

توسعه و حل یک مدل تعیین اندازه انباشته دو سطحی

محمد ابراهیمی*، مقصود امیری**

چکیده

در این پژوهش، یک مدل تعیین اندازه انباشته دوسطحی با چند روش تولید و تقاضای فازی ارائه می‌شود. هدف مدل ارائه‌شده حداقل‌سازی هزینه است. برای حل مدل از روش‌های مختلفی نظیر الگوریتم ژنتیک، تبرید شبیه‌سازی‌شده و بهینه‌سازی میرایی ارتعاش استفاده شد. برای تنظیم پارامتر الگوریتم‌های فراابتکاری، از روش تاگوچی بهره گرفتیم؛ سپس برای اثبات عملکرد مناسب روش‌های حل ارائه‌شده و انتخاب کاراترین روش برای حل مدل ارائه‌شده، ابتدا مسائل آزمایشی با ابعاد مختلف تولید شده و سپس توسط نرم‌افزار لینگو و الگوریتم‌های پیشنهادی حل شد؛ در نهایت پاسخ‌ها را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادیم. بر اساس تجزیه و تحلیل آماری و نتایج نمودارها، جواب‌های الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاش در مسائل با اندازه بزرگ کیفیت بهتری نسبت به الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌شده و الگوریتم ژنتیک داشته است؛ همچنین جواب‌های الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌شده در مسائل با اندازه بزرگ کیفیت بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک داشته است.

کلیدواژه‌ها: ساختار محصول چندسطحی؛ مسئله تعیین اندازه انباشته؛ الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌شده؛ الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاش؛ الگوریتم ژنتیک.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۳/۲۹، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۳۰

* کارشناس ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین.

** استاد، دانشگاه علامه طباطبائی (نویسنده مسئول).

۱. مقدمه

برنامه‌ریزی تولید از جمله فعالیت‌هایی است که همواره در پی یافتن ترکیب بهینه استفاده مؤثر از منابع تولیدی با توجه به نیازهای تولیدی برای برآورده‌سازی رضایت‌مندی مشتریان و سوددهی در طول افق برنامه‌ریزی است. اگر در برنامه‌ریزی تولید، مسئله تولید مطرح باشد مسائل عمده تصمیم‌گیری عبارت‌اند از: اینکه چه اقلامی ساخته شوند و این اقلام به چه تعداد و چه موقع ساخته شوند تا بیشترین رضایت‌مندی در پایان افق برنامه‌ریزی ایجاد شود. در بیشتر سیستم‌های برنامه‌ریزی منابع سرمایه‌ای، برنامه تولید برای زمان‌بندی بدون در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت منابع، مانند سیستم برنامه نیازمندی مواد، استفاده می‌شود. در هر سیستم برنامه‌ریزی فرض می‌شود که زمان تدارک برای هر عمل تولید یا تدارک از پیش تعریف شده است، بدون در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت منابع عملیاتی، این مورد ممکن است باعث غیرموجه بودن برنامه تولید و یا برنامه‌ای با موجودی بیش از حد شود [۶].

یکی از مسائل مطرح در حیطه برنامه‌ریزی تولید، مسئله تعیین اندازه انباشته دوسطحی با محدودیت ظرفیت است که در آن باید مقدار بهینه انباشته تعیین شود؛ بنابراین ورما و شارما (۲۰۱۵)، به حل یک مدل تعیین اندازه انباشته دوسطحی با روش لاگرانژ پرداختند. مدل آن‌ها یک مدل دوسطحی، چندمحصولی و چنددوره‌ای با در نظر گرفتن زمان راه‌اندازی و سفارش عقب‌افتاده بود. در این پژوهش تصمیم بر این است که مدل ورما و شارما (۲۰۱۵)، با اضافه کردن موارد کاربردی دیگر گسترش داده شود [۲۵].

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

تولودو و همکاران (۲۰۰۹)، یک الگوریتم تکاملی برای حل یک مسئله هم‌زمان و یکپارچه اندازه انباشته دوسطحی و زمان‌بندی معرفی کردند [۲۳]. ربانی (۱۳۹۰)، از رویکرد فازی در مسئله تعیین اندازه انباشته چندسطحی - چندقلمی با ظرفیت محدود در مدل‌های مبتنی بر MRP^۱ استفاده کرد. او روش جدیدی با استفاده از یک سیستم خبره فازی در تخمین پارامترهای فازی برای تعیین اندازه انباشته چندسطحی - چندقلمی با ظرفیت محدود، برنامه‌ریزی تولید میان‌مدت با محدودیت ظرفیتی، محیط‌های ساخت چندمحصولی، چندسطحی و چنددوره‌ای ارائه داد [۲۰].

ویبو و همکاران (۲۰۱۲)، یک مسئله تعیین اندازه انباشته چندسطحی با محدودیت ظرفیت و با زمان راه‌اندازی و یک کلاس از مسائل متفاوت که اغلب یک برنامه‌ریزی تولید با آن مواجه است را در نظر گرفتند. آن‌ها برای حل مدل یک روش ابتکاری مبتنی بر آزادسازی و تثبیت را

گسترش دادند که به‌طور نظام‌مند با استفاده از دانش به‌دست‌آمده از استراتژی‌های مختلف آزادسازی و تثبیت و یک تکنیک آزادسازی برنامه‌ریزی خطی عمل می‌کرد [۲۶]. لی و همکاران (۲۰۱۴)، پژوهشی درباره یک مسئله اندازه انباشته پویا با محصول برگشتی و بازسازی انجام دادند [۱۵].

چن (۲۰۱۵)، یک روش جدید تثبیت و بهینه‌سازی برای مسئله پویای تعیین اندازه انباشته چندسطحی با محدودیت ظرفیت و بدون انتقال راه‌اندازی و همچنین مسئله پویای تعیین اندازه انباشته چندسطحی با محدودیت ظرفیت و با انتقال راه‌اندازی ارائه کرد [۶].

بونم و ستانان (۲۰۱۶)، یک مدل تعیین اندازه انباشته چندسطحی با محدودیت ظرفیت و مشکل برنامه‌ریزی در صنعت طیور ارائه کردند. آنها ابتدا برای حل از روش ازدحام ذرات استفاده کرده و در مرحله بعد برای حل بهتر مدل، روش GLNPSO را ارائه کردند [۴]. گاتیریز و همکاران (۲۰۰۱)، از الگوریتم ژنتیک برای مسئله تعیین اندازه انباشته با محدودیت ظرفیت استفاده کردند. مسئله به‌صورت چندمحصولی و چندسطحی بود؛ همچنین در مدل آن‌ها کمبود مجاز نبود [۹].

چانگ و همکاران (۲۰۰۶)، یک مدل ترکیبی فازی از موجودی شامل متغیر تصادفی زمان دریافت تقاضاها و مجموع تقاضاهای فازی با وجود کمبود و فروش از دست‌رفته ارائه دادند [۵]. کزراپونگ و همکاران (۲۰۱۱)، مدل تعیین اندازه سفارش تک‌محصولی را با پارامترهای فازی در نظر گرفتند [۱۳].

تولدو و همکاران (۲۰۱۴)، یک الگوریتم ژنتیک جاسازی‌شده با تکنیک‌های برنامه‌ریزی ریاضی برای حل هماهنگ و اندازه انباشته دوسطحی یکپارچه و مسئله برنامه‌ریزی برانگیخته به‌وسیله یک مسئله واقعی که در تولید نوشابه مطرح است را ارائه دادند [۲۴].

عادلی و همکاران (۱۳۹۲)، به‌بررسی مسئله یکپارچه منبع یابی و سیاست موجودی پرداختند. با توجه به این‌که در مسائل واقعی محاسبه دقیق هزینه کمبود موجودی کاری دشوار است، برای رفع این مشکل در این پژوهش خود، تعداد کمبود را به‌عنوان هدفی مجزا در نظر گرفتند و برای تخمین مقدار تابع هدف، از شبیه‌سازی استفاده کردند. در نهایت برای حل مسئله از روش چندهدفه NSGA-II و MOPSO استفاده کردند و نشان دادند که جواب‌های تولید شده توسط الگوریتم NSGA-II از کیفیت بیشتری برخوردارند [۳].

علی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۳)، یک مدل چند هدفه برای تشکیل یک سیستم تولید در شرایط پویا ارائه کردند. آن‌ها در مدل خود، حداقل‌سازی هزینه‌های سیستم تولید و حداقل‌سازی واریانس هزینه‌های فازی را در نظر گرفتند. همچنین، به‌منظور دستیابی به جواب‌های مؤثر، یک الگوریتم ترکیبی از NSGA-II و شبیه‌سازی تبرید تدریجی ارائه کردند [۱].

مقصود امیری و همکاران (۱۳۹۵)، آن‌ها به مطالعه یک مدل برنامه‌ریزی تولید توزیع یکپارچه شده برای یک زنجیره تأمین سه سطحی شامل چندین تولیدکننده، چندین توزیع‌کننده و چندین مصرف‌کننده پرداختند و از رویکرد بهینه‌سازی استوار استفاده کردند و در نهایت یک مدل بهینه‌سازی استوار برای مسئله برنامه‌ریزی تولید و توزیع یکپارچه را ارائه کردند؛ به طوری که کل هزینه‌های زنجیره تأمین کمینه شود؛ آن‌ها ابتدا مدل اولیه مسئله را با پارامترهای قطعی، طراحی و سپس هم‌تای استوار آن را ارائه کردند [۲].

گانر گرون و ناتالی (۲۰۱۵)، با استفاده از روش ابتکاری تثبیت و بهینه‌سازی که با الگوریتم ژنتیک ترکیب شده بود به حل یک مسئله تعیین اندازه انباشته با محدودیت ظرفیت و انتقال راه‌اندازی پرداختند [۸].

جنز و دگرو (۲۰۰۷)، به نقد و بررسی روش‌های متاهوریستیک که برای حل مسئله تعیین اندازه سفارش توسعه داده شده‌اند، پرداختند، هدف آن‌ها از این تحقیق، پیدا کردن مزایا و معایب روش‌های حل و نحوه ترکیب آن‌ها به منظور ارائه یک الگوریتم قوی‌تر بود [۱۳].

