International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2017)

September 2017, Volume 28, Number 1
Pp 69- 86

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

Prioritizing Order Picking from Storage and Transferring to Production Department Based on a New Mathematical Model and Multi-objective Meta-heuristic Algorithms

Ali Mohtashami* & Mohammad Naser Sagharichiha

Ali Mohtashami, *Department of Industrial Management, Qazvin Branch, Islamic Azad University.*
Mohammad naser Sagharichiha, *Department of Industrial Management, Islamic Azad University.*

Keywords

Warehouse,
Order picking,
Non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA-II),
Non-dominated ranking genetic algorithm (NRGA),
Taguchi method.

ABSTRACT

Warehouses are used in many factories from the moment of receiving raw materials to the moment of transmitting final products. In this paper, a bi-objective mathematical model is proposed for order picking problem in warehouses and delivery of orders to production/assembly lines. The first considered objective is to minimize the total cost of order picking in warehouse, and the second objective is to minimize the average tardiness of delivering orders to production/assembly lines.The proposed model is a mixed integer linear programming problem. Since the under study problem is proved in literature to be a NP-Hard problem, two multi-objective meta-heuristic algorithms are proposed entitled non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA-II), and non-dominated ranking genetic algorithm (NRGA). Since the optimality of solutions for meta-heuristic algorithms depends on the parameters of algorithms, the Taguchi method is utilized to tune the parameters of algorithms. Finally, computational results from solving different numerical examples with different sizes illustrate the performance of the proposed method.

© 2017 IUST Publication, IJIEPM Vol. 28, No. 1, All Rights Reserved

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-27]

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــــریت تولیـــد

شمـــاره ۱، جلـــد ۲۸، بهار ۱۳۹۶

صفحـــه ۷۰- ۸۶

نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید دانشگاه علم و صنعت ایران

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

اولویت بندی انتخاب قطعات از فضای انبارش و ارسال به واحد تولید بر اساس یک مدل ریاضی جدید و الگوریتمهای فراابتکاری چند هدفه

علی محتشمی* و محمد ناصر ساقریچیها

کلمات کلیدی

انبار،
انتخاب سفارش اقلام،
الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب ها،
الگوریتم ژنتیک رتبه بندی نامغلوب ها،
تاگوچی.

چکیده:

انبار مکانی است که در اغلب کارخانه ها از لحظه دریافت مواد اولیه تا ارسال محصول نهایی از آن بهره برداری می شود. در این مقاله، یک مدل ریاضی دو هدفه برای مسئله انتخاب سفارش های اقلام از انبار و ارسال به خط تولید پیشنهاد شده است. اهداف در نظر گرفته شده برای مدل توسعه یافته علاوه بر کمینه-کردن کل هزینه های برداشت قطعه از انبار، میانگین دیرکرد تحویل سفارشات به خطوط مونتاژ/تولید را به حداقل می رساند. مدل پیشنهاد شده از دسته مسائل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی (MILP) می‌باشد که به‌دلیل پیچیدگی مسئله در ابعاد بزرگ و اثبات NP-Hard بودن آن در ادبیات موضوع، به - منظور حل از الگوریتم‌های فرا ابتکاری چند هدفه با رویکرد پارتو شامل الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II) و الگوریتم ژنتیک رتبه بندی نامغلوب (NRGA) استفاده شده است. از آنجاکه خروجی الگوریتم‌های فرا ابتکاری به شدت وابسته به پارامترهای ورودی الگوریتم‌هاست، از روش تاگوچی جهت تنظیم پارامترها استفاده شده است. در نهایت به منظور نشان دادن عملکرد مناسب روش‌های حل ارائه شده در مدل مربوطه، این روش‌ها بر روی مسائل آزمایشی تولید شده با ابعاد مختلف مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته است.

۱. مقدمه

انبار به محلی اطلاق می گردد که کالا، اجناس، مواد اولیه و یا محصول در آن قرار دارد، این محل ممکن است سرپوشیده، محوطه سرباز، زیر زمین و یا حتی داخل یک دستگاه (همانند یخچالهای صنعتی که داخل آن مواد غذایی و فاسد شدنی نگهداری می شود) باشد. گاهی انبارها داخل یک شرکت و یا کارخانه اند و گاهی در یک محیط خارج از آن قرار دارند، ولی اغلب شرکتها سعی می کنند انبارهای خود (به خصوص انبارهای مواد اولیه) را داخل شرکت جای داده تا بتوانند کالاها و قطعات مورد نیاز خود را به سرعت و سهولت از آن خارج سازند و در تامین مواد اولیه مورد نیاز خود دچاروقفه نگردند. اهمیت انبار به عنوان محل تجمع سرمایه هر سازمان بیش از پیش نمود پیدا می کند. انبار به عنوان حلقه ارتباطی بین تولید، توزیع و مصرف و همچنین ارتباط بین زنجیره خرید و فروش مواد و کالا و خدمات محسوب می شود. در یک زنجیره لجستیکی فراورده ها (مواد خام، کالای درحال پردازش، محصول نهایی) نیازمنداند که به صورت فیزیکی از یک مکان به مکان دیگر حرکت کنند. در طول این فرایندها ممکن است مواد در یک مکان مشخص (انبار) و برای یک دوره زمانی معین ذخیره و یا انبارش گردند. بسیاری از این فرایندها در انبار انجام می گیرند که در میان آنها برداشتن قطعه (انتخاب قطعه) از مکانهای انبارش به منظور برآورده ساختن نیاز مشتری حائز اهمیت است. انتخاب قطعه شامل فرایندهای دسته بندی و برنامه ریزی سفارشات مشتری، آوردن قطعات به کف انبار و برداشتن قطعات از مکانهای انبارششان و در دسترس گذاشتن این اقلام برای مصرف می باشد. انواع متعددی از سیستمهای انتخاب قطعه در انبارها را می توان برشمرد که شامل روش انتخاب به قطعه [i]، روش قطعه به انتخاب [ii]، انتخاب به جعبه [iii]، و سیستم

تاریخ وصول: ۹۳/۰۸/۰۳

تاریخ تصویب: ۹۴/۰۲/۰۹

محمد ناصر ساقریچیها، دانشکده مدیریت، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، ایران،nasersagharchiha@yahoo.com

***نویسنده مسئول مقاله: علی محتشمی،** استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مدیریت، گروه مدیریت صنعتی، قزوین، ایران - mohtashami@qiau.ac.ir.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-27]

مرتب سازی[iv] است که در تحقیق ما بر روی روش انتخاب به قطعه می باشد. در این روش انتخابگر قطعه جهت جمع آوری فراورده های مهم یک سفارش حرکت می کند. این روش خاص بسیار رایج است و در محیط بیشتر انبارها یافت می شود. این فرآیند شامل یک محیط انبارش، یک ناحیه چیدمان و یک سیستم توزیع مواد جهت پرکردن مجدد مکان چیدمان از محیط انبارش است. محیط انبارش شامل آیتمهای مورد نیاز جهت تحقق سفارش مشتری می باشد. اپراتور چیدمان سپس می تواند اقلام مورد نیاز برای هر سفارش مشتری را از اقلام انباشته شده در محیط چیدمان انتخاب نماید. اگر تمام اقلام مورد نیاز به صورت منظم و در یک ناحیه کوچک از انبار انبارش گردند، آنگاه اپراتور انتخابگر قطعات تحقق سفارشات مشتری را از زمانی که مجبور است اقلام را از محیط انبارش بزرگتر و یا کلی تر انتخاب نماید می تواند اثربخش تر جمع آوری نماید.

۲. مروری بر ادبیات موضوع

انتخاب سفارش یک عملیات کلیدی در تشخیص کار آمدی مدیریت انباراست، تا کنون محققان بسیاری در زمینه طراحی و مدلسازی اجزای مختلف مسائل انتخاب/ جمع آوری قطعات از انبار به مطالعه پرداخته اند که از جمله آنها عبارتند از:

کارون و همکارانش (۲۰۰۰) یک انبار دو بلوکی (یعنی یک راهروی عبوری در میان آن) را تحت شاخص (COI) مبنی بر تخصیص انبارش مورد ارزیابی قرار داده اند. رودبرگن (۲۰۰۱) یک تابع هدف غیرخطی را پیشنهاد کرده (که عبارتست از: میانگین زمان حرکت برحسب تعداد مسیر ها و راهروهایی که جهت انتخاب طی می شود). برای تعیین شکل راهروها برای انبارهایی با استراتژی انبارش تصادفی (شامل یک وچند بلوکی) که میانگین طول مسافت را کمینه می کند. همچنین کمینه سازی میانگین طول مسافت حرکت را به عنوان یک تابع هدف اصلی مد نظر قرار می دهد.

چارلز و گرالد[v] (۲۰۰۴)، به مقایسه برداشت، انبارش و سیاستهای مسیریابی در انتخاب دستی قطعات پرداخته اند و اثر سه فرآیند تصمیم گیری (برداشت، انبارش و مسیریابی) در مسافت انتخابگر قطعه که یک جز عمده از هزینه تکمیل سفارش است را مورد بررسی قرار داده اند. آنها از یک مدل شبیه سازی بر این اساس که عملیات انتخاب در مرکز توزیع می باشد و انتخاب سفارش در یک زمان و انبارش محصولات در یک حالت اتفاقی و یا تصادفی است را با استفاد از یک روش ساده جهت مسیریابی انتخابگرها استفاده کرده اند. آنها همچنین عملیات برداشت، انبارش و سیاستهای مسیر یابی جهت مشخص کردن فرآیند تصمیم گیری که بیشترین درصد صرفه جویی نسبت به سیاستهای پایه کنونی را فرآهم می کند را مورد ارزیابی قرار داده. همچنین آنها اثر مقدار سفارش، شکل انبار، محل انتخاب/ نقطه افت و توزیع تقاضا بر عملکرد را بررسی می نمایند. نتیجه نشان می دهد که دسته بندی کردن سفارشات بیشترین صرفه جویی را بخصوص زمانی که سایز سفارشات کوچک است، حاصل می گرداند. نتایج همچنین نشان می دهد در صورتی که به طور میانگین به اندازه سفارش، کمتر حساسیت نشان داده شود. استفاده از سیاستهای انبارش بر اساس طبقه بندی و براساس حجم تقریبا به یک اندازه صرفه جویی در دسته بندی را فراهم می کند،

