مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال شانزدهم، شماره اول (پیاپی ۶۰)، بهار ۹۸، ص ص ۹۱-۶۹
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

زمان‌بندی کامیون‌ها در فرابارانداز چندگانه برای کاهش تاخیرات با استفاده از الگوریتم فراابتکاری رقابت استعماری

منوچهر جعفری کلیجی[1*]، محبوبه صادقپور حاجی[2]، مصطفی حاجی آقایی کشتلی[3]
۱-کارشناس ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائمشهر، گروه مهندسی صنایع، قائمشهر، ایران
۲-استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائمشهر، گروه مهندسی صنایع، قائمشهر، ایران
۳- استادیار، دانشگاه علم و فناوری مازندران، بهشهر، ایران

رسید مقاله: ۱۲ شهریور ۱۳۹۵
پذیرش مقاله: ۱۰ دی ۱۳۹۷

چکیده

فرابارانداز یک استراتژی لجستیکی است که امروزه توسط تعداد زیادی از شرکت‌ها در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرابارانداز به‌طور موثر کاهش قابل توجهی در هزینه حمل و نقل، بدون افزایش موجودی و به‌طور همزمان با ثابت نگه داشتن سطح خدمات به مشتریان، ایجاد می‌نماید. همچنین فرابارانداز نیز می‌تواند به کاهش زمان سیکل سفارش، بهبود انعطاف‌پذیری و پاسخگویی شبکه توزیع منجر شود. در این مقاله برنامه‌ریزی بارکش‌ها در یک سیستم فرابارانداز با انبار موقت در جلوی درب ارسال، محدودیت ظرفیت و زمان تاخیر به‌طور همزمان لحاظ شده است. بارکش‌های دریافت متناوباً می‌توانند در داخل و خارج از بارانداز در طول فواصل زمانی بین اجرای وظیفه خود حرکت کنند و بارکش‌ها می‌توانند به هر یک از فرابارانداز‌ها وارد شوند. بنابراین، طراحی و توسعه یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای برنامه‌ریزی فرابارانداز چندگانه از ادبیات تحقیق مربوطه الهام گرفته شده است. هدف این تحقیق کمینه‌سازی مجموع دیرکردها توسط کامیون‌های خروجی و یا حداکثر رساندن عملکرد سیستم فرابارانداز است. علاوه براین، مفاهیم اضافی در روش جدید فرابارانداز چندگانه با ظرفیت محدود و دو نوع زمان تاخیر در نظر گرفته شده است.

در این مقاله ابتدا از نرم افزار گمز برای دستیابی به جواب بهینه استفاده شده است، سپس با توجه به پیچیدگی مدل در دستیابی به جواب دقیق و افزایش فضای جستجو در مسایل بزرگ از الگوریتم فراابتکاری رقابت استعماری برای حل مدل مذکور استفاده شده است و نتایج عددی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته‌اند.

کلمات کلیدی: شبکه زنجیره‌تامین، فرابارانداز، زمان‌بندی کامیون‌ها، الگوریتم رقابت استعماری.

* عهده‌دار مکاتبات
آدرس الکترونیکی: mjafari7777@gmail.com

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.1.2.1]

۱ مقدمه

در سال‌های اخیر مساله‌ی طراحی شبکه‌ی زنجیره‌تامین[1] به دلیل افزایش رقابت موجود دربازار جهانی اهمیت زیادی یافته است. سازمان‌ها مجبورند سطوح خدمات به مشتریان را درسطح بالا نگهدارند، درحالی‌که باید هزینه‌ها را کم کنند و سود را افزایش دهند. حدود ٪۳۰ از قیمت محصول ناشی از فرآیند توزیع است؛ بنابراین بهبود جریان مواد به دلیل مدیریت مؤثر فرایند توزیع برای افزایش رضایت مشتری امری ضروریست. به همین دلیل روش‌های بسیاری برای کنترل و یکپارچه‌سازی جریان مواد به‌کارگرفته می‌شود [۱]. سالانه به دلایل مختلف مقدار قابل‌ملاحظه‌ای از محصولات تولیدی در صنایع مختلف غذایی و زراعی در زنجیره‌تامین خود فاسد می‌شوند. مکانیزم‌های مختلفی نیاز هست تا این ضایعات را کاهش دهد و یا بتواند از اقلام فاسدشده بهره‌برداری کند؛ بنابراین برای بهبود این شرایط نامطلوب، شبکه زنجیره‌تامین کارایی طراحی گردید که هدف از آن، کمینه‌سازی هزینه‌ها برای محصولات فاسدشدنی می‌باشد. ازآنجایی‌که مدل پیشنهادی در ابعاد بزرگ مسأله پیچیده و دشوار (NP-*hard*) می‌باشد؛ لذا برای بررسی نتایج، از الگوریتم‌های فرا ابتکاری استفاده‌شده است [۲].

یک شیوه برای کاهش هزینه‌ها، می‌تواند بهبود یکی یا تعداد بیش‌تری از عملیات‌های مرتبط با توزیع و انبارداری باشد. از آنجایی‌که همواره موضوع نگهداری موجودی در کلیه‌ی مسایل مرتبط با انبار ایفای نقش می‌کند، تلاش‌های بسیاری در راستای بهینه‌سازی سطح موجودی صورت گرفت تا اینکه مطالعات به سمت حذف کامل موجودی در انبارها گرایش پیدا کرد و مفهوم فراباراندازِ[2] برای حذف موجودی ارایه شد. امروزه سازمان‌های لجستیکی بسیاری با هدف افزایش چابکی و کاهش سطح موجودی به استفاده از فراباراندازِ روی آورده‌اند [۳]. هدف از ایجاد فراباراندازِ انتقال مستقیم محموله‌های وارده به انبار توسط وسایل نقلیه‌ی خروجی بدون ذخیره کردن آن‌هاست.

در واقع می‌توان ادعا کرد که یکی از خروجی‌های ناشی از اوج گرفتن رقابت در صنعت توجه روزافزون به مساله‌ی طراحی شبکه‌ی حمل و نقل زنجیره‌تامین هم از طرف تامین‌کننده و هم از طرف مصرف‌کننده بوده است [۴]. به طور کلی هر زنجیره‌ی‌تامین شامل سه مرحله‌ی اصلی تهیه، تولید و توزیع است که هرکدام تسهیلات بسیاری را شامل می‌شود. مراکز توزیع نقش مهمی در مرحله توزیع دارند که این مراکز نقطه تلاقی جمع‌آوری و تحویل محصولات و وسیله اصلی برآوردن تقاضای مشتریان هستند [۵]. عملیات مورد نیاز در یک مرکز توزیع دارای پنج عملکرد اصلی زیر است:

۱- دریافت ۲- طبقه بندی ۳- ذخیره ۴-انتخاب ۵- ارسال.

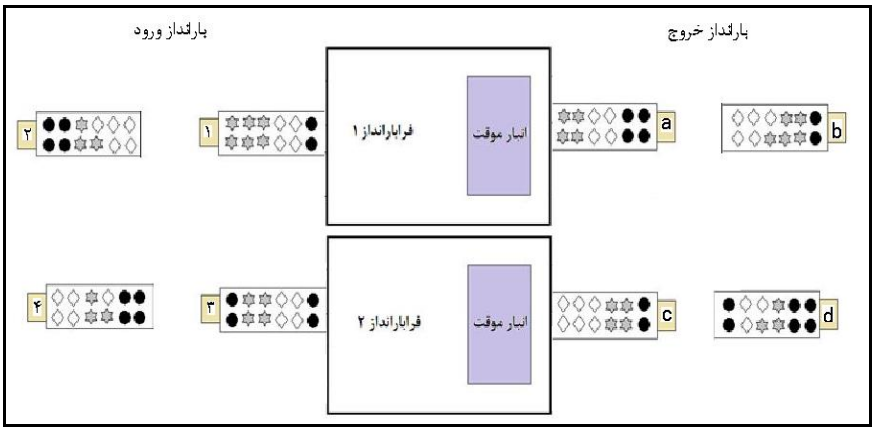
اگر همکاری این پنج بخش بهبود یابد، هزینه‌ها کاهش و بهره‌وری افزایش می‌یابد [۶]. بهترین راه برای کاهش هزینه و بهبود کارآیی، واقعا بهبود یک عملکرد نیست؛ بلکه حذف آن عملکرد در صورت امکان است. فراباراندازِ از میان پنج عملیات اصلی مرکز توزیع، توانایی حذف عملکردهای ذخیره‌سازی و انتخاب را دارند که دارای بیش‌ترین هزینه عملیات انبار هستند.

[1] Supply chain management (scm)
[2] Cross docking

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.1.2.1]

یو[1] یک مساله فراباراندازِ تحت مفروضات مختلف را مورد بررسی قرار داده و مدلی ارایه کرده است که یک انبار موقت در یک سیستم فراباراندازِ وجود دارد و هر یک از دو گروه بارکش دریافت و ارسال می‌توانند به‌طور متناوب به فراباراندازِ وارد شوند. انبار موقت اجازه می‌دهد تا بارکش‌ها محموله‌های بیش‌تری تحویل دهند که ذخیره‌ای برای محموله‌های آینده هستند. دیگر بارکش‌ها، مسئول حمل محموله به مقصد نهایی هستند و می‌توانند این ذخیره‌سازی موقت را برای رفع نیازهای مشتریان نهایی استفاده کنند [۷]. با توجه به تحقیقات انجام شده اخیر که در بخش ادبیات تحقیق آمده است، هیچ مقاله‌ای با در نظر گرفتن چند بارانداز و محدودیت ظرفیت وجود ندارد؛ بنابراین، ما این مساله را با چند بارانداز و محدودیت ظرفیت بررسی کرده‌ایم. به عبارت دیگر، هر یک از بارکش‌های دریافت، مجاز به انتخاب یکی از فراباراندازها برای تخلیه می‌باشند. در این مقاله، دو نوع زمان تاخیر وجود دارد. نوع اول هنگامی که تغییر بارکش وجود داشته رخ می‌دهد و نوع دوم زمانی‌که بارکش ارسال کالا در حال حاضر از هیچ یک از بارکش‌های دریافت و یا انبار موقت محصولی برای بارگیری ندارد و منتظر است تا محصولات مورد نیاز در باراندازهای ارسال از راه برسند. شکل ۱ نمای شماتیک از مدل پیشنهادی برای چند فراباراندازِ را به تصویر می‌کشد.