رضانیان و سعیدی مهرآباد (۲۰۱۳)، به بررسی مسئله تعیین اندازه سفارش و زمان‌بندی از یک سیستم «فلوشاپ» با محدودیت ظرفیت، راه‌اندازی وابسته به توالی، زمان پردازش نامشخص، چندمحصولی و تقاضای چنددوره‌ای پرداختند [۲۱].

حسینی و همکاران (۲۰۱۴)، از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید شده و الگوریتم ژنتیک برای مسئله زمان‌بندی دو ماشین و با یک خدمت‌دهنده استفاده کردند [۱۱].

مهدی‌زاده و فاتحی (۲۰۱۳)، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای یک مسئله اندازه انباشته با زمان راه‌اندازی، موجودی اطمینان، کمبود تقاضا، برونسپاری و ظرفیت موجودی پیشنهاد دادند؛ سپس با الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاش به حل آن پرداختند [۱۸].

حاجی‌پور و همکاران (۲۰۱۶)، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی دوهدفه برای مسئله محل تسهیلات محدود، تحت سیاست تراکم و قیمت‌گذاری ارائه کردند [۱۰].

با توجه به پژوهش‌های موجود در مبانی نظری تاکنون مدل اندازه انباشته دوسطحی - چندمحصولی با محدودیت‌های ظرفیت، همراه با کمبود به دو صورت پس‌افت و فروش از دست‌رفته، چند روش تولید، محصول مرجوعی و با تقاضاهای غیرقطعی (فازی) به‌طور هم‌زمان مطالعه نشده است که در این پژوهش قصد بر آن است که مدل ریاضی این مسئله ارائه شده و در نهایت با سه روش فراابتکاری حل شود.

۳. روش‌شناسی پژوهش

بیان مسئله. چن (۲۰۱۵)، معتقد است که در بیشتر سیستم‌های برنامه‌ریزی منابع سرمایه‌ای، برنامه تولید برای زمان‌بندی بدون در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت منابع، مانند سیستم برنامه نیازمندی مواد استفاده می‌شود. در هر سیستم برنامه‌ریزی فرض می‌شود که زمان تدارک برای هر عمل تولید یا تدارک از پیش تعریف شده است، بدون در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت منابع عملیاتی، این مورد ممکن است که باعث غیرموجه بودن برنامه تولید و یا برنامه‌ای با موجودی بیش از حد شود. یکی از مسائل مطرح در حیطه برنامه‌ریزی تولید، مسئله تعیین اندازه انباشته دوسطحی با محدودیت ظرفیت است که در آن باید مقدار بهینه انباشته تعیین شود. ورما و شارما (۲۰۱۵) به حل یک مدل تعیین اندازه انباشته دوسطحی با روش لاگرانژ پرداختند. مدل آن‌ها یک مدل دوسطحی، چندمحصولی و چنددوره‌ای با در نظر گرفتن زمان راه‌اندازی و سفارش عقب‌افتاده بود.

در این پژوهش تصمیم بر این است که مدل ورما و شارما (۲۰۱۵) با اضافه کردن موارد کاربردی دیگر گسترش داده شود. در دنیای امروزی همیشه محصولات مرجوعی یکی از دغدغه‌های اساسی تولیدکنندگان است؛ به همین دلیل در این پژوهش سعی می‌شود که با در نظر گرفتن محصول مرجوعی، مدل ارائه شده به شرایط دنیای واقعی نزدیک‌تر شود.

در مدل ورما و شارما (۲۰۱۵)، فقط سفارش عقب‌افتاده وجود دارد؛ ولی پژوهشگران در این پژوهش در نظر دارند که در مدل خود، ترکیبی از کمبود به دو صورت پس‌افت و فروش از دست‌رفته را با یکدیگر ترکیب کرده و به این وسیله، مسئله را به واقعیت نزدیک‌تر کنند. در بیشتر کاربردهای گسترده صنعتی یکی از مهم‌ترین سؤال‌ها، تعیین بهترین مقدار تولید است. با توجه به اینکه در یک سیستم تولیدی همیشه میزان تقاضاها مشخص نیست؛ بنابراین غیرقطعی (فازی) گرفتن این پارامتر مهم در مدل به کاربردی شدن آن کمک فراوانی خواهد کرد. بحث نظریه مجموعه‌های فازی نخستین بار توسط لطفی‌زاده (۱۹۶۵)، مطرح شد؛ همچنین برای تولید یک محصول ممکن است که از چندین روش تولید استفاده شود که پژوهشگران در مطالعه حاضر تصمیم دارند این مورد را در مدل خود بگنجانند.

چن (۲۰۱۵)، نشان داده است که مسئله تعیین اندازه انباشته چندسطحی با محدودیت ظرفیت از جمله مسائل سخت (NP-Hard) محسوب می‌شود؛ همچنین ورما و شارما (۲۰۱۵)، اعلام کردند که مسئله تعیین اندازه انباشته دوسطحی، چندمحصولی و چند دوره‌ای با در نظر گرفتن زمان راه‌اندازی و سفارش عقب‌افتاده از جمله مسائل سخت است؛ بنابراین با توجه به NP-hard بودن مسئله، امکان حل مدل در ابعاد دنیای واقعی با روش‌های دقیق وجود نخواهد داشت و این‌گونه از الگوریتم‌ها در حل مسائل سخت کارایی ندارند و زمان حل این الگوریتم در

مسائل سخت به صورت نمایی افزایش می‌یابد؛ از این رو برای حل مدل از رویکردهای بهینه‌سازی شامل الگوریتم‌های فراابتکاری بهره برده خواهد شد. سرانجام، برای نشان دادن کارایی مناسب روش‌های حل به کار گرفته شده، مسائلی با ابعاد مختلف تولید شده و توسط الگوریتم‌های فراابتکاری حل خواهند شد؛ سپس پاسخ الگوریتم‌های فراابتکاری به صورت آماری مورد بررسی و تحلیل قرار خواهند گرفت تا به این صورت بتوان کاراترین الگوریتم حل را از نظر کیفیت حل برای مدل ارائه شده برگزید.

پارامترهای مدل

- $CINV_{it}$: هزینه نگهداری موجودی هر واحد قلم Δm برای یک دوره.
- CBO_{it} : هزینه سفارش عقب‌افتاده هر واحد قلم Δm که طی دوره Δm تقاضا می‌شود.
- $CAPT_{it}$: ظرفیت موجود به واحد زمان در برای تولید قلم m دوره Δm .
- N_{it} : تعداد قلم Δm مورد نیاز برای تولید یک واحد از محصول یک در ساختار محصول (برای حالت دوسطحی).
- CP_{imt} : هزینه تولید هر واحد قلم Δm به روش im در دوره Δm .
- CS_{imt} : هزینه راه‌اندازی هر واحد قلم Δm به روش im در دوره Δm .
- CAP_{imt} : ظرفیت موجود برای تولید قلم Δm به روش im در دوره Δm .
- \tilde{D}_{it} : تقاضای غیرقطعی (فازی) بیرونی قلم Δm در طی دوره Δm .
- TP_{im} : زمان مورد نیاز برای فرآیند تولید قلم Δm به روش im .
- TS_{im} : زمان مورد نیاز برای راه‌اندازی تولید قلم Δm به روش im .
- CQ_{it} : هزینه هر واحد فروش از دست‌رفته محصول Δm در طی دوره Δm .
- ρ : احتمال کمبود پس‌افت.
- CD_{it} : هزینه از رده خارج کردن هر واحد مرجوعی از محصول Δm در دوره Δm .
- CB_{it} : هزینه تعمیر هر واحد مرجوعی از محصول Δm در دوره Δm .
- CBI_{it} : هزینه نگهداری هر واحد مرجوعی از محصول Δm در دوره Δm .
- $MAXBD_{it}$: حداکثر تعداد محصول مرجوعی از محصول Δm در دوره Δm که می‌توان از بین برد.
- $MAXBR_{it}$: بیشترین تعداد محصول مرجوعی از محصول Δm در دوره Δm که می‌تواند دوباره با انجام سرویس به چرخه تأمین‌کننده برگردد.
- $MAXB_{it}$: تعداد کل محصول مرجوعی از محصول Δm در دوره Δm .

مدل پیشنهادی:

$$\text{Min}Z = \quad (1)$$

$$\sum_i^I \sum_{t=1}^T \left\{ \sum_{m=1}^M (CP_{imt} XP_{imt} + CS_{imt} YS_{imt}) + CINV_{it} XINV_{it} \right. \\ \left. + \rho CBO_{it} XBO_{it} + (1 - \rho) CQ_{it} XBO_{it} + CD_{it} XBD_{it} \right. \\ \left. + CB_{it} XBR_{it} + CBI_{it} BI_{it} \right\}$$

Subjectto:

$$\left(\sum_{m=1}^M XP_{imt} \right) + XINV_{i,t-1} + XBO_{it} + XBR_{it} = \tilde{D}_{it} + XINV_{it} + XBO_{i,t-1} \quad (2)$$

$$+ \left(\sum_{m=1}^M XP_{1mt} N_{i1} \right) \quad \forall i, t$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M (TP_{im} XP_{imt} + TS_{im} YS_{imt}) \leq CAPT_t \quad \forall t \quad (3)$$

$$XP_{imt} \leq CAP_{imt} YS_{imt} \quad \forall i, m, t \quad (4)$$

$$XBD_{it} \leq MAXBD_{it} \quad \forall i, t \quad (5)$$

$$XBR_{it} \leq MAXBR_{it} \quad \forall i, t \quad (6)$$

$$BI_{it} = BI_{i,t-1} - XBD_{it} - XBR_{it} + MAXB_{it} \quad \forall i, t \quad (7)$$

$$XP_{imt} \geq 0 \quad \forall i, m, t \quad (8)$$

$$XINV_{it}, XBO_{it} \geq 0 \quad \forall i, t \quad (9)$$

$$XINV_{iT}, XBO_{iT} = 0 \quad \forall i \quad (10)$$

$$YS_{imt} \in [0, 1] \quad \forall i, m, t \quad (11)$$

معادله ۱، تابع هدف است که هدف آن حداقل‌سازی هزینه تولید، راه‌اندازی، موجودی، پس‌افت و فروش از دست‌رفته، از رده خارج کردن محصول مرجوعی، تعمیر محصول مرجوعی و نگهداری محصول مرجوعی است. معادله ۲، تعادل جریان موجودی است. معادله ۳، محدودیت ظرفیت زمان را تضمین می‌کند، کل زمان مورد استفاده در انجام تولید تمام اقلام است که همیشه کمتر یا برابر با حداکثر زمان، موجود در هر دوره است. معادله ۴، محدودیت ظرفیت تولید، که مقدار تولید را همیشه کمتر یا برابر با حداکثر ظرفیت تولید در دسترس برای همه اقلام و

