فصلنامه مدیریت راهبردی در سیستم های صنعتی (مدیریت صنعتی سابق)
دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج
سال هفدهم/ شماره ۶۰ / تابستان ۱۴۰۱

یکپارچه سازی پیک سفارش در انبار و توزیع به خطوط تولیدی جهت حداقل کردن هزینه با رویکرد الگوریتم وال انطباقی

امیر رضا احمدی کشاورز
دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرند
داود جعفری(نویسنده مسؤول)
استادیار مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرند
Email: djaafari1350@gmail.com
مهران خلج
استادیار مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرند
پرشنگ دوکوهکی
استاد مشاور مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرند

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۱۴ * تاریخ پذیرش ۱۴۰۱/۰۳/۰۵

چکیده

فرآیند پیکینگ در انبار, یکی از پرهزینه‌ترین فعالیت‌های لجستیکی محسوب می‌شود. توجه به جنبه های لجستیک داخلی‌با توجه به محدودیتها و منابع در دسترس در راستای کاهش هزینه ها با افزایش سطح توانایی‌سیستم های تغذیه مواد و قطعات به کنار خط حاصل خواهند شد. باتوجه به تأثیر زمان اتمام عملیات پیک بر زمان آغاز عملیات توزیع و هزینه بر بودن تأخیر در آماده-سازی سفارش، پژوهش حاضر برآن است تا مسئله جدیدی را در ارتباط با فرآیند یکپارچه پیک سفارشات در انبار و تحویل درموعد مقرر به کنار خطوط تولیدی، جهت حداقل‌کردن هزینه‌ها، با توجه به داده های یک شرکت خوردو سازی مورد بررسی قرار دهد. در این راستا یک مدل برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح، با هدف حداقل نمودن هزینه‌های ناشی از تأخیر پیشنهاد شده است. به منظور اعتبار سنجی مدل ، مسئله در ابعاد کوچک به روش دقیق حل شده است و سپس با توجه به NP-Hard بودن مسئله، در نمونه مسئله بزرگ از روش الگوریتم وال استفاده شده است. به منظور بهبود راه حل های بهینه با ایجاد تغییرات در الگوریتم اولیه و با طراحی الگوریتم وال انطباقی، با در نظر گرفتن هزینه و زمان بازدید از ایستگاه های کاری به عنوان تابع برازش ، مسئله بررسی شده است. جهت ارزیابی کارآمدی الگوریتم وال انطباقی پیشنهادی، نتایج با دو الگوریتم فراابتکاری ازدحام ذرات و گرگ خاکستری مقایسه شد. نتایج بررسی ها نشان دهنده عملکرد بهتر الگوریتم وال انطباقی پیشنهادی، نسبت به سایر روش های مورد بررسی بوده که موجب بهبود و کاهش هزینه ها شده است.

کلمات کلیدی: میسریابی پیک‌کننده، الگوریتم بهینه‌سازی وال انطباقی، برنامه‌ریزی غیرخطی، حداقل کردن فرآیندیکپارچه پیکینگ‌وتوزیع، هزینه تأخیر پیکینگ.

۱-مقدمه

فرآیند لجستیک درون کارخانه‌ای, همواره یکی از مباحث مورد نظر محققین در فرآیندهای تولیدی کارخانه بوده‌است که در حدود ۶۵٪ از کل هزینه های عملیاتی را شامل شده است (Chen et al., 2015). فعالیتهای انبار به عنوان یکی از اصلی‌ترین بخش های 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 اند (Ahmadi Keshavarz et al., 2021a). در این میان فرآیند دریافت مواد و قطعات از انبار, آماده‌سازی وانتقال آنها به کنارخطوط تولید, یکی از پرهزینه‌ترین فعالیت‌ها در سیستم لجستیک درون کارخانه‌ای محسوب شده است (Ardjmand et al., 2020). به منظور کاهش هزینه های انبارداری و استفاده از متدهای نوین در لجستیک درون کارخانه‌ای, پیکینگ سفارشی یکی از روش‌های مورد استفاده در سیستم لجستیک درون کارخانه‌ای بوده که بیش از ۵۵٪ از هزینه‌های عملیاتی انبار را شامل می‌شود (Grosse et al., 2017). با توجه به اینکه یکی از اهداف فرآیند لجستیک درون کارخانه‌ای همسویی کلیه فعالیت های لجستیکی می‌باشد، بنابراین، اهداف انبارها و مراکز توزیع باید با هم مطابقت داشته باشند و تعادل کافی بین هزینه ها و بهبود عملکرد را ارائه دهند (Wascher, 2016& Koch).

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 ببخشد (Ahmadi Keshavarz et al., 2021b). از آنجا که تقریباً ۵۰٪ از زمان پیک کننده صرف پردازش و جابجایی در انبار شده، مسئله کاهش هزینه از طریق بهینه سازی مسافت طی شده و از طریق بهبود عملیات ارسال به موقع سفارشات حاصل شده است (Tompkins et al., 2010). از یک منظر انتخاب سفارشات و برنامه ریزی انتخاب مسیرهای پیک بر زمان توزیع تأثیر می گذارد (Lin et al., 2016)، از منظر دیگر هرگونه تأخیر در عملیات توزیع باعث توقف خطوط تولیدی و ایجاد هزینه های ناشی از توقف، بر سیستم تولید خواهد شد. در نتیجه انتخاب مسیریابی بهینه در کاهش هزینه ها موثر است. با این حال، کلیه مسئله های مطرح شده در این زمینه تنها در حوزه انبار بررسی شده است و به یکپارچه سازی عملیات پیکینگ و توزیع در خطوط تولیدی نپرداخته‌اند(Ahmadi Keshavarz et al., 2021a).

در همین راستا پژوهش حاضر در جهت حداقل کردن هزینه ها ، مسئله جدیدی را در ارتباط با زمان بندی عملیات پیکینگ و توزیع بررسی می‌کند که هدف آن کاهش هزینه با طراحی یک سیستم یکپارچه و پویای مسیریابی با استفاده از الگوریتم وال انطباقی پیشنهادی است. در روش بهبود یافته هدف بهبود پارامترهای سیستم‌های هوشمند بهینه سازی مسیریابی وسایل نقلیه مثل کاهش هزینه‌ها وافزایش تعداد بازدید از ایستگاه های کاری است. این پژوهش با ارائه روش فرا اکتشافی وال انطباقی سعی در بهبود هرچه بیشتر سیستم مسیریابی وسیله نقلیه در زنجیره تامین با درنظرگرفتن هزینه و تعداد بازدیدها از ایستگاه های کاری توسط وسیله نقلیه مورد نظر به عنوان تابع برازندگی این الگوریتم، نسبت به پژوهش‌های مشابه داشته است. در این راستا مطالعه حاضر به دنبال پاسخ به سوال زیر می باشد:

چگونه می توان، تاثیر تصمیمات یکپارچگی را بر هزینه های ناشی از پیک سفارش و توزیع به خطوط تولیدی بررسی کرده و هزینه های مربوط به آن را کاهش داد؟

در ادامه به مبانی نظری و پیشینه پژوهش اشاره می شود. در بخش دوم به تشریح مسئله و روش تحقیق، ارائه مدل ریاضی و رویکرد حل مسئله و الگوریتم های مورد استفاده پرداخته می‌شود. در نهایت در بخش سوم به اعتبارسنجی مدل و بررسی نتایج محاسباتی به دست آمده از حل مسئله با الگوریتم های پیشنهادی ومقایسه آنها پرداخته می‌شود.

الف) مبانی نظری

پیک به عواملی از جمله جابجایی، چیدن، استقرار و بسته بندی قطعات بر اساس میزان سفارش مورد نیاز برای برآوردن برنامه تولید اشاره دارد. از آنجا که انبارها خدمات پرمشغله ای‌را به مشتریان ارائه می‌دهند ، عملکرد نامناسب انبار ممکن است منجر به هزینه های‌زیاد و عدم رضایت مشتری‌شود(Van Gils et al., 2018). ضرورت توجه به جنبه های لجستیک داخلی‌با توجه به محدودیتها و منابع در دسترس در راستای کاهش هزینه ها با هدف محقق نمودن درخواستهای مشتریان با افزایش سطح

توانایی‌سیستمهای تغذیه مواد و قطعات به کنار خط حاصل خواهند شد. در این راستا استفاده از متدهای تغذیه مواد و قطعات نوین مانند پیکینگ بسیار لازم و واجب به نظر می‌رسد (Ahmadi Keshavarz et al., 2021a). دریافت مواد و قطعات از انبار ، آماده سازی و انتقال آنها به کنار خطوط تولید در واقع یکی از مشکلترین فعالیتها در سیستم لجستیک درون کارخانه ای محسوب می شود. برخی از مطالعات گذشته به سیاست‌های جدید در مورد انبارداری، سفارش‌دهی، مسیریابی، دسته‌بندی برای‌برنامه‌ریزی‌منابع و بهینه‌سازی‌عملکرد با در نظر گرفتن تعداد پیک کنندکان پرداخته اند(Gupta & Kumar, 2012 ؛ Scholz et al., 2017). از سوی‌دیگر، بیشتر مطالعات با یک برنامه ترکیبی برای ارزیابی مجدد فعالیت های انبار، مشکلات مسیریابی، تجهیزات، انتخاب سفارش در یک انبار و طراحی‌انبار انجام شده است (Ahmadi Keshavarz et al., 2021a). علاوه بر این، برخی‌از مطالعات بر روی‌اجزای‌فرآیند انتخاب سفارش انجام شده است (Scholz et al., 2017 ؛ Zhang et al., 2017؛ Chen et al., 2015). برخی‌از مطالعات در سال‌های اخیر به دنبال کاهش زمان سفر و با یکپارچه‌سازی‌تصمیمات در مورد دسته بندی و زمان‌بندی بوده‌اند (Muter & Öncan, 2021).

