, J., Huang, R., & Dai, J. B. (2017). Joint optimisation of order batching and picker routing in the online retailer's warehouse in China. *International Journal of Production Research*, 55(2): 447-461.
 26. Lin, C. C., Kang, J. R., Hou, C. C., & Cheng, C. Y. (2016). Joint order batching and picker Manhattan routing problem. *Computers & Industrial Engineering*, 95: 164-174.

27. Matusiak, M., de Koster, R., Kroon, L., & Saarinen, J. (2014). A fast simulated annealing method for batching precedence-constrained customer orders in a warehouse. *European Journal of Operational Research*, 236(3): 968-977.
28. Mavrotas, G. (2009). Effective implementation of the ϵ -constraint method in multi-objective mathematical programming problems. *Applied mathematics and computation*, 213(2): 455-465.
29. Menéndez, B., Bustillo, M., Pardo, E. G., & Duarte, A. (2017a). General variable neighborhood search for the order batching and sequencing problem. *European Journal of Operational Research*, 263(1): 82-93.
30. Menéndez, B., Pardo, E. G., Alonso-Ayuso, A., Molina, E., & Duarte, A. (2017b). Variable neighborhood search strategies for the order batching problem. *Computers & Operations Research*, 78: 500-512.
31. Menendez, B., Pardo, E. G., Sánchez- Oro, J., & Duarte, A. (2017c). Parallel variable neighborhood search for the min-max order batching problem. *International Transactions in Operational Research*, 24(3): 635-662.
32. Mirjalili, S., & Lewis, A. (2016). The whale optimization algorithm. *Advances in engineering software*, 95: 51-67.
33. Mousavi, S. M., Vahdani, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Hashemi, H. (2014). Location of cross-docking centers and vehicle routing scheduling under uncertainty: a fuzzy possibilistic-stochastic programming model. *Applied Mathematical Modelling*, 38(7-8): 2249-2264.
34. Pansart, L., Catusse, N., & Cambazard, H. (2018). Exact algorithms for the order picking problem. *Computers & Operations Research*, 100: 117-127.
35. Scholz, A., & Wäscher, G. (2017). Order Batching and Picker Routing in manual order picking systems: the benefits of integrated routing. *Central European Journal of Operations Research*, 25(2): 491-520.
36. Scholz, A., Schubert, D., & Wäscher, G. (2017). Order picking with multiple pickers and due dates-simultaneous solution of order batching, batch assignment and sequencing, and picker routing problems. *European Journal of Operational Research*, 263(2): 461-478.
37. Valle, C. A., & Beasley, J. E. (2020). Order batching using an approximation for the distance travelled by pickers. *European Journal of Operational Research*, 284(2): 460-484.
38. Valle, C. A., Beasley, J. E., & Da Cunha, A. S. (2017). Optimally solving the joint order batching and picker routing problem. *European Journal of Operational Research*, 262(3): 817-834.
39. Van Gils, T., Caris, A., Ramaekers, K., & Braekers, K. (2019). Formulating and solving the integrated batching, routing, and picker scheduling problem in a real-life spare parts warehouse. *European Journal of Operational Research*, 277(3): 814-830.
40. Van Gils, T., Ramaekers, K., Caris, A., & de Koster, R. B. (2018). Designing efficient order picking systems by combining planning problems: State-of-the-art classification and review. *European Journal of Operational Research*, 267(1): 1-15.

41. Vanheusden, S., van Gils, T., Braekers, K., Ramaekers, K., & Caris, A. (2021). Analysing the effectiveness of workload balancing measures in order picking operations. *International Journal of Production Research*, 1-25.
42. Yousefikhoshbakht, M., Didehvar, F., & Rahmati, F. (2014). Solving the heterogeneous fixed fleet open vehicle routing problem by a combined metaheuristic algorithm. *International Journal of Production Research*, 52(9): 2565-2575.



Model Presentation to Emptying the Picking Warehouse with Heterogeneous Containers in Emergency Situations with Swarm Intelligence Algorithms

Amir Reza Ahmadi Keshavarz

Department of Industrial Engineering, Parand Branch, Islamic Azad University, Parand, Iran

Davood Jaafari (Corresponding Author)

Department of Industrial Engineering, Parand Branch, Islamic Azad University, Parand, Iran (*Corresponding author)

Email: djaafari1350@gmail.com

Mehran Khalaj

Department of Industrial Engineering, Parand Branch, Islamic Azad University, Parand, Iran

Parshang Dokouhaki

Department of Industrial Engineering, Parand Branch, Islamic Azad University, Parand, Iran

Abstract

Planning to empty warehouse cells is one of the most challenging issues in times of crisis. The need for emergency logistics for the efficient use of equipment is of great importance. In this study, a dual-objective planning model of routing and simultaneous scheduling of heterogeneous vehicles (picking containers)It has been suggested to evacuate the courier warehouse cells in emergency situations (non-compliance of the piece with the courier schedule) in order to minimize the movement time and maximize the reliability of the routes due to the congestion of the warehouse corridors. The developed Epsilon constraint method has been used to solve the proposed model. In the proposed model, the possibility of providing service for each warehouse cell that should be emptied by heterogeneous peak containers to logistics /warehouse areas with limited capacity is considered.To demonstrates the performance of the proposed model, the model is run on a random example and the computational results are presented. The results of problem solving indicate a conflict between the objective functions used. In order to investigate the large-scale model, due to the Np-hard routing issues, three Particle Swarm Algorithms (PSO), Ant Colony (ACO),and Bee Colony (ABC), swarm intelligence algorithms were used and the results were compared with each other. The results of large-scale problem solving to find the best displacement path show better performance of the particle swarm algorithm.

Keywords: Emergency logistics, Heterogeneous Courier containers, Picking operations, Swarm intelligence algorithms, Warehouse corridor congestion.