شکل ۱. نمای شماتیک از مدل پیشنهادی برای چند فراباراندازِ

طرح کلی این مقاله در ۵ بخش ارایه شده است. در بخش ۲، بررسی ادبیات مسایل فراباراندازِ ارایه شده است و بخش ۳ مدل ریاضی را توصیف می‌کند. بخش ۴، روش حل و مطالعه موردی و در نهایت بخش ۵ نتیجه‌گیری از تحقیقات و پیشنهادها برای کارهای آینده ممکن را نشان می‌دهند.

۲ مروری بر ادبیات موضوع تحقیق

مفهوم فراباراندازِ اولین بار توسط شرکت وال مارت معرفی شد [۸]. در سیستم توزیع این شرکت، انبارها بیش‌تر نقش هماهنگ‌کننده موجودی را داشتند تا ذخیره کردن آن. در سیستم فراباراندازِ، کالا از تولیدکنندگان مختلف به انبار وارد و در کم‌ترین زمان ممکن از طریق وسایل حمل به خرده فروشان تحویل می‌گردد. اقلام عموما زمان کمی (اغلب کم‌تر از ۴۸ ساعت) در انبارها ذخیره می‌شوند.

[1] Yu

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.1.2.1]

از طرف دیگر، از آنجایی‌که صنایع مختلف به دنبال دستیابی به زنجیره‌های تامین با سودآوری بیش‌تر هستند، باید به دنبال بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع در زنجیره‌های تامین باشند که برای دستیابی به این هدف می‌توان به مسایلی چون یافتن مکان بهینه‌ی تسهیلات، کاهش میزان موجودی و کاهش هزینه‌های حمل و نقل پرداخت [۹]. در واقع فراباراندازِ، در مقابل مفهوم انبارهای سنتی، برای کاهش قابل ملاحظه‌ی میزان موجودی‌ها معرفی گردیدند که این انبارها به دلیل انجام فرایند ارسال محصولات متنوع به یک مقصد و توسط یک وسیله نقلیه، نقش قابل توجهی در کاهش هزینه‌های حمل و نقل ایفا می‌کنند.

یکی از تصمیمات مهم در عملیات فراباراندازِ، زمان‌بندی بارکش‌ها می‌باشد؛ زیرا این عملیات به‌صورت روزانه مدیریت می‌شود و روان بودن عملیات‌ها در فراباراندازِ با زمان‌بندی خوب آن مرتبط است. این مساله ترتیب یا توالی بارکش‌های ورودی و خروجی را مشخص می‌کند. زمان‌بندی ضعیف بارکش‌ها می‌تواند باعث جریان ضعیف محصول و زمان اتمام طولانی شود و از این طریق هزینه‌ها را افزایش دهد. این بخش به مرور تحقیقات انجام گرفته در این زمینه می‌پردازد. یکی از اولین مطالعات در سیستم‌های فرا بارانداز توسط ورز انجام شد که او به این نتیجه رسید که یک مرکز توزیع می‌تواند به یک مرکز پویا و هوشمند تغییر یابد [۱۰]. روهرر روش‌های مدل‌سازی و مسایل مختلف در سیستم‌های فراباراندازِ را بحث و بررسی نمود. او همچنین چگونگی کمک شبیه‌سازی به موفقیت در طراحی سیستم‌های فراباراندازِ را توسط پیکربندی بهینه سخت‌افزاری، کنترل نرم افزار و ایجاد استراتژی مدیریت شکست قبل از مواجهه بررسی نمود [۱۱]. بارتولدی و جیو به اهمیت فراباراندازِ و توصیف فرآیندهای طراحی سیستم فراباراندازِ پرداختند [۱۲].

اپته و ویسواناتان چارچوبی برای درک و طراحی سیستم‌های فراباراندازِ، از جمله تکنیکی برای بهبود بازده کلی تدارکات و شبکه های توزیع ارایه نمودند. آن‌ها چارچوب و روش کار خود را از بررسی ادبیات قبلی و شیوه‌های انبارداری در چند حوزه اقتباس کردند؛ بنابراین، آن‌ها مسایل مربوط به شبکه انبارداری، طراحی فیزیکی و جریان اطلاعات در فراباراندازِ، و تجزیه تحلیل و مدیریت سیستم ها را ارایه نمودند [۲].

با توجه به شباهت قابل ملاحظه‌ی مساله‌ی زمان‌بندی کامیون‌ها در فراباراندازِ به مسایل زمان‌بندی فعالیت‌ها روی ماشین‌ها، چن و لی و همچنین چن و سانگ ([۸،۳]) با در نظر گرفتن مساله‌ی بارگیری و بارگذاری در فراباراندازِ آن را به صورت یک مساله‌ی زمان‌بندی کارگاهی تعریف کرده و مورد مطالعه و ارزیابی قرار داده‌اند. در این مقالات محصولات به عنوان فعالیت‌ها و کامیون‌ها به عنوان ماشین‌ها در نظر گرفته شده‌است. در مقاله‌ی ابتدایی یک مساله‌ی زمان‌بندی کارگاهی ساده معرفی شده، در حالی‌که مقاله‌ی دوم همان مساله را با در نظر گرفتن ماشین‌های موازی در هر یک از مراحل، یک مساله‌ی زمان‌بندی ترکیبی ارایه نموده است. مقاله‌ی ابتدایی با ارایه‌ی یک الگوریتم انشعاب و تحدید مساله‌ی ارایه شده را به طور دقیق حل کرده است (بنا به اشاره‌ی نویسندگان به‌دست آوردن جواب دقیق تا سقف داشتن ۶۰ فعالیت امکان پذیر است). مقاله‌ی دوم نیز پس از ارایه کردن یک مدل ریاضی عدد صحیح مختلط، ۴ روش ابتکاری برای حل مساله طراحی کرده است. در همین سال میانو و همکاران [۱۳] یک مساله‌ی تخصیص کامیون‌ها به درب‌ها را مورد بررسی قرار دادند. بنابر اشاره‌ی نگارندگان ۳ عامل در این مساله تاثیرگذار است: پنجره‌ی زمانی ورودی و خروجی هر کامیون، زمان انتقال

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.1.2.1]

محصولات در داخل فراباراندازو ظرفیت در دسترس انبار. در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح طراحی شده تا بتوان به کمک آن به نتایج بهینه در ابعاد کوچک دست پیدا کرد. برای حل مسایل بزرگ‌تر نیز دو روش فرا ابتکاری جستجوی ممنوعه[1] والگوریتم ژنتیک[2] ارایه شده است.

در ادامه‌ی روند انجام مطالعات، بویسن و همکاران [۱۴] یک مدل پایه برای زمان‌بندی کامیون‌های ورودی و خروجی در فراباراندازارایه کردند که در آن در مورد نحوه‌ی تخصیص کامیون‌ها به درب‌های ورودی و خروجی و همچنین در مورد توالی انجام کار توسط آن‌ها تصمیم‌گیری می‌کند. آن‌ها نیز تنها یک درب برای ورود و یکی هم برای خروج در نظر گرفته و وجود یک انبار موقت در نزدیکی درب خروجی را از جمله مفروضات خود بیان نموده‌اند. با توجه به هدف نهایی این کار که کمینه‌کردن حداکثر مقدار تکمیل کامیون‌هاست، برنامه‌ریزی پویای محدود شده برای دستیابی به نتایج دقیق به‌کار گرفته شده و یک روش ابتکاری برای حل مسایل عددی بزرگ پیشنهاد شده است. نگارندگان مقاله با تجزیه‌ی مساله‌ی کلی به دو زیر مساله (۱. کامیون‌های ورودی ۲. کامیون‌های خروجی) از رویکردهای اشاره شده برای حل مسایل استفاده کرده‌اند. این مقاله در انتها موارد قابل توجهی را جزو نکات مهم برای انجام تحقیقات آتی معرفی کرده است که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: ۱- در نظر گرفتن زمان ورود کامیون‌ها و موعد تحویل کالاها ۲- زمان انجام فرایند وابسته به کامیون ۳- در نظر گرفتن چندین درب ورود و خروج و ۴- حالت سرویس‌دهی مختلط (یعنی به عنوان مثال بتوان در یک درب هم باربرداری کرد هم بارگذاری).

از سوی دیگر وحدانی و زندیه [۱۵] با در نظر گرفتن مفروضات مدل یو و اگبلو [۱۶] پنج روش فراابتکاری را برای حل مسایل بزرگ مورد بررسی قرار داده‌اند که این روش‌ها عبارتند از: GA، TS، SA، الگوریتم الکترومغناطیس (EMA) و روش جستجوی همسایگی (VNS). لازم به ذکر است که نگارندگان از تکنیک روش‌شناسی سطح پاسخ (RSM) برای طراحی استوار الگوریتم‌های فراابتکاری اشاره شده استفاده کرده‌اند. سلطانی و سجادی [۱۷] نیز با پیشنهاد کردن دو روش ترکیبی فراابتکاری (الگوریتم SA و VNS) و همچنین با بهره‌گیری از تکنیک تاگوچی، روش‌های فرا ابتکاری استوارشده‌ی جدیدی را برای حل مساله‌ی زمان‌بندی کامیون‌های ورودی و خروجی که الهام گرفته از رساله‌ی یو بود[۷]، ارایه دادند. رساله‌ی یو همچنین توسط وحدانی و همکاران [۱۸] مورد استفاده قرار گرفت تا با بررسی یک مدل زمان‌بندی در حالت ممنوعیت وجود انبار موقت مطالعه‌ی جدیدی در معرض استفاده‌ی محققان قرار گیرد. آن‌ها یک مساله فراباراندازرا که در آن زمان‌بندی بارکش‌هایی که دوباره به باراندازبرمی‌گردند با کمک گرفتن از تکنیک تاگوچی دو روش فراابتکاری GA و EMA مرتبط برای حل مسایل طراحی کردند. همچنین مدنی، توکلی مقدم و نادری برنامه-ریزی فراباراندازچندگانه[3] با مدل‌سازی عدد صحیح مختلط و حل آن با دو الگوریتم فراابتکاری SA و FA را اجرا کردند [۱۹].

[1] Tabu search (TS)
[2] Genetic algorithm (GA)
[3] multiple cross-docks

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.1.2.1]

از کارهای مهم دیگر این سال می‌توان به مقاله‌ی فروهر فرد و زندیه [۲۰] و بلوری عریانی و همکاران [۲۱] اشاره کرد که در اولی از یک الگوریتم رقابت استعماری (ICA) برای حل مساله‌ی زمان‌بندی کامیون‌ها با وجود انبار موقت بهره گرفته شده و در دومی رویکرد تولید بهنگام (JIT) در یک مساله‌ی زمان‌بندی چند معیاره مورد استفاده قرار گرفته است. بلوری عربانی و همکاران [۲۲] کار دیگری را با به‌کارگیری پنج الگوریتم فرا ابتکاری GA، TS، بهینه‌سازی پرندگان (PSO)، لانه‌ی مورچگان (ACO) و تفاضل تکاملی (DE) ارایه کرده و کارآیی روش‌های مذکور را با مقایسه‌ی نتایج به‌دست آمده از آن‌ها با نتایج کسب شده از روش شمارش کامل سنجیده‌اند. لازم به ذکر است که مدل مورد مطالعه همان مدل یو و اگبلو [۱۶] است.