ب) پیشینه پژوهش

در سطح عملیاتی، جمع آوری سفارش شامل تخصیص سفارش، دسته بندی سفارش، تعیین توالی و مسیریابی پیک‌کننده است. تحقیقات قبلی به مشکلات عملیات پیکینگ در شرایط مختلف پرداخته است (Cergibozan &Tasan, 2019). کانو و همکاران (۲۰۲۰)، یک مدل برنامه ریزی ریاضی برای مسئله دسته بندی سفارش و مسیریابی و یک مدل برای مسئله دسته بندی، توالی و مسیریابی معرفی نمودند. مطالعه ادبیات تحقیق در مورد عملیات پیکینگ نشان می‌دهد، محققان علاقه بیشتری به پرداختن همزمان مشکلات عملیات پیکینگ داشته اند. مطالعه ونگیلز و همکاران (۲۰۱۹) ، به سه مشکل اصلی برنامه ریزی چیدمان عملیاتی (دسته بندی سفارش، مسیریابی و زمان‌بندی پیک‌کننده) با هدف افزایش کارایی انتخاب سفارش، در عین اطمینان از سطح سرویس دهی بالا در انبار پرداخت وبا یک مثال واقعی مزایای عملکرد یکپارچه سازی سفارشات، مسیریابی و زمان‌بندی پیک‌کننده را نشان دادند. همچنین مطالعه کوبلر و همکاران (۲۰۲۰) به سه مشکل تخصیص سفارش، ادغام سفارشات و مسیر یابی پیک کنندگان در انبار برای انتخاب سریع سفارش اشاره کرده است. نتایج مطالعات فوق نشان داد که این روش منجر به صرفه جویی قابل توجهی در میزان مسافت پیک می‌شود. اردجمند و همکاران (۲۰۱۸)، در پژوهشی دسته بندی سفارش و مسیریابی پیک کننده با چندین پیکر را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مطالعه اردجمند و همکاران (۲۰۱۸)، نشان داد، افزایش تعداد پیک کننده ها و ظرفیت ظروف پیک تأثیر بیشتری در کاهش طول زمان دارد. در مطالعه فنگ و هو (۲۰۲۱)، دسته بندی و برنامه ریزی سفارش مشترک برای خطوط دستی و چیدن بسته بندی سبزیجات با در نظر گرفتن اثر خستگی کارگران مطالعه شده و یک رویکرد ابتکاری برای به حداقل رساندن کل زمان اتمام ایجاد شده است. جدول شماره (۱)، خلاصه مطالعات قبلی است که شامل مشکلات مربوط به عملیات پیکینگ، چیدمان انبار، روش‌های استفاده شده و اهداف می‌باشد. می‌توان مشاهده کرد که بیشتر مطالعات بر روی کل زمان و مسافت طی شده متمرکز شده‌است و دسته بندی سفارش بیشترین مشکل مطرح شده در تمام مطالعات موجود در جدول شماره (۱)، است. فقط مطالعه شولز و همکاران (۲۰۱۷)، با هدف به حداقل رساندن تاخیر کلی و مطالعه اردجمند و همکاران (۲۰۲۰) با هدف به حداقل رساندن طول زمان آماده سازی، همزمان به هر چهار مسئله دسته بندی، تخصیص، مسیریابی وتوالی پرداخته اند.

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

مطالعه	تخصیص	دسته بندی	مسیریابی	توالی	مکان	روش	هدف
موتر و اوشن (۲۰۲۱)		✓			----	جستجوی محله متغیر	طول زمان سفر– طول زمان آماده سازی
فنگ و هو (۲۰۲۱)		✓		✓	----	الگوریتم ژنتیک	کاهش زمان

اردجمند و همکاران (۲۰۲۰)	✓	✓	✓	راهرو موازی	✓	کلونی‌مورچگان الگوریتم تولید ستون	طول زمان آماده سازی
کانو و همکاران (۲۰۲۰)		✓	✓	انبار دو بعدی و سه بعدی	✓	فروشنده دوره گرد/حل دقیق	کاهش مجموع مسافت و زمان
کوبلر و همکاران (۲۰۲۰)	✓	✓	✓	انبار پویا		هیورستیک	کاهش مجموع مسافت و زمان
ونگیلز وهمکاران (۲۰۱۹)		✓	✓	راهرو دو طرفه		الگوریتم جستجوی محلی	افزایش انتخاب سفارشات
اردجمند و همکاران (۲۰۱۸)	✓	✓	✓	راهرو موازی		ازدحام ذرات کلونی‌مورچگان	طول زمان آماده سازی
واله و همکاران (۲۰۱۷)		✓	✓	راهروی موازی با راهروی میانی		روش دقیق	کاهش مجموع مسافت و زمان
شولز و همکاران (۲۰۱۷)	✓	✓	✓	راهروی موازی با راهروی میانی	✓	جستجوی محله متغیر	تأخیر کلی
پانسارت و همکاران (۲۰۱۸)			✓	راهروی موازی با چند راهرو میانی		برنامه نویسی پویا	کاهش مجموع مسافت و زمان
منندز و همکاران (۲۰۱۷ c)	✓	✓		راهرو موازی		جستجوی محله متغیر	حداقل/ حداکثر زمان بازیابی دسته‌ها
منندز و همکاران (۲۰۱۷b)		✓		راهرو موازی		جستجوی محله متغیر	کاهش مجموع مسافت و زمان
منندز و همکاران (۲۰۱۷a)		✓		راهرو موازی	✓	جستجوی محله متغیر	کاهش تأخیر
اردجمندو هو (۲۰۱۷)		✓	✓	راهرو موازی		الگوریتم ژنتیک ، مرتب سازی غیرغالب	کاهش مجموع مسافت، زمان و طول زمان آماده سازی
کورتس و همکاران (۲۰۱۷)		✓		راهرو موازی		جستجوی‌تابو	کاهش مجموع مسافت و زمان
لین وهمکاران (۲۰۱۶)		✓	✓	راهرو موازی		ازدحام ذرات	کاهش مجموع مسافت و زمان
ایسلر و همکاران (۲۰۱۶)		✓		راهرو موازی		هیورستیک	کاهش مجموع مسافت و زمان
چن و همکاران (۲۰۱۵)		✓	✓	راهرو موازی	✓	الگوریتم ژنتیک و کلونی مورچگان	کاهش تأخیر

با این وجود پیشینه پژوهش ها نشان می‌دهد فرآیند پیکینگ و تحویل به خطوط تولید بصورت یکپارچه در تحقیقات گذشته صورت نگرفته است. همچنین پژوهش‌های انجام گرفته تنها در حوزه انبار و صرفا با استفاده از الگوریتم‌های حریصانه مسیرهای مناسب را انتخاب می‌کنند. این روش‌ها به دلیل قرار گرفتن در حداقل‌های محلی تنها راه حل موجه را ارائه داده و نمی‌توانند راه کار مناسب و کارآمد را در حل مسئله ارائه دهند. در پژوهش حاضر فرایند پیک به همراه توزیع به خطوط تولیدی بصورت یک فرآیند یکپارچه دیده شده است و با استفاده از الگوریتم وال به دنبال مسیر یابی و کاهش هزینه بوده، سپس جهت بهینه سازی جواب ها با باینری کردن الگوریتم و تولید الگوریتم وال بهبود یافته سعی در پیدا کردن راه حل های کارامد تر می نماید . جواب های بدست آمده با دو الگوریتم ازدحام ذرات و گرگ خاکستری به منظور بررسی کارآمدی الگوریتم پیشنهادی مقایسه شده است.

۲- روش شناسی پژوهش

این پژوهش به بررسی یکپارچه پیک سفارش در انبار و توزیع ظروف پیک به ایستگاه های تولیدی جهت کاهش هزینه می پردازد. مرحله اول شامل عملیات پیک در انبار و مرحله دوم شامل توزیع پیک های آماده شده با کشنده (پولر) به کنار

ایستگاه های تولیدی می باشد و از داده‌های بدست آمده از مطالعه واقعی دریک شرکت خودرو سازی استفاده شده است. فرض می شود در انبار باید n سفارش بوسیله m پیک کننده جمع آوری گردد، به منظور توزیع سفارشات به ایستگاه کاری با در نظر گرفتن v کشنده(پولر)، با محدودیت ظرفیت، مسیریابی صورت می‌پذیرد. فرآیند پیک بدون توقف است است و هر سفارش پس از آماده سازی در ظرف پیک به ایستگاه مورد نظر ارسال می گردد، بطوریکه ترتیب سفارشات برای همه پیک کننده ها در انبار یکسان است. همچنین ترتیب پیک کننده‌ها نیز برای همه سفارشات یکسان است. سفارشات با تمام پیک کنندگان با ترتیب مشخص شده و یکسان پردازش می شود. مسیریابی بصورت همزمان و از سلول انبار به ایستگاه کاری انجام می‌شود.

همانطور که ذکر شد هدف بررسی یکپارچه و توأم زمانبندی پیک و توزیع است بنابراین توجه به توزیع بسیار با اهمیت است و از آنجا که مورد مطالعاتی چندین مقصدرا تحت سرویس دارد بنابراین توزیع با مسیریابی وسیله نقلیه صورت می‌گیرد. مطالعه گُلدن و همکارانش (۱۹۷۲) اولین مطالعه ای بود که نام متداول «مسئله مسیریابی وسیله نقلیه » را در عنوان خود آورد که می‌بایست مجموعه ای از مسیرها برای جریانی از وسائل نقلیه مستقر در کارخانه تولیدکننده به منظور سرویس دهی به مشتریان مختلف، تعیین شود. وسایل نقلیه محدودیت ظرفیت حمل دارند و تعداد آنها مشخص است. هدف سرویس به همه ایستگاه ها با تعداد مشخص و از پیش تعیین شده وسیله نقلیه با ارضای محدودیت ظرفیت وسیله نقلیه، عدم تخطی از فرجه زمانی با هدف کمینه کردن کل هزینه مسافت طی شده و هزینه های پیک است. به منظور مسیریابی وسایل نقلیه با ظرفیت محدود در زنجیره تامین، به صورت مناسب و کارآمد به کمک الگوریتم بهینه ساز وال انطباقی، از آنجایی که ارائه یک طرح جامع بسیار پیچیده است، اجبار بر آن است که محدودیت هایی روی تحقیق اعمال شود. این محدودیت ها به لحاظ حل مسئله به صورت مناسب روی متغیرهای تحقیق اعمال می شود، که عبارت اند از:

- تنها یک ماشین در فرآیند مسیریابی در زنجیره تامین حضور خواهد داشت
- ماشین از نوع کشنده(پولر) و با ظرفیت بار ۳ تن از یک نوع محصول است.
- ماشین در طول مسیر نیازی به سوخت گیری نخواهد داشت.
- در فرآیند توزیع یک شخص راننده حضور خواهند داشت.
- به دلیل اولویت تولید، مدت زمان توقف در هر ایستگاه کاری، بر اساس نوع ایستگاه کاری تعیین می‌شود.
- مدت زمان حضور به منظور تخلیه و تحویل کالا در ایستگاه کاری مورد نظر تنها ۱۵ دقیقه خواهد بود.
- ساعات کاری برای توزیع از ساعت ۸ صبح تا ۱۴ عصر در نظر گرفته خواهد شد.

VRP به کار گرفته شده از نوع CVRP یا مسیریابی وسیله نقلیه با ظرفیت محدود است. در مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با محدودیت ظرفیت، وسیله نقلیه مورد نظر کالایی را به یک تعدای مشتری معلوم و با نیازهای مشخص تحویل می‌دهد. حداقل هزینه مسیر وسایل نقلیه که مبدا و مقصد آنها دپوی مشخصی است، هدف این گونه بهینه سازی است. در چارچوب مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با محدودیت ظرفیت، دو دسته ی اصلی از فعالیتهای مسیریابی وجود دارد:

۱. فعالیت یگانه مسئله مسیریابی با محدودیت ظرفیت که فقط جمع آوری و تحویل کالا را مدنظر دارد.

۲. فعالیت چندگانه ای که هم به جمع آوری کالا و هم به تحویل آن توجه می کند.