دوره‌های زمانی تضمین می‌کند. معادله ۵، حداکثر محصول مرجوعی که می‌توان از بین برد را نشان می‌دهد. معادله ۶، حداکثر محصول مرجوعی که می‌تواند دوباره با انجام سرویس به چرخه تأمین کننده برگردد را نشان می‌دهد. معادله ۷، جریان موجودی محصول برگشتی را نشان می‌دهد. معادله‌های ۸ و ۹، محدودیت غیرمنفی هستند. در معادله ۱۰، فرض می‌شود که هیچ موجودی و سفارش عقب‌افتاده نهایی وجود ندارد. رابطه ۱۱، محدودیت صفر و یک متغیر راه‌اندازی است که در صورت راه‌اندازی مقدار یک و در غیر این صورت صفر است.

تبدیل مدل فازی به یک مدل قطعی. برای تبدیل اعداد فازی دوزنقه‌ای به مقدار قطعی، یک روش غیرفازی‌سازی مناسب مورد نیاز است. غیرفازی‌سازی یک تحول معکوس است که دامنه فازی را به حالت قطعی تبدیل می‌کند. فرض می‌شود که عدد فازی دوزنقه‌ای است، پس مقدار قطعی آن می‌تواند به وسیله معادله ۱۲، به دست آید [۷].

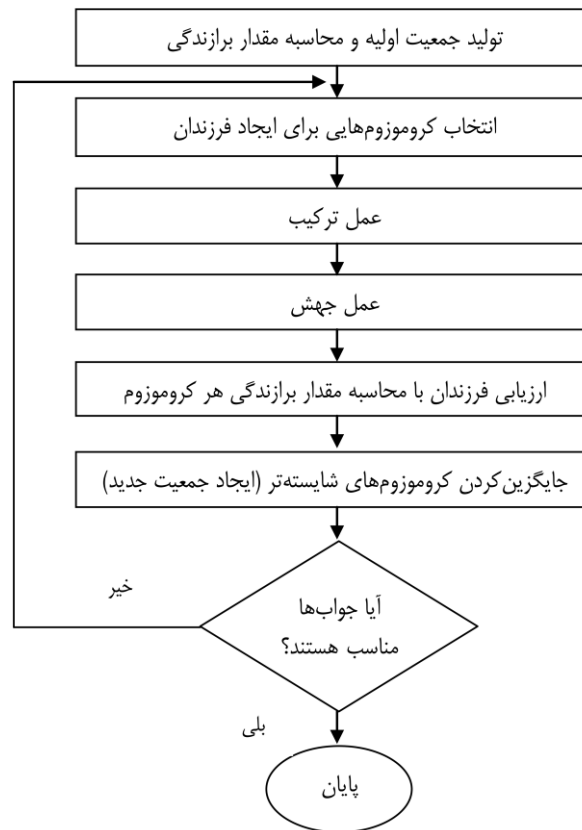
$$N = \frac{(b+c)}{2} + \frac{[(d-c)-(b-a)]}{6} = \frac{(a+2b+2c+d)}{6} \quad (12)$$

نمای کلی الگوریتم ژنتیک. اصول پایه‌ای الگوریتم ژنتیک بسیار عمومی است؛ بنابراین برای مسائل مختلف عوامل مختلف زیادی وجود دارد که باید بررسی شود. نخستین سؤال این است که ایجاد یک کروموزوم چگونه است؟ یا اینکه چه نوعی از کدگذاری انتخاب شود؟ دو عملگر بسیار مهم و پایه‌ای الگوریتم ژنتیک عملگرهای ترکیب و جهش هستند. سؤال بعدی این است که برای ترکیب والدین به منظور ایجاد فرزندان جدید والدین چگونه انتخاب شوند؟ این کار به روش‌های مختلفی می‌تواند صورت گیرد؛ اما ایده اصلی در تمام آن‌ها این است که والدین بهتر انتخاب شوند به این امید که والدین بهتر باعث ایجاد فرزندان بهتر شوند. مسئله‌ی موردسؤال این است که اگر جمعیت جدید تنها از طریق فرزندان جدید ایجاد شود، این فرآیند به حذف کروموزوم‌های نسل قبل منجر می‌شود. برای جلوگیری از این پیشامد، همیشه بهترین جواب نسل قبل بدون هیچ تغییری به نسل جدید منتقل می‌شود [۱۹].

۱. تولید جمعیت اولیه^۱ شامل n کروموزوم
۲. بررسی تابع ارزیابی $f(x)$ برای هر کروموزوم x در جمعیت
۳. ایجاد یک جمعیت جدید بر اساس تکرار قدم‌های زیر:
 - ۱-۳. انتخاب دو کروموزوم والد از یک جمعیت بر اساس میزان برازندگی آن‌ها
 - ۲-۳. در نظر گرفتن مقدار مشخص برای احتمال اعمال عملگر ترکیب^۲ (تقاطع) و سپس انجام عملیات ترکیب بر روی والدین به منظور ایجاد فرزندان (اگر هیچ ترکیب جدیدی صورت نگیرد، فرزندان همان والدین خواهند بود)
 - ۳-۳. در نظر گرفتن احتمال جهش و پس تغییر فرزندان در هر مکان
 - ۴-۳. جایگزین فرزندان جدید در جمعیت جدید
۴. استفاده از جمعیت جدید برای اجراهای بعدی الگوریتم
۵. توقف اجرای الگوریتم در صورت مشاهده شرایط توقف و برگرداندن بهترین جواب در جمعیت فعلی
۶. رفتن به مرحله ۲

شکل ۱. نمای کلی الگوریتم ژنتیک [۱۹]

مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک. پس از بیان مفاهیم اولیه، مراحل مختلف در استفاده از الگوریتم ژنتیک بررسی می‌شود. ابتدا با توجه به صورت مسئله، متغیرهایی که باید تعیین شوند، مشخص می‌شوند؛ سپس این متغیرها به نحو مناسبی کدگذاری شده و به شکل کروموزوم نمایش داده می‌شوند. بر اساس تابع هدف، یک تابع برازندگی برای کروموزوم‌ها تعریف شده و یک جمعیت اولیه دلخواه نیز به‌طور تصادفی انتخاب می‌شود. به دنبال آن، میزان تابع برازندگی برای هر کروموزوم جمعیت اولیه محاسبه می‌شود؛ سپس مراحل که در شکل ۲، نمایش داده شده است به ترتیب زیر انجام می‌گیرد. آنچه تاکنون به‌عنوان ساختار کلی الگوریتم ژنتیک ارائه شده است، به‌وسیله گرنستت و بیکر (۱۹۸۹) ارائه شده و خلاصه آن به‌صورت الگوریتم نمایش داده شده در شکل ۳، است.



شکل ۲. مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک [۱۹]

Genetic Algorithm

1. **Begin**
2. $t=0$
3. initialize $P(t)$;
4. evaluate $P(t)$;
5. while (recombination condition) {
6. (recombination(t) to yield $C(t)$;
7. Evaluate $C(t)$;
8. Select $P(t+1)$ from $P(t)$, $C(t)$;
9. } //end of while

10. End

شکل ۳. الگوریتم ژنتیک ارائه شده به وسیله گریفست و بیکر

الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده. منشأ الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده (SA^1)، پژوهش‌های کریک پاتریک و همکاران (۱۹۸۳) است. آن‌ها، متخصصانی در زمینه فیزیک آماری بودند و برای حل مسائل سخت بهینه‌سازی، روشی مبتنی بر تکنیک تبرید تدریجی پیشنهاد کردند. تکنیک تبرید تدریجی، به‌وسیله متالوژیست‌ها برای رسیدن به حالتی که در آن ماده جامد به‌خوبی مرتب و انرژی آن کمینه شده باشد، استفاده می‌شود. این تکنیک شامل قراردادن ماده در دمای بالا و سپس کم کردن تدریجی این دما است. این الگوریتم جست‌وجویی ساده و اثربخش در حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی است. بیشتر کارها و کاربردهایی که در SA صورت گرفته است در زمینه بهینه‌سازی مسائل گسسته بوده است؛ البته SA برای حل مسائل پیوسته نیز گسترش یافته است. روش تبرید شبیه‌سازی شده فرایند تبرید تدریجی را برای حل یک مسئله بهینه‌سازی، شبیه‌سازی می‌کند. در این روش، یک مجموعه آزمون انجام می‌گیرد. این آزمون‌ها به نحوی است که نتیجه هر یک به نتیجه آزمون قبل وابسته است. در روش تبرید شبیه‌سازی شده، منظور از یک آزمون، انتقال به نقطه جدید است و روشن است که نتیجه انتقال به نقطه جدید تنها وابسته به مشخصات جواب جاری است [۱۴].

الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاش. مهدی‌زاده و توکلی‌مقدم (۲۰۰۹)، یک الگوریتم بهینه‌سازی جدید به نام «بهینه‌سازی میرایی ارتعاش» ارائه کردند که بر پایه میرایی ارتعاشات مکانیکی است [۱۶]. آن‌ها از این الگوریتم برای حل مسئله زمان‌بندی ماشین‌های موازی استفاده کردند. میرایی عبارت است از: کاهش دامنه نوسان که با گذشت زمان این دامنه به سمت صفر میل می‌کند. در فرآیند میرایی هر چه دامنه نوسان بزرگ‌تر باشد، فراوانی پاسخ جدید بیشتر است و هرچه دامنه نوسان کمتر باشد فراوانی کمتر می‌شود.