چی مینگ هیسو[vi] و همکاران (۲۰۰۵)، با دسته بندی کردن سفارشات در انباردرجهت حداقل کردن مسافت حرکت انتخابگر قطعه پرداخته اند که با استفاده از این روش قدرت سیستم انبارداری در پاسخگویی سریع به مطالبات مشتریان افزایش می یابد که این امر نکته مهمی در موفقیت زنجیره تامین می باشد. آن ها در تحقیقاتشان نشان داده اند که قبل از انتخاب سفارشات مشتری، یکی کردن سفارشات مشتری به صورت موثر به دسته های مشخص، می تواند به طور قابل توجهی سرعت جمع آوری سفارشات در انبار را افزایش می دهد. آنها همچنین معتقداندکه جابه جاییهای قابل توجهی از محصول در انبار وجود دارد، که هزینه های انبار داری را می توان حتی با درصد کوچکی از کاهش در فاصله برداشت, کاهش داد. این مسائل دسته بندی سفارشات به مسائل NP-hard شناخته می شود، بدست آوردن حل بهینه برای مسائل با مقیاس بزرگ در زمان محاسباتی قابل تحمل بسیار سخت می باشد. بنابراین نیاز به حل با استفاده از الگوریتم ژنتیک می باشد و همچنین آنها معتقدند مطالعاتی که قبل از آنها انجام پذیرفته است عمدتاً در مسائل دسته بندی سفارشات در انبار با یک راهروی عبوری و چیدمان دو بعدی متمرکز است. بنابراین آنها در مطالعشان توسعه یک رویکرد دسته بندی سفارشات مبنی بر الگوریتم ژنتیک را جهت مواجهه با مسائل دسته بندی سفارشات با هرنوع ساختار دسته بندی و هر نوع چیدمان انبار مد نظر قرار داده اند. برخلاف روشهای دسته بندی گذشته، روش پیشنهادی آنها، علاوه بر این نیاز به محاسبات دسته بندی تقریبی سفارشات و برآورد مسافت حرکت نمی باشد. آنها الگوریتم ژنتیک مبنی بر روش دسته بندی کردن سفارشات که (GABM) نامیده می شود را پیشنهاد داده اند.که این الگوریتم به طور مستقیم کل مسافت حرکت را کاهش می دهد. پتانسیل استفاده از GABM برای حل مسائل با مقیاس بزرگ و متوسط مسائل دسته بندی سفارشات با استفاده از چندین مثال مورد استفاده قرار گرفته است. از نتیجه دسته بندی سفارشات، روش GABM پیشنهادی، راه حلهای باکیفیت بر حسب مسافت حرکت و تسهیلات بهینه بدست می آید.

تئو لدیوس (۲۰۰۷) [vii]، در مطالعه اش، انبارها با انواع انتخاب-ناحیه هندسی مختلف را مدنظر قرار داده اند و هشت روش برنامه ریزی ناحیه، شش ضریب مشترک شبیه به هم، دو روش سفارش دسته بندی شده و یک الگوریتم بسته بندی برای بهبود سیستم انبار استفاده کرده اند. در این مطالعه (۸*۶*۲*۱)، ۹۶ روش ترکیب استفاده شده است.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-27]

ظفری و همکارانش (۱۳۸۹)، یک الگوریتم ترکیبی موثر ژنتیک برای حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با هدف تعیین کمینه هزینه جابجایی چندین وسیله نقلیه ارائه کردند.

سپهری و کارگری (۱۳۸۹)، به مسئله بهینه سازی سبد سرویس در مسائل مسیریابی چند سطحی – چند محصولی و چند قرارگاهی وسایل نقلیه با هدف حداقل نمودن هزینه های توزیع پرداختند. ایشان برای حل مدل ارائه شده از یک الگوریتم ابتکاری بهره بردند.

عیدی (۱۳۸۹) به بررسی استراتژی های کوتاهترین مسیر در هدایت پویای وسیله نقلیه مبتنی بر معیار سطح سرویس پرداخت و جهت مسیریابی حمل و نقل از الگوریتم ژنتیک استفاده کرد.

ینگ چن هو[viii] و همکارانش (۲۰۰۸)، بروی توسعه روش های دسته بندی سفارش برای انتخاب قطعه از یک انبار با دو راهروی عبوری و یک نقطه ورود و خروج در یک گوشه ایی از آن مطالعه کرده اند. هرکدام از این روشها ساخته شده از قاعده انتخاب Seed-Order که الگوریتمی کامپیوتری جهت پردازش سفارش در سیستم انبارهای خودکار می باشد، که قاعده انتخاب همراه با سفارش آن است. آنها در تحقیقشان ۱۱ قاعده انتخاب Seed-Order، و۱۴ قاعده همراه با سفارش را مورد بررسی قرارداده اند و نشان داده اند که با اجرای درست این قواعد ارائه شده فاصله حرکتی انتخابگر سفارش به حداقل می رسد. آنها همچنین بیان می دارند که برخلاف مطالعات قبلی که تنها بر روی توسعه راهرو یا قوانین براساس مکان قرارگیری قطعات تمرکز کرده اند، مطالعه آنها براساس قوانین فاصله و یا براساس قوانین منطقه نیز توسعه یافته است. به علاوه دو روش برنامه ریزی مسیر و دو روش توزیع انتخاب با عبوراز هر راهرو را مد نظر قرار داده اند. نتایج این مطالعه نشان می دهد که برخی از قوانینی که به تازگی پیشنهاد شده است بهتر از سایر مطالعات است. آنها همچنین نشان داده اند که قاعده انتخاب Seed-Order و قاعده انتخاب همراه با سفارش به طور معناداری بر روی عملکرد یکدیگر تاثیر می گذارد.

ژانگ هیجون[ix] و همکارانش (۲۰۰۹)، در مورد طرح نمودار ساختار داده ایی انبارش یک انبار نامنظم بیان نموده اند که، یک واحد انبار به چهار نوع که عبارتست از: نقطه ذخیره سازی، عبور، گره و ترتیب بلوک تقسیم شده است. کوتاهترین فاصله و مسیر بین دو نقطه انبارش می تواند به اعتبار گره های مجاور خود تعریف شده باشد. بر این اساس، این الگوریتم ژنتیک جدید با این فرض که یک عملیات انتخاب/برداشت قطعه، همیشه هر آنقدر که وسیله نقلیه می تواند با کالاهای تطبیق پیدا کند، به کالاها دسترسی دارد. توالی نقطه انبارش در سفارش به عنوان یک کروموزوم کد گذاری شده است. یک کرومزوم تعداد عملیات برداشت قطعه و کل فاصله آنها را مشخص می نماید. همچنین فرض جستجوی الگوریتم را تنها به بخشی از کل فضای جواب محدود می سازد، در مقایسه با دیگر الگوریتمهای ژنتیک، این الگوریتم ژنتیک جدید نتیجه بهتری می دهد. و شاید این به این دلیل است که عملیات برداشت قطعه کمتر مطابق با هدف بهینه سازی است.

کریستف دیز[x] و همکاران (۲۰۱۰)، برروی مسائل توالی و مسیریابی انتخابگر سفارش در سیستمهای انبار با راهروهای موازی مطالعه نموده اند. این مسائل به مسائل پیمایش فرد فروشنده (TSP[xi]) معروف است. الگوریتمهای دقیق آن تنها برای یک انبار با حداکثر سه راهروی عبوری وجود دارد. در حالی که برای انواع دیگر انبارها یک الگوریتم ابتکاری مجزایی ارائه شده است. آنها ارزیابی می کنند که تا چه حد فرموله کردن و حل مسائل را به عنوان یک TSP کلاسیک توسعه دهند که منجر به بهبود عملکرد در مقایسه با روش ابتکاری موجود اختصاص داده شده برسند. همچنین آنها گزارش داده اند که میانگین صرفه جویی در فاصله مسیر زمانی که از الگوریتم ابتکاری LKH (یک روش برای حل مسئله فروشنده دوره گرد) استفاده شده است بیش از ۴۷٪ می باشد. به علاوه بررسی کرده اند که آیا ترکیب مفاهیم مسائل خاص از الگوریتم ابتکاری اختصاصی با کیفیت بالا در آینده می تواند مفید باشد یا خیر. در نهایت پیچیدگیهای آن را درسطوح بالا به طور عام بررسی می کنند و همچنین آنها اینگونه بیان می دارند که: جستجوی ابتکاری انتخابگر قطعه در انبار به طور موضعی برای جمع آوری قطعات ضروری می باشد.

سباستین هن[xii] و همکارانش (۲۰۱۱) ، در مقاله ایی برروی سفارش گذاری بسته ایی تمرکز کرده اند که یکی ازمهمترین برآمدهای برنامه ریزی در سیستمهای انتخاب سفارش است. سفارش بسته ایی به عنوان یک محوراساسی برای اثربخشی عملیات انتخاب سفارش اثبات شده است. باتوجه به اطلاعات در دسترس درباره سفارشات مشتری، سفارش بسته ایی می تواند به دسته بندی ایستا و دسته بندی پویا تمیزداده شود.

سوالانه و ازترک (۲۰۱۱)، دراین مطالعه به دنبال طراحی سیستم انتخاب سفارش و تخصیص مکان انبارش با استفاده از مدل ریاضی توسعه یافته و رویکرد بهینه سازی تکاملی تصادفی در صنایع خودرویی هستند. این پژوهش در دو مرحله انجام شده است. مرحله اول مسئله تخصیص انبارش با سیاست انبارش مبنی بر دسته بندی با هدف حداقل کردن انتقال با استفاده از برنامه ریزی عدد صحیح است. در مرحله دوم مسائل مسیریابی و دسته بندی کردن با یکدیگر برای حداقل کردن هزینه مسافت در عملیاتهای انبار مدنظر قرار گرفته است. در این تحقیق یک انبار در صنعت خودرو تجزیه و تحلیل شده است و راه حل مطلوب به دست آمده از مدل برنامه ریزی عدد صحیح است. با توجه به زمان محاسباتی مورد نیاز، در این مقاله برای اینکه حل مسائل برنامه ریزی عدد صحیح سریعتر انجام پذیرد یک الگوریتم ژنتیک با رویکرد دسته های بهینه و مسیرهای بهینه برای انتخابگر قطعه، توسعه یافته است. مزیت اصلی این الگوریتم پاسخ سریع به سفارشات تولید در کاربردهای واقعی

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-27]