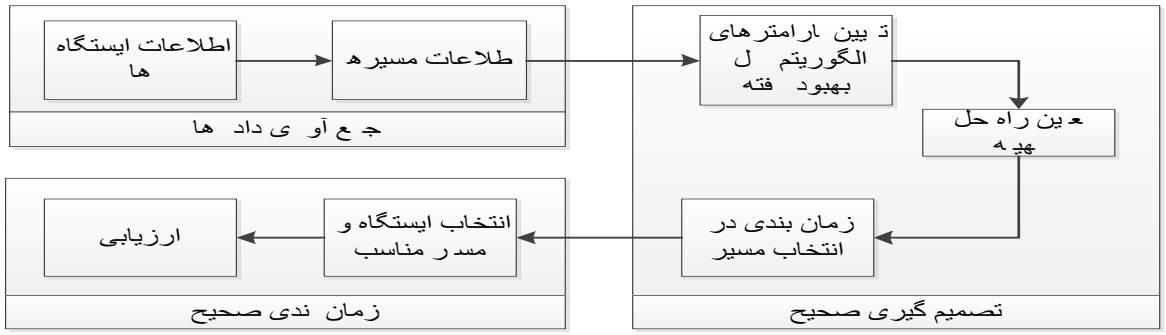
دراین تحقیق مسیریابی وسیله نقلیه با محدودیت ظرفیت هم درزمان جمع آوری کالا و هم در زمان تحویل کالا صورت خواهد گرفت. برای بهبود سیستم های مسیریابی وسیله نقلیه در زنجیره تامین به منظور کاهش هزینه ها، افزایش تعداد ملاقات ها سه گام وجود دارد:

گام ۱ : جمع آوری اطلاعات

گام ۲ : تصمیم گیری صحیح

گام ۳ :زمان بندی صحیح

روندنمای روش پیشنهادی در شکل شماره(۱) نشان داده شده است. در ادامه تمامی مراحل تشریح خواهد شد:



شکل شماره (۱): روند نمای روش تحقیق در زمان بندی در سیستم های مسیریابی وسیله نقلیه در زنجیره تامین

در گام نخست اطلاعات موجود در شبکه توسط اپراتور، وسیله نقلیه مورد نظر و یا یک پردازنده مرکزی جمع آوری می شود. این اطلاعات شامل موقعیت ایستگاه های کاری، موقعیت وسیله نقلیه مورد نظر، اطلاعات مسیر و راه‌ها است. با جمع آوری اطلاعات اولیه در واقع نیاز سنجی به برنامه ریزی صحیح انجام می‌شود. بر اساس اطلاعات جمع آوری شده، گام دوم، تصمیم گیری برای محاسبه بهترین زمان بندی ممکن صورت می گیرد. در نهایت در آخرین مرحله تصمیم نهایی برای زمان بندی مناسب صورت می‌گیرد. جدول شماره (۲) اطلاعات جمع آوری شده به منظور نیاز سنجی و بهبود زمان بندی فرآیند ملاقات ایستگاه کاری‌ها توسط وسیله نقلیه مورد نظر را نشان می‌دهد. زمان بندی ملاقات ایستگاه های کاری به کمک الگوریتم بهینه ساز وال انطباقی پیشنهادی بر اساس این اطلاعات صورت می‌گیرد. برای زمان بندی مناسب و کارآمد و انتخاب مسیر مناسب، اطلاعات جدول شماره(۲) در اختیار الگوریتم وال پیشنهادی قرار می گیرد. این اطلاعات به صورت یک بردار ذخیره خواهد شد. تمامی این اطلاعات اجزای یک ماتریس را تشکیل می‌دهند.

جدول شماره (۲). اطلاعات جمع آوری شده از شبکه

ردیف	نوع داده جمع آوری شده
۱	تعداد ایستگاه هایی که در روز باید ملاقات شوند
۲	تعداد وسیله نقلیه مورد نظر
۳	اطلاعات مسیرها
۴	زمان یک روز کاری
۵	زمان استراحت در بین دو بازدید توسط پیکرها
۶	حداکثر زمان بازدید توسط وسیله نقلیه مورد نظر
۷	اطلاعات مسیرها

شکل شماره (۲) اطلاعات جمع آوری شده در محیط

Field	Value
I	10
J	3
r	[12,23,19,22,...
c	[66,67,73]
xmin	0
xmax	200
ymin	0
ymax	100
x	[34,191,157,1...

اطلاعات جمع آوری شده بر اساس مستندات موجود بر مبنای اطلاعات واقعی شرکت می باشد . از سوی دیگر جهت اطلاعات شرایط کاری ،ساعات توزیع و ظرفیت ظروف حمل از داده های واقعی در محیط مورد مطالعه استفاده شده است. شکل شماره (۲) اطلاعات جمع آوری در محیط را نشان می‌دهد. در این شکل I تعداد ایستگاه کاریها، J تعداد مسیرهای موجود، x, r,c, موقعیت مکانی ایستگاه های کاری است. اطلاعات محیط مورد نظر و اطلاعات ایستگاه های کاری در غالب ماتریس نشان داده شده است.

الف) مدل ریاضی

مسئله پیک سفارشی و توزیع، بصورت برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح مدل شده است که با پارامترها و متغیرهای تعریف شده در ذیل ارائه می شود.

n : تعداد سفارشات در انبار،

m : تعداد پیک کنندگان در انبار

c : تعداد ایستگاه های کنار خط

v: تعداد کشنده برای توزیع سفارشات ایستگاه های کاری

r : شاخص پیک کنندگان (r=1,2…,m)

i : شاخص سفارشات (i=1,2…,n)

p: شاخص موقعیت سفارش (p=1,2…,n)

j,l: شاخص ایستگاه های کاری (j, l :1,2,….,c)

k : شاخص کشنده ها (k=1, 2… v)

dd_k: فرجه زمانی برای تحویل پیک های آماده شده به کشنده ها(پولرها)

du : موعد تحویل برای اتمام زمان پیک

cd: هزینه جابجایی به ازای واحد مسافت

cp: هزینه تخطی از موعد تحویل در اتمام فرآیند پیک

v_k: سرعت متوسط کشنده

t_{ri} : زمان پردازش سفارش i توسط پیک کننده r

d_{lj} : فاصله (مسافت) بین ایستگاه کاری j و ایستگاه l

e_{ij}: درخواست ایستگاه j از سفارش i

q_k :ظرفیت کشنده

M: عدد بزرگ

z_{ij}: متغیر صفر و یک است که وقتی مقدار یک می گیرد که سفارش i در موقعیت j در ترتیب پیک قرار گیرد.

brj: زمان شروع سفارشی که در موقعیت بوسیله پیک کنندهٔ r جمع آوری می‌گردد.

x_{lj}^k : متغیر صفر و یک است و وقتی مقدار یک می‌گیرد که ایستگاه کاری l بعد از ایستگاه کاری j با کشنده سرویس‌دهی شود.

u_j: نشانگر حجم جریان ارسالی انبار(به منظور حذف زیر تور)

r_k : زمان در دسترس بودن کشنده برای شروع عملیات توزیع به ایستگاه های کاری

c_{max}: بیشینه زمان تکمیل سفارشات که در حقیقت زمان تکمیل سفارش در آخرین موقعیت انبار توسط آخرین پیک کننده است.

y: متغیری صفر و یک است که در شرایطی که بیشینه زمان تکمیل پیک از موعد تحویل بیشتر باشد مقدار یک مـی گیـرد. لـذا مدل پیشنهادی بصورت زیر می باشد:

Min

$$cd\sum_{k=1}^{v}\sum_{l=0}^{c}\sum_{j=0}^{c} d_{lj}\, x_{lj}^{k} + cp.y(c_{max} - du)$$ رابطه (۱)

با توجه به وابستگی و تأثیرگذاری زمان اتمام عملیات پیک بر زمان آغاز توزیع، همچنین هزینه بر بودن تأخیر در آماده‌سازی پیک، رابطه(۱) به عنوان تابع هدف مسئله یکپارچه پیکینگ و توزیع به کاهش هزینه های تأخیر و هزینه‌های توزیع پرداخته است.

$$\sum_{p=1}^{n} z_{ip} = 1 \quad ; \quad 1 \le i \le n$$ رابطه (۲)

$$\sum_{i=1}^{n} z_{ip} = 1 \quad ; \quad 1 \le p \le n$$ رابطه (۳)

محدودیت های (۲) و (۳) ، تضمین می‌کنند که به هر سفارش یک پیکر و به هر پیکر نیز یک سفارش تخصیص داده شود.

$$b_{1p} + \sum_{i=1}^{n} t_{1i}\, z_{ip} = b_{1,p+1} \quad ; \quad 1 \le p \le n-1$$ رابطه (۴)

$$b_{11} = 0$$ رابطه (۵)

$$b_{r1} + \sum_{i=1}^{n} t_{ri}\, z_{i1} = b_{r+1,1} \quad ; \quad 1 \le r \le m-1$$ رابطه (۶)

محدودیتهای (۴) و(۵)و (۶)، بیان می‌کند که هیچ زمان بیکاری برای پیک‌کننده۱ ، نیست و سفارش ۱ ، توسط تمام پیک-کنندگان بدون تأخیر آماده می‌شود.

رابطه (۷) $$b_{rp} + \sum_{i=1}^{n} t_{ri}\, z_{ip} \le b_{r+1,p} \quad ; \quad 1 \le r \le m-1,\ 2 \le p \le n$$

محدودیت (۷) بیان می‌کند که زمان شروع هر سفارش توسط پیک‌کننده r+1 زودتر از زمان اتمام توسط پیک‌کننده r نیست.

رابطه (۸) $$b_{rp} + \sum_{i=1}^{n} t_{ri}\, z_{ip} \le b_{r,p+1} \; ; \qquad 2 \le r \le m \ \text{ و } \qquad 1 \le p \le n-1, \quad 1 \le p \le n$$

محدودیت (۸) بیان می‌کند، سفارشی که در ترتیب پیک در موقعیت j+1 بعد از j باشد،زمانی توسط پیکر r شروع می شود که سفارش موقعیت j توسط پیکر r تمام شده باشد. در حقیقت محدودیت فوق این نکته را الزام می کند که در ارتباط با یک سفارش، زمان شروع آن توسط پیک کننده بعدی منوط به اتمام آماده‌سازی همان سفارش، توسط پیک کننده قبلی است و در ارتباط با زمان شروع سفارش های متوالی توسط یک پیک‌کننده، زمان شروع سفارش بعدی منوط به اتمام آماده‌سازی پیک قبلی توسط همان پیک‌کننده است .

رابطه (۹) $$c_{max} = b_{mn} + \sum_{i=1}^{n} t_{mi}\, z_{in}$$

محدودیت(۹) مقدار بیشینه زمان تکمیل سفارش ها را محاسبه می‌کند.

رابطه (۱۰) $$\sum_{k=1}^{v}\sum_{l=1}^{c} x_{jl}^{k} = 1 \qquad ; \qquad j = 1,2,\dots\dots,c$$

رابطه (۱۱) $$\sum_{k=1}^{v}\sum_{j=1}^{c} x_{jl}^{k} = 1 \qquad ; \qquad l = 1,2,\dots\dots,c$$

محدودیت (۱۰) و (۱۱) تضمین می‌کند که هر ایستگاه کاری فقط از یک کشنده سرویس می‌گیرد.

