

مروری بر تحقیقات انجام یافته درباره (دسته‌بندی سفارشات و مسیریابی اپراتورها درون انبار) در سال های ۱۹۷۵ تا ۲۰۲۱

همراز پرتوی آریا^۱، لیلی هوجقانی^۲

^۱دانش‌آموخته، کارشناسی مهندسی صنایع، دانشکده فنی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز،

^۲عضو هیات علمی، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، (نویسنده مسئول)

چکیده

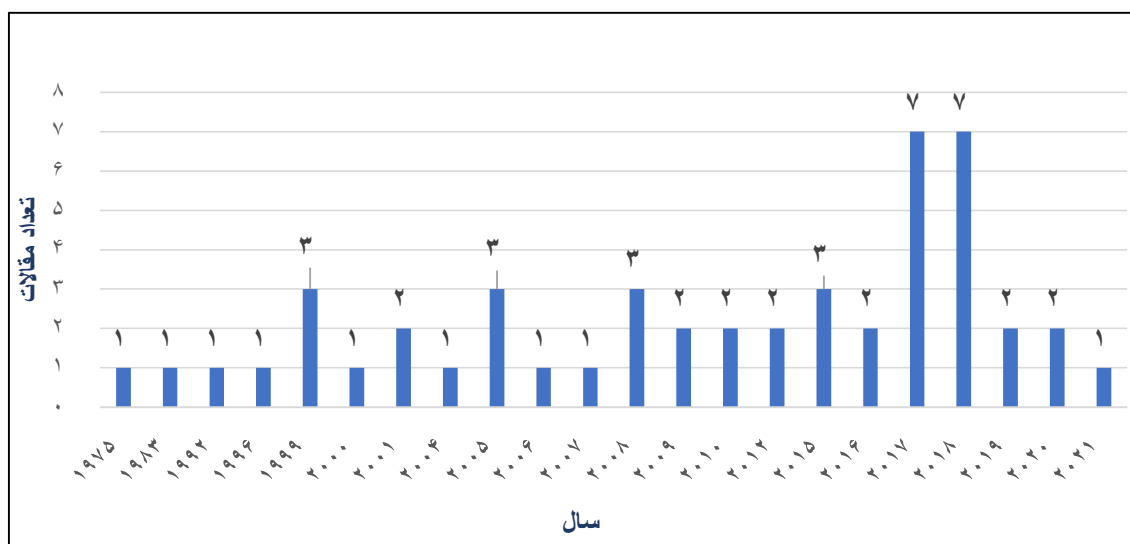
جوامع الکترونیک و آنلاین امروزی، نیازمند زمان تحویل کوتاه‌تری در پاسخگویی سفارشات خود می‌باشند. براین اساس زمان عامل بسیار مهمی در جهت کاهش هزینه‌ها و افزایش سود یک شرکت است. در فرآیند آماده‌سازی سفارش‌های مشتری، بیشترین اتلاف زمان مربوط به عملیات انتخاب سفارش‌ها، از محل ذخیره‌سازی کالاها در انبار می‌باشد. این کار غالباً توسط اپراتورهایی انجام می‌شود که با حرکت در محیط انبار، اقدام به انتخاب سفارش مشتری می‌کنند. تکرار زیاد عملیات انتخاب سفارش مشتری و نیز زمان‌بر بودن این کار، یکی از عوامل تاثیرگذار بر پرهزینه بودن عملیات انبارداری می‌باشد. شرکت‌ها در جهت افزایش سود خود، اقدام به استفاده از روش‌هایی برای کاهش زمان آماده‌سازی سفارش‌ها، از جمله: دسته‌بندی سفارش‌های مشتری، تغییر چیدمان انبار و منطقه‌بندی انبار و ... می‌کنند. دسته‌بندی سفارشات مشتری و مسیریابی اپراتور، دو مورد از مهم‌ترین این اقدامات می‌باشند. که انجام بهینه این اقدامات از دغدغه‌های اصلی مدیران شرکت‌ها می‌باشد. ما در این مقاله به مطالعه و بررسی تحقیقات انجام گرفته در زمینه دسته‌بندی سفارشات مشتریان و مسیریابی اپراتور جمع‌کننده، پرداخته‌ایم.

واژه‌های کلیدی: دسته‌بندی سفارش، مسیریابی اپراتور جمع‌کننده، انتخاب سفارش، مدیریت انبار

۱. مقدمه

انبار مکانی است که در کارخانه‌ها اغلب محل نگهداری و ذخیره‌سازی کالا و اجناس و یا محصول نهایی می‌باشد. انبارها نقش بسیار مهمی در پاسخگویی سفارشات مشتری ایفا می‌کنند، از این‌رو مدیریت انبار و به‌خصوص عملیات انتخاب سفارشات، دسته‌بندی سفارشات و مسیریابی اپراتور جهت جمع‌آوری سفارشات، بسیار حائز اهمیت می‌باشند. از این جهت که این عملیات نیازمند زمان بیشتری برای انجام هستند. با توجه به شرایط جوامع کنونی و اهمیت روز افزون عامل زمان، میزان فروش شرکت‌ها و درصد سوددهی آن‌ها وابسته به زمان آماده‌سازی سفارشات مشتری‌ها می‌باشد. اپراتورها برای برآوردسازی سفارشات مشتری‌ها با حرکت در محیط داخل انبار، اقدام به جمع‌آوری سفارشات مشتریان، از محل انبارش و ذخیره‌سازی کالاها در انبار، می‌کنند. یکی از متداول‌ترین و بهترین روش‌ها جهت سهولت بیشتر و صرفه‌جویی در عامل زمان، دسته‌بندی سفارشات می‌باشد. برای این منظور آیتم‌های سفارشات مشتریان براساس معیارهایی مختلف در گروه‌های متفاوت دسته‌بندی می‌شوند، سپس اقلام هر دسته به‌صورت جداگانه در لیست‌هایی جمع‌آوری می‌شوند تا هر یک از اپراتورها اقلام و آیتم‌های موجود در لیست را، در یک‌سری جمع‌آوری کنند. و در این‌جا است که مسیریابی جمع‌کننده یا اپراتور اهمیت بسیار زیادی پیدا می‌کند، چراکه انتخاب درست و صحیح مسیر اپراتور باعث کاهش زمان آماده‌سازی سفارشات مشتریان می‌شود، که این خود یکی از کلیدی‌ترین عملیات در مبحث انبارداری می‌باشد.