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

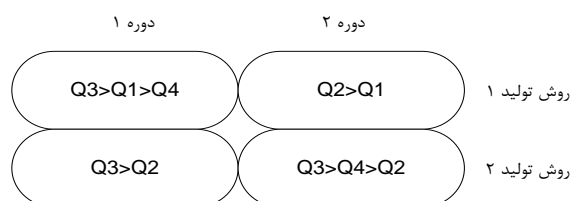
روش‌های حل برای مدل پیشنهادی. به‌منظور حل مدل پیشنهادی از سه روش فراابتکاری استفاده خواهد شد. روش‌هایی که در ادامه تشریح خواهد شد عبارت‌اند از: الگوریتم ژنتیک (GA)، الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده (SA) و الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاش (VDO). برای نشان دادن صحت جواب‌های به‌دست‌آمده تیز الگوریتم‌های فراابتکاری ارائه شده، پاسخ الگوریتم‌های ارائه شده با نرم‌افزار لینگو تطبیق داده شده است.

روش‌های بهینه‌سازی و فرا ابتکاری. بهینه‌سازی فرآیندی است که برای بهتر کردن چیزی دنبال می‌شود. فکر، ایده و یا طرحی که به‌وسیله یک دانشمند یا یک مهندس مطرح می‌شود، طی روال بهینه‌سازی بهتر می‌شود. در هنگام بهینه‌سازی، شرایط اولیه با روش‌های مختلف بررسی می‌شود و اطلاعات به‌دست‌آمده برای بهبودبخشیدن به یک فکر یا روش مورد استفاده قرار می‌گیرند. در بهینه‌سازی از یافتن بهترین جواب برای یک مسئله صحبت به میان می‌آید. الگوریتم‌های ابتکاری، معمولاً به دنبال رسیدن به جواب‌های خوب، یعنی جواب‌های نزدیک به بهینه، در زمان محاسباتی قابل قبول هستند؛ ولی قادر به تضمین بهینه‌بودن جواب‌های به‌دست‌آمده نیستند [۱۶].

الگوریتم‌های فراابتکاری یا فراتکاملی نوعی از الگوریتم‌های دقیق هستند که برای یافتن پاسخ بهینه به کار می‌روند. روش‌ها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی به دودسته الگوریتم‌های دقیق و الگوریتم‌های تقریبی تقسیم‌بندی می‌شوند. الگوریتم‌های دقیق قادر به یافتن جواب بهینه به‌صورت دقیق هستند؛ اما در مورد مسائل بهینه‌سازی سخت کارایی ندارند و زمان حل آن‌ها در این مسائل به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد. الگوریتم‌های تقریبی قادر به یافتن جواب‌های خوب (نزدیک به بهینه) در زمان حل کوتاه برای مسائل بهینه‌سازی سخت هستند. الگوریتم‌های تقریبی نیز به سه دسته الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری و فوق‌ابتکاری بخش‌بندی می‌شوند. دو مشکل اصلی الگوریتم‌های ابتکاری، قرار گرفتن آن‌ها در بهینه‌های محلی و ناتوانی آن‌ها برای کاربرد در مسائل گوناگون است. الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل مشکلات الگوریتم‌های ابتکاری ارائه شده‌اند. در واقع الگوریتم‌های فراابتکاری، نوعی از الگوریتم‌های بهینه‌سازی تقریبی هستند که دارای راهکارهای برون‌رفت از بهینه محلی هستند و در طیف گسترده‌ای از مسائل کاربرد دارند.

تعریف کروموزوم. بدیهی است که مبنای هر رویکرد فراابتکاری، نحوه نمایش جواب است؛ بنابراین کروموزوم‌های طراحی شده این‌گونه تعریف می‌شوند. از دو پارامتر MP_{imt} و TYS_{mt} برای حل مدل استفاده شده است. پارامتر MP_{imt} برای شمارش تخصیص محصول i به روش تولید m در دوره t را محاسبه می‌کند. پارامتر TYS_{mt} زمان راه‌اندازی روش تولید m در دوره t را تعریف می‌کند. برای تعیین مقادیر هر تغییر TYS_{mt} برای آماده‌سازی، مقدار بزرگ‌ترین راه‌اندازی به پارامتر TYS_{mt} اختصاص داده می‌شود. برای مثال، اگر محصولات $Q1, Q2, Q3, Q4$ هر کدام توسط یک روش و در یک زمان خاص تولید شوند، کروموزوم مانند شکل ۴، است. در کلیه کروموزوم‌های در نظر گرفته شده فقط مقادیر بیت‌ها تغییر کرده و طول کروموزوم‌ها ثابت است. روش به‌کاررفته مشابه روشی است که تولدو و همکاران (۲۰۱۴)، در پژوهش خود استفاده کردند. شکل ۴، یک کروموزوم که به‌صورت یک ماتریس ۲×۲ است را نمایش می‌دهد که از دو دوره و

دو روش تولید تشکیل شده است. به عنوان توضیح بیشتر باید گفت که اگر چهار دوره و دو روش تولید وجود داشته باشد ماتریس ۲×۴ خواهد بود.



شکل ۴. کروموزوم تعریف شده

حال باید شکل ۴، رمزگشایی شود تا بتوان بر اساس آن و با توجه به محدودیت‌های مسئله، مقدار تابع هدف را تعیین کرد. به عنوان نمونه برای دوره یک و روش تولید یک، $i=1$ شماره محصول را نشان می‌دهد، $m=1$ نشان دهنده روش تولید یک و t نشان دهنده دوره زمانی یک است؛ بنابراین چون محصول سوم، اول و چهارم به دوره یک و روش تولید یک تخصیص یافته است: $MP_{311}=1$ ، $MP_{111}=1$ ، $MP_{411}=1$ و $MP=0$ که مورد آخر نشان می‌دهد که به روش تولید یک، در دوره یک، محصول دو تخصیص داده نشده است و بنابراین برای محصول دو، آماده‌سازی وجود ندارد. ولی برای سه محصول دیگر، آماده‌سازی وجود دارد؛ همچنین بر اساس تولید یک محصول در یک دوره می‌توان مقدار TYS_{mt} را بر اساس مقدار زمان آماده‌سازی بر اساس رابطه ۱۳، مشخص کرد؛ برای مثال:

$$TYS_{11} = TS_{11} \quad (۱۳)$$

رابطه ۱۳، زمان راه‌اندازی در روش تولید یک در دوره یک را نشان می‌دهد؛ بنابراین با توجه به راه‌اندازی‌هایی که صورت می‌گیرد، هزینه راه‌اندازی قابل محاسبه است. مقدار XP_{imt} که مقدار محصول i توسط روش تولید m و در دوره t است، از طریق رابطه ۱۴، محاسبه می‌شود:

$$XP_{imt} = UXP_{imt} / NSXP_{imt} \quad (۱۴)$$

UXP_{imt} مجموع اندازه انباشته محصول i در روش تولید m که در دوره t تولید می‌شود، با توجه به زمان تولید، محصول و زمان در دسترس به دست می‌آید. $NSXP_{imt}$ تعداد محصول i در روش تولید m و در دوره t را نشان می‌دهد. $NSXP_{imt} = \sum S.YS_{imt}$ ، S مجموع دوره‌ها، YS_{imt}

متغیر صفر و یک که نشان‌دهنده راه‌اندازی منبع برای تولید قلم λ_m به روش m در دوره t است. برای به‌دست‌آوردن مقادیر دیگر طبق فرمول‌های ۱۵ تا ۱۷ عمل شده است:

$$\left(\sum_{m=1}^M XP_{imt}\right) + XINV_{i,t-1} + XBO_{it} + XBR_{it} = \tilde{D}_{it} + XINV_{it} + XBO_{i,t-1} \quad (15)$$

$$+\left(\sum_{m=1}^M XP_{imt} N_{it}\right) \quad \forall i, t$$

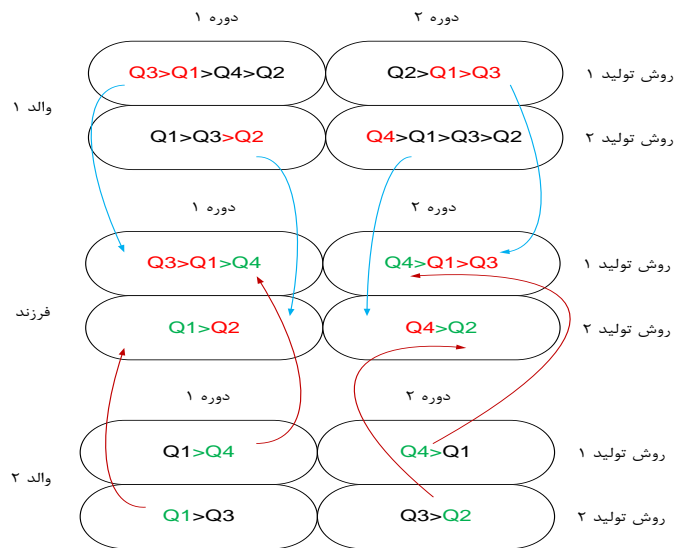
$$\sum_{i=1}^I TP_{im} UXP_{imt} + TYS_{mt} \leq CAPT_t \quad \forall t \quad (16)$$

$$UXP_{imt} \leq CAP_{im} NSXP_{imt} \quad \forall i, m, t \quad (17)$$

حال با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده و مقادیری که براساس محدودیت‌های مدل به‌دست می‌آید، تابع هدف محاسبه می‌شود.