رابطه (۱۲) $$\sum_{l=0}^{c} x_{lh}^{k} - \sum_{j=0}^{c} x_{hj}^{k} = 0 \; ; \quad h = 1,2,\dots\dots,c \ \text{ و } \ k = 1,2,\dots\dots,v$$

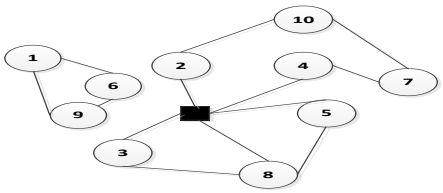
محدودیت (۱۲) بیان می‌کند اگر یک کشنده به ایستگاه کاری وارد شود، بایستی از آن خارج شود تا پیوستگی مسیرها برقرار شود.

رابطه (۱۳) $$\sum_{j=1}^{c} x_{0j}^{k} = 1 \qquad ; \qquad k = 1,2,\dots\dots,v$$

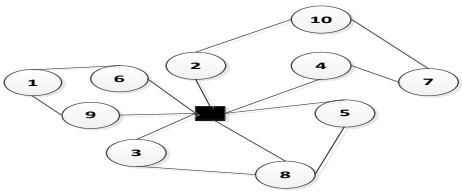
محدودیت (۱۳) تضمین می‌کند که از هر کشنده حتماً یکبار برای سرویس‌دهی استفاده شود.

رابطه (۱۴) $$u_j + 1 \le u_l + c\left(1 - x_{jl}^{k}\right) \; ; \; j = 1,2,\dots\dots,c \;\; k = 1,2,\dots\dots,v \quad l = 1,2,\dots\dots,c$$

محدودیت (۱۴)، حذف زیرتور است که از ایجاد جوابی که هم بند نباشد، جلوگیری می‌کند. شکل شماره (۳) ، به عنوان جواب غیر قابل قبول و شکل شماره (۴)، به عنوان جواب قابل قبول به تصویرکشیده شده است.



شکل شماره(۳): نمونه ای از حل غیرقابل قبول



شکل شماره(۴): نمونه ای از حل قابل قبول

رابطه (۱۵) $$\sum_{k=i}^{v}\sum_{j=1}^{c} x_{0j}^{k} = v$$

$$\sum_{k=i}^{v}\sum_{j=1}^{c} x_{l0}^{k} = v$$ رابطه (۱۶)

محدودیت (۱۵) و(۱۶) تضمین می‌کند که دقیقاً به تعداد v کشنده برای انتقال پیک های آماده استفاده شود.

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=0}^{c}\sum_{l=0}^{c} e_{lj}\, x_{lj}^{k} \le q^{k} \quad ; \quad k = 1,2,\dots\dots,v$$ رابطه (۱۷)

محدودیت (۱۷) محدودیت تضمین ظرفیت کشنده در انتقال پیک های آماده را تضمین می‌کند.

$$r^{k} \ge C_{max} \qquad k = 1,2,\dots\dots,v$$ رابطه (۱۸)

محدودیت(۱۸) زمان شروع سرویس‌دهی کشنده و آغاز توزیع را بیان می‌کند.

$$r^{k} + \sum_{l=1}^{c}\sum_{j=0}^{c} {}^{d_{ij}}/_{v_k}\; x_{jl}^{k} \le dd_{k} \quad ; \quad k = 1,2,\dots\dots,v$$ رابطه (۱۹)

محدودیت(۱۹) تضمین می‌کند که کل زمان سرویس‌دهی کشنده در هر تور با توجه به زمان شروع سرویس‌دهی توسط کشنده ها و مجموع فاصله زمانی طی شده در سرویس به ایستگاه های کاری از فرجه زمانی تعیین شده تخطی نکند. محدودیت(۱۸) و (۱۹) ارتباط بین زمان بندی و آماده‌سازی پیک و مسیریابی را یکپارچه می‌کند.

$$c_{max} \ge du - M(1-y)$$ رابطه (۲۰)

$$\mathrm{c_{max}} \le \mathrm{du} + \mathrm{M_y}$$ رابطه (۲۱)

محدودیت(۲۰) و (۲۱) به تخصیص مقدارمتغیر y با توجه به تخطی بیشینه زمان تکمیل پیک‌ها از موعد تحویل و تضمین این محدودیت به ترتیب به مقادیر یک و صفر می پردازد.

ب) رویکرد حل مسئله

جواب بهینه مسئله یکپارچه پیکینگ و تحویل به خطوط تولیدی (مسیریابی و توزیع) منوط به حل همزمان آنهاست. جیسمار و همکاران (۲۰۰۸) در مسئله زمان بندی تولید و توزیع نشان دادند که پیچیدگی مسئله از نوع NP-Hard می‌باشد و باتوجه به اینکه پژوهش حاضر تعمیم یافته این دسته از مسائل می‌باشد، یافتن جواب بهینه در زمان مناسب برای مسئله غیر محتمل بوده و روش های دقیق معمولاً به اندازه کافی سریع نیستند(Sholze et al., 2017). بنابراین حل مسئله نیازمند به استفاده از رویکردهای ابتکاری است. در این پژوهش به منظور تحلیل یافته ها ، جهت بررسی مدل ابتدا مسئله در مقیاس کوچک با نرم افزار GAMZ حل شده و سپس در مقیاس بزرگ با الگوریتم وال بررسی شده است. جهت بهبود جواب بهینه مسئله مسیریابی نسخه بهبود یافته وال طراحی و اجرا شده است تا راه حل های بدست آمده کارآمد تر باشند. به منظور ارزیابی الگوریتم وال انطباقی و بررسی کارآمدی الگوریتم پیشنهاد شده جواب های بدست آمده در مسئله بزرگ با دو الگوریتم فرااکتشافی ازدحام ذرات و گرگ خاکستری مقایسه شده است.

ج) الگوریتم وال

الگوریتم بهینه سازی وال اولین بار توسط میر جلیلی در سال ۲۰۱۶ مطرح شد . الگوریتم وال با مجموعه ای از راه حل های تصادفی شروع به کار می‌کند. در هر تکرار، عوامل جستجو موقعیت خود را با استفاده از سه عملگر به نام های محاصره طعمه، روش حمله حباب، شبکه (فاز استخراج) و جستجو برای طعمه (فاز اکتشاف) به روزرسانی می‌کنند. در محاصره طعمه، وال‌های گوژپشت طعمه را شناسایی کرده و آن را محاصره می‌کنند. الگوریتم وال فرض می‌کند که بهترین راه حل در حال حاضر، طعمه است. بعد از اینکه بهترین عامل جستجو شناسایی شد، سایر عوامل جستجو مکان خود را نسبت به بهترین عامل جستجو به روزرسانی می کنند. این رفتار به صورت زیر بیان می‌شود.

$$D = |C.X^{*}(t) - X(t)|$$ رابطه (۲۲)

$$X(t+1) = X^{*}(t) - A.D$$ رابطه (۲۳)

در رابطه (۱)و (۲) A و C تکرار فعلی هستند که در معادله وجود دارد. همچنین بردارهای ضریب $X^*(t)$ بردار موقعیتی و بهترین راه حل است. X نشانگر بردار موقعیت، A راه حل، مقدار قدر مطلق است.

بردارهای A و C به شرح زیر محاسبه می شوند:

$$\vec{A} = 2\vec{a}.\vec{r} - \vec{a}$$ رابطه (۲۴)

$$\vec{C} = 2.\vec{r}$$ رابطه (۲۵)

که در آن اجزای a به طور خطی از ۲ به ۰ در طول تکرار کاهش می یابد و r یک بردار تصادفی در بازه صفر و یک یعنی [۰ ۱] است. به روز رسانی موقعیت به صورت زیر انجام خواهد شد.

موقعیت به روزرسانی مارپیچ

معادله مارپیچی بین موقعیت نهنگ و موقعیت طعمه برای تقلید از حرکت مارپیچ شکل نهنگ کوهان دار به شرح زیر است:

$$X(t+1) = \begin{cases} X^*(t) - A.D & if\ p < 0.5 \\ D'.e^{bl}.\cos(2\pi l) + X^*(t) & if\ p \geq 0.5 \end{cases}$$ رابطه (۲۶)

که $D = |X^*(t) - X(t)|$ است و فاصله نهنگ i ام به طعمه (بهترین راه حل به دست آمده تاکنون) را نشان می دهد. b یک عدد ثابت برای تعریف شکل مارپیچی لگاریتمی است و l یک عدد تصادفی در بازه [۰ ۱] است.

جستجو برای طعمه (فاز اکتشاف)

رویکرد مشابه بر اساس تنوع بردار A می تواند برای جستجوی طعمه (اکتشاف) مورداستفاده قرار گیرد. در این معادله،X_rand بردار موقعیت تصادفی انتخاب شده از جمعیت جاری است و بردار $|\vec{A}|$ کوچکتر از یک است. عامل جستجو با تأکید بر اکتشاف و اجازه دادن به الگوریتم WOA باعث انجام یک جستجوی کلی می شود. مدل ریاضی به شرح زیر است:

$$\vec{D} = |\overrightarrow{C.X_{rand}} - \vec{X}|$$ رابطه (۲۷)