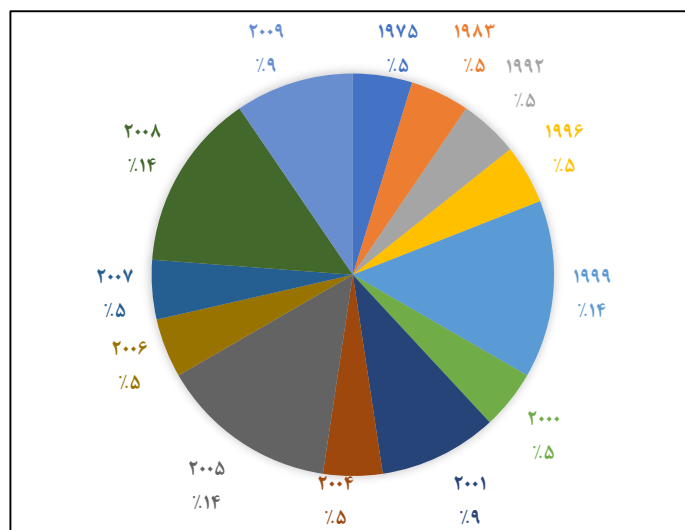
در این پژوهش ما به مطالعه و جمع‌آوری مرور ادبیات ۴۹ مقاله در رابطه با موضوع دسته‌بندی سفارش مشتری و مسیریابی جمع‌کننده، پرداخته‌ایم. در نمودار (۱) تعداد مقالات مطالعه شده در سال‌های ۱۹۷۵ تا ۲۰۲۱ نشان داده شده است. قابل ذکر است برای جست‌وجو و یافتن مقالات مرتبط، از پایگاه داده گوگل اسکالر استفاده شده است. با استفاده از کلمات کلیدی دسته‌بندی سفارش، مسیریابی، مسیریابی جمع‌کننده و انتخاب سفارش، مقالات جست‌وجو، انتخاب و طبقه‌بندی شده است.



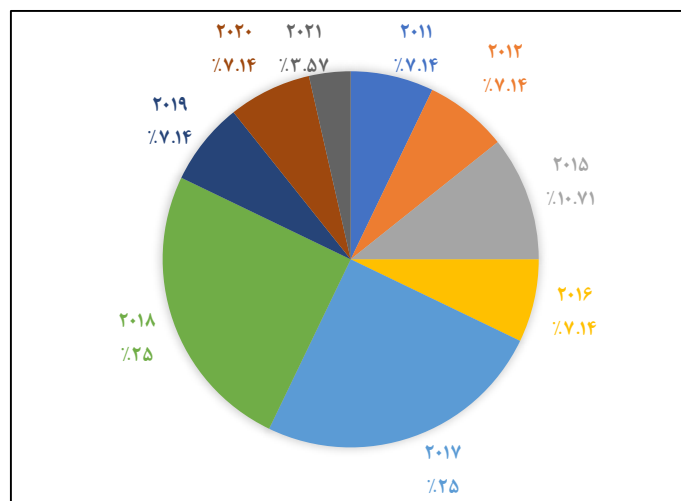
نمودار (۱): تعداد مقاله‌های مطالعه شده به تفکیک سال انتشار

همچنین در نمودار (۲) و (۳) درصد مطالعات و پژوهش‌های صورت گرفته و مطالعه شده به تفکیک سال نشان داده شده

است.



نمودار (۲): درصد پژوهش‌های انجام شده و مطالعه شده تا قبل از سال ۲۰۱۰



نمودار (۳): درصد پژوهش‌های انجام شده و مطالعه شده بعد از سال ۲۰۱۰

دسته بندی سفارشات مشتری و مسیریابی اپراتورها درون انبار برای انتخاب و تکمیل سفارش‌های مشتریان، موضوع بسیار مهمی در زمینه انبارداری و در جهت کاهش هزینه‌های آماده‌سازی سفارشات مشتری می‌باشد. باتوجه به اهمیت بسیار زیاد این موضوع، تحقیقات و پژوهش‌های بسیار زیادی از گذشته تا به امروز، در این زمینه انجام شده‌است، که در نتیجه این پژوهش‌ها و مطالعات، روش‌ها و الگوریتم‌های زیادی در جهت بهینه‌سازی و رفع این مشکلات ارائه شده‌است.

اولین بار کیسمن شباهت ساختاری مشکل مسیریابی وسایل نقلیه و انتخاب سفارش‌های مشتری را بیان کرده است. همچنین مشکل فروشنده مسافر را به صورت خوشه‌ای بیان کرده است که منجر به معرفی روش فروشنده مسافر خوشه‌ای، شده است [۱]. راتلیف و روزنتال در مطالعات خود یک الگوریتم دقیق برای حل مشکل مسیریابی اپراتور، در یک انبار تک بلوک با راهروهای موازی ایجاد و بررسی کرده‌اند [۲]. گیبسون و شارپ در بررسی روش‌های دسته‌بندی سفارش، به این نکته اشاره کرده‌اند که ظرفیت یک دسته، براساس تعداد کالا موجود در آن دسته تعیین می‌شود [۳]. روزن واین نشان داده‌است که می‌توان به جای فاصله سفر، مفهوم پس‌انداز را در معیارهای دیگر به کار گرفت [۴].

پترسن و اشمنر در مقاله خود به این نتیجه رسیده‌اند که انتخاب سفارش و عمل برداشت آن‌ها از محل نگهداری کالاها، برای رسیدگی به سفارش مشتری‌ها، گران‌ترین بخش در عملیات انبارداری است [۵]. دی کوستر و همکارانش بررسی کرده‌اند که تعداد دسته‌های سفارش و کل مسافت طی شده، با هم ارتباط مستقیم دارند و حداقل تعداد دسته‌ها براساس ظرفیت دسته مورد نظر، تعداد کالا درخواست شده توسط مشتری‌ها تعیین می‌شود. همچنین نشان داده‌اند که در الگوریتم‌های بذری، در حالت تجمعی سفارش بذری زمانی که سفارشی جدید صورت می‌گیرد، بازبینی می‌شود. و همچنین نشان داده‌اند که حالت تجمعی، تنها از یک حالت جزئی بهتر عمل می‌کند [۶].