محتشمی [۲۳] یک روشی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک پویای جدید برای برنامه‌ریزی وسایل نقلیه در سیستم-های فراباراندازِ ارایه داد که کل زمان عملیات به حداقل می‌رسد. در این مقاله فرض شده است که ذخیره‌سازی موقت در باراندازِ ارسال قرار دارد و وسایل نقلیه ورودی مجاز به وارد و خارج شدن از باراندازِ تخلیه بارهای خود می‌باشند. در روش پیشنهادی این مقاله، دو نوع مختلف کروموزوم برای کامیون‌های ورودی و خروجی پیشنهاد شده است. علاوه بر این، بعضی از الگوریتم‌ها به صورت مستقل شامل پیش بینی، محاسبه زمان عملیات، تقاطع و جهش برای کامیون‌های ورودی و خروجی پیشنهاد می‌شود. علاوه بر این یک رویکرد پویا برای انجام عمل تقاطع و جهش در الگوریتم ژنتیکی پیشنهاد شده است.

بیریم [۲۴] مساله مسیریابی وسیله نقلیه را در یک حالت فراباراندازِ با وسایل ناهمگون با ظرفیت‌های مختلف ارایه می‌دهد. تمام مسیرها در فراباراندازِ شروع و پایان می‌یابند و تمام بخش‌های بارگیری و تحویل توسط تنها یک وسیله نقلیه انجام می‌شود. هدف از این مطالعه یافتن راه‌هایی است که هزینه حمل و نقل عمومی و هزینه‌های ثابت وسایل نقلیه را به حداقل برساند. الگوریتم شبیه‌سازی تبرید برای حل مساله پیشنهاد شده است. الگوریتم شبیه‌سازی تبرید پیشنهادی، راه حل‌های معقول از لحاظ زمان محاسبات، بهترین ارزش مالی و الگوی همگرا با بهترین هزینه را ارایه می‌نماید.

یکی از روش‌های دستیابی به این اهداف، استفاده از سیستم‌های فراباراندازِ است که با وجود عملکرد مطلوب آن به ندرت در سازمان‌ها اجرا می‌شود. علاوه بر این، با توجه به مقالات مرتبط اخیر، استفاده از هر دو روش هیوریستیک و فراابتکاری برای حل مساله، یک موضوع جالب در این زمینه تحقیق است؛ بنابراین، گلشاهی و همکاران [۲۵] برای پیداکردن توالی دریافت و ارسال بهینه کامیون‌ها، از پنج روش فراابتکاری همراه با هیبرید استفاده کردند. علاوه بر این، در ابتدا دو روش هیوریستیک برای تولید جواب بهتر در محدوده تحقیق در مقایسه با روش‌های قبلی ادبیات تحقیق استفاده شده است. همچنین از روش تاگوچی برای تنظیم پارامترهای الگوریتم استفاده شد. نتایج حاصل از الگوریتم‌ها با کارهای قبلی با توجه به معیارهای مختلف مانند کیفیت راه حل و زمان اجرای محاسبات مقایسه شد. علاوه بر این، برای تطبیق عملکرد الگوریتم‌ها، یک حد پایین جدید ایجاد شده است.

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.1.2.1]

۳ مدل ریاضی

در این مدل ریاضی فرض شده است که زمان تخلیه بار در بارکش دریافت و زمان بارگذاری در بارکش ارسال برای همه محصولات یکسان است و برابر یک واحد از زمان، برای یک واحد محصول می‌باشد. همچنین برنامه-ریزی بارکش‌ها در یک سیستم فرابارانداز چندگانه با انبار موقت در جلوی درب ارسال، محدودیت ظرفیت و زمان تاخیر به‌طور همزمان لحاظ شده است. علاوه براین، مفاهیم دیگر در مدل جدید فرابارانداز چندگانه با ظرفیت محدود و دو نوع زمان تاخیر در نظر گرفته شد؛ بنابراین هدف مدل‌های پیشنهاد شده برای مساله زمان‌بندی فرابارانداز، مینیمم مجموع دیرکردها[1]ست که برای حداقل کردن هزینه کل یا حدکثر رساندن عملکرد سیستم فرابارانداز صورت می‌گیرد.

دیگر مفروضات عمومی برای روشن شدن مساله در زیر لیست شده است:

۱. تمام کامیون‌های ورودی و خروجی در لحظه صفر آماده انجام کار هستند.

۲. ذخیره‌سازی بلند مدت ممنوع است.

۳. در هر یک از فرابارانداز‌ها یک درب دریافت و ارسال وجود دارد.

۴. بارکش‌های ورودی و خروجی اجازه برگشت به فرابارانداز را دارند.

۵. یک انبار موقت روبروی درب ارسال قرار دارد.

۶. ظرفیت فرابارانداز محدود می‌باشد.

۷. دو نوع تاخیر زمانی نیز وجود دارد.

۸. ظرفیتی برای میزان ذخیره سازی موقت تعیین نشده است.

۹. محصولات به صورت واحد بارگذاری می‌شوند.

۱۰. همچنین اطلاعات زیر را از قبل در اختیار داریم:

- انواع و تعداد هر کدام از محصولات کامیون‌های ورودی.
- انواع و تعداد محصولات مورد نیاز کامیون‌های خروجی.
- زمان بارگذاری و باربرداری محصولات.
- زمان حمل محصولات از درب ورودی به درب خروجی.
- تغییر زمان کامیون‌ها.

علایم مورد استفاده در این مدل به شرح زیر آمده است:

پارامترها:

- R: تعداد بارکش‌های دریافت
- S: تعداد بارکش‌های ارسال
- N: تعداد انواع محصولات
- r_{ikb} : تعداد واحد محصول k ام که در ابتدا در بارکش‌های دریافت i ام بارگیری می‌شود.

[1] Tardiness

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.1.2.1]

- s_{jkb}: تعداد واحد محصول k ام که در ابتدا برای بارکش‌های ارسال j ام مورد نیاز است.
- b : تعداد فرا باراندازها
- C_b: ظرفیت فراباراندازها
- D: تاخیر زمانی به دلیل تغییر بارکش‌ها
- V: زمان جابه‌جایی محصولات از بارانداز دریافت به بارانداز ارسال
- M: عدد بزرگ
- duedate(j): زمان سررسید کامیون‌های ارسال

متغیرهای عددصحیح

- X_{ijkb}: تعداد واحدهای محصول k ام که از بارکش دریافت i به بارکش ارسال j در فرابارانداز b منتقل می‌گردد.
- t_{ijb}: تعداد کل واحدهای محصولات که از بارکش دریافت i ام به بارکش ارسال j ام در فرابارانداز b انتقال داده می‌شود. ($t_{ijb} = \sum_{k=1}^{N} X_{ijkb}$)

متغیرهای پیوسته

- T_j: تابع دیرکرد سررسید کامیون‌های ارسال (Tardiness)
- U_{ijb}: زمانی که متغیر t_{ijb} از بارکش دریافت iام به بارکش ارسال j ام در زمان شروع بارگیری بارکش دریافت i ام در فرابارانداز دریافت انتقال داده می‌شود.
- L_{ijb}: زمانی که متغیر t_{ijb} از بارکش دریافت iام به بارکش ارسال j ام در زمان پایان بارگیری از فرابارانداز ارسال به بارکش ارسال jام انتقال داده می‌شود.

متغیرهای زوجی (دودویی)

- $V_{ijb} = 1$: اگر هر محصولی از بارکش دریافت i ام به بارکش ارسال j ام در فرابارانداز b منتقل می‌گردد.
- $V_{ijb} = 0$: در غیر این‌صورت.
- $P_{iji'j'b} = 1$: اگر متغیر t_{ijb} فورا یا مستقیما پیشنیاز متغیر $t_{i'j'b}$ در مراحل دریافت باشد.
- $P_{iji'j'b} = 0$: در غیر این‌صورت.
- $P_{00i'j'b} = 1$: اگر متغیر t_{ijb} در موقعیت اول در مراحل دریافت قرار بگیرد.
- $P_{00i'j'b} = 0$: در غیر این‌صورت.
- $P_{ij00b} = 1$: اگر متغیر t_{ijb} در موقعیت آخر در مراحل دریافت قرار بگیرد.
- $P_{ij00b} = 0$: در غیر این‌صورت.
- $q_{iji'j'b} = 1$: اگر متغیر t_{ijb} فورا یا مستقیما پیشنیاز متغیر $t_{i'j'b}$ در مراحل ارسال باشد.
- $q_{iji'j'b} = 0$: در غیر این‌صورت.

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.1.2.1]

- $q_{00i'j'b} = ۱$: اگر متغیر $t_{i'j'b}$ در موقعیت آخر در مراحل ارسال قرار بگیرد.
- $q_{00i'j'b} = ۰$: در غیر این‌صورت.
- $q_{ij00b} = ۱$: اگر متغیر t_{ijb} در موقعیت آخر در مراحل ارسال قرار بگیرد.
- $q_{ij00b} = ۰$: در غیر این‌صورت.