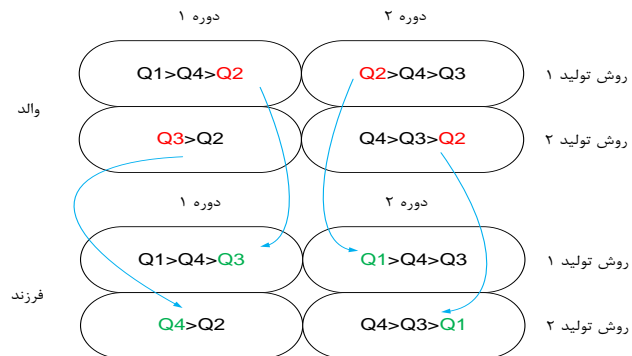
عملگرهای الگوریتم ژنتیک برای جست‌وجوی همسایگی. در این بخش عملگر تقاطع و جهش که در این مطالعه استفاده شده است، ارائه می‌شود. در شکل ۴، دو دوره تولید و دو روش تولید وجود دارد؛ بنابراین کروموزوم به‌صورت یک ماتریس 2×2 است که در دوره هر بیت یک ماتریس است که محصولات برای تولید در آن وجود دارد؛ از این رو وقتی دو والد به یک فرزند تبدیل می‌شود، ماتریس 2×2 ثابت است و فقط مقادیر داخل هر ماتریس که کروموزوم است تغییر می‌کند.

عملگر تقاطع تک‌نقطه‌ای در شکل ۵، نشان داده شده است.



شکل ۵. عملگر تقاطع تک نقطه‌ای در الگوریتم ژنتیک

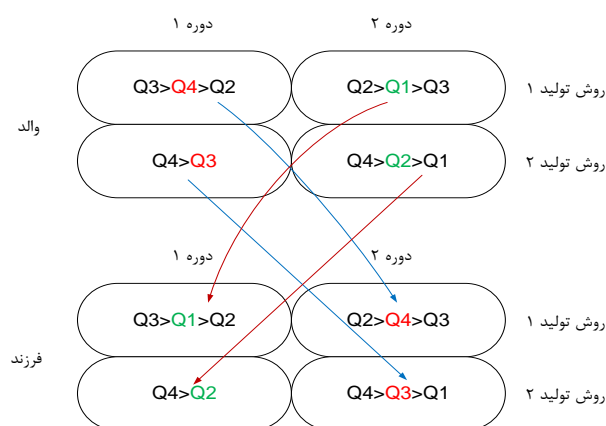
عملگر جهش که در شکل ۶ نشان داده شده است: محصولی که در والد به‌عنوان قسمت جهش‌یافته انتخاب می‌شود به محصول دیگر جهت تولید به یک روش خاص در یک دوره خاص جهش می‌یابد که فرزند موردنظر در این پژوهش است. در شکل ۶، دو دوره تولید و دو روش تولید وجود دارد؛ بنابراین کروموزوم به‌صورت یک ماتریس 2×2 است که در هر دوره هر بیت یک ماتریس است که محصولات برای تولید در آن وجود دارد.



شکل ۶. عملگر جهش در الگوریتم ژنتیک

در توضیح عملگر تقاطع و جهش باید گفت که طول کروموزم بر اساس تعداد روش تولید و دوره مشخص می‌شود. برای مثال، اگر ۱۰ دوره و سه روش تولید وجود داشته باشد، طول کروموزم ۱۰ و در سه ردیف است؛ بنابراین مقادیر داخل کروموزم‌ها که در هر بیت قرار گرفته‌اند، محصول تولیدشده در آن دوره و توسط یک روش تولید خاص را نشان می‌دهند.

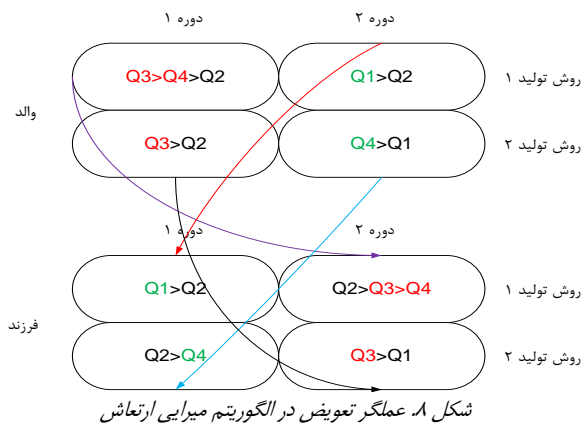
عملگر الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده برای جست‌وجوی همسایگی. در شکل ۷، دو دوره تولید و دو روش تولید مشاهده می‌شود؛ بنابراین کروموزوم به صورت یک ماتریس 2×2 است که در هر دوره هر بیت یک ماتریس است که محصولات برای تولید در آن وجود دارد. عملگر تعویض در شکل ۷، نمایش داده شده است.



شکل ۷. عملگر تعویض در الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده

عملگر الگوریتم میرایی ارتعاش برای جست‌وجوی همسایگی. برای حرکت در فضای جواب و استخراج جواب‌های بهتر، نیاز به طراحی عملگرهای مناسب است. در الگوریتم میرایی ارتعاش از عملگر تعویض استفاده شده است. نمونه کروموزوم طراحی شده برای این الگوریتم در شکل ۴، مشاهده می‌شود. عملگرهای تعویض استفاده شده برای این الگوریتم به این صورت عمل می‌کند: در صورتی که تعداد محصول در یک دوره و توسط یک روش تولید کمتر مساوی سه محصول باشد، عمل تعویض از یک قسمت صورت می‌پذیرد؛ در غیر این صورت، عمل تعویض از دو قسمت صورت می‌پذیرد. در شکل ۸، دو دوره تولید و دو روش تولید مشاهده می‌شود؛ بنابراین کروموزوم به صورت یک ماتریس 2×2 است که در هر دوره هر بیت یک ماتریس است که محصولات برای تولید در آن وجود دارد.

عملگر تعویض در شکل ۸، نشان داده شده است. به منظور جلوگیری از شلوغ شدن شکل تنها بخش‌هایی که مقادیرشان با یکدیگر تعویض شده است به یکدیگر مرتبط شده‌اند:



تنظیم پارامترها به روش تاگوچی. روش تاگوچی توسط جینچی تاگوچی (۱۹۶۰) پایه‌گذاری شد. این روش می‌تواند با کمترین تعداد آزمایش‌ها، شرایط بهینه را تعیین کند و باعث کاهش چشمگیر زمان و هزینه انجام آزمایش‌های موردنیاز شود [۲۲]. روش تاگوچی از مجموعه‌ای از آزمایش‌ها برای یافتن بهترین ترکیب پارامترها با هدف دستیابی به بهترین پاسخ و کمترین حساسیت پاسخ به اغتشاش (هر تغییر غیرقابل کنترل که می‌تواند بر عملکرد الگوریتم اثرگذار باشد) استفاده می‌کند.

در این پژوهش، مناسب‌ترین طرح، آزمایش‌های پنج‌سطحی تشخیص داده شده‌اند و با توجه به آرایه‌های متعامد استاندارد تاگوچی، آرایه‌ی متعامد L_{25} به‌عنوان طرح مناسب آزمایشی برای تنظیم پارامتر الگوریتم‌های ژنتیک، تبرید شبیه‌سازی شده و بهینه‌سازی میرایی ارتعاش انتخاب شده است. برای انجام آزمایش‌ها از نرم‌افزار مینی‌تب ۱۶ استفاده شده است که میانگین نسبت سیگنال به نویز به‌دست‌آمده برای هر سطح از عوامل مربوط به الگوریتم‌های، ژنتیک، تبرید شبیه‌سازی شده و بهینه‌سازی میرایی ارتعاش به‌ترتیب در شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱، نشان داده شده است. سطوح پارامترهای الگوریتم‌های، ژنتیک، تبرید شبیه‌سازی شده و بهینه‌سازی میرایی ارتعاش به‌ترتیب در جدول‌های ۱، ۲ و ۳، نشان داده شده‌اند.

جدول ۱. سطوح پارامترهای الگوریتم ژنتیک

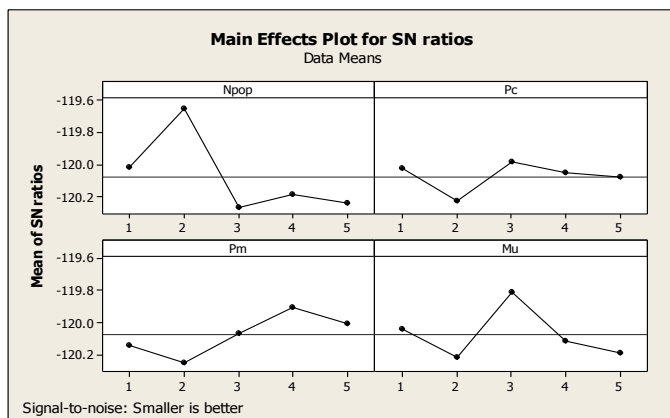
	Pc	Npop	Pm	Mu
۱	۰/۳	۲۰	۰/۳۵	۰/۰۰۱
۲	۰/۴۵	۲۵	۰/۵	۰/۰۱
۳	۰/۶	۳۰	۰/۶۵	۰/۰۵
۴	۰/۷۵	۳۵	۰/۸	۰/۰۸
۵	۰/۹	۴۰	۰/۹۵	۰/۱

جدول ۲. سطوح پارامترهای الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده

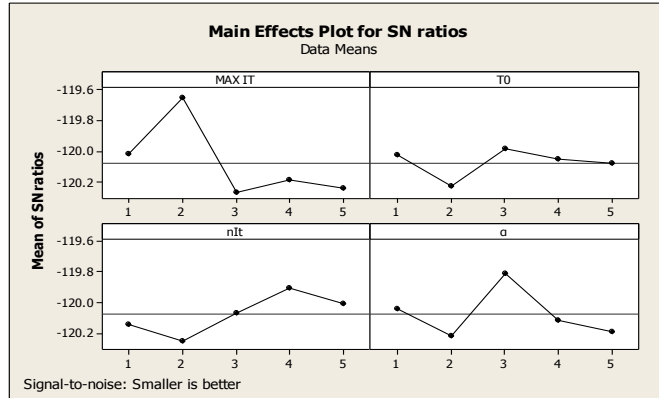
	MAX IT	T ₀	nIt	α
۱	۱۰۰	۸۰۰	۵	۰/۹
۲	۱۲۵	۹۵۰	۱۰	۰/۹۲۵
۳	۱۵۰	۱۱۰۰	۱۵	۰/۹۵
۴	۱۷۵	۱۲۵۰	۲۰	۰/۹۷۵
۵	۲۰۰	۱۴۰۰	۲۵	۰/۹۹