است. نتایج نشان داده است کـه روشـهای پیشـنهادی مبتنـی بـر الگوریتمهای ژنتیک می تواند برای هر نوع چیدمان انبار در صنعت خودرو اعمال گردد. پن و همکاران (۲۰۱۴) یک مدل ارزیابی زمان سفر برای یک سیستم انبار ارائـه نمودنـد. در ایـن تحقیـق هـر دو سیستم برداشت و مسافت طی شده عمودی و افقی در انبار در نظر گرفته شده است. در مدل پیشنهادی اثرات سیاست های انبارش و مسیریابی در زمان های طی شده مورد ارزیابی قرار گرفته است.
ماتوسیک و همکاران (۲۰۱۴) به ارائه یک الگـوریتم شـبیه سـازی تبرید به منظور اولویت بندی سفارشات در نظر گرفته شده مشتریان در انبار پرداختند. بدین منظور یک روش مسـیریابی سفارشـات و برداشت اقلام در نظر گرفته شده است.
چنگ و همکاران (۲۰۱۵) به ارائه یک روش ترکیبی از الگوریتم های بهینه سازی اجتماع ذرات و اجتماع مورچگان جهت حل یک مسئله مسیریابی برداشت انباشته به منظور تعیین اندازه انباشته، تخصیص سفارشات و مسافت طی شده پرداختند.
با توجه به مقالات تحقیقی مرور شده توسط محققـان، مـی تـوان مسافت و هزینه تحویل قطعات انتخاب شـده از انبـار بـه خطـوط مونتاژی را در نظر گرفت. همچنین به منظور افزایش پاسخ دهی در انبار زمان های دیرکرد اقلام به خطوط مونتاژ را به حداقل رساند. لذا در این مقاله به ارائه مدلی دو هدفه با اهداف متناقض شامل کمینه کردن کل هزینه های انبار و کاهش متوسط دیرکرد اقلام به خطوط مونتاژ پرداخته شده است. در همه عملیاتهای انبار انتخاب سفارش به عنوان فعالیتی که بیشترین هزینه را دارد در نظر گرفته شده است. بیش از ۵۰٪ کل هزینه های عملیاتی انبار می تواند به هزینه های انتخاب سفارش نسبت داده شود. همچنین تخمین زده شده است که این هزینه بیش از ۶۰٪ و ۶۵٪ آن را شامل می شود. قسمت اعظمی از هزینه های برداشتن سفارش نشات گرفته از هزینه های عملیاتی نیروی انسانی در یک مقیاس بزرگ است که در این زمینه تلاشهای زیادی برای اتوماتیک کردن فرایند انتخاب سفارش انجام می گیرد (سوال و نورسل، ۲۰۱۰). به طور کلی در تحقیق پیش رو موارد ذیل در نظر گرفته شده است:

- ارسال قطعه انتخاب شده از انبار به خطوط تولید
- اولویت بندی جمع آوری قطعات مورد نیاز خطوط تولید از انبار
- محاسبه کوتاهترین فاصله حرکت در سـیکل فراینـد از زمان رسیدن سفارش به انبار تا ارسال آن به خط تولید
- حداقل کردن متوسط زمان دیرکرد قطعات از انبار به خط تولید

همچنین به منظور حل مدل پیشنهادی از دو الگوریتم فرا ابتکاری معروف چند هدفه مبتنی بر پارتو به نام الگوریتم های NSGA-II و NRGA برای اولین بار در ادبیات مسـائل انتخـاب قطعـه از انبـار استفاده شده است. همچنین به منظور افزایش کارایی الگوریتم های حل، آنها در بهترین مقادیر خود با استفاده از روش تاگوچی تنظیم پارامتر گردیده اند، و در انتها مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته اند. مابقی ساختار مقاله بدین صورت می‌باشد که در بخش سوم با تعریف مفروضات، پارامترها و متغیرهای تصمیم به بیـان مسـائل و تشریح مدل پیشنهادی می پردازیم. در بخش چهارم روش‌های حل پیشنهادی شرح داده می‌شود. در بخش پنجم یک سـری مسـائل نمونه جهت تجزیه و تحلیل نتایج مربوط به روش‌های حل مدل‌های ارایه شده، ایجاد شده و به صورت آماری مورد تحلیل قرار می‌گیرد. در نهایت، نتیجه گیری و پیشنهادات جهت تحقیقات آتی ارائه خواهد شد.

۳. بیان مسئله

پس از ارایه مقدمه و پیشینه تحقیق، در این بخـش ابتـدا مسـئله اولویت‌بندی برداشت قطعات از انبار تشریح شده، سپس فرضـیات، پارامترها و متغیرهای تصمیم تعریف می‌شوند و در ادامه به ارایه مدل دو هدفه پیشنهادی می‌پردازیم.
در این بخش، مسئله انتخاب قطعه از انبار تشریح شده و یک مدل در این زمینه ارایه می شود. قابل ذکر است که در ادبیات مسائل انتخاب قطعات از انبار، عمده کارهای مطالعه شده تنها انتخـاب قطعـات از محلهای تعیین شده و جمع آوری آنها در یک مکان مشخص بوده است. درحالی که تحویل قطعات از انبار به خطـوط کـه مهمتـرین بخش این زنجیره است، در نظر گرفته نشده است. همچنین در اکثر مطالعات تنها بر روی کاهش هزینه انتخاب و یا جمع آوری قطعات از انبار تمر کز نموده اند در حالی که مسلماً انتخاب زمان و یا وسیله مناسب جهت تحویل قطعات انتخاب شده به خطوط نیز در کاهش هزینه ها و نیز افزایش سود آوری سازمان موثر خواهد بود. انتخاب/ برداشتن سفارش، فرآیند برداشتن فرآورده ها از مکانهای انبار ششان برای براورده کردن نیازهای مشتریان به عنوان مهمترین فعالیت در انبار شناخته شده است. تحقیقات اخیر نشـان داده کـه سفارشـات مشتریان از مقدارکم و اندازه ی بزرگ به چندین سفارش با مقـدار کوچک تغییر یافته است که دیر به انبار می رسد (یعنی زمانی که در انبار موجودی پایین است)، اما همچنان نیاز دارد که در مدت کوتاهی انتخاب شـود و توزیـع گـردد. ایـن تغییـر نیازمنـد سیسـتم هـای انتخاب/برداشتن سفارش منعطف وکارا در انبار بـرای بـاقی مانـدن شرکت در محیط رقابتی است (سباستین و همکاران، ۲۰۱۱).
با توجه به کلیات مطرح شده در مورد مسائل انتخاب قطعات از انبار مدلی که در اینجا مد نظر است یک سیستم اولویت بندی انتخـاب قطعات از انبار و توزیع آن به خطوط مونتاژی است. سازمان شامل چندین خط مونتاژی با چندین نوع مواد اولیه است که جهت تأمین مواد اولیه خود نیازمند تغذیه مناسب و به موقع قطعات مورد نیـاز برای ادامه روند تولید می باشد. در این روش فـرد یـا افـرادی کـه مسئول انتخاب و یا برداشت قطعات می باشند جهت انتخاب قطعات

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-27]

مورد نیاز به گردش در انبار می پردازند. بنابراین هدف اول کمینه کردن مجموع هزینه های طی شده جهت جمع آوری و یا انتخاب قطعات از انبار است.

در انبار مورد مطالعه یکی از اهداف افزایش سطح خدمت است، از اینرو، کارها علاوه بر زمان تکمیل تابعی از موعد تحویل نیز می باشد. بدین منظور انبارهای مورد نظر از توالی زودترین موعد تحویل برای ارسال اقلام به خطوط استفاده می کنند. لذا، تابع هدف دوم کمینه کردن میانگین دیرکرد تحویل سفارشات اقلام به خطوط مونتاژی می باشد. لازم به ذکر است که اهداف مطرح شده با یکدیگر در تضاد اند. تابع هدف اول از جنس هزینه و تابع هدف دوم از جنس زمان است. از طرفی تناقض اهداف به صورتی است که کاهش تابع هدف اول می تواند منجر به افزایش تابع هدف دوم گردد و بالعکس.

۳-۱. مفروضات

در این بخش، مفروضات مدل پیشنهادی ذکر شده که به قرار ذیل گزارش می‌شود:

مسئله درحالت قطعی می باشد. از چندین وسیله حمل جهت انتقال اقلام در انبار استفاده شده است. انتخاب سفارش، بر اساس سیستم انتخاب به قطعه در نظر گرفته شده است. چندین خط مونتاژ جهت دریافت سفارش در مدل در نظر گرفته شده است. اقلام مختلفی در انبار نگهداری می شوند. در فضای انبار محدودیت حجم جهت وسایل نقلیه وجود دارد. محدودیت انتقال اقلام درخواستی، جهت حمل وسایل نقلیه در فضای انبار وجود ندارد. حتما می بایستی یک وسیله جهت حمل مواد انتخاب گردد. محل ورود و خروج انبار در یک مکان در نظر گرفته شده است. انبار پیشنهادی به صورت بلوکی در نظر گرفته شده است. وسایل حمل متفاوتی جهت جابجایی اقلام در کف، ارتفاع و تحویل به خطوط در نظر گرفته شده است.

۳-۲. نمادها و پارامترها

i: مجموع اقلام یا کالای نوع i (i=1, 2, …, I)

k: مجموع وسیله نوع k (k=1, 2, …, K)

z: مجموع وسیله نوع z (z=1, 2, …, Z)

m: مجموع نوع خط مونتاژ (m=1, 2, …, M)

o: مجموع وسیله خط مونتاژ (o=1, 2, …, O)

S: مجموع سفارشات (s=1, 2, …, S)

D_{total}^{1}: مجموع مسافت طی شده جهت جمع آوری کالاهای درخواستی از انبار

D_{ij}: مسافت طی شده از مکان کالای i ام تا کالای j ام

$D_{n,op}$: مسافت طی شده از آخرین کالا تا محل استخر سفارشات

$D_{op,I/O}$: مسافت طی شده از محل سفارشات تا محل ورود خروج کالا

DL_m: ضرب الاجل تحویل سفارشات به خطوط

V_k: سرعت وسیله k ام روی زمین

(x_i, y_i, z_i): مختصات کالای i ام

V_z: سرعت وسیله z ام در ارتفاع

v_{im}: حجمی از کالای i ام که از طرف خط مونتاژ m ام درخواست شده است.