فرمول‌بندی مسأله به صورت زیر است:

$$\text{Min } Z = \sum_{j=۱}^{S} T_j$$

s.t.

$$T_j \geq L_{ijb} - duedate(j) \qquad for\ all \quad i,j,b \qquad (۱)$$

$$\sum_{j=۱}^{S} X_{ijkb} = r_{ikb} \qquad for\ all \quad i,k,b \qquad (۲)$$

$$\sum_{i=۱}^{R} X_{ijkb} = S_{jkb} \qquad For\ all \quad j,k,b \qquad (۳)$$

$$\sum_{k=۱}^{N} X_{ijkb} = t_{ijb} \qquad for\ all \quad i,j,b \qquad (۴)$$

$$t_{ijb} \leq Mv_{ijb} \qquad for\ all \quad i,j,b \qquad (۵)$$

$$v_{ijb} = \sum_{i'=۱}^{R}\sum_{j'=۱}^{S} P_{iji'j'b} + P_{ij\cdot\cdot b} \qquad for\ all \quad i,j,b \qquad (۶)$$

$$v_{i'j'b} = \sum_{i=۱}^{R}\sum_{j=۱}^{S} P_{iji'j'b} + P_{\cdot\cdot i'j'b} \qquad for\ all \quad i',j',b \qquad (۷)$$

$$v_{ijb} = \sum_{i'=۱}^{R}\sum_{j'=۱}^{S} q_{iji'j'b} + q_{ij\cdot\cdot b} \qquad for\ all \quad i,j,b \qquad (۸)$$

$$v_{i'j'b} = \sum_{i=۱}^{R}\sum_{j=۱}^{S} q_{iji'j'b} + q_{\cdot\cdot i'j'b} \qquad for\ all \quad i',j',b \qquad (۹)$$

$$\sum_{k=۱}^{N} X_{ijkb} \leq C_b \qquad for\ all \quad i,j,b \qquad (۱۰)$$

$$\sum_{i'=۱}^{R}\sum_{j'=۱}^{S} P_{\cdot\cdot i'j'b} = ۱ \qquad for\ all \quad b \qquad (۱۱)$$

$$\sum_{i=۱}^{R}\sum_{j=۱}^{S} P_{ij\cdot\cdot b} = ۱ \qquad for\ all \quad b \qquad (۱۲)$$

$$\sum_{i'=۱}^{R}\sum_{j'=۱}^{S} q_{\cdot\cdot i'j'b} = ۱ \qquad for\ all \quad b \qquad (۱۳)$$

$$\sum_{i=۱}^{R}\sum_{j=۱}^{S} q_{ij\cdot\cdot b} = ۱ \qquad for\ all \quad b \qquad (۱۴)$$

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.1.2.1]

$$X_{ijkb} \geq 0 \qquad \textit{for all} \quad i,j,k,b \tag{۱۵}$$

$$P_{ijijb} = 0 \qquad \textit{for all} \quad i,j,b \tag{۱۶}$$

$$q_{ijijb} = 0 \qquad \textit{for all} \quad i,j,b \tag{۱۷}$$

$$U_{i'j'b} \geq U_{ijb} + t_{ijb} - \mathrm{M}\left(1 - P_{iji'j'b}\right) \qquad \textit{for all } i,j,\ i',j',b \textit{ and where } i=i' \tag{۱۸}$$

$$U_{i'j'b} \geq U_{ijb} + t_{ijb} + D - \mathrm{M}\left(1 - P_{iji'j'b}\right) \qquad \textit{for all } i,j,\ i',j',b \textit{ and where } i\neq i' \tag{۱۹}$$

$$L_{ijb} \geq U_{ijb} + \mathrm{V} + t_{ijb} \qquad \textit{for all} \quad i,j,b \tag{۲۰}$$

$$L_{i'j'b} \geq L_{ijb} + t_{i'j'b} - \mathrm{M}\left(1 - q_{iji'j'b}\right) \qquad \textit{for all } i,j,\ i',j',b \textit{ and where } j=j' \tag{۲۱}$$

$$L_{i'j'b} \geq L_{ijb} + t_{i'j'b} + D - \mathrm{M}\left(1 - q_{iji'j'b}\right) \qquad \textit{for all } i,j,\ i',j',b \textit{ and where } j\neq j' \tag{۲۲}$$

$$\textit{All variables} \geq 0$$

تشریح محدودیت‌ها به صورت زیر می‌باشد:

محدودیت (۱) تضمین می‌کند که تابع زمان دیرکرد سررسید کامیون‌های ارسال بزرگ‌تر، مساوی اختلاف زمان آخرین محصولات بارگیری شده در آن کامیون ارسال با زمان سررسید آن می‌باشد. محدودیت (۲) و (۳) نشان می‌دهد که تعداد کل اقلام دریافت‌شده توسط بارکش‌های دریافت با مقدار کل اقلام ارسال شده توسط بارکش-های ارسال برابر است. محدودیت (۴) نشان می‌دهد که t_{ijb} برابر است با کل زمان بارگیری تمام محصولات از بارکش دریافت i ام به بارکش ارسال j ام در فراباراندازِ b. محدودیت ۵ ارتباط صحیح بین متغیرهای t_{ijb} و V_{ijb} را تضمین می‌کند. محدودیت (۶) تضمین می‌کند که تنها یکی از متغیرهای t_{ijb} به‌طور مستقیم پیش‌نیاز متغیر $t_{i'j'b}$ در توالی دریافت می‌باشد. محدودیت (۷) تضمین می‌کند که تنها یکی از متغیرهای $t_{i'j'b}$ به‌طور مستقیم پیش نیاز متغیر t_{ijb} در توالی دریافت می‌باشد. محدودیت (۸) و (۹) همانند محدودیت های (۶) و (۷) برای توالی ارسال می‌باشد. محدودیت (۱۰) تضمین می‌کند که تعداد محصول دریافتی در هر فراباراندازِ کم‌تر مساوی ظرفیت آن باراندازِ می‌باشد. محدودیت شماره (۱۱) تضمین می‌کند که تنها یکی از متغیرهای $t_{i'j'b}$ می‌تواند در موقعیت اول مراحل دریافت قرار گیرد. محدودیت شماره (۱۲) تضمین می‌کند که تنها یکی از متغیرهای t_{ijb} می‌تواند در موقعیت آخر مراحل دریافت قرار گیرد. محدودیت شماره (۱۳) تضمین می‌کند که تنها یکی از متغیر های $t_{i'j'b}$ می‌تواند در موقعیت آخر مراحل ارسال قرار گیرد. محدودیت شماره (۱۴) تضمین می‌کند که تنها یکی از متغیرهای t_{ijb} می‌تواند در موقعیت آخر مراحل ارسال قرار گیرد. محدودیت شماره (۱۵) تضمین می‌کند

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.1.2.1]

که محصولات دریافتی در فراباراندازها وجود دارند. محدودیت (۱۶) و (۱۷) تضمین می‌کنند که هیچ مراحل متوالی وجود ندارد که در آن انتقال محصول از بارکش‌های دریافتی مشابه به بارکش‌های ارسالی مشابه انجام پذیرد. محدودیت (۱۸) و (۱۹) هیچ تغییری در بارکش دریافت در حین تخلیه بار وجود ندارد (در حالتی که $i = i'$). در حالی‌که اگر تغییری در بارکش دریافت در حین تخلیه بار وجود داشته، زمان‌های تاخیر نوع اول باید در نظر گرفته شود (در حالتی که $i \neq i'$). محدودیت شماره (۲۰) ارتباط مناسب بین زمان شروع و پایان بارگیری را نشان می‌دهد. محدودیت شماره (۲۱) و (۲۲) هیچ تغییری در بارکش‌های ارسال در حین بارگیری وجود ندارد (در حالتی که $j = j'$). در حالی که اگر تغییری در بارکش ارسال در حین بارگیری وجود داشته، زمان‌های تاخیر نوع اول و نوع دوم در نظر گرفته خواهد شد (در حالتی که $j \neq j'$).

٤ روش حل

در این مقاله سعی شده که با بهره‌گیری از حل دقیق با استفاده از نرم افزار گمز (GAMS) و الگوریتم فراابتکاری رقابت استعماری[1] با نرم افزار متلب (Matlab) نسبت به حل و مقایسه جواب های مساله اقدام شود.

٤-١ الگوریتم رقابت استعماری

الگوریتم رقابت استعماری روشی در حوزه محاسبات تکاملی است که به یافتن پاسخ بهینه مسایل مختلف بهینه سازی می‌پردازد. این الگوریتم توسط دکتر اسماعیل آتش پز گرگری و دکتر کارولوکس در سال ۲۰۰۷ معرفی شد و در حل مسایل مهندسی بسیاری مورد استفاده قرار گرفته است. این الگوریتم با مدل‌سازی ریاضی فرایند تکامل اجتماعی - سیاسی، الگوریتمی برای حل مسایل ریاضی بهینه‌سازی ارایه می‌دهد از لحاظ کاربرد، این الگوریتم در دسته الگوریتم‌های بهینه‌سازی تکاملی همچون الگوریتم‌های ژنتیک، روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات[2]، الگوریتم کلونی مورچگان[3]، الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده[4] و غیره قرار می‌گیرد. همانند همه الگوریتم-های قرار گرفته در این دسته، الگوریتم رقابت استعماری نیز مجموعه اولیه‌ای از جواب‌های احتمالی را تشکیل می‌دهد. این جواب‌های اولیه در الگوریتم ژنتیک با عنوان "کروموزوم"، در الگوریتم ازدحام ذرات با عنوان "ذره" و در الگوریتم رقابت استعماری نیز با عنوان "کشور" شناخته می‌شوند. الگوریتم رقابت استعماری با روند خاصی که در ادامه می‌آید، این جواب‌های اولیه (کشورها) را به تدریج بهبود داده و در نهایت جواب مناسب مساله بهینه‌سازی (کشور مطلوب) را در اختیار می‌گذارد.

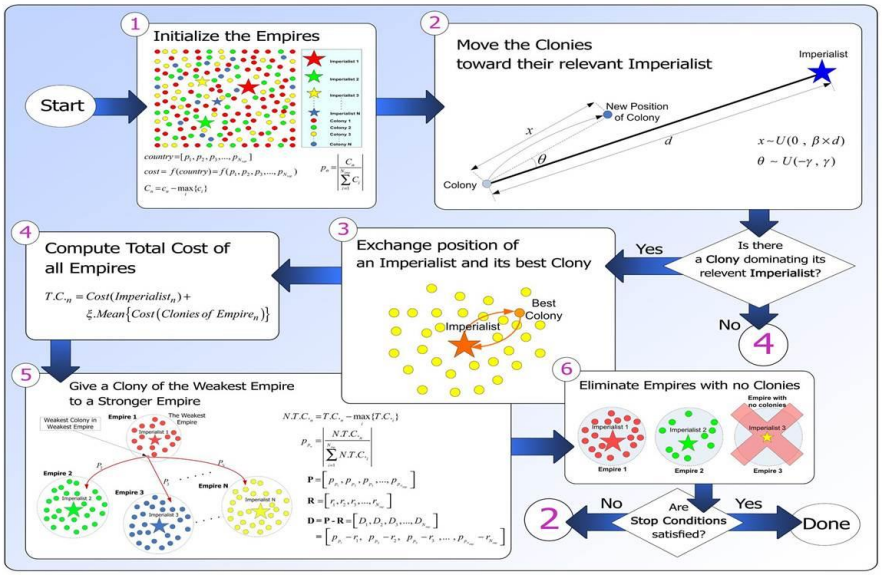
همانند دیگر الگوریتم‌های تکاملی، این الگوریتم، نیز با تعدادی جمعیت اولیه تصادفی که هر کدام از آن‌ها یک «کشور» نامیده می‌شود؛ شروع می‌گردد. تعدادی از بهترین عناصر جمعیت (معادل نخبه‌ها در الگوریتم ژنتیک) به عنوان‌استعمارگر انتخاب می‌شود. باقیمانده جمعیت نیز به عنوان مستعمره، در نظر گرفته می‌شود. استعمارگران بسته به قدرتشان، این مستعمرات را با یک روند خاص که در ادامه می‌آید، به سمت خود می‌کشند.