سیم و همکاران از فاصله هاوسدورف برای مطابقت اقلام در زاویه دید و همچنین برای تشخیص اشیا توسط کامپیوترها استفاده کرده‌اند [۷]. غیانی و ایمپروتا مشکل مسیریابی وسایل نقلیه عمومی را معرفی کرده و آن را مورد بررسی قرار داده‌اند [۸]. رودبرگن و کوستر یک رویکرد و راه حل دقیقی را برای PRP در انبار دو بلوکی با راهروهای موازی گسترش داده‌اند، که قبلاً توسط راتلیف و روزنتال برای انبار تک بلوکی ارائه شده بود [۹]. رودبرگن بررسی و نشان داده‌است که الگوریتم‌های مسیریابی اختصاصی، به هنگام تغییر تعداد راهروهای متقاطع، عملکرد خود را از دست می‌دهند [۱۰]. هونگ و یانگ شباهت مجموعه‌های فازی را بر اساس فاصله هاوسدورف اندازه‌گیری کرده‌اند، در حالتی که معمولاً، نهایتاً ۲ مقدار را برای اندازه‌گیری فاصله هاوسدورف بین دو مجموعه (در تشخیص اقلام در کامیوتر) در نظر گرفته می‌شود. همچنین نشان داده‌اند که بیشترین مقدار فاصله‌ها مربوط به فاصله یک طرفه هاوسدورف بین R_i, R_j می‌باشد [۱۱].

ون و اولافسون اولین مطالعات را در رابطه با مشکل دسته‌بندی سفارش مشترک و مسیریابی انتخاب‌کننده، آغاز کرده‌اند و یک الگوریتم ابتکاری را براساس مفهوم پس‌انداز برای حل مشکل دسته‌بندی سفارش مشترک و مسیریابی جمع

^۱Chisman

^۲Traveling Sales Problem (TSP)

^۳Cluster Traveling Sales Problem (CTSP)

^۴Ratliff, Rosenthal

^۵Picker routing problem (PRP)

^۶Gibson, Sharp

^۷Rosenwein

^۸Petersen, Schmenner

^۹De koster

^{۱۰}Sim

^{۱۱}Hausdorff

^{۱۲}Ghani, Improta

^{۱۳}Roodbergen, Koster

^{۱۴}Roodbergen

^{۱۵}Hung, Yang

^{۱۶}Won, Olafsson

کننده پیشنهاد کرده‌اند. این در حالی است که PRP های مربوط، با یک روش ابتکاری ۲ گزینه‌ای حل می‌شوند. همچنین آن‌ها ثابت کرده‌اند که PRP در یک انبار مستطیل شکل بارهروهای موازی یک مسأله ان پی سخت می‌باشد [۱۲].

گادمان و ولده استدلال کرده‌اند که استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته در مسیریابی انبار، باعث به وجود آمدن مسیرهای طولانی می‌شود که این باعث سخت‌تر شدن عملیات انبارداری و برداشت سفارش می‌شود. همچنین اثبات کرده‌اند که مشکل دسته‌بندی سفارش یک روش ان پی سخت است و فقط در حالتی قابل حل است که دسته‌ها فقط از ۲ سفارش تشکیل شده باشند [۱۳]. هسو و همکاران دسته‌بندی سفارشات در انبار را با به حداقل رساندن مسافت طی شده در انبار، با استفاده از الگوریتم ژنتیک بررسی کرده‌اند [۱۴]. هو و تسنگ معیار تجمعی، و حداقل معیار بازدید شده را مورد بررسی قرار داده‌اند [۱۵]. دی کوستر و همکاران بررسی و ثابت کرده‌اند که در محیط‌های تجارت الکترونیک، قدم زدن در انبار زمان‌بر ترین فعالیت است. همچنین در بررسی الگوریتم‌های بذر به این نتیجه رسیده‌اند که از معیارهای مختلفی برای انتخاب و گزینش بذر، استفاده می‌شود. و نیز به توصیف روش‌های اکتشافی مسیریابی از جمله مراحل طراحی، کنترل و انتخاب سفارش انبار، پرداخته‌اند [۱۶].

سواکس و همکارانش الگوریتمی برای مشکل مسیریابی خودروهای خوشه‌ای، با یک سری محدودیت‌ها و شرایط خاص معرفی و بررسی کرده‌اند؛ اینکه انتصاب مشتری‌ها، براساس محدودیت‌ها و معیارهای از پیش تعیین شده به دسته‌ها صورت بگیرد با این ویژگی که مشتریان هر دسته باید توسط یک وسیله نقلیه خدمت رسانی شوند. در واقع این الگوریتم، گسترش الگوریتم CTSP به چندین وسیله نقلیه است. همچنین یک نوع الگوریتم مشکل مسیریابی خودرو سبز نیز می‌باشد، زیرا هر وسیله نقلیه باید باید تک تک مشتریان را بازدید نماید. که در این حالت باید هر دو مسیر بین دسته‌ای و درون دسته‌ای بهینه شوند [۱۷]. هو و همکارانش یک تحقیق و مطالعه جامعی در رابطه با الگوریتم بذر انجام داده‌اند. که در آن ۱۱ معیار ترتیب بذر و ۱۴ معیار ترتیب همراه بررسی شده‌است. در این مطالعه برای بیشتر معیارهای گروه‌بندی، از مقیاسی برای تخمین نزدیکی سفارش‌ها استفاده شده‌است [۱۸].

تسای و همکارانش در مطالعات خود، رویکردی برای ایجاد دسته‌ها و نیز رویکردی برای مسیریابی بر اساس الگوریتم ژنتیک چندگانه معرفی کرده و بررسی‌های لازم را انجام داده‌اند [۱۹]. یو و دی کوستر در بررسی‌های خود یک مدل تقریبی را بر اساس نظریه شبکه صف، ارائه داده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که دسته بندی سفارش‌های مشتری به صورت دسته‌ای و مسیریابی در انبار، از عوامل تاثیرگذار بر زمان آماده‌سازی سفارش‌ها می‌باشد [۲۰]. آلبردا-سامبولا و

^۱Joint Order Batchin Picker Routing Problem (JOBPRP)

^۲NP-HARD

^۳Gademann, Velde

^۴Order Batching Problem(OBP)

^۵Hsu

^۶Hu, Tseng

^۷Sevaux

^۸Clustered Vehicle Routing Problem (CLU-VRP)

^۹Green Vehicle Routing Problem (GVRP)