$v_{\max,o}$: حداکثر حجم قابل انتقال با وسیله o ام از محل ورود خروج انبار تا خطوط مونتاژی

$D_{I/O,m}$: مسافت بین مکان ورود و خروج کالا تا محل خط مونتاژی m ام

$D_{I/O,i}$: مسافت طی شده از در ورودی تا اولین قطعه انتخاب شده i ام

V_o: سرعت وسیله o در خطوط مونتاژی

C_k: هزینه به ازای هر متر استفاده از وسیله k ام در انبار

C_z: هزینه به ازای هر متر استفاده از وسیله z ام در ارتفاع در انبار

D_{total}^{2}: مجموع حرکت جهت جمع آوری سفارشات در ارتفاع انبار

C_o: هزینه طی مسافت به ازای هر متر در خطوط مونتاژ اگر وسیله oام انتخاب شود

$D_{As,total}$: مجموع مسافت طی شده از انبار تا خطوط مونتاژی

۳-۳. متغیرهای تصمیم

X_k: در صورتی که وسیله k جهت حمل در انبار انتخاب شود یک، در غیر این صورت صفر

X_z: در صورتیکه وسیله حمل در ارتفاع z در انبار انتخاب گردد یک، در غیر این صورت صفر

X_o: در صورتیکه از وسیله o از انبار تا خطوط مونتاژی استفاده گردد یک، در غیر این صورت صفر

t_m: زمان پایان تحویل سفارش به خط m

۳-۴. توابع هدف و متغیرها

مدل پیشنهادی دارای دو هدف است. هدف اول در رابطه (۱) کمینه کردن کل هزینه های برداشت قطعه از انبار می باشد که شامل: هزینه حمل وسایل نوع k ام در کف انبار، هزینه حمل وسایل نوع z در ارتفاع انبار و هزینه حمل وسایل نوع o از انبار به خطوط مونتاژی است. تابع هدف دوم میانگین دیرکرد تحویل سفارشات به خطوط را کمینه می کند که در رابطه (۲) نشان داده شده است.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-27]

$$\min z_1 = \left(\sum_{k=1}^{K} (X_k \times C_k \times D^1_{total})^{warehouse} + \sum_{z=1}^{Z} (X_z \times C_z \times D^2_{total}) \right)^{Assemblylines} + \sum_{o=1}^{O} (X_o \times C_o \times D_{As,total}) \quad (۱)$$

$$\min z_2 = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^{M} \max\left(0, (t_m - DL_m)\right) \quad (۲)$$

$S.t.$

$$D^1_{total} = D_{I/O,i=1} + \sum_{i \in S} \sum_{j=i+1} D_{ij} + D_{n,op} + D_{op,I/O} \quad (۳)$$

$$D_{i,j} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} \quad (۴)$$

$$D^2_{total} = \sum_{i \in S} z_i \quad (۵)$$

$$t_m = \sum_{m=1}^{M} ((\sum_{o=1}^{O} \sum_{i=1}^{I} \left[v_{im} / v_{\max,o} \right] .D_{O/I,m}) / V_0) X_o) + t_0 \quad (۶)$$

$$t_0 = \sum_{k=1}^{K} (D^1_{total} / V_k).X_k) + (\sum_{z=1}^{Z} (D^2_{total} / V_z).X_z \quad (۷)$$

$$D_{As,total} = 2 \times \sum_{m=1}^{M} D_{I/O,m} \quad (۸)$$

$$\sum_{k=1}^{K} X_k = 1 \quad (۹)$$

$$\sum_{z=1}^{Z} X_z = 1 \quad (۱۰)$$

$$\sum_{o=1}^{O} X_o = 1 \quad (۱۱)$$

$$X_k, X_z, X_o \in \{0,1\} \qquad \forall k, z, o$$
$$t_m \geq 0 \qquad \forall m \quad (۱۲)$$

رابطه (۳) مجموع مسافت های ورود و خروج کالا شامل: مسافت از نقطه ورود تا اولین قطعه انتخابی، مسافت طی شده بین دو قلم کالا، رسیدن به استخر سفارشات را محاسبه می کند.

رابطه (۴) مسافت طی شده از مکان دو کالا را به صورت اقلیدسی یا خط مستقیم بدست می آورد.

رابطه (۵) مجموع حرکت جهت جمع آوری سفارشات در ارتفاع انبار را نشان می دهد.

رابطه (۶) زمان پایان تحویل سفارش به خط مونتاژی m را بدست می آورد که برابر است با مجموع تجمعی زمان تحویل سفارش وسیله o ام از انبار تا خطوط مونتاژی.

رابطه (۷) زمان پایان ارسال سفارش برای شروع تحویل اقلام انتخاب شده به خطوط مونتاژ را نشان می دهد.

رابطه (۸) مجموع مسافت طی شده از مکان ورود و خروج انبار تا خطوط مونتاژی را نشان می دهد که برابر است با مجموع زمان رفت و برگشت وسیله حمل بار.

محدودیت (۹) نشان دهنده این است که دقیقا یک وسیله نوع k جهت حمل در انبار انتخاب شود.

محدودیت (۱۰) نشان دهنده این است که دقیقا یک وسیله در ارتفاع z جهت حمل در انبار انتخاب شود.

محدودیت (۱۱) نشان دهنده این است که دقیقا یک وسیله نوع o جهت حمل از انبار تا خطوط مونتاژی انتخاب شود.

و در انتها محدودیت (۱۲) متغیرهای تصمیم مدل را نشان می دهد.

۴. متدولوژی حل

پس از ارایه مدل پیشنهادی، روش‌های مورد استفاده جهت حل مدل از جمله مباحث مهم در ادبیات مسائل بهینه‌سازی است. از آنجائیکه این نوع مسائل از رسته مسائل NP-Hard هستند، به دلیل پیچیده بودن مدل، زمان محاسباتی روش‌های حل دقیق به شدت بالا بوده و در اغلب موارد ناتوان در حل این نوع مسائل هستند. از فاکتورهایی که باعث پیچیدگی مدل شده، تعداد زیاد محدودیت‌ها و متغیرهای تصمیم و همچنین صفر و یک بودن بعضی از متغیرها می‌باشد. همچنین چند هدفه بودن مدل و تضاد بین جنس اهداف بر پیچیدگی مسئله افزوده است. بدین منظور به عنوان یکی از پرکاربردترین ابزارهای حل این مدل‌ها، از الگوریتم‌های فرا ابتکاری چندهدفه برای حل این نوع مسائل بهره جسته‌ایم. در این تحقیق از دو الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب‌ها (NSGA-II) و ژنتیک رتبه بندی نانمغلوب ها (NRGA) جهت حل مدل پیشنهادی استفاده می گردد.

۴-۱. الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب‌ها

الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II) یکی از کارآمدترین و مشهورترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی چند هدفه می-باشد که توسط دب xi i i و همکاران در سال ۲۰۰۰ ارایه شد. همانطور که اشاره کردیم، الگوریتم‌های بهینه‌سازی تک هدفه، حل بهینه را با توجه به یک هدف می‌یابند و این در حالی‌است که در مسائل چند هدفه یک حل بهینه مجزا را نمی‌توان یافت. پس طبیعی است که با یک مجموعه‌ای از حل‌ها به نام حل‌های مغلوب نشده موثر سروکار داشته باشیم. از بین این مجموعه حل‌های متناهی حل مناسب جواب‌هایی خواهد بود که عملکرد قابل قبولی

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-27]

را نسبت به همه اهداف داشته باشد. برای انجام مقایسات مناسب در بهینه‌سازی چند هدفه از مفهوم غلبه استفاده می‌کنیم. مفهوم غلبه به این صورت است که فرض کنید F کل فضای موجه مسئله باشد و $x_1, x_2 \in F$ دو جواب از این مسئله باشد، می‌گوییم x_1 بر x_2 غالب است (یا x_2 مغلوب x_1 است) اگر و فقط x_1 نسبت به x_2 در هیچ کدام از اهداف بدتر نباشد $\left(f_i(x_1) \le f_i(x_2)\ \forall i \in \{1, 2, ..., m\}\right)$ و x_1 نسبت به x_2 حداقل در یکی از اهداف اکیداً بهتر باشد $\left(f_i(x_1) < f_i(x_2)\right)$ (دب، ۲۰۰۰). بدین منظور با توجه به این تعریف دو اپراتور به‌منظور رتبه‌بندی جواب‌ها به الگوریتم ژنتیک اضافه شده و در ادبیات به الگوریتم NSGA-II شهرت یافته است. آن دو اپراتور مرتب‌سازی سریع نامغلوب‌ها **Xi V** و فاصله ازدحامی **XV** می‌باشند. در ادامه قدم‌های پیاده‌سازی الگوریتم NSGA-II تشریح می‌گردد.

۴-۱-۱. مقداردهی اولیه

اطلاعات اولیه برای شروع کار الگوریتم NSGA-II پیشنهادی شامل اندازه جمعیت اولیه (nPop)، احتمال عملگر تقاطع (Pc)، احتمال عملگر جهش (Pm) و تعداد تکرار الگوریتم (nIt) است. لازم به ذکر است که مقادیر تنظیم شده این پارامترها را با استفاده از روش تاگوچی بدست می‌آوریم.

۴-۱-۲. ساختار کروموزوم

در این قسمت به‌منظور طراحی کروموزوم، از متغیرهای ساختاری [xvi] استفاده نموده‌ایم. بدین صورت که هریک از ساختارهای موجود در جواب‌های [xvi i] ایجاد شده، مبین یکی از ویژگی‌های جواب نیز می‌باشد. کروموزمهای مسئله شامل سه بخش Z، K و O می باشد که به صورت متغیرهای صفر و یک تعریف شده اند که برای کروموزوم قسمت اول در شکل (۳)، هر ژن بیانگر انتخاب وسیله K ام است. برای قسمت دوم در شکل (۴) هر ژن مبین انتخاب وسیله Zام بوده و برای قسمت سوم در شکل (۵) هر ژن بیانگرانتخاب وسیله O ام می باشد. از اینرو در صورت انتخاب هر یک از وسایل Z، K و O مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر خواهند گرفت.

۰	۰	۰	۱	۰

شکل ۱. قسمت اول کروموزوم

همانطور که در قسمت اول کرومزوم مشاهده می گردد به عنوان مثال با توجه به یک شدن ژن چهارم، وسیله چهارم جهت حمل در کف انبار انتخاب شده اند.

۰	۱	۰	۰	۰

شکل ۲. ساختار جواب‌های مسئله

همانطور که در قسمت دوم کرومزوم مشاهده می گردد به عنوان مثال با توجه به یک شدن ژن دوم، وسیله دوم جهت حمل در ارتفاع انتخاب گردیده اند.

۰	۰	۱	۰	۰

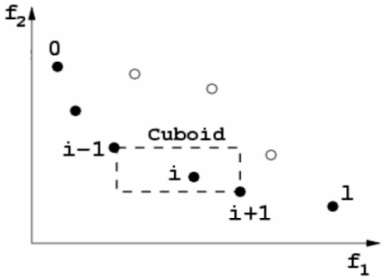
شکل ۳. قسمت سوم کروموزوم

همانطورکه در قسمت سوم کرومزوم مشاهده می گردد به عنوان مثال با توجه به یک شدن ژن سوم، وسیله سوم جهت حمل از انبار به خطوط مونتاژی انتخاب شده است.