[1] Imperialist competitive algorithm (ICA)
[2] Particle Swarm Optimization (PSO)
[3] Ant Colony Optimization (ACO)
[4] Simulated Annealing (SA)

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.1.2.1]

قدرت کل هر امپراطوری، به هر دو بخش تشکیل‌دهنده آن؛ یعنی کشور استعمارگر (به عنوان هسته مرکزی) و مستعمرات آن، بستگی دارد. در حالت ریاضی، این وابستگی با تعریف قدرت امپراطوری به صورت مجموع قدرت کشور استعمارگر به اضافه در صدی از میانگین قدرت مستعمرات آن، مدل شده‌است.



شکل ۲. نمای کلی از الگوریتم رقابت استعماری

با شکل‌گیری امپراطوری‌های اولیه، رقابت استعماری میان آن‌ها شروع می‌شود. هر امپراطوری‌ای که نتواند در رقابت استعماری، موفق عمل کند و بر قدرت خود بیفزاید (و یا حداقل از کاهش نفوذش جلوگیری کند)، از صحنه رقابت استعماری، حذف خواهد شد؛ بنابراین بقای یک امپراطوری، وابسته به قدرت آن در جذب مستعمرات امپراطوری‌های رقیب و به سیطره در آوردن آن‌ها خواهد بود. در نتیجه، در جریان رقابت‌های استعماری، به تدریج بر قدرت امپراطوری‌های بزرگ‌تر افزوده و امپراطوری‌های ضعیف‌تر، حذف خواهند شد. امپراطوری‌ها برای افزایش قدرت خود، مجبور خواهند شد تا مستعمرات خود را نیز پیشرفت دهند.

به طور خلاصه این الگوریتم به استعمار به عنوان بخش تفکیک‌ناپذیر از سیر تکامل تاریخی بشر می‌نگرد و از چگونگی اثرگذاری آن بر کشورهای استعمارگر و مستعمره و نیز کل تاریخ، به عنوان منبع الهام یک الگوریتم کارا و نو در زمینه محاسبات تکاملی استفاده می‌کند.

روند کلی و فلوچارت گام‌های الگوریتم رقابت استعماری به‌صورت زیر می‌باشد.

۱. انتخاب چند نقطه تصادفی و تشکیل امپراطوری‌های اولیه
۲. حرکت دادن مستعمرات به سمت امپراطوری ها (سیاست جذب یا همسان‌سازی)
۳. اعمال عملگر انقلاب[1] با احتمالی کم
۴. اگر مستعمره‌ای در یک امپراطوری، وجود داشته باشد که هزینه‌ای کم‌تر از استعمارگر داشته باشد، جای مستعمره و امپراطور با هم عوض می‌شود. (جابجایی مستعمرات قوی تر از استعمارگر با استعمارگر)
۵. محاسبه هزینه‌ی کل هر امپراطوری (با در نظر گرفتن هزینه‌ی استعمارگر و مستعمراتشان).

[1] Revolution

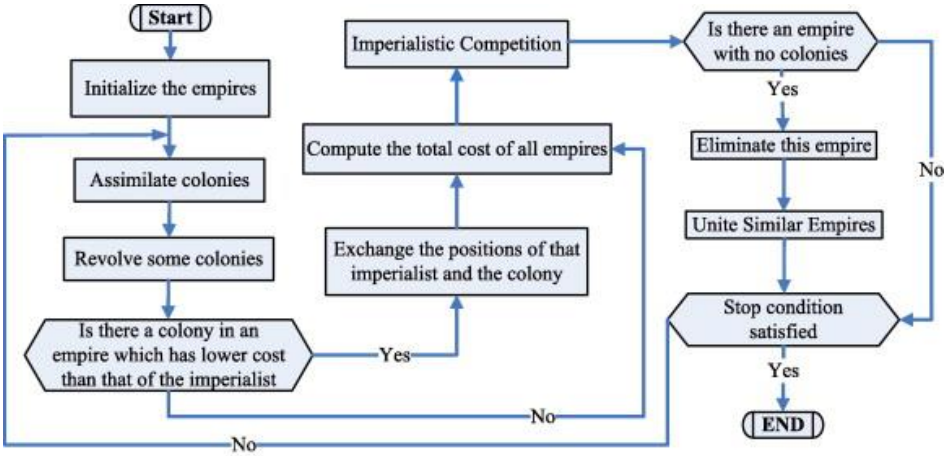
[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-04]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.1.2.1]

۶. انتخاب یک (یا چند) مستعمره از ضعیف‌ترین امپراطوری و انتصاب آن به امپراطوری‌ای که بیش‌ترین احتمال تصاحب را دارد.

۷. حذف امپراطوری‌های ضعیف

۸. اگر تنها یک امپراطوری باقی‌مانده باشد، توقف کن وگرنه به ۲ برو.

نکته قابل توجه این است که در این فلوچارت، بخش انقلاب نشان داده نشده است که باید به مرحله مناسب خود اعمال گردد.



شکل ۳. فلوچارت الگوریتم رقابت استعماری

شبه کد الگوریتم رقابت استعماری به‌صورت زیر می‌باشد:

۰) Define objective function: $f(x), \quad x=(x_1, x_2, \ldots, x_d)$

۱) Initialization of the algorithm. Generate some random solution in the search space and create initial empires.

۲) Assimilation: Colonies move towards imperialist states in different in directions.

۳) Revolution: Random changes occur in the characteristics of some countries.

۴) Position exchange between a colony and Imperialist. A colony with a better position than the imperialist has the chance to take the control of empire by replacing the existing imperialist.

۵) Imperialistic competition: All imperialists compete to take possession of colonies of each other.

۶) Eliminate the powerless empires. Weak empires lose their power gradually and they will finally be eliminated.

۷) If the stop condition is satisfied, stop, if not go to ۲.

۸) End

٤-۲ تنظیم پارامتر الگوریتم‌های فراابتکاری به روش تاگوچی

همان‌طور که در بخش‌های پیشین به آن پرداخته شد، هر کدام از روش‌های فراابتکاری به پارامترهایی برای انجام فرآیند مخصوص خود نیاز دارند تا نتایج به‌دست آمده را از روش‌های فراابتکاری مورد نظر بررسی کنند. در این

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.1.2.1]

تحقیق ابتدا توسط روش تاگوچی تنظیم پارامترهای لازم صورت گرفته است. با توجه به وجود ۶ پارامتر برای هر الگوریتم و ۳ سطح، از نرم افزار Minitab برای اعمال آزمایش‌های تاگوچی برای تعیین مقادیر بهینه پارامترها استفاده می‌کنیم. مطابق جدول ارتوگونال L۲۷ این روش ۲۷ آزمایش را به‌صورت زیر پیشنهاد می‌کند [۲۶]. همچنین نتیجه هر آزمایش را بر اساس سطح مشخص شده در ۳ مساله زیر در ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ به‌دست آورده و در جدول مربوطه قرار می‌دهیم.

جدول ۱. مشخصات مساله‌ها

شماره مساله	ابعاد مساله	تعداد کامیون ورودی	تعداد کامیون خروجی	تعداد محصول	تعداد فرباراندازِ
۱	کوچک	۳	۳	۲	۲
۲	متوسط	۱۰	۱۰	۷	۵
۳	بزرگ	۱۵	۱۵	۱۲	۸

۴-۳ تعیین پارامترهای الگوریتم رقابت استعماری (ICA)

پارامترهای الگوریتم رقابت استعماری در ۳ سطح به‌صورت زیر می‌باشد:

جدول ۲. پارامترهای الگوریتم ICA در ۳ سطح

پارامتر	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
Max decade	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰
N_imp	۴	۸	۱۰
N_countries	۸۰	۱۶۰	۲۰۰
Beta	۱	۱/۵	۲
P_revolution	۰/۴	۰/۶	۰/۸
Zeta	۰/۱	۰/۳	۰/۴

مطابق جدول زیر نتیجه هر آزمایش را بر اساس سطح مشخص شده برای هر پارامتر به‌دست آورده و در جدول قرار می‌دهیم. سپس برای بی‌مقیاس کردن اعداد به‌دست آمده برای ۳ مساله، با استفاده از فرمول زیر rpd هر آزمایش برای هر مساله را به‌دست آورده و نهایتا میانگین آن‌ها را محاسبه می‌کنیم.

- Sol : جواب به‌دست آمده از هر آزمایش در هر مساله بر اساس سطح مشخص‌شده برای هر پارامتر.
- sol_{min}: کم‌ترین جواب به‌دست آمده از هر آزمایش در ۳ مساله بر اساس سطح مشخص‌شده برای هر پارامتر.

$$rpd = \frac{sol - sol_{min}}{sol_{min}} \quad (۲۳)$$

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.1.2.1]

جدول ۳. آزمایش‌های پیشنهادی تاگوچی مطابق با جدول ارتوگونال L_{27} برای الگوریتم *ICA*