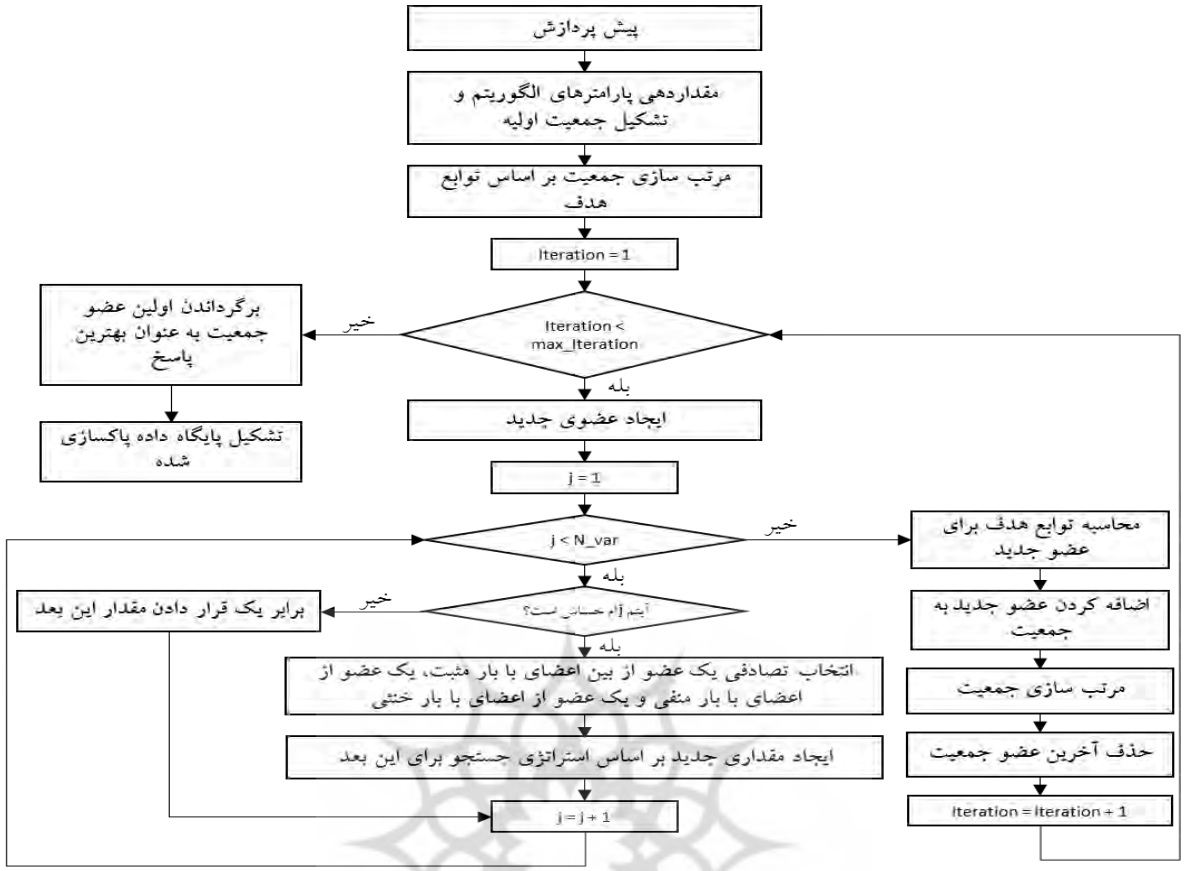
$$\vec{X}(t+1) = \overrightarrow{X_{rand}} - \vec{A} \cdot \vec{D}$$ رابطه (۲۸)

د) روش پیشنهادی نسخه وال بهبود یافته

جهت بهبود جواب های بدست آمده الگوریتم وال با باینری کردن الگوریتم وال سعی در بهینه سازی جوابها شده است. برای طراحی نسخه باینری الگوریتم وال، برخی از مفاهیم اولیه الگوریتم وال تغییر می‌کند. به دلیل این که در فضای باینری یعنی مقادیر ۰و۱ قرار است جستجو انجام بشود، حرکت عامل‌ها یا همان وال‌ها به صورت ۰ ویا ۱ تغییر خواهد کرد. شکل شماره (۵) الگوریتم وال بهبود یافته را نشان می‌دهد. تفاوت اصلی بین نسخه الگوریتم بهینه ساز وال اصلی و نسخه باینری آن مکانیزم بروزرسانی موقعیت وال‌ها است. همچنین مقادیر فقط ۰ و یک هستند در Binary WHO، مقدار با احتمال مبتنی بر حرکت مارپیچ وال به روز رسانی می‌شود. برای باینری کردن یک تابع انتقال مناسب برای نگاشت مقادیر حرکت مارپیچ وال به مقادیر باینری و به روزرسانی آن نیاز است. این تابع انتقال باعث می‌شود که وال‌ها در یک فضای باینری حرکت کنند. یک تابع مناسب به صورت زیر خواهد بود.

$$C_{step} = \frac{1}{1 + e^{-10\,(A \times D - 0.5)}}$$ رابطه (۲۹)

که در این رابطه D فاصله بین موقعیت شکار و وال است. C_{step} هم به کمک تابع سیگموید محاسبه خواهد شد. به عبارت دیگر رابطه (۲۹) نشان دهنده تابع سیگموید است.



شکل شماره (۵): الگوریتم وال بهبود یافته

ه) مسیریابی بهینه با الگوریتم وال بهبود یافته (الگوریتم پیشنهادی)

در ابتدا وال‌ها با پارامترهای اختیاری شروع می‌کنند، یعنی شروع کاملا تصادفی خواهند داشت. سایر پارامترهای الگوریتم هم به صورت تصادفی مقدار دهی خواهد شد. پس از این که تابع برازندگی برای هر مسیر محاسبه شد، بهترین مسیر انتخاب خواهد شد و با X^* نشان داده می‌شود. هر وال به عنوان یک راه حل بهینه در نظر گرفته می‌شود که البته می‌تواند به سمت خروجی بهینه و حالت بهینه کلی حرکت کند. به عبارت دیگر هر وال یک کاندید برای حذف یک مسیر است. فرایند کلی تولید و ایجاد قوانین و حذف آن‌ها بر اساس فرایند بهینه سازی وال انطباقی باینری یعنی (حلقه زدن به دور شکار، حمله حباب و جستجو برای شکار صورت می‌گیرد.) در ادامه این فرآیند به صورت کامل تشریح خواهد شد. ایده اصلی الگوریتم پیشنهادی در الویت بندی مسیرها به منظور انتخاب کردن آن است. در شروع الگوریتم بهینه ساز، بردار مسیرهای مورد نظر برای انتخاب کاندید شده و در آرایه‌ای به نام X' قرار می‌گیرد. این نقاط همان نقاط شکار برای وال‌ها هستند. در آرایه X'، مسیر x_i که توسط وال‌ها انتخاب می‌شود، دارای بیشترین احتمال برای انتخاب است. به عبارت دیگر برای شروع الگوریتم انطباقی وال باینری، نقاط اولیه بر اساس بردار مسیرهای به دست آمده تعیین می‌شوند. با انتخاب هر مسیر برای انتخاب شدن x_i همه مسیرهایی که محدودیت مورد نظر برای حمله به شکار توسط الگوریتم را برآورده نکنند از آرایه X' حذف می‌شوند. می‌توان این الگوریتم را به صورت زیر شرح داد:

انتخاب K مسیر برای انتخاب کردن به کمک الگوریتم بهینه‌سازی انطباقی وال باینری به شرح زیر است:

ورودی الگوریتم: آرایه X حاوی مسیرهای انتخاب آوری شده از ماتریس مسیر، و ایجاد بردار با عناصر داده‌ای با K بعد، آرایه X' برای نشان دادن مسیرهای کاندید، $C = [0\ 2]$ و $A = [-2\ 2]$ و $\vec{a} = [2-]$

خروجی الگوریتم: تعداد K مسیر الویت بندی شده برای انتخاب کردن که مجموعه C را تشکیل می‌دهند. روش انجام کار در قالب پنج گام پیش رو قابل اجراست:

گام اول: مجموعه بردار X که در آن تمامی مسیرهای ماتریس مسیر وجود دارد، محاسبه می‌شود.

گام دوم: در x_i های باقی مانده در مجموعه X'، بردار x_i با شرایط روابط تعیین الویت بندی برای انتخاب نهایی شکار توسط وال‌ها انتخاب می‌شود.

گام سوم: بردار x_i و همه بردارهای موجود در X از آرایه X' حذف می‌شوند. آرایه X' بصورت $X' \leftarrow X' - \{x_i\} - \{PrimMatrix\}$ به روز می‌شود.

گام چهارم: مسیر x_i انتخاب شده در گام دوم به مجموعه مسیرهای دارای الویت به منظور انتخاب شدن اضافه می‌شود. همچنین به روز رسانی بردار ماتریس X انجام می‌شود. در صورتی که تعداد اعضای مجموعه الویت‌کوچکتر از K باشد، اجرای الگوریتم با پرش به گام دوم ادامه می‌یابد، در غیر این‌صورت الگوریتم الویت بندی به پایان خواهد رسید.

شبه کد روش پیشنهادی در انتخاب مسیر در شکل شماره(۶) نشان داده شده است.

۱	جمع آوری داده‌های مربوط به ماتریس مسیر
۲	مقادیر اولیه الگوریتم بهینه‌ساز وال انطباقی باینری را تعیین کن.[1 0]=C [1 , 1-]=A
۳	تعیین تعداد وال‌های اولیه
۷	// شرط خاتمه براساس تعداد تکرار الگوریتم
۸	تعیین z شرط خاتمه الگوریتم
۹	تا پایان و رسیدن به شرط خاتمه
۱۰	تعیین نقاط اولیه ی شکار تعیین گردد.
۱۱	موقعیت وال‌ها براساس ۶ و ۷ بروزرسانی شود.
۱۲	تعیین نقطه تعیین شده به عنوان الویت موجود
۱۳	تکرار الگوریتم تا تعیین تمام الویت‌ها برای مسیرهای مهم تعیین شده توسط کاربر
۱۴	برو به ۱۰ و تعیین الویت بعدی
۱۵	بررسی شرط خاتمه و پایان هر تکرار از وال‌های موجود
۱۶	تعیین تمام الویت‌ها برای انتخاب کردن
۱۷	خاتمه

شکل شماره (۶): شبه‌کد روش پیشنهادی در انتخاب مسیر

و) تابع برازش

تابع هزینه به کار گرفته شده در این تحقیق به گونه ای است که تعداد حداکثر ایستگاه کاری مورد نظر در حداقل زمان ممکن بازدید شوند. شبه کد تابع هزینه در شکل شماره (۷) نشان داده شده است.

```
[z, sol]=MyCost(q,model)
sol=ParseSolution(q,model);
eta=model.eta;
z1=eta*sol.TotalD+(1-eta)*sol.MaxD;
Ceta=10;
z=z1*(1+beta*sol.MeanCV);
```

شکل شماره (۷): تابع هزینه به کار گرفته شده در تحقیق

در این تابع هزینه بر اساس پارامترهای مدل، هزینه مورد نظر تعیین شده است. MyCost هزینه مورد نظر، ParseSolution راه حل های ارائه شده توسط الگوریتم وال پیشنهادی و Ceta پارامتری است که مقدار ثابت دارد. این مقدار در شبیه سازی ها ۰/۵ در نظر گرفته شده است. Z هزینه نهایی و درنهایت sol راه حل انتخابی، که همان مسیر مورد نظر است، خواهد بود. هدف این شبه کد این است که هزینه‌های مربوطه به انتخاب را حداقل کند.

ز) انتخاب بهترین راه حل

پس از محاسبه برازندگی برای هر راه حل برای بدست آمدن بهترین جواب باید مقادیر بدست آمده را با یکدیگر مقایسه گردد. همانگونه که بیان شد معمولا اولین راه حل ایجاد شده در جمعیت هیچ مقدار برازندگی ندارد و در مقایسه‌ها وارد نخواهد شد. برای انتخاب بهترین راه حل ابتدا راه حل‌ها بر اساس مقدار صعودی (از کمترین به بیشترین) تابع برازندگی اول مرتب خواهند شد

اگر مقدار تابع برازندگی اول برای دو راه حل برابر بود بر اساس تابع برازندگی دوم در جایگاه خود قرار می‌گیرند همچنین اگر مقدار برازندگی تابع دوم نیز برابر باشد از مقدار تابع برازندگی دوم برای مشخص شدن جایگاه جواب استفاده خواهد شد. که جایگاه اولیه که دارای کمترین مقدار برازندگی است به عنوان بهترین راه حل در نظر گرفته خواهد شد.