۴-۱-۳. مرتب سازی سریع نامغلوب ها و فاصله ازدحامی

در مرتب‌سازی سریع نامغلوب‌ها رتبه‌بندی جمعیت بر اساس نامغلوب‌ها با استفاده از مفهوم غلبه صورت می گیرد. به‌طور کلی برای مرتب‌کردن جمعیت با اندازه n براساس سطوح نامغلوب‌ها، هر جواب با تمام جواب‌های دیگر موجود در جمعیت مقایسه شده تا مغلوب بودن یا نبودن جواب مشخص گردد. در نهایت مجموعه‌ای از جواب‌ها وجود دارد که هیچ‌کدام غالب و مغلوب همدیگر نمی‌شوند لذا این جواب‌ها اولین مرز از مرزهای نامغلوب را تشکیل می‌دهند. برای تعیین جواب‌های موجود در مرزهای بعدی، جواب‌های موجود در مرز اول به‌طور موقت نادیده گرفته شده و فرآیند فوق دوباره تکرار می‌گردد. این فرآیند تا زمانی که تمام جواب‌ها درون مرزهای نامغلوب قرار گیرند ادامه می‌یابد (دب، ۲۰۰۰). برای تخمین تراکم جواب اطراف یک جواب خاص در جمعیت، متوسط فاصله این جواب از هر دو جواب مجاور براساس مقادیر اهداف محاسبه می‌شود و این مقدار، فاصله ازدحام نامیده می‌شود. به‌منظور محاسبه فاصله ازدحامی یک جواب خاص موجود در یک مرز، بزرگترین مستطیلی که آن جواب خاص درون مستطیل و دو جواب مجاور در دو سمت آن جواب، راس‌های آن مستطیل باشند را در نظر می‌گیریم و مجموع یک طول و یک عرض آن را به عنوان فاصله ازدحامی برای آن جواب خاص بدست می‌آوریم. شکل (۴) نحوه نمایش محاسبات مربوط به فاصله ازدحامی $\left(i_{distance}\right)$ برای عضو دلخواه **i** از یک مرز غیر مغلوب را نشان می‌دهد (دب، ۲۰۰۰). یک جواب با مقدار کمتر فاصله ازدحامی بیان‌کننده تراکم بیشتر جواب در اطراف آن جواب است. بنابراین مطلوب است برای مرحله بعد جواب‌هایی انتخاب شوند که در ناحیه با تراکم کمتر یا به عبارتی دارای فاصله ازدحامی بیشتر هستند، زیرا با این کار تنوع و پراکندگی در جواب‌های بدست آمده بیشتر می‌شود (دب، ۲۰۰۰، محتشمی و همکاران، ۲۰۱۵، رحمتی و همکاران، ۲۰۱۳).

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-27]



شکل ۴. محاسبه فاصله ازدحام (دب، ۲۰۰۰)

۴-۱-۴. والدین

در این بخش والدینی که عمل مرتب‌سازی نامغلوب و فاصله ازدحامی روی آن‌ها انجام شده نگهداری می‌شوند و در مرحله بعد با توجه به استراتژی انتخاب مربوطه، عمل تقاطع و جهش روی آن‌ها صورت می‌گیرد.

۴-۱-۵. استراتژی انتخاب

انتخاب جمعیت والد برای بکارگیری عملگرهای تقاطع و جهش بر روی آن‌ها با استفاده از عملگر مسابقه‌ای ازدحام **xvi i i** صورت می گیرد. این عملگر دو جواب i را مقایسه کرده و پیروز مسابقه را مشخص می‌نماید که در این راستا جواب i ام از جمعیت دو ویژگی زیر را دارا می‌باشد: (۱) دارای یک رتبه یا درجه نامغلوب بودن است که آن را با r_i نشان می‌دهیم و (۲) دارای یک فاصله ازدحامی محلی است که آن را با d_i نشان می‌دهیم.

بر پایه دو ویژگی بیان شده عملگر مسابقه‌ای ازدحام بدین صورت تعریف می‌شود که جواب i در مسابقه با جواب j پیروز می‌شود اگر و فقط اگر یکی از دو شرط: (۱) جواب i رتبه بهتری داشته باشد $\left(r_i \le r_j\right)$ که این اطمینان را بوجود می‌آورد که جواب پیروز از درجه نامغلوب بودن بهتری نسبت به حریف خود برخوردار است و شرط (۲) که در هنگام هم‌رتبه بودن جواب‌ها پیش می‌آید بیانگر این است که جواب‌های i و جواب‌های j هم رتبه باشند و جواب i از فاصله ازدحامی بیشتری نسبت به جواب j برخوردار باشد ($r_i = r_j$ و $d_i > d_j$)، این اطمینان را بوجود می‌آورد که جواب پیروز از ناحیه ازدحامی کوچکتری (d_i بزرگتر) نسبت به حریف برخوردار است (دب، ۲۰۰۰).

۴-۱-۶. عملگر تقاطع

عملگر تقاطع مورد استفاده در الگوریتم NSGA-II پیشنهادی، عملگر تقاطع تک نقطه ای**Xi X** می‌باشد. در این نوع عملگر ابتدا عددی تصادفی درفاصله (۱, length-۱) تولید می شود و سپس دو کروموزم والد از نقطه مزبور برش خورده و با هم ترکیب می شوند. سپس بخش اول از کروموزم والد به کرومزوم فرزند منتقل می شوند. برای تکمیل بخش دوم کروموزم هر فرزند، کرومزوم والد دیگر (غیرمتناظر) را از ابتدا اسکن نموده و هر عددی که در کرومزوم فرزند موجود نیست و به آن منتقل می شود. نمونه ای از عملگر تقاطع مورد استفاده در شکل (۵) مشخص شده است.

Parent1	0 0 1 | 0 0
Parent 2	1 0 0 | 0 0

Child 1	0 0 1 | 0 0
Child 2	1 0 0 | 0 0

شکل ۵. نمونه ای از عملگر تقاطع مورد استفاده

۴-۱-۷. عملگر جهش

عملگر جهش مورد استفاده در الگوریتم NSGA-II پیشنهادی، عملگر جهش جابه جایی می‌باشد که در این روش دو ژن به صورت تصادفی انتخاب شده و با هم تعویض می شوند. شکل (۶) نمونه ای از عملگر جهش مورد استفاده را نشان می دهد.

والد	۰	۰	۰	۱	۰
فرزند	۰	۱	۰	۰	۰

شکل ۶. نمونه ای از عملگر جهش مورد استفاده

۴-۱-۸. ارزیابی فرزندان و ترکیب کردن با والدین

در این بخش مجموعه فرزندانی که از طریق عملگرهای تقاطع و جهش به‌وجود آمده‌اند را مورد ارزیابی قرار می‌دهیم و به هریک از فرزندان یک میزان برازندگی اختصاص می‌یابد. در این بخش از الگوریتم جمعیت فرزندان و والدین را با هم ترکیب کرده و جمعیتی برابر دو برابر جمعیت سایز اولیه ایجاد می کنیم. ترکیب جواب‌ها باعث می‌شود که جواب‌های برتر بین جمعیت والدین و فرزندان از بین نرود. از آنجائیکه در مسائل بهینه‌سازی چند هدفه توابع هدف زیادی وجود دارد مسئله نخبه‌گرایی با ابهام مواجه می-شود. در چنین حالت‌هایی از یک رتبه نامغلوب بودن**XX** استفاده می‌کنیم به طوری که هر جواب می‌تواند بر یک پایه نامغلوب بودن ارزش‌گذاری شود (رحمتی و همکاران، ۲۰۱۳).

۴-۱-۹. معیار توقف

آخرین قدم در الگوریتم‌های ژنتیک بررسی شرایط توقف می باشد. در این راستا تکنیک استانداردی برای برای شرایط توقف الگوریتم-های بهینه‌سازی چند هدفه وجود ندارد. در نتیجه الگوریتم زمانی متوقف می‌شود که به ماکزیمم مقدار از پیش تعریف شده برسد.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-27]

۴-۲. الگوریتم ژنتیک رتبه بندی نامغلوب‌ها

در سال ۲۰۰۸ یک الگوریتم تکاملی چند هدفه جدید مبتنی بر جمعیت با نام الگوریتم ژنتیک مبتنی بر رتبه بندی نامغلوب‌ها به طور موفقیت‌آمیزی توسط عمرالجدان [xxi] و همکارانش برای بهینه‌سازی غیر محدب، غیرخطی و گسسته توسعه داده شده است (عمرالجدان و همکاران، ۲۰۰۸). براساس رویکردهای موجود در مسائل قبلی، آن ها رویکرد جدیدی را با ترکیب الگوریتم انتخاب چرخه‌رولت مبتنی بر رتبه‌بندی و الگوریتم رتبه‌بندی جمعیت براساس پارتو توسعه دادند که الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب-ها (NRGA) نام‌گذاری شد. تفاوت الگوریتم NRGA با NSGA-II در دو بخش استراتژی انتخاب و بخش مرتب کردن جمعیت و انتخاب برای نسل بعد می‌باشد. در استراتژی انتخاب از عملگر چرخه رولت مبتنی بر رتبه‌بندی (RRWS)[xxi i] به‌جای استفاده از عملگر مسابقه‌ای ازدحام استفاده می‌کنیم (رحمتی و همکاران، ۲۰۱۲). این عملگر به گونه‌ای طراحی می‌شود که اعضای بهتر (با برازش بهتر)، احتمال انتخاب بیشتری برای تولید مثل و تشکیل نسل بعدی پیدا می‌کنند. در اینجا هر عضو جمعیت دارای دو مشخصه رتبه مرز غیر مغلوبی که در آن قرار دارد و رتبه خودش درون مرز بر اساس فاصله ازدحامی می‌باشد. بنابراین برای انتخاب یک جواب، ابتدا باید یک مرز غیرمغلوب انتخاب شود سپس درون آن مرز یک جواب انتخاب شود (عمرالجدان و همکاران، ۲۰۰۸). در شکل (۸) روند پیاده‌سازی هر دو الگوریتم NSGA-II و NRGA را نشان داده‌ایم.

۵. تجزیه و تحلیل نتایج

به‌منظور حل مدل پیشنهادی، دو الگوریتم فرا ابتکاری حل مسائل چند هدفه بر مبنای رویکرد پارتو الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب (NSGA-II) و الگوریتم ژنتیک رتبه بندی نامغلوب ها (NRGA) ارایه شده است. در این بخش نتایج بدست آمده از پیاده-سازی روش‌های حل پیشنهادی بر روی مسائل آزمایشی تولید شده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. به منظور پیاده سازی مسائل، پارامترهای ورودی در جدول (۱) نشان داده شده است. آزمایشات بر روی ۲۰ مسئله آزمایشی تولید شده با تعداد اقلام (I)، تعداد خطوط مونتاژ (M)، تعداد وسایل نوع حمل در کف (K)، تعداد وسایل حمل در ارتفاع (H) و تعداد وسایل حمل در خطوط مونتاژ (O) اجرا شده است که مقادیر آن‌ها در جدول (۲) نشان داده شده است. پارامترهای الگوریتم‌های پیشنهادی نیز با اجراهای متوالی تنظیم گردیده‌اند. کلیه الگوریتم‌های پیشنهاد شده با نرم افزار MATLAB (Version 10.0, R2013a) برنامه نویسی شده است.