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
	Max decade	N_imp	N_country	Beta	P_revolution	Zeta	problem1	rpd1	problem2	rpd2	problem3	rpd3	mean
1	1	1	1	1	1	1	14	0	149	9.6	640	44.7	18.12
2	1	1	1	1	2	2	14	0	150	9.7	635	44.4	18.02
3	1	1	1	1	3	3	14	0	150	9.7	631	44.1	17.93
4	1	2	2	2	1	1	14	0	151	9.8	633	44.2	18.00
5	1	2	2	2	2	2	14	0	149	9.6	635	44.4	18.00
6	1	2	2	2	3	3	14	0	149	9.6	635	44.4	18.00
7	1	3	3	3	1	1	14	0	149	9.6	634	44.3	17.98
8	1	3	3	3	2	2	14	0	149	9.6	632	44.1	17.93
9	1	3	3	3	3	3	14	0	149	9.6	632	44.1	17.93
10	2	1	2	3	1	2	14	0	149	9.6	634	44.3	17.98
11	2	1	2	3	2	3	14	0	149	9.6	631	44.1	17.90
12	2	1	2	3	3	1	14	0	149	9.6	631	44.1	17.90
13	2	2	3	1	1	2	14	0	149	9.6	632	44.1	17.93
14	2	2	3	1	2	3	14	0	149	9.6	633	44.2	17.95
15	2	2	3	1	3	1	14	0	149	9.6	631	44.1	17.90
16	2	3	1	2	1	2	14	0	151	9.8	639	44.6	18.14
17	2	3	1	2	2	3	14	0	149	9.6	635	44.4	18.00
18	2	3	1	2	3	1	14	0	149	9.6	634	44.3	17.98
19	3	1	3	2	1	3	14	0	149	9.6	632	44.1	17.93
20	3	1	3	2	2	1	14	0	149	9.6	631	44.1	17.90
21	3	1	3	2	3	2	14	0	150	9.7	631	44.1	17.93
22	3	2	1	3	1	3	14	0	150	9.7	638	44.6	18.10
23	3	2	1	3	2	1	14	0	149	9.6	632	44.1	17.93
24	3	2	1	3	3	2	14	0	149	9.6	631	44.1	17.90
25	3	3	2	1	1	3	14	0	149	9.6	634	44.3	17.98
26	3	3	2	1	2	1	14	0	149	9.6	633	44.2	17.95
27	3	3	2	1	3	2	14	0	149	9.6	631	44.1	17.90

نتیجه تحلیل آزمایش‌های تاگوچی در نمودار زیر مشاهده می‌شود:

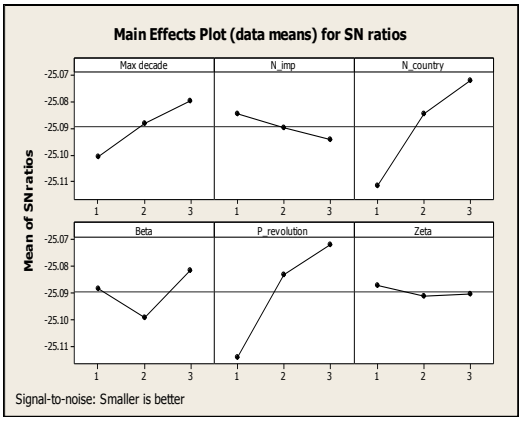
Taguchi Analysis: mean versus Max decade, N_imp, N_country, Beta, ...

Response Table for Signal to Noise Ratios
Smaller is better

Level	Max decade	N_imp	N_country	Beta	P_revolution	Zeta
1	-25.10	-25.08	-25.11	-25.09	-25.11	-25.09
2	-25.09	-25.09	-25.08	-25.10	-25.08	-25.09
3	-25.08	-25.09	-25.07	-25.08	-25.07	-25.09
Delta	0.02	0.01	0.04	0.02	0.04	0.00
Rank	3	5	2	4	1	6

Response Table for Means

Level	Max decade	N_imp	N_country	Beta	P_revolution	Zeta
1	17.99	17.96	18.01	17.96	18.02	17.96
2	17.96	17.97	17.96	17.99	17.95	17.97
3	17.95	17.98	17.93	17.95	17.93	17.97
Delta	0.04	0.02	0.08	0.04	0.09	0.01



شکل ٤. نمودار مربوط به آنالیز نتایج آزمایش تاگوچی پارامترهای الگوریتم *ICA*

با توجه به اینکه هدف کم‌کردن خروجی نهایی (مقدار تابع هدف) و نرخ سیگنال به نویز بالاتر می‌باشد، نتیجه بهتری خواهیم داشت. طبق نمودارهای بالا، برای پارامترهای ۲ و۶ سطح اول، پارامتر ۴ سطح دوم و برای سایر پارامترها سطح سوم حالت بهینه را ایجاد می‌کند و بیش‌ترین حساسیت این طرح با توجه به شیب نمودار نسبت به پارامترهای ۳ و ۵؛ یعنی *N_countries* و *p_revolution* می‌باشد؛ بنابراین بعد از انجام آزمایش‌ها و تحلیل، پارامترهای تعیین شده برای الگوریتم رقابت استعماری بدین ترتیب انتخاب شدند.

حداکثر تکرار (*Max decade*) = ۱۰۰

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.1.2.1]

تعداد استعمارگران اولیه (N_imp) = ۴

تعداد کشور ($N_countries$) = ۲۰۰

$Beta$=۱/۵

درصد انقلاب ($p_revolution$) = ۰/۳

$Zeta$= ۰/۱ (عددی مثبت که معمولاً بین صفر و یک و نزدیک به صفر در نظر گرفته می‌شود).

٤-٤ حل مدل

در این تحقیق، هدف مسأله یافتن بهترین زمان‌بندی ممکن برای کمینه‌ساختن مجموع دیرکردها توسط کامیون های خروجی است که با استفاده از نرم افزار گمز شش مسأله در اندازه کوچک حل شده است. به طوری که مشخصات مسایل در جدول ۴ آمده است و مقادیر تابع هدف به‌دست آمده حاصل از حل دقیق و الگوریتم‌های فراابتکاری (با میانگین مقادیر پنج بار اجرا) در جدول ۵ آمده است. شکل ۵ مقایسات بین حل دقیق و حل با الگوریتم های فراابتکاری را نشان می‌دهد. همان‌طوری که مشخص است الگوریتم رقابت استعماری جواب‌های نزدیکی به حل دقیق تولید می‌کند.

جدول ٤. مشخصات مسایل در ابعاد کوچک

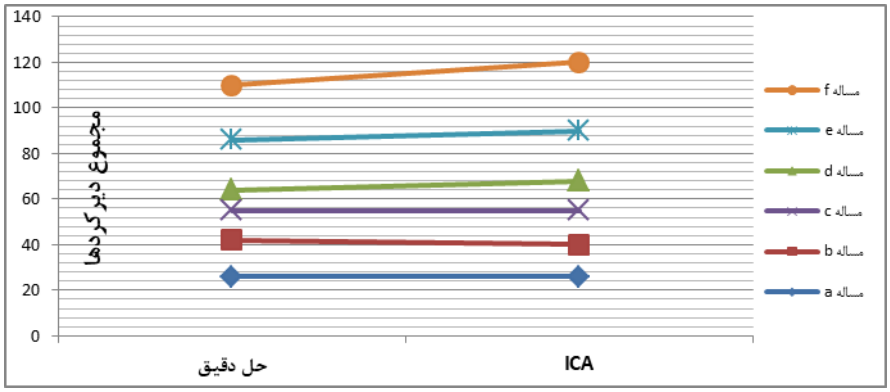
شماره مسأله	تعداد کامیون ورودی	تعداد کامیون خروجی	تعداد محصول	تعداد فرباراندازد
a	۳	۳	۲	۲
b	۴	۴	۲	۲
c	۵	۵	۲	۲
d	۵	۵	۴	۳
e	۷	۷	۴	۳
f	۸	۸	۵	۴

جدول ۵. مقادیر تابع هدف به‌دست آمده حاصل از حل دقیق و فراابتکاری

شماره مسأله	حل دقیق	**ICA**	درصد اختلاف جواب ها (**gap**)
a	۲۶	۲۶	۰٪
b	۴۲	۴۰	۵٪
c	۵۵	۵۵	۰٪
d	۶۴	۶۸	۶٪
e	۸۶	۹۰	۵٪
f	۱۱۰	۱۲۰	۹٪

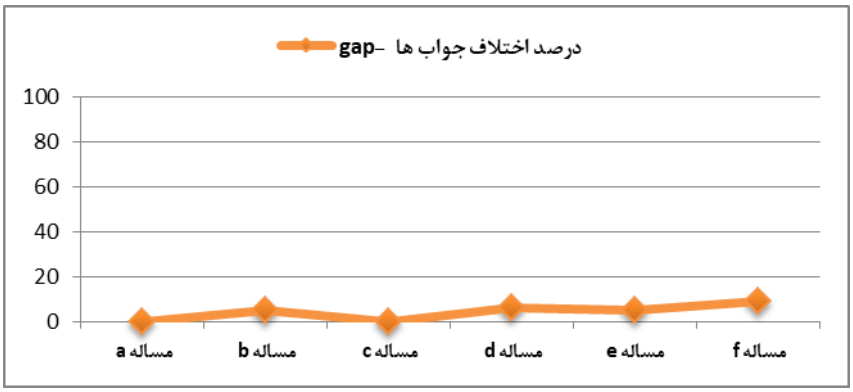
[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.1.2.1]



شکل ۵. مقایسه حل دقیق و فراابتکاری مسایل در ابعاد کوچک

مطابق جدول ۵ اختلاف جواب‌های به‌دست آمده در مسایل ابعاد کوچک از حل دقیق و فراابتکاری کم بوده (درصد اختلاف جواب‌ها حدود ٪۱۰) و می‌توان جواب‌های فراابتکاری را قابل قبول دانست. نمودار درصد اختلاف جواب‌ها با استفاده از حل دقیق و فراابتکاری (gap) در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ٦. نمودار درصد اختلاف جواب ها با استفاده از حل دقیق و فراابتکاری (gap)

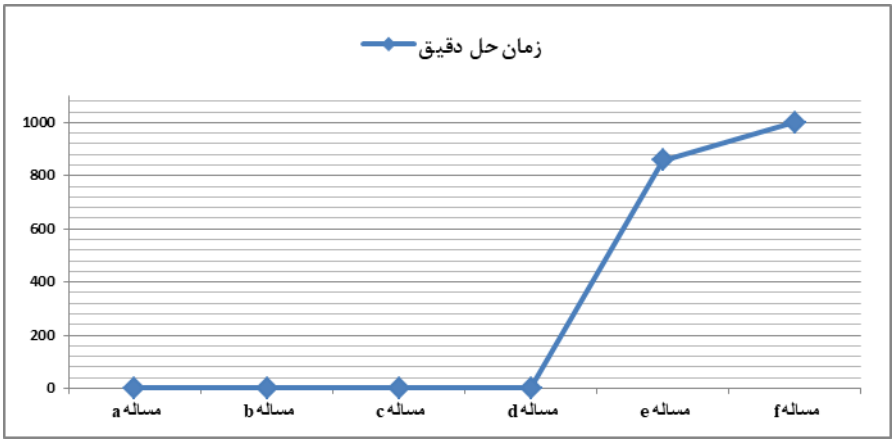
همچنین همان‌طور که شکل ۷ نشان می‌دهد با افزایش حجم مسأله زمان حل به‌طور نمایی افزایش پیدا می‌کند؛ بنابراین با افزایش ابعاد مسایل در اندازه بزرگ نرم افزار گمز قادر به حل نیست و در نتیجه برای مسایل در اندازه بزرگ از الگوریتم فراابتکاری رقابت استعماری در نرم افزار متلب استفاده شده است.