^{۱۰}HU

^{۱۱}Tsai

^{۱۲}Yu, De koster

^{۱۳}Albareda-Sambola

همکاران الگوریتم‌های جست‌وجوی همسایگی متغیر را بیان کرده‌اند و به توسعه الگوریتم‌های جست‌وجوی همسایگی متغیر پرداخته‌اند. آن‌ها در مطالعات خود به این نتیجه دست یافتند که نزولی بودن روند الگوریتم متغیر همسایگی خود نوعی از الگوریتم‌های پیشرفته OBP می‌باشد [۲۱]. بارتولمی و همکارانش در مقاله خود، یک رویکرد جدید و ابتکاری را برای حل CLU-VRP مطرح می‌کنند. آن‌ها در این روش، مشتریان را در چند گروه مختلف دسته‌بندی کرده و برای هر گروه یک وسیله نقلیه در نظر گرفته‌اند، با این محدودیت که مسیریابی وسیله نقلیه هر دسته باید به گونه‌ای انجام گیرد که در عین کاهش مسافت طی شده، تمامی مشتریان بازدید و خدمت‌رسانی شوند [۲۲].

دیز و همکاران به بررسی مشکل مسیریابی جمع‌کننده و ترتیب آن‌ها، در انبارهایی با ویژگی راهروهای موازی پرداخته‌اند. آن‌ها در این مطالعه، مقایسه حل مشکل، با روش TSP و نیز استفاده از الگوریتم‌های لین-کرنیگان-هلسگان را انجام داده‌اند. با توجه به نتایج به دست آمده، مشاهده کرده‌اند که استفاده از الگوریتم‌های LKH تا چه اندازه در کاهش مسافت طی شده اثربخش بوده و باعث حل بهینه‌تر PRP می‌شود [۲۳]. هن و ووشر در پژوهش‌های خود الگوریتم‌های پس‌انداز را معرفی کرده‌اند. همچنین آن‌ها الگوریتم‌های کوهنوردی را براساس ویژگی‌ها، بررسی کرده و دو رویکرد جدیدی را معرفی کرده‌اند: (۱) رویکرد کوهنوردی مبتنی بر ویژگی با مسیریابی به شکل (AHBC+SS)؛ (۲) رویکرد کوهنوردی مبتنی بر ویژگی با بزرگ‌ترین مسیریابی شکاف (AHBC+LG). آن‌ها همچنین مجموعه‌ای از داده‌ها را بیان کرده‌اند که شامل ۵۷۶۰ داده می‌باشد. که نصف این داده‌ها از سیاست ذخیره‌سازی ABC و باقی داده‌ها از توزیع تصادفی تبعیت می‌کنند [۲۴].

کولاک و همکارانش تحقیقات خود را مبتنی بر الگوریتم جست‌وجو تابو^۱، براساس ارزش شباهت-حسرت^۲ انجام داده‌اند. که در صورت یکپارچگی سفارش‌ها همپوشانی در فاصله سفر را مشخص می‌کند. آن‌ها PRP های حاصل را با دو روش مختلف اکتسابی TSP تحلیل کرده‌اند [۲۵]. چنگ و همکاران در تحقیق‌های خود یک نگرش ترکیبی را ارائه کرده‌اند. این نگرش، ترکیبی از دو الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات^۳ و الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها^۴ است. در این الگوریتم، الگوریتم PSO بهینه‌ترین حالت دسته‌بندی سفارش‌های مشتری را بیان کرده و نیز الگوریتم ACO بهترین مسیریابی هر دسته را تعیین می‌کند [۲۶]. اونجان در مقاله خود به معرفی فرمول‌های از برنامه‌ریزی خطی صحیح مختلط^۵، برای حل مشکل دسته‌بندی سفارش OBP، با سه معیار متفاوت خط‌مشی‌های (۱) حرکت (۲) برگشت (۳) مسیریابی؛ پرداخته‌است. همچنین الگوریتم جست‌وجو محله کارآمد را بر اساس رویکرد الگوریتم تابو معرفی کرده‌است [۲۷].

^۱Variable neighborhood search (VNS)^۲Variable Descending Neighborhood Algorithm (VDN)^۳Barth'elemy^۴Theys^۵Lin-Kernighan-Helsgaun (LKH)^۶Henn, Wäscher^۷Kulak^۸Tabu^۹(Rs-Rv)^{۱۰}Cheng^{۱۱}Particle swarm optimization (PSO)^{۱۲}Ant colony optimization algorithms (ACO)^{۱۳}Öncan^{۱۴}Mixed-Integer Linear Programming (MILP)

دفرین و سورنسن در این مقاله روشی فرا ابتکاری، برای مشکل مسیریابی خودروها به صورت خوشه‌ای CLU-VRP معرفی کرده‌اند. با این شروط که باید مشتری‌ها در دسته‌های از پیش تعیین شده، گروه‌بندی شوند و یک وسیله نقلیه به تمامی مشتری‌های یک دسته، خدمت‌رسانی کند. که در نتیجه آن‌ها موفق به حل این دو مشکل، با ترکیب دو الگوریتم جست‌وجو همسایگی متغیر، شده‌اند [۲۸]. اکسپوزیتو-ازکویردو و همکارانش برای اولین بار ایده تجزیه CLU-VRP به دو مشکل کوچک‌تر را مطرح کرده‌اند. همچنین الگوریتمی ابتکاری برای CLU-VRP را معرفی کرده‌اند [۲۹]. جریکبوزان و تاسان در مقاله مروری خود، به مطالعه و بررسی تحقیق‌ها و پژوهش‌های اخیر در رابطه با موضوع دسته‌بندی سفارش و انتخاب سفارش، و جمع‌بندی مرور ادبیات این مطالعات، پرداخته‌اند [۳۰].