۵-۱. روش تاگوچی

از آنجایی‌که خروجی مسائل به شدت به پارامترهای الگوریتم‌های پیشنهادی وابسته هستند، لذا از روش تاگوچی به‌منظور تنظیم پارامترهای آن‌ها استفاده می‌کنیم. مزیت روش تاگوچی نسبت به دیگر روش‌های طراحی آزمایشات علاوه بر هزینه، بدست آوردن سطوح بهینه پارامترها در زمان کمتر است (فرالی [xxi i i] و همکاران، ۲۰۰۶). یکی از مهم‌ترین قدم‌های این روش انتخاب یک آرایه متعامد[v xxi] است که اثرات عوامل در میانگین پاسخ و تغییرات را تخمین می‌زند. در این تحقیق، مناسب‌ترین طرح، آزمایش‌های سه سطحی تشخیص داده شده‌اند و با توجه به آرایه‌های متعامد استاندارد تاگوچی، آرایه‌ی L_9 به عنوان طرح مناسب آزمایشی برای تنظیم پارامتر الگوریتم‌های پیشنهادی انتخاب شده است. تاگوچی به‌منظور تنظیم پارامترهای بهینه، یک اندازه آماری عملکرد تحت عنوان نسبت S/Nxxv را در نظر می-گیرد که این نسبت در برگیرنده میانگین و تغییرات است که این نسبت در هر سطحی بیشتر باشد مطلوب‌تر است (تاگوچی [xxvi] ۱۹۸۶). متغیر پاسخ در نظر گرفته شده شاخص استاندارد Diversity برای الگوریتم‌های چند هدفه است. از آن‌جا که این متغیر پاسخ از نوع "هرچه بیشتر بهتر" است، نسبت S/N متناظر آن به صورت رابطه (۱۳) در نظر گرفته می‌شود. الگوریتم‌های فراابتکاری پیشنهادی برای هر آزمایش تاگوچی اجرا می‌شوند و سپس نسبت‌های S/N توسط نرم‌افزار Minitab 16.1 محاسبه می‌گردند. که خروجی آن در شکل های (۹) و (۱۰) نشان داده شده است.

$$\left(S/N\right)_L = -10\log_{10}\left(\frac{1}{n}\sum\frac{1}{y_i^2}\right) \qquad (۱۳)$$

۵-۲. معیارهای اندازه‌گیری برای مقایسه نتایج

در ادامه معیارهای استاندارد مقایسه جهت ارزیابی الگوریتم‌های چند هدفه با رویکرد پارتو ارایه می‌شود. به طور کلی بر خلاف بهینه‌سازی تک هدفه دو معیار اصلی شامل حفظ تنوع در بین جواب‌های پارتو و همگرایی به مجموعه جواب‌های پارتو را برای بهینه‌سازی چند هدفه می‌توان در نظر گرفت [۱۵]. در این بخش چهار معیار مقایسه جهت ارزیابی الگوریتم های بهینه سازی چند هدفه ارایه می‌شود.

این اهداف عبارتند از (۱) بیشترین گسترش [xxvi i] این معیار که توسط Zitzler ارایه شده است [۲۳]، در مدل دو هدفه ما، برابر با فاصله اقلیدسی بین دو جواب مرزی در فضای هدف می‌باشد. هرچه این معیار بزرگتر باشد، بهتر است. رابطه (۲۳) رویه محاسباتی این شاخص را نشان می‌دهد.

$$D = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}\left(\max_i f_i^j - \min_i f_i^j\right)^2} \qquad (۱۴)$$

(۲) تعداد جواب های پارتو [xxvi i i] مقدار معیار NOS نشان‌دهنده تعداد جواب‌های بهینه پارتو هستند که در هر الگوریتم می‌توان یافت [۲۵].

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-27]

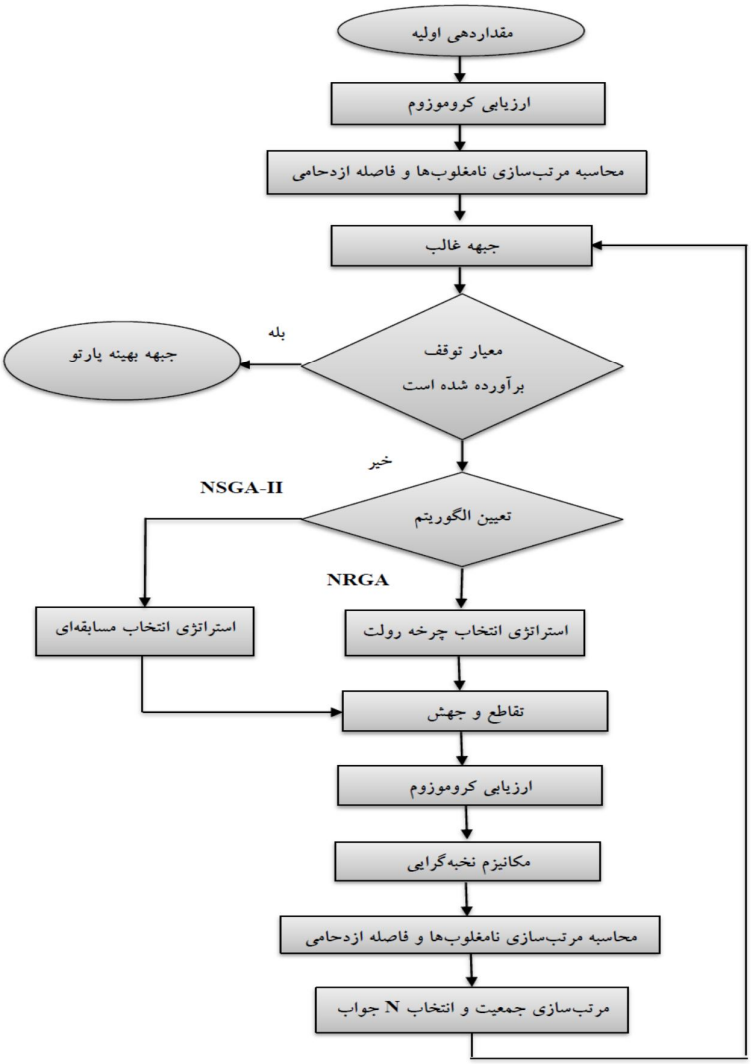
(۳) فاصله از جواب ایده آل[xxi] از آنجایی‌که در مباحث چند هدفه مبتنی بر رویکرد پارتو، یکی از اهداف، فرونت‌های هرچه نزدیکتر به مبدأ مختصات است لذا این معیار فاصله فرونت‌ها را از بهترین مقدار جمعیت محاسبه می‌کند [۲۵].

(۴) زمان اجرای الگوریتم: زمان اجرای الگوریتم یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در کارایی هر الگوریتم فرا ابتکاری است.

به منظور بررسی صحت مدل پیشنهادی، مسئله در سایز کوچک با استفاده از نرم افزار *GAMS* و رویکرد یکپارچه سازی و با روش معیار جامع[xxii] اجرا در آمده و سپس با الگوریتم *GA* مورد مقایسه قرار گرفته است که در جدول (۳) نتایج محاسباتی آن در مقایسه با حل برنامه‌ریزی ریاضی مدل پیشنهادی نشان داده شده است.

جدول ۱. پارامترهای ورودی به‌منظور پیاده‌سازی مسائل

پارامتر	تابع توزیع	پارامتر	تابع توزیع
V_O	Uniform(1,5)	V_{im}	Uniform(0,20)
C_O	Uniform(5,15)	X	Uniform(0,10)
V_K	Uniform(1,5)	Y	Uniform(0,10)
C_K	Uniform(5,15)	Z	Uniform(0,10)
V_z	Uniform(1,5)	C_Z	Uniform(5,15)



شکل ۷. فلوچارت الگوریتم‌های NSGA-II و NRGA

همانطور که در بالا اشاره شد جهت یکپارچه‌سازی توابع هدف، روش *Lp-metric* مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش به دنبال کمینه‌سازی انحرافات توابع هدف (z_i) از مقدار بهینه شان هستیم (Stadler, 1984). در روش معیار جامع ابتدا جواب‌های

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-27]

انفرادی برای بهینگی هر تابع هدف محاسبه شده سپس تابع هدف (۱۵) کمینه می‌گردد.

$$Minimize \quad \left(\sum_{i=1}^{Q} \left[\omega_i \left| \frac{z_i^* - z_i(x)}{z_i^*} \right| \right]^P \right)^{\frac{1}{P}}$$

$$Subject\ to \qquad (۱۵)$$

$$x \in X \subset R^Q$$

که ω_i بیانگر درجه اهمیت (وزن) برای هدف iام می‌باشد و $P \in \left([1,\infty) \cup \{\infty\} \right)$ می‌باشد. $P=1$ نشان دهنده آن است که اهمیت یکسانی برای تمامی انحرافات در نظر گرفته می‌شود. $P=2$ نشان‌دهنده آن است که هریک از انحرافات وزن متناسب با خود را دارند به‌طوری که بزرگترین انحراف بیشترین وزن را به خود اختصاص می‌دهد. وقتی P به سمت بی‌نهایت میل می‌کند نشان‌دهنده آن است که بزرگترین انحراف بیانگر فاصله می‌باشد که به صورت رابطه (۱۶) بیان می گردد (Hwang and Lai, 1996).

$$Minimize \quad \left(Max \left(\left[\omega_1 \left| \frac{z_1^* - z_1(x)}{z_1^*} \right|, \omega_2 \left| \frac{z_2^* - z_2(x)}{z_2^*} \right| \right] \right) \right)$$

$$Subject\ to \qquad (۱۶)$$

$$x \in X \subset R^Q$$

جدول ۲. تعداد سطوح مختلف در مدل پیشنهادی

Test Problem Number	I	M	O	K	H
1	10	5	3	3	2
2	15	6	4	3	2
3	40	8	3	4	2
4	30	12	4	4	2
5	45	10	4	3	2
6	50	12	4	4	2
7	52	7	3	3	3
8	55	14	3	5	3
9	60	7	5	4	4
10	70	10	3	4	3
11	75	11	4	3	4
12	80	12	5	4	3
13	85	15	6	6	5
14	90	12	4	4	2
15	100	11	3	5	2
16	120	10	4	4	2
17	140	14	4	5	3
18	150	15	5	5	3
19	200	20	5	5	4
20	500	70	8	20	7

جدول ۳. تجزیه و تحلیل مسائل در سایز کوچک

Num	Problem Size					Optimal Solution (Lp-metric)	GA (P=∞)
	I	M	O	K	H		
1	5	3	2	2	1	0.126	0.126
2	6	3	3	2	1	0.423	0.431
3	7	3	3	3	1	0.097	0.103
4	8	4	3	3	2	0.486	0.502
5	9	5	4	4	3	0.554	0.572