جدول ٦. زمان حل شش مسأله (بر حسب ثانیه)

شماره مسأله	حل دقیق	زمان حل ICA
a	۰/۳	۰/۰۸
b	۰/۷۳	۰/۱۹
c	۱/۲۲	۰/۲۳
d	۱/۹۴	۰/۱۹
e	۸۵۹	۱/۱۵
f	۱۰۰۰	۲/۲

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.1.2.1]



شکل ۷. نمودار زمان حل دقیق شش مسأله ابعاد کوچک

لازم به ذکر است که با توجه به بالا بودن زمان حل دقیق مسأله توسط حل کننده CPLEX نرم افزار گمز محدودیت زمانی ۱۰۰۰ ثانیه برای حل گذاشته شده است که این زمان با توجه به مشخصات مسأله زمان زیادی می‌باشد. در صورتی که تا قبل از این زمان به جواب برسیم به معنی دستیابی به حل بهینه است؛ اما در صورتی که زمان حل مسأله از ۱۰۰۰ ثانیه تجاوز کند فرایند حل متوقف می‌شود و بهترین جواب به‌دست آمده تا آن لحظه ارایه می‌شود، این جواب صرفا یک حل موجه است.

همان‌طور که اشاره شد به دلیل افزایش ابعاد مساله در اندازه بزرگ نرم افزارگمز قادر به حل نیست و در نتیجه برای مسایل در اندازه بزرگ از الگوریتم فراابتکاری رقابت استعماری (ICA) در نرم افزار متلب استفاده شده است. در این قسمت ۸ مساله در ابعاد مختلف ایجاد کرده و الگوریتم ارایه شده به تعداد ۱۰ بار برای هر مساله اجرا شده است و سپس میانگین جواب‌ها، بهترین و بدترین جواب به‌دست آمده و درصد انحراف نسبی در این تعداد تکرار محاسبه و ارایه می‌شود.

جدول ۷. مشخصات مسایل در ابعاد متوسط

شماره مساله	تعداد کامیون ورودی	تعداد کامیون خروجی	تعداد محصول	تعداد فرباراندازِ
۱	۱۰	۱۰	۷	۵
۲	۱۲	۱۲	۹	۶
۳	۱۳	۱۳	۱۰	۷
۴	۱۴	۱۴	۱۱	۷

جدول ۸. مشخصات مسایل در ابعاد بزرگ

شماره مساله	تعداد کامیون ورودی	تعداد کامیون خروجی	تعداد محصول	تعداد فرباراندازِ
۵	۱۵	۱۵	۱۲	۸
۶	۱۶	۱۶	۱۳	۸
۷	۱۸	۱۸	۱۴	۹
۸	۲۰	۲۰	۱۵	۹

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.1.2.1]

جدول ۹. بدترین نتایج به‌دست آمده از الگوریتم فراابتکاری رقابت استعماری

شماره مسأله	بدترین جواب	بدترین توالی	
		ورودی	خروجی
۱	۲۲۰	Cd۱: [۸-۵-۱-۵-۱-۵-۱] Cd۲: [۷-۴-۷-۴-۲-۶-۲-۶] Cd۳: [۱۰-۹-۱۰-۹-۳-۱۰-۹-۳]	Cd۱: [۱۱-۱۶-۱۲] Cd۲: [۱۳-۱۴-۲۰-۱۹] Cd۳: [۱۷-۱۸-۱۵]
۲	۳۹۲	Cd۱: [۱-۹-۱-۹-۵-۹-۵-۱۰-۹-۵-۱۰] Cd۲: [۳-۶-۳-۶-۲-۶-۲] Cd۳: [۴-۸-۷-۴-۸-۷-۴-۸-۷-۱۲-۸-۷-۱۲-۱۱]	Cd۱: [۱۳-۱۴-۲۳-۲۴] Cd۲: [۱۷-۱۶-۲۲-۱۵] Cd۳: [۱۹-۱۸-۲۰-۱۷]
۳	۴۵۸	Cd۱: [۵-۹-۵-۹-۱۰-۹-۱۰-۱] Cd۲: [۱۳-۲-۱۳-۲-۳-۲-۳-۲-۳] Cd۳: [۴-۱۱-۱۲-۱۱-۱۲] Cd۴: [۸-۶-۸-۶-۷-۸-۶-۷]	Cd۱: [۱۵-۱۴-۲۸] Cd۲: [۱۷-۲۲-۱۶-۲۳] Cd۳: [۱۸-۲۴-۲۵] Cd۴: [۲۱-۱۹-۲۰]
۴	۵۳۷	Cd۱: [۱-۵-۱-۵-۱-۵] Cd۲: [۲-۱۱-۲-۱۱-۱۲-۳-۱۱-۱۲-۳-۱۱-۱۲-۳] Cd۳: [۴-۱۴-۱۳] Cd۴: [۷-۹-۷-۹-۱۰-۷-۹-۱۰]	Cd۱: [۱۶-۲۵-۱۵-۲۶] Cd۲: [۲۳-۱۷-۱۸-۲۴] Cd۳: [۱۹-۲۸-۲۷] Cd۴: [۲۰-۲۲-۲۱]
۵	۶۳۱	Cd۱: [۵-۱۵-۵-۱۵-۱] Cd۲: [۱۲-۱۱-۲-۱۲-۱۱-۲] Cd۳: [۴-۷] Cd۴: [۸-۱۳-۸-۱۳-۶-۱۳-۶-۱۴] Cd۵: [۱۰-۹-۱۰-۹]	Cd۱: [۱۷-۱۶] Cd۲: [۱۹-۱۸] Cd۳: [۲۰-۲۷-۲۶] Cd۴: [۲۱-۲۲-۲۳-۳۰] Cd۵: [۲۴-۲۹-۲۵-۲۸]
۶	۷۱۲	Cd۱: [۱-۵-۱-۵] Cd۲: [۳-۲-۳-۲-۳-۲] Cd۳: [۱۳-۴-۱۴] Cd۴: [۷-۶-۸-۷-۶-۸-۶-۸] Cd۵: [۱۵-۹-۱۵-۹-۱۰-۹-۱۰-۹-۱۰-۱۶]	Cd۱: [۱۷-۱۸] Cd۲: [۲۷-۲۰-۲۸-۱۹] Cd۳: [۲۹-۲۱-۳۰] Cd۴: [۲۳-۲۲-۲۴] Cd۵: [۲۵-۳۰-۲۶-۳۱]
۷	۸۴۴	Cd۱: [۱-۵-۱-۵] Cd۲: [۲-۳-۲-۳] Cd۳: [۴-۱۴-۱۳] Cd۴: [۷-۸-۷-۸-۶-۷-۸-۶] Cd۵: [۱۰-۹-۱۰-۹-۱۰-۹-۱۷-۹-۱۷-۱۸] Cd۶: [۱۱-۱۶-۱۱-۱۶-۱۵-۱۱-۱۶-۱۵-۱۲-۱۶-۱۵-۱۲]	Cd۱: [۱۹-۲۰] Cd۲: [۲۲-۲۱] Cd۳: [۲۳-۳۲-۳۱] Cd۴: [۲۶-۲۴-۲۵] Cd۵: [۲۷-۲۸-۳۳-۳۴] Cd۶: [۳۱-۳۰-۳۶-۳۵]
۸	۸۹۰	Cd۱: [۱-۱۵-۱-۱۵-۱-۱۵-۵-۱۵-۵-۱۶-۱۵-۵-۱۶-۵-۱۶] Cd۲: [۲-۳-۲-۳] Cd۳: [۱۴] Cd۴: [۷-۸-۶-۸-۶-۷-۸-۶-۸-۶] Cd۵: [۱۸-۱۹-۱۸-۱۹-۱۰-۱۷-۲۰-۱۸-۱۹-۱۰-۲۰-۹-۱۹-۱۰-۱۷-۲۰-۹-۱۰] Cd۶: [۱۲-۱۱-۱۲-۱۱]	Cd۱: [۲۱-۲۲-۳۹-۳۷-۳۸-۴۰] Cd۲: [۲۳-۲۴] Cd۳: [۲۵] Cd۴: [۲۶-۲۷-۲۸-۳۶-۳۵] Cd۵: [۳۰-۳۳-۲۹-۳۴] Cd۶: [۳۱-۳۲]

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.1.2.1]

شکل۸. نمودار مقایسه بدترین نتایج به‌دست آمده از الگوریتم فراابتکاری رقابت استعماری

همان‌طور که در جدول ۹ و شکل ۸ مشاهده می‌شود برای ۱۰ بار اجرای الگوریتم بر حسب مسایل مختلف، بدترین جواب به‌دست آمده به‌همراه بدترین توالی ورود و خروج کامیون‌ها به فراباراندازها بر اساس بزرگ‌ترین مقدار تابع هدف نیز آورده شده است.

جدول ۱۰. بهترین و میانگین جواب الگوریتم‌های فراابتکاری

شماره مساله	بهترین جواب	میانگین جواب‌ها	RPD
۱	۲۲۰	۲۲۰	۰
۲	۳۸۸	۳۹۰	۰/۵
۳	۴۵۰	۴۵۳	۰/۷
۴	۵۳۰	۵۳۲	۰/۴
۵	۶۳۰	۶۳۰/۵	۰/۱
۶	۷۰۷	۷۱۰	۰/۴
۷	۸۳۵	۸۴۰	۰/۶
۸	۸۸۰	۸۸۷	۰/۸

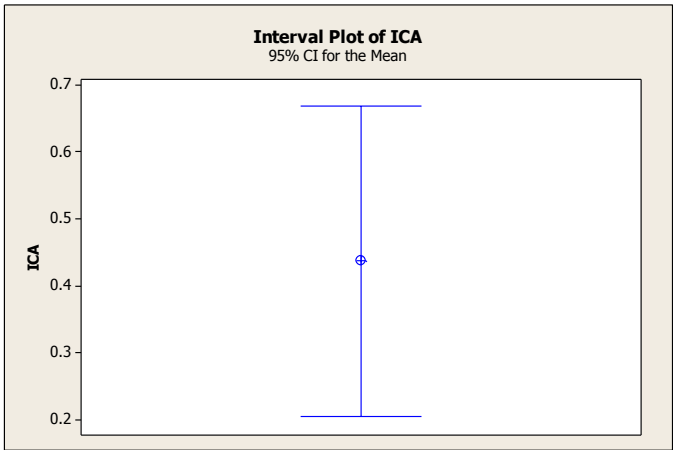
در پایان مقایسات جواب‌های به‌دست آمده از ۱۰ بار اجرای مدل در الگوریتم فراابتکاری، درصد انحراف نسبی (RPD) برای الگوریتم در هر مورد با توجه به فرمول زیر محاسبه شده است:

$$\mathrm{RPD} = \frac{\mathrm{SOL}_{\mathrm{avg}} - \mathrm{SOL}_{\mathrm{best}}}{\mathrm{SOL}_{\mathrm{best}}} \qquad (۲۴)$$

به‌طوری‌که sol-best بهترین جواب از هر مساله و sol-avg میانگین جواب‌های به‌دست آمده از اجرای الگوریتم است و در جدول ۱۰ قابل مشاهده است. برای مقایسه الگوریتم‌ها بر مبنای معیارRPD، نمودار بازه‌ای در سطح اطمینان ٪۹۵ در شکل ۹ نشان داده شده است.