منندز و همکارانش در این پژوهش^۴ الگوریتم جست‌وجو چندمنظوره همسایگی متغیر را توسعه داده‌اند و طبق آزمایش‌هایی که انجام داده‌اند، این الگوریتم حتی زمانی که حجم سفارش‌ها و ظرفیت دسته‌ها بسیار زیاد بوده، راندمان خود را حفظ کرده و مشکل را به بهینه‌ترین حالت ممکن حل کرده‌است. آن‌ها همچنین براساس مسیریابی ترکیبی، الگوریتم مسیریابی جایگزین را، بیان کرده‌اند. آن‌ها نگرش شروع چندگانه را برای متغیر جست‌وجوی همسایگی متغیر نیز معرفی کرده‌اند، که این رویکرد راه حل توسعه یافته‌ای برای OBP شمرده می‌شود [۳۱]. دفرین و سورنسن در این مطالعه، الگوریتمی فرا ابتکاری و بهینه برای حل مشکل CLU-VRP معرفی و بررسی کرده‌اند. که در این روش باید مشتری‌ها در گروه‌ها و دسته‌های از قبل تعیین شده، دسته‌بندی شده و کلیه مشتری‌های یک دسته، بایک وسیله نقلیه مشخص خدمت رسانی شوند. این رویکرد فرا ابتکاری موجب تلفیق دو الگوریتم جست‌وجو همسایگی متغیر برای حل CLU-VRP می‌شود [۳۲].

منندز و همکارانش در مقاله خود، نگرشی اکتشافی مبتنی بر روش جست‌وجوی همسایگی متغیر، جهت رفع مشکل دسته‌بندی و توالی سفارش، برای اولین بار ارائه و معرفی کرده‌اند. و همچنین روش خود را با الگوریتم‌ها و رویکردهای موجود در مطالعه‌های پیشین، مقایسه کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که در حل مشکل OBSP، روش آن‌ها بهترین و بهینه‌ترین روش است [۳۳]. ژانگ به کمک همکارانش در پژوهش و مطالعه خود، به بررسی و ارائه راه‌حلی برای مشکل دسته‌بندی و تعیین سفارش آنلاین با چندین جمع‌کننده سفارش‌ها، پرداخته‌است. راه‌حل پیشنهادی آن‌ها برای حل این مسأله، ارائه الگوریتمی ترکیبی و برپایه قانون و قاعده می‌باشد. به طوری که مقصود اصلی این الگوریتم، کمینه کردن زمان گردش مالی، می‌باشد [۳۴].

شولتز و ووشر ضمن بررسی ظرفیت دسته، اعتقاد دارند که الگوریتم LKH برای حل مشکل دسته‌بندی و مسیریابی انتخاب کننده، تنها برای انبارهایی با یک بلوک و طرحی ساده قابلیت حل بهینه را دارند، ولی زمانی که انبار دارای طرحی پیچیده و با تعداد بلوک‌های متعدد باشد، دیگر قادر به ارائه جواب بهینه نخواهد بود. آن‌ها در این مقاله الگوریتم

^۴Defryn, Sörensen^۵Expósito-Izquierdo^۶Cergibozan, Tasan^۷Menéndez^۸Multi Start^۹Variable Neighborhood Search (VNS)^{۱۰}Order Batching And Sequencing Problem(OBSP)^{۱۱}Zhang^{۱۲}Online Order Batching and Sequencing Problem with Multiple Pickers (OOSPM)^{۱۳}Scholz, Wäscher

مسیریابی مختلف را با نگرش جست‌وجو محلی و تکراری یکپارچه کرده‌اند، تا برای انبارهایی با چندین بلوک، رویکردی بهینه ارائه دهند [۳۵]. شولتز و همکارانش برای نخستین بار برای حل مشکل دسته‌بندی سفارش، توالی دسته‌ها و نیز مسیریابی انتخاب‌کننده، رویکرد و راه‌حلی معرفی کرده‌اند که توانایی در نظر گرفتن تمامی مشکلات جانبی را به حالت همزمان دارد. آن‌ها نمونه‌ها را از نظر تعداد، به دو گروه کوچک و بزرگ طبقه‌بندی کرده‌اند. برای حل این مشکلات در گروه نمونه‌های کوچک، یک مدل ریاضی، و برای نمونه‌های بزرگ‌تر الگوریتم نزول همسایگی متغیر را ارائه کرده‌اند [۳۶].

واله و همکارانش از نخستین و آنها کسانی هستند که در مطالعه خود رویکرد و نگرش دقیقی را برای حل JOBPRP ایجاد و مطرح کرده‌اند. آن‌ها با به‌کارگیری یک الگوریتم انشعاب و کران، پاسخی ۲۰ برابر بهینه برای این رویکرد ارائه داده‌اند [۳۷]. لوفلر و همکاران به بررسی مشکل مسیریابی جمع‌کننده در سیستم انتخاب سفارش به کمک وسایل نقلیه هدایت خودکار پرداخته‌اند و نیز طبقه‌بندی سفارش‌های ورودی را انجام داده‌اند، و بر این اساس الگوریتم مسیریابی زمان چند جمله‌ای دقیق معرفی و مطرح کرده‌اند [۳۸]. کامبازارد و کاتوس مشکل PRP را برای انباری^۵ با نهایت ۸ راهرو، و با به‌کارگیری یک نگرش برنامه‌ریزی پویا تحلیل کرده‌اند [۳۹]. پوسادا و همکارانش در مقاله خود مشکل مسیریابی خودرو انتخابی را معرفی و ارائه کرده‌اند [۴۰].

هوروات-مارک و همکاران و همچنین پاپ^۱ و همکاران خود، در مقاله‌هایی خود الگوریتم ژنتیک را برای رفع مشکل‌ها در دسته‌ها ارائه می‌دهند. به این صورت که پاپ از روش TSP استفاده می‌کند و هوروات-مارک یک روش شبیه‌سازی شده برای کنترل کیفیت ارائه و مطرح می‌کند [۴۱]، [۴۲]. هینتچ و ایرنیچ در این مطالعه خود جست‌وجوی بزرگ چند محله‌ای را که معلق به CLU-VRP با محدودیت‌های خوشه‌ای قوی است را ارائه کرده‌اند [۴۳]. ون‌گیلز و همکاران اولین کسانی هستند که به بررسی و اثبات روابط بین ذخیره‌سازی، دسته‌بندی، منطقه‌بندی و مسیریابی توسط تحلیل واریانس کامل فاکتوریل، پرداخته‌اند. آن‌ها معیار تجمعی حداقل معیارهای بازدید شده را مورد مطالعه قرار داده‌اند که از بین بقیه معیارهای دسته‌بندی، بهترین عملکرد را داشته‌است [۴۴]. هینتچ و همکارانش در پژوهش خود یک الگوریتم جستجوی بزرگ چندگانه برای خوشه نرم معرفی کرده و همچنین برای رفع مشکل CLU-VRP با محدودیت‌های خوشه‌ای نرم، یک راه‌حل ابتکاری معرفی و بررسی کرده‌اند [۴۵].