۳-نتایج و بحث

در این بخش، با توجه به معیار های ارزیابی مطالعه حاضر، داده های جمع آوری شده در مقیاس کوچک و بزرگ مورد بررسی قرار گرفتند. معیارهای ارزیابی مورد نظر در این تحقیق، کاهش هزینه‌ها و نیز تعداد ملاقات‌های انجام شده در طول روز توسط یک وسیله نقلیه است. فرض بر این است که وسیله نقلیه برای هر ایستگاه کاری حداقل ۱۵ دقیقه زمان رسیدگی نیاز دارد و همچنین در بین هر دو ایستگاه کاری ۱۵ دقیقه استراحت خواهد کرد. زمان کاری از ساعت ۸ صبح الی ساعت ۱۴ خواهد بود.

الف) مسئله کوچک

در این بخش، مدل ریاضی ارائه شده به منظور ارزیابی صحت مدل با استفاده از روش نیوتن بر روی داده هایی در مقیاس کوچک ، اجرا و حل شده است. این کار به وسیله نرم افزارGAMS 28.1.2 بر روی رایانه ای با مشخصات Intel Core i7 5500 U 2.40 GHz and 8GB RAMDDR3 under Win Ten انجام گرفت. نتایج بدست آمده عددی جدول شماره (۳) مسائل مسیریابی بهینه به کمک نرم افزار گمز را نشان می‌دهد. در مساله مسیریابی تعریف شده در این مقاله هدف ارائه خدمت به تعداد مشتری مورد نظر در هر روز کاری است. تعداد مشتریان در طول یک روز ثابت است. ممکن است بر اساس شرایط مسئله تعداد مشتریان تغییر کند. فرضیات موجود برای حل مسئله با الگوریتم وال بهبود یافته نیز برای حل دقیق مسئله لحاظ شده است. در جدول شماره (۳)، مسائل بهینه سازی با اندازه های متفاوت به طور تصادفی تولید شده اند. پاسخ های نرم افزار گمز جهت رسیدن به جواب در کمتر از ۱۵ دقیقه مدنظر بوده است و در صورت عدم توانایی نرم افزار برای حل در زمان کمتر میزان تابع هدف ارائه شده در دقیقه ۱۵ ام ارائه شده است.

جدول شماره (۳): نتایج حل مسئله کوچک

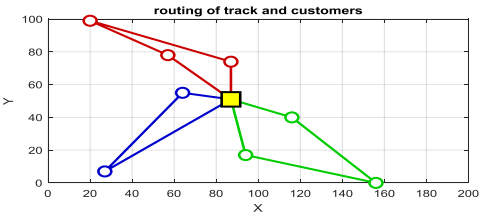
ردیف	تعداد ایستگاه ها	تعداد روز کاری	تعداد کشنده	هزینه محاسبه شده با گمز	هزینه محاسبه شده با روش پیشنهادی
۱	۸	۱	۱	۲۴۱	۲۲۰
۲	۱۰	۱	۱	۲۹۸	۲۸۰
۳	۲۰	۲	۱	۳۷۸	۳۶۵
۴	۳۰	۳	۱	۳۹۶	۳۷۵
۵	۵۰	۵	۱	۴۱۱	۳۹۱
۶	۶۰	۵	۱	۴۳۵	۴۱۷

ب) مسئله بزرگ

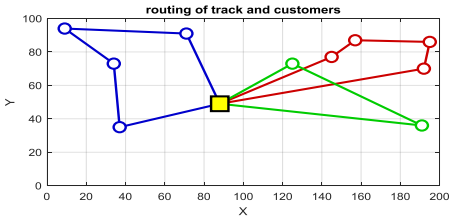
در این بخش با توجه به اطلاعات بدست آمده از بخش جمع آوری اطلاعات ،مسیرهای انتخاب شده برای وسیله نقلیه بر اساس کاهش هزینه‌ها در الگوریتم وال انطباقی پیشنهاد شده مورد بررسی قرار خواهد گرفت. جواب بهینه بدست آمده از روش پیشنهادی مورد نظر جهت بررسی و ارزیابی روش با سناریوهای موجود در الگوریتم وال، الگوریتم ازدحام ذرات و نیز گرگ خاکستری، نیز مقایسه شده است.الگوریتم های مورد بررسی با ۵۰۰ تکرار در محیط برنامهMatlab R2021a(9.10.0.1602886) کدنویسی شده است.

شکل شماره (۸) مسیرهای بدست آمده مناسب در مسیریابی وسیله نقلیه از ۸ ایستگاه کاری در یک روز کاری را نشان می‌دهد. در نمودارهای ارائه شده، محورهای افقی و عمودی نشان دهنده طول و عرض منطقه مورد نظر است. همچنین مربع نشان دهنده وسیله نقلیه، دایره‌ها نیز نشان دهنده مکان‌هایی هستند که خودرو مورد نظر باید تحویل بار داشته باشد. شکل شماره (۹) مسیر انتخاب شده برای ۱۰ ایستگاه کاری، شکل شماره (۱۰) مسیرهای انتخاب شده برای ۲۰ ایستگاه کاری ،شکل شماره (۱۱) مسیر انتخاب شده برای ۳۰ ایستگاه کاری ،شکل شماره(۱۲) مسیر انتخاب شده برای ۵۰ ایستگاه کاری و شکل شماره(۱۳) مسیر انتخاب شده برای ۶۰ ایستگاه کاری را نشان می دهد. همچنین شکل شماره(۱۴) حداقل شدن هزینه‌های ۸ ایستگاه کاری در

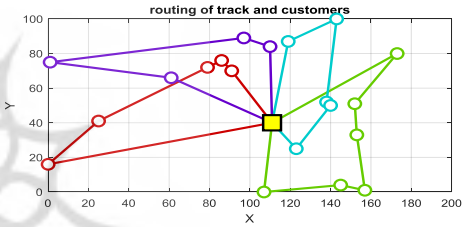
یک روز را نشان می‌دهد. شکل شماره (۱۵) حداقل شدن هزینه‌ها را برای ۱۰ ایستگاه کاری در یک روز نشان می‌دهد. شکل شماره (۱۶) هزینه‌های بهینه و حداقل شده را در۲۰ ایستگاه و برای دو روز کاری نشان می‌دهد. شکل شماره(۱۷) هزینه‌های حداقل شده را برای سه روز و ۳۰ ایستگاه کاری نشان می‌دهد. شکل شماره (۱۸) هزینه‌های حداقل شده را برای شده برای ۵۰ ایستگاه در پنج روز کاری نشان می‌دهد و شکل شماره (۱۹) هزینه‌های حداقل شده را برای۶۰ ایستگاه درپنج روز کاری نشان می‌دهد.



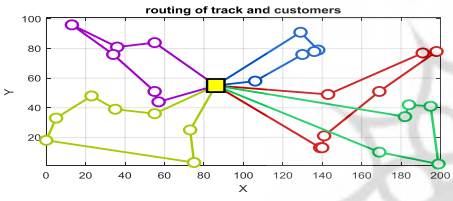
شکل شماره (۸): مسیرهای تعیین شده برای وسیله نقلیه با ۸ ایستگاه کاری در یک روزدر روش پیشنهادی



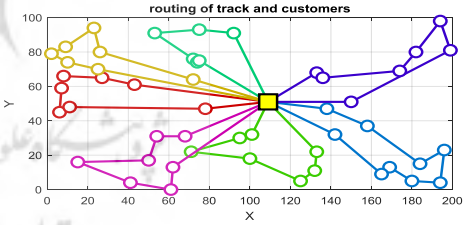
شکل شماره (۹): مسیرهای تعیین شده برای وسیله نقلیه با ۱۰ ایستگاه کاری در یک روز



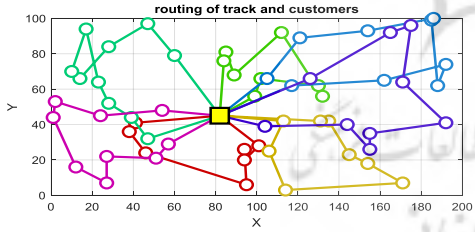
شکل شماره (۱۰): مسیرهای تعیین شده برای وسیله نقلیه با ۲۰ ایستگاه کاری در دو روز



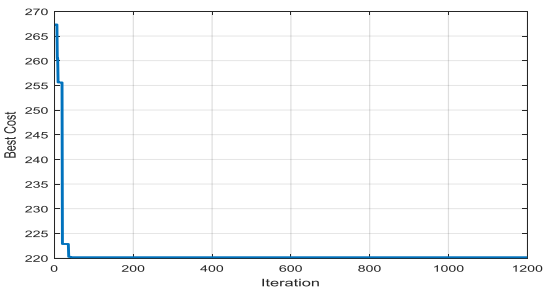
شکل شماره (۱۱): مسیرهای تعیین شده برای وسیله نقلیه با ۳۰ ایستگاه کاری در ۳ روز کاری در روش پیشنهادی



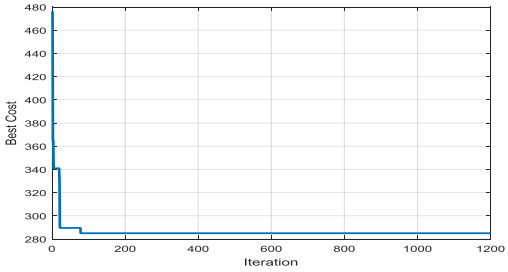
شکل شماره (۱۲): مسیرهای تعیین شده برای وسیله نقلیه با ۵۰ ایستگاه کاری در ۵ روز کاری



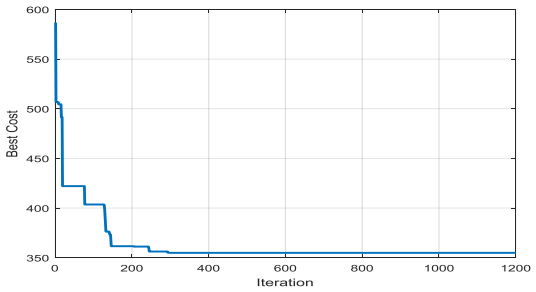
شکل شماره (۱۳): مسیرهای مناسب ارائه شده برای وسیله نقلیه با ۶۰ ایستگاه کاری در ۵ روز کاری



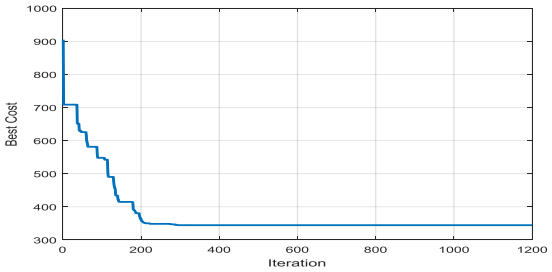
شکل شماره (۱۴): هزینه بدست آمده برای وسیله نقلیه با ۸ ایستگاه کاری در یک روز کاری