جدول ۳. سطوح پارامترهای الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاش

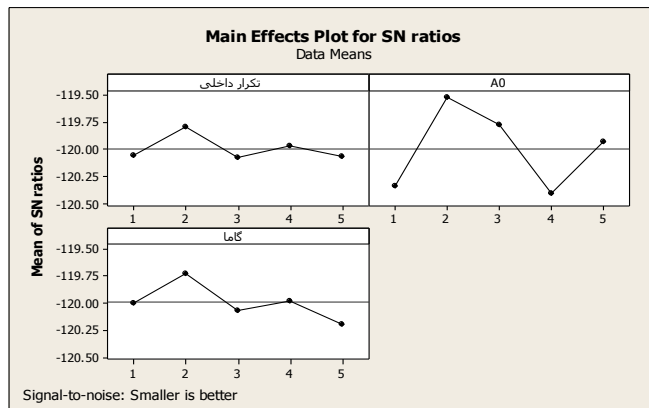
	تکرار داخلی	A ₀	گاما
۱	۲۰	۴	۰/۰۱
۲	۳۵	۵	۰/۰۵
۳	۵۰	۶	۰/۱
۴	۶۵	۷	۰/۵
۵	۸۰	۸	۰/۹



شکل ۹. نمودار سیگنال به نویز الگوریتم ژنتیک



شکل ۱۰. نمودار سیگنال به نویز الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده



شکل ۱۱. نمودار سیگنال به نویز الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاش

جدول ۴. سطوح بهینه پارامترهای ورودی الگوریتم ژنتیک

پارامتر	مقدار بهینه
Npop	۱۲۵
Pc	۰/۶
Pm	۰/۸
Mu	۰/۰۵

جدول ۵. سطوح بهینه پارامترهای ورودی الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده

پارامتر	مقدار بهینه
MAX IT	۱۲۵
T ₀	۱۱۰۰
nIt	۲۰
alpha	۰/۹۵

جدول ۶. سطوح بهینه‌ی پارامترهای ورودی الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاش

پارامتر	مقدار بهینه
تکرار داخلی	۳۵
A_0	۵
گاما	۰/۰۵

بر اساس مطالعات مهدی‌زاده و آتشی (۱۳۹۳)، مقدار پارامتر توزیع ریلی (σ) در الگوریتم میرایی ارتعاش مقدار ثابت یک در نظر گرفته شده است.

تحلیل نتایج و مقایسات. برای انتخاب کاراترین روش حل، ابتدا چندین مسئله آزمایشی با ابعاد مختلف تولید شده است؛ سپس نتایج محاسباتی به‌دست‌آمده از الگوریتم‌های ژنتیک، تبرید شبیه‌سازی شده و بهینه‌سازی میرایی ارتعاش به‌صورت نموداری و آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. بدین منظور ۳۰ مسئله در ابعاد مختلف، شامل مسائل با ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ ارائه شده است و برای هر یک از سه روش حل، مقادیر تابع هدف به‌دست آمده و مورد مقایسه قرار گرفته است [۱۸]. جدول‌های ۸ و ۱۰، خروجی محاسباتی به‌دست آمده از مسائل آزمایشی تولیدشده توسط هر یک از روش‌های حل را نشان می‌دهند. در جدول ۹، اختلاف مقادیر جواب‌های به‌دست‌آمده از سه الگوریتم نسبت به لینگو نشان داده شده است. مقادیر پارامترهای هر سه الگوریتم، مطابق جدول‌های ۴، ۵ و ۶ در سطوح بهینه خود تنظیم شده‌اند. به‌منظور پیاده‌سازی مسائل، سیاست‌های جدول ۷، برای تولید ورودی‌ها مدل استفاده شده است. هر دوره بر اساس شیفت کاری است.

جدول ۷. مقادیر ورودی پارامترهای مسائل

$CP \in [100, 110]$	$CINV \in [12, 19]$
$CS \in [60, 70]$	$CBO \in [20, 25]$
$D \in [0, 200000]$	$N \in [2, 5]$
$CAP \in [20000, 60000]$	$TP \in [20, 30]$
$CAPT \in [36000, 21600000]$	$TS \in [10, 30]$
$CQ \in [30, 35]$	$\rho = 0.5$
$CD \in [10, 15]$	$CB \in [5, 9]$
$CBI \in [10, 20]$	$MAXBD \in [0, 5000]$
$MAXBR \in [0, 5000]$	$XINV \in [0, 2000]$
$MAXB \in [0, 8000]$	$BI_{it} \in [0, 1500]$

جدول ۸. نتایج محاسباتی روش‌های حل به‌کار رفته برای حل مدل پیشنهادی

شماره	تعداد اقلام i	روش تولید m	دوره t	نرم افزار لینگو	زمان لینگو (s)	الگوریتم ژنتیک	زمان الگوریتم ژنتیک (s)	الگوریتم تبرید شیب‌سازي شده	زمان الگوریتم تبرید شیب‌سازي شده (s)	میراثی از نتایج زمان الگوریتم بهینه‌سازي میراثی	ار تماش (s)
۱	۵	۲	۴	۱۲۲۱۵۲۰	۱	۱۲۲۱۵۲۰	۸	۱۲۲۱۵۲۰	۶	۱۲۲۱۵۲۰	۵
۲	۵	۲	۵	۱۵۰۰۰۵۴۰	۱	۱۵۰۰۰۵۴۰	۱۱	۱۵۰۰۰۵۴۰	۸	۱۵۰۰۰۵۴۰	۶
۳	۵	۲	۸	۲۳۴۶۵۹۰۰	۱	۲۳۴۸۶۴۵۱	۲۳	۲۳۴۶۸۳۹۴	۱۷	۲۳۴۶۷۲۱۱	۱۱
۴	۵	۲	۱۴	۴۰۵۴۴۸۰۰	۱	۵۰۶۸۱۰۰۲	۳۴	۴۷۰۳۱۹۷۱	۲۵	۴۳۷۸۸۳۸۴	۱۶
۵	۵	۳	۴	۱۲۱۷۸۷۲۰	۱	۱۳۳۳۳۴۰۲	۴۰	۱۳۱۲۳۸۱۸	۳۱	۱۲۴۵۳۰۱۷	۱۹
۶	۵	۳	۸	۲۳۸۰۱۵۷۰	۱	۲۵۷۵۱۹۶۴	۴۷	۲۵۶۰۹۸۲۴	۳۵	۲۳۷۰۵۶۹۵	۲۲
۷	۵	۵	۴	۲۳۵۱۲۷۳۰	۱	۲۶۰۰۹۱۴	۵۹	۲۵۲۷۴۷۷۰	۴۴	۲۴۳۹۳۲۴۸	۲۸
۸	۶	۵	۱۲	۷۱۴۲۸۵۷۰	۲	۸۹۲۸۵۷۱۴	۸۰	۸۲۸۵۷۱۴۴	۶۳	۷۷۱۴۲۸۵۵	۳۸
۹	۶	۵	۱۸	۸۵۳۷۰۴۹۰	۸	۱۰۶۷۱۳۱۱۴	۸۷	۹۹۰۲۹۷۷۱	۶۵	۹۲۲۰۰۱۲۹	۴۱
۱۰	۶	۵	۲۴	۹۰۰۱۸۴۱۰	۱۲	۱۱۲۵۲۳۰۱۴	۹۹	۱۰۴۴۲۱۳۵۹	۷۴	۹۲۲۱۹۸۸۲	۴۸
۱۱	۶	۵	۳۶	۱۰۰۱۷۸۹۷۰	۲۳	۱۲۷۳۳۳۳۶	۱۵۹	۱۲۰۸۷۵۴۷۲	۱۱۹	۱۱۱۰۵۸۲۵۱	۷۶
۱۲	۶	۸	۱۶	۷۹۵۴۹۱۳۰	۴۳	۹۹۴۳۶۱۴	۱۸۵	۹۴۴۶۴۵۹۳	۱۲۸	۸۵۴۸۱۵۰۰	۸۸
۱۳	۶	۱۰	۱۸	۸۳۷۸۹۳۷۰	۱۰۴	۱۰۴۷۳۶۷۱۴	۲۵۳	۹۹۶۹۹۱۷۸	۱۸۹	۹۳۳۵۷۷۷۶	۱۱۲
۱۴	۸	۱۰	۳۶	۱۲۸۹۱۷۶۰۰	۳۶۹	۱۶۱۱۴۷۰۰۲	۳۵۰	۱۵۴۰۸۹۶۵۱	۲۶۱	۱۴۱۲۵۲۴۱	۱۶۷
۱۵	۱۰	۱۰	۴۸	۱۸۷۹۰۱۲۵۰	۶۲۵	۲۳۴۸۷۶۵۴	۵۱۲	۲۲۰۱۳۳۷۳۵	۳۸۲	۲۱۲۰۸۶۴۳۸	۲۴۴
۱۶	۱۲	۱۰	۷۲	۲۴۳۹۸۷۶۱۰	۱۷۸۱	۳۰۹۹۸۴۵۱۴	۶۲۶	۲۹۰۴۵۲۸۸	۴۶۷	۲۷۵۱۸۵۷۵۲	۳۹۹
۱۷	۱۴	۱۰	۸۵	۲۹۸۰۰۱۴۳۰	۲۲۵۴	۳۵۲۵۰۱۷۸۹	۶۶۵	۳۳۹۸۷۶۶۹	۴۶۶	۳۱۳۳۰۱۶۴۵	۳۱۷
۱۸	۱۸	۱۰	۸۵	۳۱۴۳۲۱۴۱۰	۳۰۱۸	۳۳۵۴۰۱۷۶۴	۷۰۵	۳۲۲۱۳۱۶۷۵	۵۲۶	۳۱۴۷۶۶۶۲۲	۳۳۷
۱۹	۱۸	۱۰	۹۰	---	---	---	۷۱۸	۳۶۲۳۶۱۶۵۷	۵۳۹	۳۴۳۹۵۰۲۳۶	۳۴۴
۲۰	۱۸	۱۰	۹۵	---	---	---	۷۳۴	۳۶۸۳۲۳۵۸۹	۵۴۸	۳۴۹۷۵۰۴۲۳	۳۵۱
۲۱	۱۸	۱۰	۱۰۰	---	---	---	۷۷۷	۴۲۲۵۹۵۹۸۴	۵۸۰	۴۱۹۶۶۲۷۰۲	۳۷۱
۲۲	۲۰	۱۰	۱۰۵	---	---	---	۸۴۶	۴۳۳۹۶۶۳۹۳	۶۳۱	۴۲۱۰۲۱۲۳۳	۴۰۴
۲۳	۲۰	۱۰	۱۱۰	---	---	---	۸۶۰	۴۴۱۰۲۱۸۹۸	۶۴۲	۴۱۷۸۳۶۷۰۸	۴۱۱
۲۴	۲۰	۱۲	۱۲۰	---	---	---	۸۹۶	۴۵۶۴۵۰۸۷۰	۶۷۲	۴۴۲۸۰۴۴۰۰	۴۲۸
۲۵	۲۰	۱۲	۱۲۵	---	---	---	۹۸۶	۴۵۸۸۵۰۲۸۰	۷۳۶	۴۴۵۱۳۲۱۷۳	۴۷۱
۲۶	۲۰	۱۲	۱۳۰	---	---	---	۱۰۱۴	۴۶۱۶۵۸۲۸۹	۷۵۷	۴۴۷۸۵۶۱۳۴	۴۸۷
۲۷	۲۰	۱۲	۱۳۵	---	---	---	۱۰۶۲	۴۶۸۳۹۴۴۴	۷۹۳	۴۵۰۹۴۲۱۸۳	۵۰۸
۲۸	۲۰	۱۲	۱۴۰	---	---	---	۱۱۳۲	۴۶۷۸۵۳۹۷۷	۸۴۵	۴۵۳۸۶۶۵۹۰	۵۴۱
۲۹	۲۲	۱۲	۱۴۰	---	---	---	۱۱۹۱	۴۷۲۳۲۴۷۲	۸۸۹	۴۵۸۵۰۲۲۲۳	۵۶۹
۳۰	۲۲	۱۲	۱۴۵	---	---	---	۱۲۲۵	۴۸۶۲۷۹۲۸۲	۹۱۴	۴۷۲۱۲۹۰۷۷	۵۸۹