کانو و همکارانش در این مقاله به^۷ بررسی و معرفی مدل‌های ریاضی برای سیستم‌های انتخاب سفارش دستی و مشکل دسته‌بندی و مسیریابی مشترک JOBPRP و نیز مشکل دسته‌بندی، ترتیب و مسیریابی مشترک پرداخته‌اند. آن‌ها

^۵Vale^۶Löffler^۷Automated Guided Vehicles (AVG)^۸Cambazard, Catusse^۹Posada^{۱۰}Selective Vehicle Routing Problem (SVRP)^{۱۱}Horvat-Marc^{۱۲}Pop^{۱۳}Hintsch, Irnich^{۱۴}Van Gils^{۱۵}Analysis of Variance (ANOVA)^{۱۶}Soft-cluster^{۱۷}Cano^{۱۸}Joint order batching and sequencing picker routing problem (JOBSRP)

برای این منظور، تحقیقات خود را در انبارهای چند بعدی و تک بلوک و چند بلوک انجام داده‌اند [۴۶]. برایانت و همکارانش به بررسی مشکل مشترک دو رویکرد، مسیریابی انتخاب کننده PRP و دسته‌بندی سفارش OBP، و در واقع به حل مشکل یعنی JOBPRP پرداخته‌اند [۴۷]. هینتچ و ایرنیچ ضمن تأیید و تأکید بر موضوع تأثیر کاهش محدودیت‌های دسته‌ای بر کاهش مسافت طی شده، آزمایش‌هایی جهت تعیین میزان این تأثیر انجام داده و این میزان را ۶,۲۱٪ تخمین زده‌اند [۴۸]. ایرتز و همکارانش مشکل دسته‌بندی سفارش مشترک و مسیریابی جمع‌کننده JOBPRP را به‌عنوان یک مشکل در مسیریابی خوشه‌ای CLU-VRP مدل‌سازی کرده‌اند و برای حل آن از رویکرد و نگرش دو سطح متغیر همسایگی استفاده کرده‌اند. همچنین آن‌ها بررسی و آزمایش‌های لازم را در خصوص نتیجه‌گیری در رابطه با چگونگی عملکرد هاوسدورف در شرایط تعیین مسافت بین انتخاب سفارش‌ها در انبار را انجام داده‌اند [۴۹].

در جدول (۱) به‌صورت خلاصه مطالعات انجام شده و الگوریتم‌های ارائه شده برای مشکل دسته‌بندی سفارشات و مسیریابی اپراتور، نشان داده شده است.

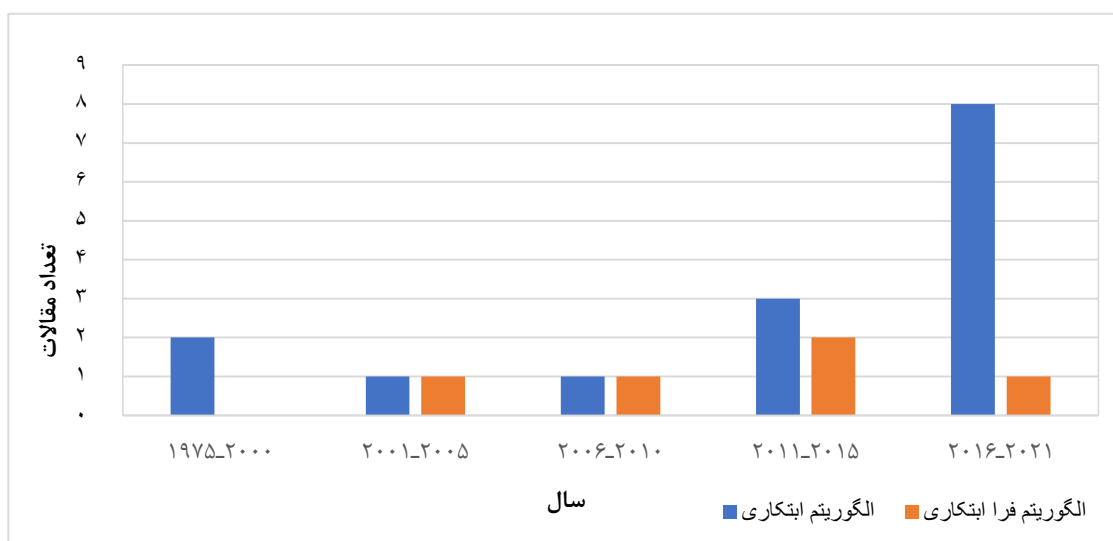
جدول (۱): خلاصه‌ای از نتایج موجود از الگوریتم‌های ارائه‌شده در رابطه با مشکل دسته‌بندی سفارش

۱. Chisman	۱. الگوریتم دقیق برای برنامه انبار (CTSP)
۲. Gibson and Sharp	۲. الگوریتم‌های مبتنی بر اولویت قانون
۳. Ho and Tseng	۳. الگوریتم‌های بذر
۴. De Koster et al	۴. الگوریتم‌های بذر، الگوریتم‌های صرفه جویی در زمان
۵. Hsu et al.	۵. الگوریتم‌های فرا اکتشافی (الگوریتم‌های ژنتیک)
۶. Tsai et al.	۶. الگوریتم‌های فرا اکتشافی (الگوریتم‌های ژنتیک)
۷. Henn and Wäscher	۷. الگوریتم‌های فرا اکتشافی (الگوریتم‌های جستجوی تابو)
۸. Kulak et al.	۸. الگوریتم‌های فرا اکتشافی (روش جستجوی محله متغیر)
۹. Menéndez et al.	۱۰. الگوریتم ابتکاری (برنامه انبار) (CTSP)
۱۰. Löffler, et al.	۱۱. الگوریتم ابتکاری برای محدودیت خوشه ای سخت (CluVRP)
۱۱. Barth'elemy et al	۱۲. الگوریتم ابتکاری برای محدودیت خوشه ای سخت (CluVRP)
۱۲. Hintsch and Irnich (۲۰۱۸)	۱۳. الگوریتم ابتکاری اکتشافی روش مبتنی بر تجزیه
۱۳. Exp'osito-Izquierdo et al.	۱۴. الگوریتم ابتکاری برای نوع محدودیت خوشه نرم و محدودیت خوشه ای سخت (CluVRP)
۱۴. Defryn and Sörensen	
۱۵. Horvat-Marc et al.	