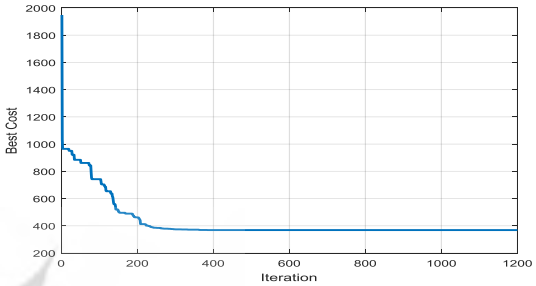
شکل شماره (۱۵): هزینه بدست آمده برای وسیله نقلیه با ۱۰ ایستگاه کاری در یک روز کاری



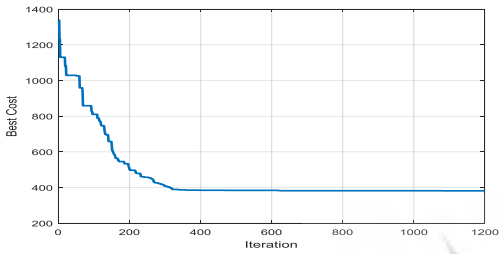
شکل شماره (۱۶): هزینه بدست آمده برای وسیله نقلیه با ۲۰ ایستگاه کاری در دو روز کاری



شکل شماره (۱۷): هزینه محاسبه شده برای وسیله نقلیه با ۳۰ ایستگاه کاری در سه روز کاری



شکل شماره (۱۸): هزینه محاسبه شده برای وسیله نقلیه با ۵۰ ایستگاه کاری در پنج روز کاری



شکل شماره (۱۹): هزینه انجام شده برای وسیله نقلیه با ۶۰ ایستگاه کاری در پنج روز کاری

ج) مقایسه با سایر روش‌های فرا اکتشافی

برای ارزیابی بیشتر، روش پیشنهادی در زمان بندی صورت گرفته با الگوریتم بهینه ساز وال، گرگ خاکستری، ازدحام ذرات مقایسه شده است. مقایسه‌ها در تابع هزینه و حداقل کردن تابع هزینه صورت خواهد گرفت. جدول شماره(۴) پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم گرگ خاکستری را نشان می‌دهد. پارامترهای به کار گرفته شده در الگوریتم ازدحام ذرات در جدول شماره (۵) نشان داده شده است.

جدول شماره(۴): پارامتر های ورودی الگوریتم گرگ خاکستری

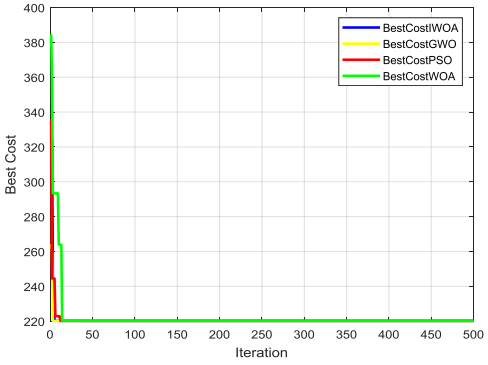
نام پارامتر	مقدار پارامتر
تعداد گرگها	۱۴
گرگ آلفا	۱
گرگ بتا	۳
گرگ دلتا	۴
گرگ امگا	۷
تابع هزینه	MyCost

جدول شماره (۵): تنظیم پارامترهای الگوریتم ازدحام ذرات

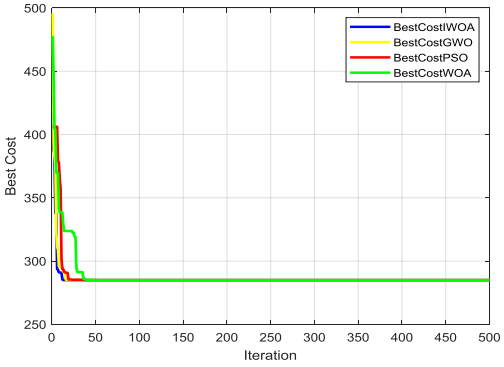
نام پارامتر	مقدار پارامتر
تعداد ذره‌ها	۵۰
تعداد تکرار الگوریتم	۱۰۰
ضریب شتاب c_1	۰/۵
ضریب شتاب c_2	۰/۵
ضریب اینرسی ω	۰/۷۸

شکل شماره(۲۰) مقایسه تابع هزینه بهبود داده شده بر اساس چهار روش الگوریتم وال بهبود یافته، وال، گرگ خاکستری و ازدحام ذرات را برای ۸ ایستگاه کاری در ۱ روز کاری نشان می‌دهد. همانگونه که از نتایج شکل پیداست، الگوریتم وال بهبود یافته توانسته است در تکرار کمتری به حداقل هزینه ممکن برسد، همچنین هزینه‌های مربوطه تا حد امکان از سه الگوریتم دیگر بسیار پایین‌تر است. هزینه بدست آمده در روش گرگ خاکستری درمرحله بعدی قرار دارد و سپس دو الگوریتم وال و ازدحام ذرات به حداقل مقدار خود رسیده است. شکل شماره (۲۱) مقایسه تابع هزینه بر اساس دو الگوریتم مورد نظر و الگوریتم پیشنهادی را برای ۱۰ ایستگاه کاری در یک روز کاری نشان می‌دهد. همانگونه که از نتایج نمودارهای بدست آمده پیداست،

الگوریتم پیشنهادی وال بهبود یافته در این مورد هم توانسته است با بیشترین شیب و کمترین تکرار به کمترین مقدار هزینه برسد.

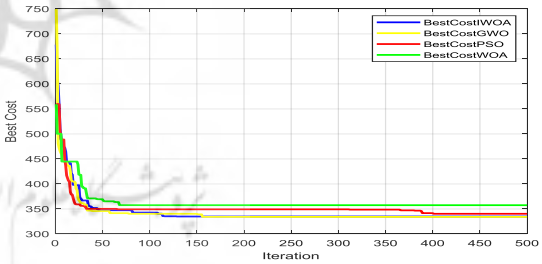


شکل شماره (۲۰): مقایسه الگوریتم‌های وال بهبود یافته پیشنهادی،ازدحام ذرات و گرگ خاکستری برای ۸ ایستگاه کاری در ۱یک روز کاری

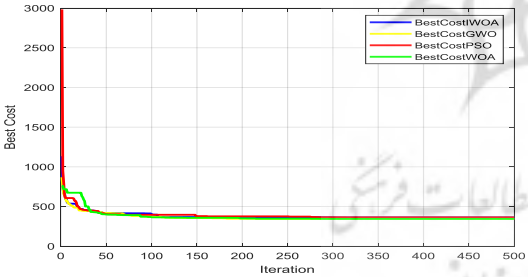


شکل شماره (۲۱): مقایسه الگوریتم‌های وال بهبود یافته پیشنهادی،ازدحام ذرات و گرگ خاکستری برای ۱۰ ایستگاه کاری در ۱یک روز کاری

شکل شماره (۲۲) مقایسه تابع هزینه بر اساس چهار الگوریتم مورد نظر را برای ۲۰ ایستگاه کاری در ۲ روز کاری نشان می‌دهد. همانگونه که از نتایج پیداست، الگوریتم وال بهبود یافته پیشنهادی توانسته است در تکرار کمتری به حداقل هزینه ممکن برسد، همچنین هزینه‌های مربوطه تا حد امکان از سه الگوریتم دیگر بسیار پایین تر است.

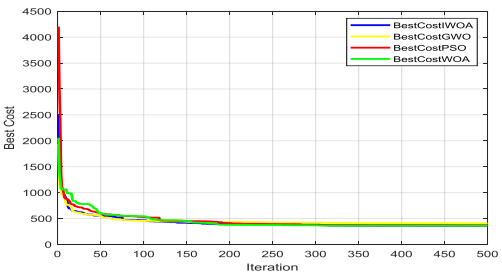


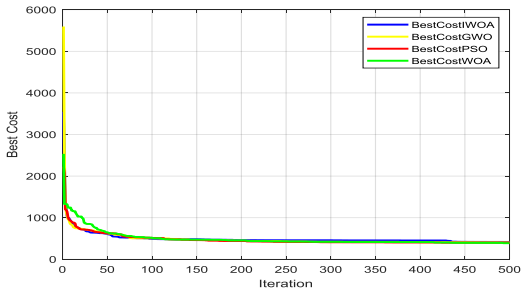
شکل شماره (۲۲): مقایسه الگوریتم‌های وال بهبود یافته پیشنهادی،ازدحام ذرات و گرگ خاکستری برای ۲۰ ایستگاه کاری در ۲ یک روز کاری



شکل شماره (۲۳): مقایسه الگوریتم‌های وال بهبود یافته پیشنهادی،ازدحام ذرات و گرگ خاکستری برای ۳۰ ایستگاه کاری در ۳ یک روز کاری

شکل شماره (۲۳) مقایسه ای برای ۳۰ ایستگاه کاری در ۳ روز کاری را نشان می‌دهد. روش پیشنهادی الگوریتم وال بهبود یافته پیشنهادی توانسته است، کمترین هزینه را در زمان بندی موثر برای وسیله نقلیه انجام دهد. به گونه ای که در کمترین تکرار توانسته است به حداقل هزینه برسد و همچنین هزینه مورد نظر نسبت به دو الگوریتم دیگر کمتر است.



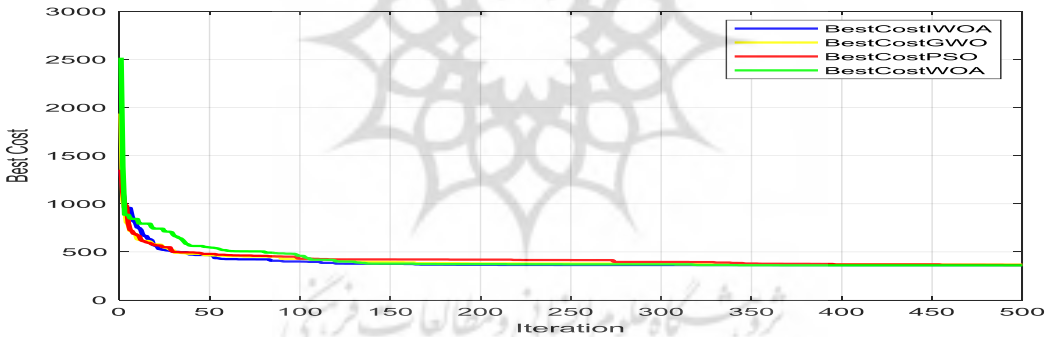


شکل شماره (۲۴): مقایسه الگوریتم‌های وال بهبود یافته پیشنهادی،ازدحام ذرات و گرگ خاکستری برای ۵۰ ایستگاه کاری در ۵ یک روز کاری

شکل شماره (۲۵): مقایسه الگوریتم‌های وال بهبود یافته پیشنهادی،ازدحام ذرات و گرگ خاکستری برای ۶۰ ایستگاه کاری در ۵ یک روز کاری

شکل شماره (۲۴) مقایسه ای برای ۵۰ ایستگاه کاری در ۵ روز کاری را به تصویر کشیده است. روش پیشنهادی توانسته است، کمترین هزینه را در زمان بندی موثر برای وسیله نقلیه انجام دهد، درکمترین تکرار، حداقل هزینه برسد بدست آمده است. روش وال بهبودیافته پیشنهادی از هر سه الگوریتم دیگر بهتر عمل کرده است. این در حالی است که پس از الگوریتم وال بهبود یافته پیشنهاد شده، روش گرگ خاکستری نسبت به دو روش دیگر (ازدحام ذرات و الگوریتم وال) دررسیدن به کمترین هزینه دارای عملکرد بهتری می باشد. شکل شماره (۲۵) مقایسه تابع هزینه بدست آمده را برای ۶۰ ایستگاه کاری در ۵ روز کاری نشان می-دهد. همانگونه که از نتایج شکل پیداست، همانند سایر نتایج، الگوریتم پیشنهادی وال بهبودیافته توانسته است در تکرار کمتری به حداقل هزینه ممکن برسد، همچنین هزینه‌های مربوطه تا حد امکان از سه الگوریتم دیگر بسیار پایین تر است.