در جدول ۸، علامت (---) به این معنا است که مثال‌های موردنظر بعد از گذشت یک ساعت به جواب بهینه نرسیده‌اند؛ همچنین در جدول ۹، اختلاف مقدار پاسخ‌های لینگو با الگوریتم‌های پیشنهادی نشان داده شده است.

جدول ۹. اختلاف پاسخ‌های سه الگوریتم پیشنهادی با پاسخ‌های نرم‌افزار لینگو

شماره	تعداد اقلام i	روش تولید m	دوره t	اختلاف الگوریتم ژنتیک و لینگو	اختلاف الگوریتم تیرید شبیه سازی شده و لینگو	اختلاف الگوریتم میرایی ارتعاش و لینگو
۱	۵	۲	۴	۰	۰	۰
۲	۵	۲	۵	۰	۰	۰
۳	۵	۲	۸	۲۰۵۵۱	۲۴۹۴	۱۳۱۱
۴	۵	۲	۱۴	۱۰۱۳۶۲۰۲	۶۴۸۷۱۷۱	۳۲۴۳۵۸۴
۵	۵	۳	۴	۱۰۴۴۶۸۲	۹۴۸۵۹۸	۲۷۴۲۹۷
۶	۵	۳	۸	۱۹۵۰۳۹۴	۱۸۰۸۲۵۴	۹۰۴۱۲۵
۷	۵	۵	۴	۲۸۷۸۱۸۴	۱۷۶۲۰۴۰	۸۸۱۰۱۸
۸	۶	۵	۱۲	۱۷۸۵۷۱۴۴	۱۱۴۳۸۵۷۴	۵۷۱۴۲۸۵
۹	۶	۵	۱۸	۲۱۳۴۲۶۲۴	۱۳۶۵۹۲۸۱	۶۸۲۹۶۳۹
۱۰	۶	۵	۲۴	۲۲۵۰۴۶۰۴	۱۴۴۰۲۹۴۹	۷۲۰۱۴۷۲
۱۱	۶	۵	۳۶	۲۵۴۴۷۴۶۹	۱۹۰۸۵۶۰۲	۹۲۶۸۱۴۸۱
۱۲	۶	۸	۱۶	۱۹۸۸۷۲۸۴	۱۴۹۱۵۴۶۳	۵۹۳۳۳۷۰
۱۳	۶	۱۰	۱۸	۲۰۹۴۷۳۴۴	۱۵۷۱۰۵۰۸	۹۵۶۸۴۰۶
۱۴	۸	۱۰	۳۶	۳۲۲۲۹۴۰۲	۲۵۱۷۲۰۵۱	۱۲۳۳۷۶۴۱
۱۵	۱۰	۱۰	۴۸	۴۶۹۷۵۳۱۴	۳۲۲۳۱۴۸۵	۲۴۱۸۵۱۸۸
۱۶	۱۲	۱۰	۷۲	۶۱۹۹۶۹۰۴	۴۲۴۹۷۶۷۸	۲۷۱۹۸۱۴۲
۱۷	۱۴	۱۰	۸۵	۵۴۵۰۰۳۵۹	۳۱۸۷۵۲۶۹	۱۵۳۰۰۲۱۵
۱۸	۱۸	۱۰	۸۵	۳۱۰۸۰۳۵۴	۷۸۱۰۲۶۵	۴۴۸۲۱۲

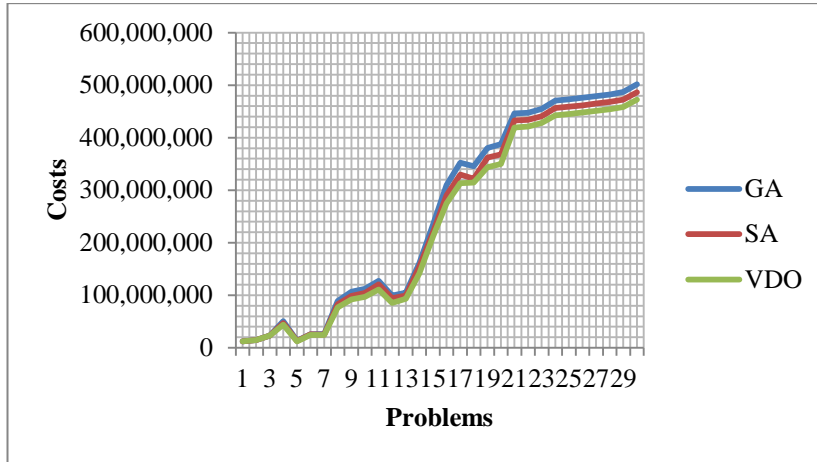
با توجه به مطالعات مهدی‌زاده و آتشی (۱۳۹۳)، مسائل این پژوهش نیز به سه قسمت تقسیم خواهد شد. مسائل در ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ تقسیم می‌شوند؛ سپس به تحلیل آماری و نموداری آن‌ها پرداخته خواهد شد. در جدول ۱۰، مسائل به سه قسمت تقسیم‌بندی شده‌اند.