^۱Briant^۲Aerts^۳Two levels of variable neighborhood search (2LEVEL-VNS)

۱۵. الگوریتم ابتکاری برای نوع محدودیت خوشه نرم و محدودیت خوشه ای سخت (CluVRP)
۱۶. الگوریتم ابتکاری برای نوع محدودیت خوشه نرم و محدودیت خوشه ای سخت (CluVRP)
۱۷. الگوریتم دقیق برای نوع محدودیت خوشه نرم (CluVRP)
۱۸. الگوریتم اکتشافی روش مبتنی بر تجزیه برای نوع محدودیت خوشه نرم (CluVRP)
۱۹. الگوریتم دقیق برای (SVRP)
۱۶. Pop et al.
۱۷. Hintsch and Irnich (۲۰۲۰)
۱۸. Hintsch et al (۲۰۱۹)
۱۹. Posada et al

همچنین در نمودار (۴) نیز تعداد مقالاتی که الگوریتم ابتکاری و فراابتکاری را برای مشکلات مربوط به دسته بندی سفارش ارائه کرده‌اند، به تفکیک سال نشان داده شده‌است.



نمودار (۴): تعداد مقالاتی که الگوریتم ابتکاری و فراابتکاری، برای مشکلات مربوط به دسته بندی سفارش ارائه کرده‌اند به تفکیک سال

۲. نتایج

ما در این مطالعه و پژوهش به جمع‌آوری مرور ادبیات مطالعات صورت گرفته در چارچوب دسته‌بندی سفارشات مشتری و مسیریابی اپراتور پرداخته‌ایم. از این مطالعات به این نتیجه رسیده‌ایم که عملیات انبارداری پرهزینه‌ترین عملیات در فرآیند آماده‌سازی سفارشات مشتری می‌باشد. همچنین تعداد دسته‌های سفارش و مسافت طی شده توسط اپراتور با هم ارتباط مستقیم

دارند. در حالت کلی پژوهش‌های انجام شده تا امروز تمرکز بر حل دو مشکل اساسی دسته‌بندی سفارش OBP و مسیریابی اپراتور PRP داشته‌اند، که برای حل این مشکلات، الگوریتم‌های دقیق، الگوریتم‌های ابتکاری و همچنین الگوریتم‌های فرا ابتکاری بر اساس الگوریتم‌های ژنتیک، تابو و جست‌وجو همسایگی متغیر ارائه و معرفی شده‌اند. همچنین باتوجه به مطالعات مورد بررسی این نتیجه حاصل شده‌است که می‌توان دو مشکل دسته‌بندی سفارش و مسیریابی اپراتور را به یک مشکل واحد یعنی JOBPRP تعمیم داد و به عنوان یک مشکل برای حل آن تلاش کرد.

در فرآیند آماده‌سازی سفارشات مشتریان گاهی ممکن است برخی شرایط و معیارها به‌صورت کاملاً پویا و لحظه‌ای دچار تغییر و تحول شوند بنابراین پیش‌بینی می‌شود در تحقیقات و پژوهش‌های آینده به این موضوع پرداخته شود. و همچنین در حالت کلی با توجه به عامل بسیار مهم زمان، هر مطالعه و پژوهشی که باعث ایجاد راهکارها و فرآیندهایی در جهت کاهش زمان آماده‌سازی سفارشات مشتریان و در نهایت صرفه جویی در زمان شود، از استقبال گسترده‌ای برخوردار خواهد شد.

منابع و مراجع

۱. Chisman, J. A. (1975). The clustered traveling salesman problem. *Computers & Operations Research*, 2(2):115–119.
۲. Ratliff, H. D. and Rosenthal, A. S. (1983). Order-picking in a rectangular warehouse: a solvable case of the traveling salesman problem. *Operations Research*, 31(3):507–521.
۳. Gibson, D. R. and Sharp, G. P. (1992). Order batching procedures. *European Journal of Operational Research*, 58(1):57–67.
۴. Rosenwein, M. (1996). A comparison of heuristics for the problem of batching orders for warehouse selection. *International Journal of Production Research*, 34(3):657–664.
۵. Petersen, C. G. and Schmenner, R. W. (1999). An evaluation of routing and volumebased storage policies in an order picking operation. *Decision Sciences*, 30(2):481–501.
۶. De Koster, R., Van der Poort, E., and Wolters, M. (1999). Efficient order batching methods in warehouses. *International Journal of Production Research*, 37(7):1479–1504.
۷. Sim, D.-G., Kwon, O.-K., and Park, R.-H. (1999). Object matching algorithms using robust hausdor. distance measures. *IEEE Transactions on image processing*, 8(3):425–429.
۸. Ghiani, G. and Improta, G. (2000). An efficient transformation of the generalized vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 122(1):11–17.
۹. Roodbergen, K. J. and Koster, R. (2001). Routing methods for warehouses with multiple cross aisles. *International Journal of Production Research*, 39(9):1865–1883.