برای ارزیابی عملکرد الگوریتم وال بهبود یافته پیشنهادی در مسیریابی وسایل با نقلیه ظرفیت محدود در این تحقیق، داده‌های مسائل نمونه‌ی استاندارد سلهی و نگی (۱۹۹۹)، که شامل ۱۴ مسئله ی نمونه در ۲ دسته‌ی X و Y هستند، مورد استفاده قرار گرفته اند، که خود از ۷ مسئله ی اصلی کریستوفیدز، مینگوتزی و توت (۱۹۷۹)، که برای مسئله ی مسیریابی وسیله‌ی نقلیه با محدودیت ظرفیت هستند، اقتباس شده اند. این داده‌ها شامل ۱۰ مسئله در ۲ دسته‌ی X و Y هستند. مسائل نمونه‌ی مطرح شده شامل ۵۰ تا ۱۹۹ مشتری هستند و تمامی آنها، یک دپوی واحد و ناوگان وسایل نقلیه‌ی همگن دارند. در شکل شماره(۲۶)، مقایسه الگوریتم‌های مورد نظر صورت گرفته است.



شکل شماره (۲۶): مقایسه روش پیشنهادی روی داده‌های مسائل نمونه‌ی استاندارد سلهی و نگی

با توجه به نتایج بدست آمده ،پژوهش حاضر نشان داد پس از باینری کردن فضای جستجوی الگوریتم وال و تولید الگوریتم وال بهبود یافته، مسیرهای بدست آمده از حل مسئله در روش وال پیشنهادی داری کمترین هزینه در تعداد تکرار کمتر می باشد ، همچنین روش پیشنهاد شده در مقایسه با الگوریتم های ازدحام ذرات و گرگ خاکستری جهت بررسی کارآمدی الگوریتم پیشنهادی نیز داری عملکرد رقابتی تری بوده و در کمترین تکرار به حداقل هزینه ممکن رسیده است. اگرچه الگوریتم گرگ خاکستری نیز پس از الگوریتم وال بهبود یافته پیشنهادی در پژوهش حاضر داری عملکرد مطلوب تری نسبت به الگوریتم های وال و ازدحام ذرات می باشد.

توجه به جنبه های لجستیک داخلی با توجه به محدودیتها و منابع در دسترس در راستای کاهش هزینه ها و افزایش انعطاف پذیری در باب تغییرات برنامه تولید با افزایش سطح توانایی‌سیستم های تغذیه مواد و قطعات به کنار خط حاصل خواهند شد. دریافت مواد و قطعات از انبار ، آماده سازی و انتقال آنها به کنار خطوط تولید در واقع یکی‌از مشکلترین فعالیتها در سیستم لجستیک درون کارخانه ای محسوب می شود. اگرچه مطالعات (Zhang et al., 2017; Matusiak et al., 2017) به بررسی و کاهش هزینه ها از طریق مسیریابی متمرکز بوده اند با این وجود تنها حوزه انبار مورد بررسی قرار گرفته و اثرات کاهش هزینه در این حوزه بررسی شده است.

پژوهش حاضر فرآیند پیک سفارشات در انبار و توزیع پیک های آماده شده به خطوط تولید توسط انتخاب مسیر بهینه باهدف کاهش هزینه ها بررسی شده و روش پیشنهاد شده مبتنی بر الگوریتم وال انطباقی در حل کارآمد مسیریابی وسیله نقلیه مورد ارزیابی قرار گرفته است. ابتدا مسئله توسط الگوریتم وال مورد بررسی قرار گرفته و راه حل های بدست آمده از الگوریتم وال ارائه شد، سپس جهت بررسی راه حل های بهبود یافته و کارآمدتر با باینری کردن مکانیزم بروز رسانی الگوریتم وال نسخه الگوریتم وال بهبود یافته پیشنهاد شد. همانگونه که در شکل‌های ارائه شده و در حالات مختلف نشان داده شده است، بهترین مسیرها براساس مکان قرار گیری ایستگاه کاری برای وسیله نقلیه تعیین شده است و هزینه‌های وارد شده نیز به حداقل مقدار خود رسیده است. راه حل های بدست آمده توسط روش پیشنهادی وال بهبود یافته جهت بررسی کار آمدی الگوریتم با دو الگوریتم معروف و پر کاربرد الگوریتم ازدحام ذرات و گرگ خاکستری مقایسه شده است.

مقایسه‌های انجام شده به صورت نمودارهای کمترین هزینه ایجاد شده توسط روش‌ها با تابع هزینه مورد نظر نشان داده شده است. مقایسه‌ها در حالات ۸ ایستگاه کاری در یک روز کاری، ۱۰ ایستگاه کاری در یک روز کاری، ۲۰ ایستگاه کاری در دو روز کاری، ۳۰ ایستگاه کاری در ۳ روز کاری و ۵۰ ایستگاه کاری در ۵ روز و در نهایت ۶۰ ایستگاه کاری در ۶ روز کاری صورت گرفته است. نتایج بدست آمده در نمودارهای مقایسه ای نشان می‌دهد که روش پیشنهادی وال بهبود یافته توانسته است، کمترین تکرار را در رسیدن به حداقل هزینه داشته باشد، همچنین هزینه‌های ایجاد شده در زمان بندی برای وسیله نقلیه در تمام حالات در کمترین مقدار خود نسبت به سایر الگوریتم‌ها قرار دارد. این مطالعه به مشکلات مختلفی اشاره دارد که در آینده قابل بررسی است. مدل ارائه شده می‌تواند درخصوص تصمیم گیری در انتقال قطعات و سفارشات پیک شده از چند انبار مختلف به چندین خط تولید مختلف تعمیم یابد. همچنین می‌تواند با سایر تصمیمات استراتژیک مانند طرح انبار ادغام شود. در یک سناریو دیگر سفارشات می تواند ابتدا به یکی از انبار های توزیع اختصاص یابد و سپس توزیع به خطوط از طریق انبار توزیع انجام شود

٤-منابع

1. Ahmadi Keshavarz, A. R., Jaafari, D., Khalaj, M., & Dokouhaki, P. (2021a). A Survey of the Literature on Order-Picking Systems by Combining Planning Problems. *Applied Sciences*, *11*(22), 10641. https://doi.org/10.3390/app112210641
2. Ahmadi Keshavarz, A. R., Jaafari, D., Khalaj, M., & Dokouhaki, P. (2021b). Model Presentation to Emptying the Picking Warehouse with Heterogeneous Containers in Emergency Situations with Swarm Intelligence Algorithms. *Strategic Management in industrial systems*, *16*(57).
3. Ardjmand, E., & Huh, D. W. (2017, November). Coordinated warehouse order picking and production scheduling: A nsga-ii approach. *In 2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)* (pp. 1-8). IEEE.
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. Ardjmand, E., Ghalehkhondabi, 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.
6. 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.

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. 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.
10. 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*. https://doi.org/10.1155/2021/8863391
11. Geismar, H. N., Laporte, G., Lei, L., & Sriskandarajah, C. (2008). The integrated production and transportation scheduling problem for a product with a short lifespan. *INFORMS Journal on Computing, 20*(1), 21-33.
12. Golden, B. L., Magnanti, T. L., & Nguyen, H. Q. (1977). *Implementing vehicle routing algorithms. Networks, 7*(2), 113-148.
13. 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.
14. Gupta, A., & Kumar, A. (2012). A new method for solving linear multi-objective transportation problems with fuzzy parameters. *Applied Mathematical Modelling, 36*(4), 1421-1430.
15. 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.
16. Koch, S., & Wäscher, G. (2016). A grouping genetic algorithm for the order batching problem in distribution warehouses. *Journal of Business Economics, 86*(1-2), 131-153.
17. 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.
18. 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.
19. Matusiak, M., de Koster, R., & Saarinen, J. (2017). Utilizing individual picker skills to improve order batching in a warehouse. *European Journal of Operational Research, 263*(3), 888-899.
20. 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.
21. 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.

22. 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.
23. Mirjalili, S., & Lewis, A. (2016). The whale optimization algorithm. *Advances in engineering software, 95*, 51-67.
24. Muter, İ., & Öncan, T. (2021). Order batching and picker scheduling in warehouse order picking. *IISE Transactions*, 1-13.
25. Pansart, L., Catusse, N., & Cambazard, H. (2018). Exact algorithms for the order picking problem. *Computers & Operations Research, 100*, 117-127.
26. 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.
27. Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., & Tanchoco, J. M. A. (2010). Facilities planning. *John Wiley & Sons*.
28. 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.
29. 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.
30. 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.
31. Zhang, J., Wang, X., Chan, F. T., & Ruan, J. (2017). On-line order batching and sequencing problem with multiple pickers: A hybrid rule-based algorithm. *Applied Mathematical Modelling, 45*, 271-284.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Integration of Order Preparation Process in Warehouse and Distribution to Production Lines to Minimize Cost with Adaptive Whale Algorithm Approach

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
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

One of the most expensive logistics activities is the warehouse picking process. In terms of internal logistics, due to limitations and available resources to reduce costs by increasing capacity levels, the supply system of materials and components will be implemented in-line. Considering the effect of the completion time of pick operations on the start time of distribution operations and the cost of order preparation tardiness, the present study aimed to investigate a new issue related to the integrated process of order preparation in the warehouse and delivery on time to minimize cost according to the data of a car company.s. In this regard, an integer nonlinear programming model is proposed to minimize the costs caused by tardiness. In order to validate the model, the small problem is solved in exact way. To solve the model, since the problem is NP-Hard, the method of whale optimization algorithm was used to improve the optimal routing solutions; the problem was investigated by designing an adaptive whale algorithm considering the cost and time of visiting workstations as a fitting function. Also, to assess the proposed adaptive whale algorithm, the results were compared with two meta-heuristic algorithms of particle swarm optimization and gray wolf. The results show that the proposed adaptive wall algorithm performs better than other methods, which improves and reduces costs.

Keywords: Picker Routing - Adaptive Whale Optimization Algorithm - Nonlinear Programming - Minimizing Integrated Picking and Distribution Processes - Picking Tardiness Cost.