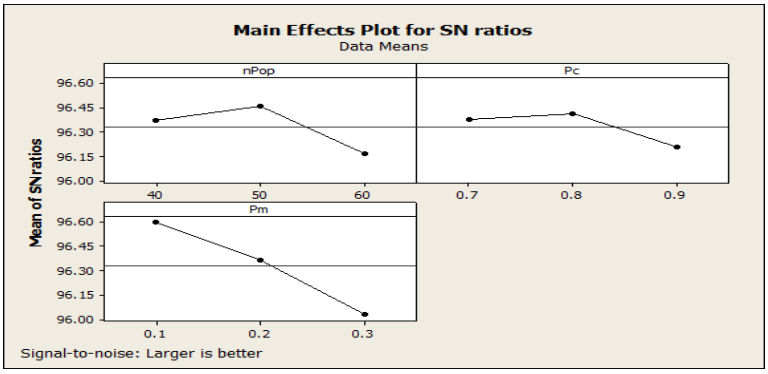
همانطور که در جداول فوق نشان داده شده است دو شاخص MID و Time مقادیر کمتر و برای دو شاخص Diversity و NOS مقادیر بیشتر از مطلوبیت بالاتری برخوردار هستند. همان‌طور که در ردیف انتهایی جدول محاسباتی (۵) نشان داده شده است معیارهای MID و Time در الگوریتم NSGA-II، و معیارهای Diversity و NOS در الگوریتم NRGA از مطلوبیت بالاتری برخوردارند. به‌منظور بررسی و مقایسه دقیقتر از تحلیل‌های آماری استفاده کرده‌ایم. همان‌طور که اشاره شد، در این حیطه از آزمون t بهره جسته‌ایم. بدین منظور خروجی تحلیل واریانس به صورت P-Value بدست آمده که ۰/۶۵۶ برای Diversity، ۰/۹۴۹ برای MID، ۰/۵۹۸ برای Time و ۰/۹۳۵ برای NOS می لذا خروجی‌های آماری بیانگر این است که در تمامی معیارها تفاوت معنی‌دار بین الگوریتم‌ها وجود ندارد و در این معیارها الگوریتم‌ها کاملاً قابلیت رقابت با یکدیگر را دارند. همچنین به منظور افزایش خوانایی ادعاهای صورت گرفته در این جدول، فواصل اطمینان معیارها به صورت جعبه ای در شکل (۱۲) ترسیم شده است.

جدول ۴. دامنه جستجو و سطح پارامترها

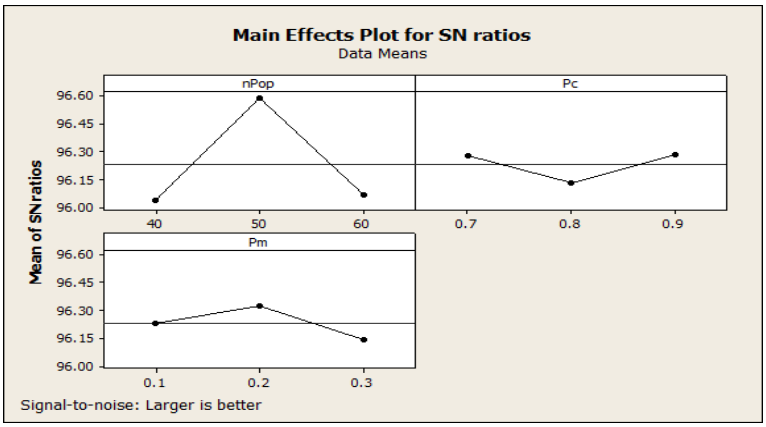
الگوریتم	پارامترهای الگوریتم	فواصل پارامترها	پائین (۱)	متوسط (۲)	بالا (۳)
	nPop (A)	40-60	40	50	60
	P_c (B)	0.7-0.9	0.7	0.8	0.9

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-27]

NSGA-II	P_m (C)	0.1-0.3	0.1	0.2	0.3
	nPop (A)	40-60	40	50	60
	P_c (B)	0.7-0.9	0.7	0.8	0.9
NRGA	P_m (C)	0.1-0.3	0.1	0.2	0.3



شکل ۸. نمودار S/N تاگوچی برای NSGA-II



شکل ۹. نمودار S/N تاگوچی برای NRGA

جدول ۵. نتایج محاسباتی معیارهای مقایسه الگوریتم های NSGA-II و NRGA

Num	Proposed NSGA-II				Proposed NRGA			
	NOS	MID	Diversity	Time	NOS	MID	Diversity	Time
1	2	2256	3446	24.94	2	2229	3446	26.19
2	2	4693	7483	22.89	2	4625	7483	26.20
3	4	37554	66679	23.83	2	40419	66679	26.94
4	6	11759	15746	25.36	6	11413	14838	27.7
5	4	24728	33070	24.08	4	24770	33069	27.33
6	17	43570	62811	25.03	25	46179	62810	28.22
7	50	36685	58950	24.65	50	38479	58953	28.15

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-27]

8	50	46435	73752	25.02	6	48893	73753	28.39
9	49	64420	89093	25.14	14	65745	89083	28.39
10	2	117436	163614	25.47	30	75287	102071	30.8
11	8	79171	81541	27.19	8	79182	81552	30.56
12	18	77232	109496	26.7	14	78477	109496	31
13	3	55808	105563	28.63	31	77321	105557	31.87
14	14	187867	256564	29.07	9	167709	256569	31.94
15	2	132887	177817	29.11	50	132888	175712	33.11
16	8	324196	599708	29.05	28	324085	599026	33
17	46	286413	379246	30.62	5	233650	379246	34.09
18	17	422889	629793	30.12	37	436177	629828	34.52
19	10	429550	560940	34.12	50	429550	560940	39.08
20	47	2739933	4141358	76.72	25	3070211	9813251	91.95
Ave	17.95	256274.1	380833.5	29.387	18.4	269364.5	661168.1	33.47

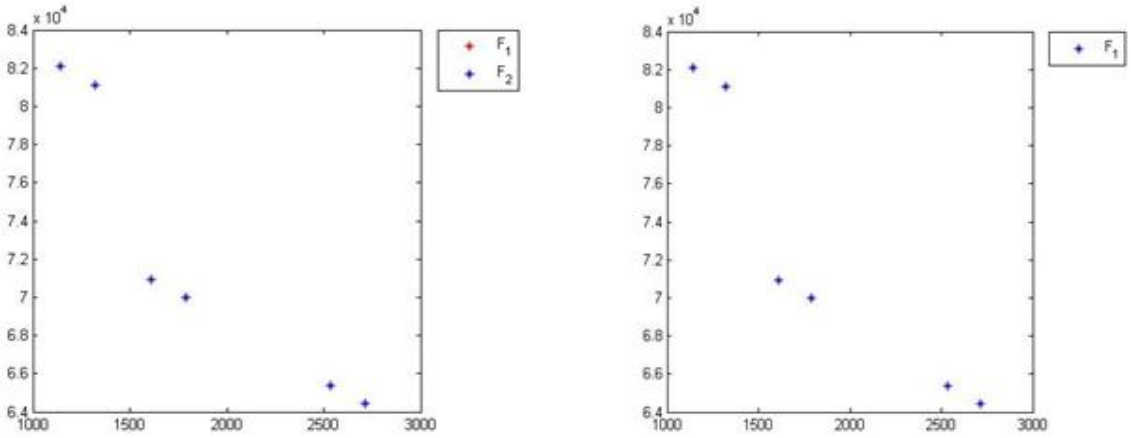
جدول ۶. نتایج توابع هدف حل الگوریتم های پیشنهادی

Num	Objective Functions of NSGA-II		Objective Functions of NRGA	
	Z_1	Z_2	Z_1	Z_2
1	245.92	236.83	240.85	232.81
	354.73	100.81	345.36	102.55
2	906.94	107.49	902.54	109.33
	912.54	107.19	915.41	105.96
3	1640	653.99	1571.4	875.25
	1545.2	785.13	1480.8	920.55
	1574.8	784.39	-	-
	1610.4	654.73	-	-

جدول۷. متغیرهای تصمیم حل الگوریتم های پیشنهادی سه مسئله اول NSGA-II و NRGA

Num	X_k	X_o	X_z	t_m
1	[0,0,1]	[0,1,0]	[1,0]	[283.83, 567.66, 851.50, 1135, 1419.2]
2	[1,0,0]	[0,0,0,1]	[1,0]	[331.24, 662.55, 993.8, 1325.3, 1657.6, 1989]
3	[0,1,0,0]	[0,1,0]	[1,0]	[4340.4, 8680, 13020, 17360, 21700, 26040, 30380, 34720]
1	[1,0,0]	[0,1,0]	[1,0]	[147.81, 295.63, 443.45, 591.26, 739.08]
2	[1,0,0]	[0,0,0,1]	[1,0]	[331.24, 662.55, 993.8, 1325.3, 1657.6, 1989]
3	[0,0,1,0]	[0,1,0]	[1,0]	[906.79, 1813, 2720, 3627, 4534, 5440, 6347, 7254]

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-27]



شکل ۱۰. نمودار پارتو الگوریتم‌های *NSGA-II* و *NRGA* برای مسئله شماره ۴

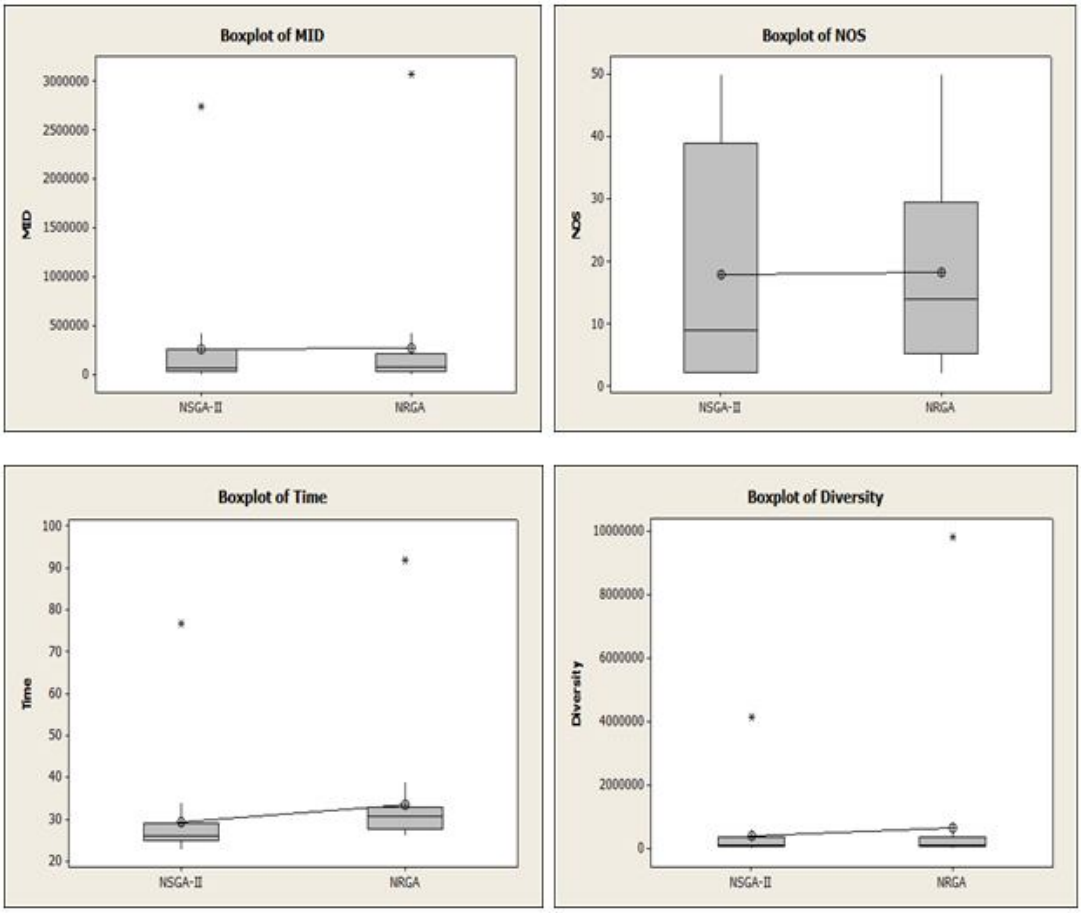
۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