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.1.2.1]



شکل ۹. بررسی الگوریتم بر مبنای معیارRPD در مدل

همان‌طور که واضح است الگوریتم رقابت استعماری (ICA) عملکرد نسبتا مناسبی داشته و میزان درصد انحراف نسبی جواب کمی برخوردار است (کم‌تر از یک). در نتیجه بر طبق معیار RPD، این الگوریتم کارا بوده و جواب حل آن نوسان کمی دارد.

۵ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین مسایلی که در سال‌های اخیر برای فراباراندازِ به طور گسترده‌ای مورد بررسی قرار گرفته است، زمان‌بندی و تعیین ترتیب وسایل حمل در فراباراندازِ می‌باشد، که هم زمان‌بندی منابع درون انبار و هم زمان‌بندی وسایل حمل ورودی و خروجی را در بر می‌گیرد. به طور کلی مسایل زمان‌بندی به صورت تخصیص منابع در طول زمانی مشخص برای انجام مجموعه‌ای از وظایف مربوط به یک فرآیند تعریف می‌شوند. به صورت خاص زمان‌بندی وسایل حمل را می‌توان به فرآیندهای تخلیه وسایل حمل ورودی و بارگیری وسایل حمل خروجی تقسیم کرد که معمولاً بین آن‌ها یک فاصله زمانی برای انجام فعالیت‌های درون انبار از قبیل شناسایی و تشخیص محموله، دسته‌بندی و انتقال از بارانداز ورودی به بارانداز خروجی وجود دارد. این دو فعالیت باید توسط منابع موجود مانند باراندازها انجام شود که در هر لحظه فقط به یک وسیله حمل می‌تواند خدمت دهد. توجه به مساله زمان‌بندی در انبارها نقش بسزایی در افزایش سرعت گردش کالا در فراباراندازِ و نیز تحویل به موقع کالا به مشتریان خواهد داشت.

در واقع مساله زمان‌بندی کامیون‌ها را می‌توان به صورت مساله یافتن جواب برای پرسش‌های "کجا" و "چه موقع" یک کامیون وظیفه خود را انجام دهد تعبیر کرد. به عبارت دیگر هر کامیون باید در زمانی مشخص به یکی از فراباراندازها یا درب‌های انبار تخصیص یابد که این موضوع بیانگر این نکته است که مساله زمان‌بندی کامیون‌ها همان مساله یافتن بهترین توالی کامیون‌ها برای هریک از فراباراندازهاست. با توجه به محدودیت‌ها و اهداف متفاوت می‌توان انواع مختلفی از مسایل زمان‌بندی کامیون‌ها را در نظر گرفت.

یکی از مهم‌ترین فرض‌ها، در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت فضای فراباراندازِ به عنوان محدودیتی که منجر به مواجه شدن با بن‌بست می‌شود در بسیاری از مدل‌ها به دلیل سهولت در مرحله حل نادیده گرفته شده است. این

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.1.2.1]

تحقیق مساله زمان‌بندی کامیون‌ها را در چند فراباراندازِ مورد بررسی قرار می‌دهد که دو نوع زمان تاخیر در کامیون‌ها با شرایط متفاوت در نظر گرفته شده و یک انبار موقت برای هر یک از فراباراندازها وجود دارد. در نهایت از الگوریتم فراابتکاری رقابت استعماری برای حل مدل‌های این تحقیق به‌کارگرفته شده است و مقایسات نشان می‌دهد که الگوریتم رقابت استعماری (ICA) عملکرد مناسبی دارد و جواب حل به‌دست آمده از این الگوریتم در چندین تکرار نوسان کمی دارد.

به طور خلاصه ویژگی‌هایی که این تحقیق را از سایر کارها متمایز می‌سازد به صورت زیر است:

- زمان‌بندی چند فراباراندازِ به‌صورت همزمان
- در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت متفاوت برای هر فرابارنداز
- در نظر گرفتن دو نوع زمان تاخیر برای کامیون‌ها (اولی زمان تاخیر تعویض کامیون ها در هر باراندازِ و دومی زمان انتظار رسیدن کامیون ورودی برای تخلیه بار یا محصول مورد نظر.)
- در نظر گرفتن انبار موقت برای هر فراباراندازِ
- استفاده از الگوریتم فراابتکاری برای حل مدل در ابعاد مساله بزرگ

پیشنهادها برای تحقیقات آتی

- در نظر گرفتن چندین درب ورود و خروج برای هر فراباراندازِ
- مقایسه فراباراندازِ با چندین درب ورود و خروج با فراباراندازِ چندگانه
- در نظر گرفتن محدودیت انبارش بارهای خاص در انبار موقت مانند کالاهای فاسد شدنی
- استفاده از روش‌های دیگر برای حل مساله و مقایسه آن‌ها با روش های حل فعلی
- در نظر گرفتن مدل های زمان‌بندی چند هدفه و حل با الگوریتم های فراابتکاری
- در نظر گرفتن عدم قطعیت در فرضیات مساله و استفاده از رویکردهای فازی
- طراحی الگوریتم‌های حل دقیق برای مسایل تک دربی ایده خوبی برای تحقیقات آتی است.

مراجع

[۲] چراغعلی پور، آ.، پایدار، م.، حاجی آقائی کشتلی، م.، (۱۳۹۶). طراحی شبکه زنجیره‌تامین چند دوره ای و سه سطحی برای محصولات زراعی فاسد شدنی با استفاده از الگوریتم های فراابتکاری. مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، ۱۴(۳)، ۱۵-۳۴.

[۲۶] رانجیت، ر.، (۱۳۸۶). آشنایی با روش طراحی آزمایشات تاگوچی، مرادخانی، د.، انتشارات دانشگاه زنجان، چاپ اول.

[1] Apte, U., Viswanathan, S., (2000). Effective Cross Docking for Improving Distribution Efficiencies. International Journal of Logistics Research and Application, 291-302.

[3] Chen, F., Song, K., (2009). Minimizing makespan in two-stage hybrid cross docking scheduling problem. Computers & Operations Research, 2066-2073.

[4] Rezaallah, H., (2011). Offering a Model for Location of Cross Docks for ETKA Chain Store Distribution Center.

[5] Zhao, Q.H., Cheng, T.C.E., (2009). An analytical study of the modification ability of distribution centers. European Journal of Operational Research, 901-910.

[6] Bartholdi, J. J., (2012). Terminal reducing labor costs in an LTL. 823-832.

[7] Yu, W., (2002). Operational strategies for cross docking systems. Dissertation, Iowa state University: Ames, IA, USA.

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.1.2.1]

[8] Chen, F., Lee, C.Y., (2009). Minimizing the makespan in a two-machine cross-docking flow shop problem. European Journal of Operational Research, 59-72.
[9] Ma, H., Miao, Z., Lim, A., Rodrigues, B., (2011). Cross docking distribution networks with setup cost and time window constraint. Omega, 64-72.
[10] Wurz, A., (1994). Cross docking is workable today!. Automatic I.D. News, 56–57.
[11] Rohrer, M., (1995). Simulation and cross docking. In Proceeding of the Winter Simulation Conference, 846–849.
[12] Bartholdi, J. J., Gue, K. R., (2004). The best shape for a crossdock. Transportation Science, 235–244.
[13] Miao, Z., Lim, A., Ma, H., (2009). Truck dock assignment problem with operational time constraint within crossdocks. European Journal of Operational Research, 105-115.
[14] Boysen, N., Fliedner, M., Scholl, A., (2008). Scheduling inbound and outbound trucks at cross docking terminals. OR Spectrum, 135-161.
[15] Vahdani, B., Zandieh, M., (2010). Scheduling trucks in cross-docking systems: Robust meta-heuristics. Computers & Industrial Engineering, 12-24.
[16] Yu, W., Egbelu, P. J., (2008). Scheduling of inbound and outbound trucks in cross docking systems with temporary storage. European Journal of Operational Research, 377-396.
[17] Soltani, R., Sadjadi, S. J., (2010). Scheduling trucks in cross-docking systems: A robust meta-heuristics approach. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 650-666.
[18] Vahdani, B., Soltani, R., Zandieh, M., (2009). Scheduling the truck holdover recurrent dock cross-dock problem using robust meta-heuristics. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 769–783.
[19] Madani-Isfahani, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Naderi, B., (2014). Multiple cross-docks scheduling using two meta-heuristic algorithm. Computers & Industrial Engineering, 129–138.
[20] Forouharfard, S., Zandieh, M., (2010). An imperialist competitive algorithm to schedule of receiving and shipping trucks in cross-docking systems. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1179-1193.
[21] Boloori Arabani, A. R., Fatemi Ghomi, S. M. T., Zandieh, M., (2009). A multi-criteria cross-docking scheduling with just-in-time approach. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 741-756.
[22] Boloori Arabani, A. R., Fatemi Ghomi, S. M. T., Zandieh, M., (2011). Meta-heuristics implementation for scheduling of trucks in a cross-docking system with temporary storage. Expert Systems with Applications, 1964-1979.
[23] Mohtashami, A., (2015). A novel dynamic genetic algorithm-based method for vehicle scheduling in cross docking systems with frequent unloading operation. Computers & Industrial Engineering, 221-240.
[24] Birim, Ş., (2016). Vehicle Routing Problem with Cross Docking: A Simulated Annealing Approach. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 149-158.
[25] Golshahi-Roudbaneh, A., Hajiaghaei-Keshteli, M., Paydar, M., (2017). Developing a lower bound and strong heuristics for a truck scheduling problem in a cross-docking center. Knowledge-Based Systems, Volume 129, 17-38.

[Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.1.2.1]