۱۰. Roodbergen, K.-J. (2001). Layout and routing methods for warehouses. PhD thesis, Erasmus Universiteit Rotterdam.
۱۱. Hung, W.-L. and Yang, M.-S. (2004). Similarity measures of intuitionistic fuzzy sets based on hausdor. distance. *Pattern Recognition Letters*, 25(14):1603–1611.
۱۲. Won, J. and Olafsson, S. (2005). Joint order batching and order picking in warehouse operations. *International Journal of Production Research*, 43(7):1427–1442.
۱۳. Gademann, N. and Velde, S. (2005). Order batching to minimize total travel time in a parallel-aisle warehouse. *IIE transactions*, 37(1):63–75.
۱۴. Hsu, C.-M., Chen, K.-Y., and Chen, M.-C. (2005). Batching orders in warehouses by minimizing travel distance with genetic algorithms. *Computers in Industry*, 56(2):169–178.
۱۵. Ho, Y.-C. and Tseng, Y.-Y. (2006). A study on order-batching methods of order-picking in a distribution centre with two cross-aisles. *International Journal of Production Research*, 44(17):3391–3417.
۱۶. De Koster, R., Le-Duc, T., and Roodbergen, K. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European journal of operational research*, 182(2):481–501.
۱۷. Sevaux, M., Sørensen, K., et al. (2008). Hamiltonian paths in large clustered routing problems. In *Proceedings of the EU/MEeting 2008 workshop on Metaheuristics for Logistics and Vehicle Routing*, EU/ME, volume 8, pages 411–417.
۱۸. Ho, Y.-C., Su, T.-S., and Shi, Z.-B. (2008). Order-batching methods for an order-picking warehouse with two cross aisles. *Computers & Industrial Engineering*, 55(2):321–347.
۱۹. Tsai, C.-Y., Liou, J., and Huang, T.-M. (2008). Using a multiple-ga method to solve the batch picking problem: considering travel distance and order due time. *International Journal of Production Research*, 46(22):6533–6555.
۲۰. Yu, M. and De Koster, R. B. (2009). The impact of order batching and picking area zoning on order picking system performance. *European Journal of Operational Research*, 198(2):480–490.
۲۱. Albareda-Sambola, M., Alonso-Ayuso, A., Molina, E., and De Blas, C. S. (2009). Variable neighborhood search for order batching in a warehouse. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 26(05):655–683.
۲۲. Barthélemy, T., Rossi, A., Sevaux, M., and Sørensen, K. (2010). Metaheuristic approach for the clustered Vrp. In *EU/Meeting: 10th Anniversary of the Metaheuristics Community-Université de Bretagne Sud, France*.
۲۳. Theys, C., Bräysy, O., Dullaert, W., and Raa, B. (2010). Using a tsp heuristic for routing order pickers in warehouses. *European Journal of Operational Research*, 200(3):755–763.
۲۴. Henn, S. and Wäscher, G. (2012). Tabu search heuristics for the order batching problem in manual order picking systems. *European Journal of Operational Research*, 222(3):484–494.

۲۵. Kulak, O., Sahin, Y., and Taner, M. (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.
۲۶. Cheng, C.-Y., Chen, Y.-Y., Chen, T.-L., and 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.
۲۷. Öncan, T. (2015). MILP formulations and an iterated local search algorithm with tabu thresholding for the order batching problem. *European Journal of Operational Research*, 243(1):142–155.
۲۸. Defryn, C. and Sörensen, K. (2015). A two-level variable neighbourhood search for the euclidean clustered vehicle routing problem. University of Antwerp, Faculty of Applied Economics Research Paper, 2015-002. Available at <https://repository.uantwerpen.be/docman/irua/295901/a0dff71b.pdf>.
۲۹. Expósito-Izquierdo, C., Rossi, A., and Sevaux, M. (2016). A two-level solution approach to solve the clustered capacitated vehicle routing problem. *Computers & Industrial Engineering*, 91:274–289.
۳۰. Cergibozan, Ç. And Tasan, A. S. (2016). Order batching operations: an overview of classification, solution techniques, and future research. *Journal of Intelligent Manufacturing* , 30: 335–349.
۳۱. Menéndez, B., Pardo, E. G., Alonso-Ayuso, A., Molina, E., and Duarte, A. (2017). Variable neighborhood search strategies for the order batching problem. *Computers & Operations Research*, 78:500–512.
۳۲. Defryn, C. and Sörensen, K. (2017). A fast two-level variable neighborhood search for the clustered vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 83:78–94.
۳۳. Menéndez, B., Bustillo, M., G. Pardo, E., Duarte, A. (2017). General Variable Neighborhood Search for the Order Batching and Sequencing Problem. *European Journal of Operational Research*, 263:82–93.
۳۴. Zhang, J., Wang, X., Chan, F. T., and Ruan, J. (2017). On-line order batching and sequencing problem with multiple pickers: A hybrid rule-based algorithm. *Applied Mathematical Modelling*, 45:271–284.
۳۵. Scholz, A. and 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.
۳۶. 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.
۳۷. Valle, C. A., Beasley, J. E., and da Cunha, A. S. (2017). Optimally solving the joint order batching and picker routing problem. *European Journal of Operational Research*, 262(3):817–834.

۳۸. Löffler, M., Boysen, N., and Schneider, M. (2018). Picker routing in Agy-assisted order picking systems. Technical report, Deutsche Post Chair-Optimization of Distribution Working Paper, DPO-01/2018,.
۳۹. Cambazard, H. And Catusse, N. (2018). Fixed-parameter algorithms for rectilinear steiner tree and rectilinear traveling salesman problem in the plane. *European Journal of Operational Research*, 270(2):419–429.
۴۰. Posada, A., Rivera, J. C., and Palacio, J. D. (2018). A mixed-integer linear programming model for a selective vehicle routing problem. In *Workshop on Engineering Applications*, pages 108–119. Springer.
۴۱. Horvat-Marc, A., Fuksz, L., Pop, P. C., and D'anciulescu, D. (2018). A decompositionbased method for solving the clustered vehicle routing problem. *Logic Journal of the IGPL*, 26(1):83–95.
۴۲. Pop, P. C., Fuksz, L., Marc, A. H., and Sabo, C. (2018). A novel two-level optimization approach for clustered vehicle routing problem. *Computers & Industrial Engineering*, 115:304–318.
۴۳. Hintsch, T. and Irnich, S. (2018). Large multiple neighborhood search for the clustered vehicle-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 270(1):118–131.
۴۴. Van Gils, T., Ramaekers, K., Braekers, K., Depaire, B., and Caris, A. (2018). Increasing order picking efficiency by integrating storage, batching, zone picking, and routing policy decisions. *International Journal of Production Economics*, 197:243–261.
۴۵. Hintsch, T. et al. (2019). Large multiple neighborhood search for the soft-clustered vehicle-routing problem. Technical report.
۴۶. Cano, J.A., Correa-Espinal, A., Gómez-Montoya, R.A. (2019). Mathematical programming modeling for joint order batching, sequencing and picker routing problems in manual order picking systems., *Journal of King Saud University – Engineering Sciences* 32:219–228.
۴۷. Briant, O., Cambazard, H., Ca.aruzza, D., Catusse, N., Ladier, A.-L., and Ogier, M. (2020). An efficient and general approach for the joint order batching and picker routing problem. *European Journal of Operational Research*.
۴۸. Hintsch, T. and Irnich, S. (2020). Exact solution of the soft-clustered vehicle-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 280(1):164–178.
۴۹. Aerts, B., Cornelissens, T., Sörensen, K. (2021). The joint order batching and picker routing problem: Modelled and solved as a clustered vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 129: 105168.