در این تحقیق، به ارائه یک مدل دو هدفه به منظور اولویت بندی برداشت قطعات و مواد اولیه از فضای انبارش پرداخته ایم. در مدل پیشنهادی انتخاب قطعات درخواست شده از مکانهای انبارش در زودترین زمان و با کمترین مقدار پیمایش مسافت مورد استفاده قرار گرفته است. اهداف مدل شامل کمینه کردن کل هزینه های برداشت و حمل قطعات از انبار به خطوط مونتاژ و به حداقل رساندن متوسط دیرکرد تحویل قطعات به خطوط مونتاژی می باشد. با توجه به پیچیدگی مسئله در ابعاد بزرگ به منظور حل مدل پیشنهادی ارائه شده از الگوریتم های فرا ابتکاری تکاملی چند هدفه بهره جسته ایم. ضرورت خاص از تحقیق مورد نظر دامنه ادبیات محدود تحقیقات در زمینه انبارش قطعات با در نظر گرفتن همزمان چندین هدف است. به منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات مربوط به تحقیق صورت گرفته ابتدا ادبیات مسئله به طور دقیق مورد مطالعه قرار گرفت و بر اساس آن مدلسازی ریاضی صورت پذیرفت. همانطور که اشاره شده با توجه به پیچیدگی مسئله در ابعاد بزرگ، جهت مدل چند هدفه پیشنهادی از الگوریتم های فرا ابتکاری ژنتیک مرتب سازی نامغلوب ها (NSGA-II) و ژنتیک رتبه بندی نامغلوب ها (NRGA) استفاده نموده ایم. در پیاده سازی روش های حل با توجه به حساس بودن پارامترها از روش تاگوچی به منظور تنظیم پارامترهای الگوریتم ها استفاده شده است. در انتها نیز به منظور انتخاب کاراترین روش های حل مدل ارائه شده از تحلیل آماری بهره جسته ایم. همچنین به منظور پیشنهادات جهت تحقیقات آتی می توان موارد ذیل را در نظر گرفت:

- مدلسازی بر اساس ارسال سفارشات اقلام از انبار بر اساس توالی انجام کارها و فعالیت ها در خط مونتاژ.
- در نظر گرفتن بعضی پارامترها همچون موعد تحویل و برخی هزینه ها به صورت احتمالی یا فازی به منظور نزدیکتر شدن مدل به دنیای واقعی.

استفاده از دیگر الگوریتم های فرا ابتکاری چند هدفه برای حل مسائل مانند الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات چند هدفه، شبیه سازی تبرید چند هدفه و جستجوی هارمونی چند هدفه.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-27]



شکل ۱۱. نمودار جعبه ای مقایسه فواصل اطمینان معیارها

در جدول ۳ حجم جریان افراد مجروح از نقاط تقاضا به بیمارستان-ها که به‌وسیله‌ی آمبولانس و به طور مستقیم اعزام می‌شوند، نشان داده شده است. به عنوان نمونه تعداد۱۷۰۰۰ نفر از افراد مجروح از نقطه‌ی تقاضای خیابان ۱۹۲ شرقی به وسیله‌ی آمبولانس و به طور مستقیم به بیمارستان تهران پارس منتقل می‌شوند.

در جدول ۴ حجم جریان افراد مجروح از نقاط تقاضا به نقاط انتقال که توسط آمبولانس منتقل می‌شوند، آورده شده است. به عنوان مثال تعداد ۱۶۵۳۵ نفر از افراد مجروح توسط آمبولانس از نقطه‌ی تقاضای خیابان ۱۹۲ شرقی به نقطه‌ی انتقال شرکت واحد منتقل می‌شوند که با توجه به این‌که حجم جریانی از نقطه‌ی انتقال شرکت واحد به بیمارستان‌ها وجود ندارد، در همان مکان نگهداری می‌گردند.

پی نوشت

1. Picker To Part
2. Part To Picker
3. Pick To Box
4. Sorting System
5. Charles and Gerald
6. Chih-Ming Hsu
7. Tho Le-Duc
8. Ying-Chin Ho
9. Zhang Haijun
10. Christophe Theys
11. Traveling salesman Problem (TSP)
12. sebastian
13. Deb
14. Fast non-dominated sort (FNDS)
15. Crowding Distance (CD)
16. Structure
17. Solutions
18. Crowded tournament selection operator
19. One-Point Crossover
20. Non-domination ranking
21. Al Jadaan
22. Ranked based roulette wheel selection (RRWS)
23. Fraley
24. Orthogonal array (OA)
25. Signal to noise (S/N)
26. Taghuchi
27. Maximum Spread or Diversity
28. Number of Pareto Solution (NOS)

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-27]

29. Mean Ideal Distance (MID)
30. Lp-Metric

مراجع

[1] Al Jadaan, O., Rao, C.R., & Rajamani, L. "Non-Dominated ranked genetic algorithm for solving Multi-Objective optimization problems: NRGA", Journal of Theoritical and Applied Information Technology, (2008), pp. 60-67.

[2] Caron, F., Marchet, G. and Perego, A. "Routing policies and COI-based storage policies in picker-to-part systems", International Journal of Production Research, (2000), Vol. 36, No. 3, pp. 713-732.

[3] Charles G., Gerald Aase. "A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking", European Journal of Operational Research, (2004), Vol. 92, N. 1, pp. 11-19.

[4] Cheng, C., Chen, Y., Chen, T., Yoo, J.J.W. "Using a hybrid approach based on the particle swarm optimization to solve joint order batching and picker routing problem ". International Journal of Production Economics, (2015), No. 3, pp. 805-814.

[5] Chih-Ming Hsu, Kia-Ying-Chen, Mu-Chen Chen. "Batching orders in warehouses by minimizing travel distance with genetic algorithms", International Journal of Production Research, (2005), pp. 169-178.

[6] Christophe Theys, Olli Bräysy, Wout Dullaert, Birger Raa. "Using a TSP heuristic for routing order pickers in warehouses". European Journal of Operational Research, (2011), Vol. 200, pp. 755–763.

[7] Deb K., Agrawal S., Pratap A., Meyarivan T., "A fast elitist non-dominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization: NSGA-II, In: proceedings of the parallel problem solving from nature VI (PPSN-VI) conference, (2000), pp. 849-858.

[8] Eydi, A. "Shortest path strategies in dynamic guidance of vehicle based on level of service criteria- A hybrid genetic algorithm approach", International Journal of Industrial Engineering and Production Management, 21(3), 2010, 68-79.

[9] Fraley, S., Oom, M., Terrien, B., & Date, J.Z. "Design of experiments via Taguchi methods: Orthogonal Arrays". The Michigan Chemical Process Dynamic and Controls Open Text Book, USA, (2006).

[10] Hwang C.L., Lai Y.J. Fuzzy Multiple Objective Decision Making: Methods and Application", Springer-Verlag, (1996).

[11] Matusiak, M., Koster, R., Kroon, L., Saarinen, J. "A fast simulated annealing method for batching precedence-constrained customer orders in a warehouse". European Journal of Operational Research, (2014), No. 3, pp. 968-977.

[12] Mohtashami, A., Tavana, M., Santos-Arteaga, F., Fallahian-Najafabadi, A. "A novel multi-objective meta-heuristic model for solving cross-docking scheduling problems". Applied Soft Computing, (2015), Vol. 31, pp. 30-47.

[13] Pan, J.C.H., Wu, M.H., Chang, W.H. "A travel time estimation model for a high-level picker- to- part system with class-based storage policies" European Journal of Operational Research, (2014), No. 3, pp. 1054-1066.

[14] Rahmati S.H., Zandieh M., Yazdani, M., "Developing two multi-objective evolutionary algorithms for the multi-objective flexible job shop scheduling problem", International Journal Advanced Manufacturing Technology, (2013), Vol. 64, No. 5, pp. 915-932.

[15] Roodbergen, K.J. "Layout and routing methods for warehouses. Erasmus Research Institute of Management (ERIM)", (2001).

[16] Sebastian, H., Verena, S., Gademann, A.J.R.N. "Order batching and sequencing in manual order picking system", Computers & Industrial Engineering, (2011), pp. 338–351.

[17] Sepehri, M., Kargari, M. "Optimizing the service card in multi-depot, multi-product and multi-level vehicle routing problems with the aim of minimizing the total

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-27]

distribution costs", International Journal of Industrial Engineering and Production Management, (2010), Vol. 21, No. 1, pp. 49-61.

[18] Seval, E., Nursel, O. "Storage location assignment and order picking optimization in the automotive industry", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, (2010), Vol. 60, pp. 787–797.

[19] Stadler W. Application of Multicriteria Optimization in Engineering and Science (A Survey), In: Zeleny, M. (ed.) Multiple Criteria Decision Making-Past Decade and Future Trends. Greenwich, CT: JAI, (1984).

[20] Taguchi, G. "Introduction to quality engineering", White Plains: Asian Productivity Organization/UNIPUB, (1986).

[21] Tho, L, "Design and Control of Efficient Order Picking Processes", Erasmus Research Institute of Management (ERIM), (2007).

[22] Ying-Chin, H., Teng-Sheng, S., Zhi-Bin, S. "Order-batching methods for an order-picking warehouse with two cross aisles", Computers & Industrial Engineering, (2008), Vol. 55, No. 2, pp. 321–347.

[23] Zafari, A., Tashakori, S., Yousefi khoshbakht, M. "A hybrid effective genetic algorithm for solving the vehicle routing problem", International Journal of Industrial Engineering and Production Management, (2010), Vol. 21, No. 2, pp. 63-76.

[24] Zhang, H, Beijing, L. "A New Genetic Algorithm for Order- Picking of Irregular Warehouse", Environmental Science and Information Application Technology, (2009), pp. 121-124

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-27]