جدول ۱۰. نتایج محاسباتی سه الگوریتم پیشنهادی در سه قسمت

ابعاد مسئله	شماره	تعداد اقلام i	روش تولید m	دوره t	الگوریتم ژنتیک	زمان الگوریتم ژنتیک (s)	شبه‌سازی شده	الگوریتم تیرید	شبه‌سازی شده (s)	زمان الگوریتم تیرید	شبه‌سازی شده (s)	میرایی از تعاشق	زمان الگوریتم بهینه‌سازی میرایی از تعاشق (s)
	۱	۵	۲	۴	۱۲۲۱۵۲۳۰	۸	۱۲۲۱۵۲۳۰	۱۲۲۱۵۲۳۰	۶	۱۲۲۱۵۲۳۰	۵	۱۲۲۱۵۲۳۰	۵
	۲	۵	۲	۵	۱۵۰۰۰۵۴۰	۱۱	۱۵۰۰۰۵۴۰	۱۵۰۰۰۵۴۰	۸	۱۵۰۰۰۵۴۰	۶	۱۵۰۰۰۵۴۰	۶
	۳	۵	۲	۸	۲۳۴۸۶۴۵۱	۲۳	۲۳۴۸۶۴۵۱	۲۳۴۸۶۴۵۱	۱۷	۲۳۴۸۶۴۵۱	۱۱	۲۳۴۸۶۴۵۱	۱۱
	۴	۵	۲	۱۴	۵۰۶۸۱۰۰۲	۳۴	۵۰۶۸۱۰۰۲	۴۷۰۳۱۹۷۱	۲۵	۴۷۰۳۱۹۷۱	۱۶	۴۳۷۸۱۲۸۴	۱۶
کوچک	۵	۵	۳	۴	۱۲۲۲۳۴۰۲	۴۰	۱۲۲۲۳۴۰۲	۱۳۲۱۲۳۱۸	۳۱	۱۳۲۱۲۳۱۸	۱۹	۱۲۴۵۳۰۱۷	۱۹
	۶	۵	۳	۸	۲۵۷۵۱۹۶۴	۴۷	۲۵۷۵۱۹۶۴	۲۵۶۰۹۸۲۴	۳۵	۲۵۶۰۹۸۲۴	۲۲	۲۴۷۰۵۶۹۵	۲۲
	۷	۵	۵	۴	۲۶۲۰۹۱۴	۵۹	۲۶۲۰۹۱۴	۲۵۲۷۴۷۷۰	۴۴	۲۵۲۷۴۷۷۰	۲۸	۲۴۳۹۲۷۴۸	۲۸
	۸	۶	۵	۱۲	۸۹۲۸۵۷۱۴	۸۰	۸۹۲۸۵۷۱۴	۸۲۸۵۷۱۴۴	۶۳	۸۲۸۵۷۱۴۴	۳۸	۷۷۱۴۲۸۵۵	۳۸
	۹	۶	۵	۱۸	۱۰۶۷۱۳۱۱۴	۸۷	۱۰۶۷۱۳۱۱۴	۹۹۰۲۹۷۷۱	۶۵	۹۹۰۲۹۷۷۱	۴۱	۹۲۲۰۰۱۲۹	۴۱
	۱۰	۶	۵	۲۴	۱۱۲۵۲۳۰۱۴	۹۹	۱۱۲۵۲۳۰۱۴	۱۰۴۴۲۱۳۵۹	۷۴	۱۰۴۴۲۱۳۵۹	۴۸	۹۷۲۱۹۸۱۲	۴۸
	۱۱	۶	۵	۳۶	۱۲۲۲۳۳۳۳۹	۱۵۹	۱۲۲۲۳۳۳۳۹	۱۲۰۸۷۵۴۷۲	۱۱۹	۱۲۰۸۷۵۴۷۲	۷۶	۱۱۱۰۵۸۳۵۱	۷۶
	۱۲	۶	۸	۱۶	۹۹۴۳۶۴۱۴	۱۸۵	۹۹۴۳۶۴۱۴	۹۴۴۶۴۵۹۳	۱۳۸	۹۴۴۶۴۵۹۳	۸۸	۸۵۴۸۱۵۰۰	۸۸
	۱۳	۶	۱۰	۱۸	۱۰۴۳۶۷۱۴	۲۵۳	۱۰۴۳۶۷۱۴	۹۹۶۹۸۷۸۱	۱۸۹	۹۹۶۹۸۷۸۱	۱۲۲	۹۳۳۵۷۷۷۶	۱۲۲
	۱۴	۸	۱۰	۳۶	۱۶۱۱۱۴۷۰۰۲	۳۵۰	۱۶۱۱۱۴۷۰۰۲	۱۵۴۰۸۹۶۵۱	۲۶۱	۱۵۴۰۸۹۶۵۱	۱۶۷	۱۴۱۲۵۵۲۴۱	۱۶۷
متوسط	۱۵	۱۰	۱۰	۴۸	۲۳۴۸۷۶۵۶۴	۵۱۲	۲۳۴۸۷۶۵۶۴	۲۲۰۱۲۲۷۳۵	۳۸۲	۲۲۰۱۲۲۷۳۵	۲۴۴	۲۱۲۰۸۶۴۳۸	۲۴۴
	۱۶	۱۲	۱۰	۷۲	۳۰۹۸۱۴۵۱۴	۶۲۶	۳۰۹۸۱۴۵۱۴	۲۹۰۴۸۵۲۸۱	۴۶۷	۲۹۰۴۸۵۲۸۱	۲۹۹	۲۷۵۱۸۵۷۵۲	۲۹۹
	۱۷	۱۴	۱۰	۸۵	۳۵۲۵۰۱۷۸۹	۶۶۵	۳۵۲۵۰۱۷۸۹	۳۲۹۸۷۶۶۹۹	۴۹۶	۳۲۹۸۷۶۶۹۹	۳۱۷	۳۱۲۳۰۱۶۴۵	۳۱۷
	۱۸	۱۸	۱۰	۸۵	۳۴۵۴۰۱۷۶۴	۷۰۵	۳۴۵۴۰۱۷۶۴	۳۲۲۱۳۱۶۷۵	۵۲۶	۳۲۲۱۳۱۶۷۵	۳۳۷	۳۱۴۷۶۹۶۲۲	۳۳۷
	۱۹	۱۸	۱۰	۹۰	۳۸۰۳۸۰۶۹۲	۷۱۸	۳۸۰۳۸۰۶۹۲	۳۲۲۳۶۱۶۵۷	۵۳۹	۳۲۲۳۶۱۶۵۷	۳۴۴	۳۳۳۹۵۰۳۳۶	۳۴۴
	۲۰	۱۸	۱۰	۹۵	۳۸۷۷۷۲۱۹۹	۷۳۴	۳۸۷۷۷۲۱۹۹	۳۶۸۲۳۵۸۹	۵۴۸	۳۶۸۲۳۵۸۹	۳۵۱	۳۳۹۷۵۰۴۲۳	۳۵۱
	۲۱	۱۸	۱۰	۱۰۰	۴۴۵۶۷۵۲۴۱	۷۷۷	۴۴۵۶۷۵۲۴۱	۴۲۲۵۹۵۹۱۴	۵۸۰	۴۲۲۵۹۵۹۱۴	۳۷۱	۴۱۹۶۶۲۷۰۲	۳۷۱
	۲۲	۲۰	۱۰	۱۰۵	۴۴۷۴۱۸۹۶۲	۸۴۶	۴۴۷۴۱۸۹۶۲	۴۲۳۹۶۳۹۳	۶۳۱	۴۲۳۹۶۳۹۳	۴۰۴	۴۲۱۰۲۱۲۴۳	۴۰۴
	۲۳	۲۰	۱۰	۱۱۰	۴۵۴۶۶۱۷۵۱	۸۶۰	۴۵۴۶۶۱۷۵۱	۴۴۱۰۲۱۸۹۸	۶۴۲	۴۴۱۰۲۱۸۹۸	۴۱۱	۴۲۷۸۲۶۷۰۸	۴۱۱
	۲۴	۲۰	۱۲	۱۲۰	۴۷۰۵۶۷۹۰۷	۸۹۶	۴۷۰۵۶۷۹۰۷	۴۵۶۴۵۰۸۷۰	۶۷۲	۴۵۶۴۵۰۸۷۰	۴۲۸	۴۴۲۸۰۴۴۰۰	۴۲۸
بزرگ	۲۵	۲۰	۱۲	۱۲۵	۴۷۳۰۴۱۶۲۹	۹۸۶	۴۷۳۰۴۱۶۲۹	۴۵۸۸۵۰۳۸۰	۷۳۶	۴۵۸۸۵۰۳۸۰	۴۷۱	۴۴۵۱۳۲۱۷۳	۴۷۱
	۲۶	۲۰	۱۲	۱۳۰	۴۷۵۹۳۶۳۸۰	۱۰۱۴	۴۷۵۹۳۶۳۸۰	۴۶۱۶۵۸۲۸۹	۷۵۷	۴۶۱۶۵۸۲۸۹	۴۸۷	۴۴۷۸۵۶۱۳۴	۴۸۷
	۲۷	۲۰	۱۲	۱۳۵	۴۷۹۲۱۵۹۲۳	۱۰۶۳	۴۷۹۲۱۵۹۲۳	۴۶۴۸۳۹۴۴۴	۷۹۳	۴۶۴۸۳۹۴۴۴	۵۰۸	۴۵۰۹۴۲۱۸۳	۵۰۸
	۲۸	۲۰	۱۲	۱۴۰	۴۸۲۳۳۳۶۸۱	۱۱۳۲	۴۸۲۳۳۳۶۸۱	۴۶۷۸۵۳۹۷۷	۸۴۵	۴۶۷۸۵۳۹۷۷	۵۴۱	۴۵۳۸۶۶۹۰	۵۴۱
	۲۹	۲۲	۱۲	۱۴۰	۴۸۷۳۴۹۹۷۱	۱۱۹۱	۴۸۷۳۴۹۹۷۱	۴۷۱۶۲۲۴۷۲	۸۸۹	۴۷۱۶۲۲۴۷۲	۵۶۹	۴۵۸۵۰۲۲۲۳	۵۶۹
	۳۰	۲۲	۱۲	۱۴۵	۵۰۱۷۳۱۲۱۹	۱۲۲۵	۵۰۱۷۳۱۲۱۹	۴۸۶۶۷۹۲۸۲	۹۱۴	۴۸۶۶۷۹۲۸۲	۵۸۹	۴۷۲۱۲۹۰۷۷	۵۸۹

برای دستیابی به جواب‌های بهتر از روش تاگوچی، به منظور تنظیم پارامترهای ورودی الگوریتم‌های پیشنهادی، استفاده شد و به منظور بررسی تأثیر انتخاب نوع الگوریتم در حل مدل از

تجزیه و تحلیل آماری استفاده شد. در نهایت با توجه به نتایج، مشخص شد که در ابعاد بزرگ به ترتیب الگوریتم میرایی ارتعاش، الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده و الگوریتم ژنتیک چه از نظر پاسخ حل و چه از نظر سرعت زمان حل، عملکرد بهتری دارند که این امر در محاسبات نموداری در شکل ۱۲، نیز مشهود است.



شکل ۱۲. رفتار سه الگوریتم بر روی مسائل آزمایشی تولید شده

برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار مینی‌تب استفاده شده است [۱۸]. ابتدا فرضیه‌های زیر برای ابعاد مختلف در نظر گرفته می‌شود:

H_0 : کیفیت جواب‌های به دست آمده از حل مدل توسط دو الگوریتم پیشنهادی، یکسان هستند.

H_1 : کیفیت جواب‌های به دست آمده از حل مدل توسط دو الگوریتم پیشنهادی، یکسان نیستند.

با توجه به دو فرضیه ذکر شده، سه الگوریتم پیشنهادی بررسی می‌شوند. با توجه به اینکه نوع مسئله تک‌عاملی (کیفیت جواب) و تعداد سطوح عامل دو (سه الگوریتم به صورت دوجه دو بررسی می‌شوند) و همچنین مقدار α برابر ۰/۱ است (با توجه به حجم فرضیه‌ها، فقط خروجی در ابعاد بزرگ آورده شده است).

آنالیز واریانس یک طرفه: نتایج - بزرگ - الگوریتم ژنتیک - تبرید شبیه‌سازی شده در مقایسه با - الگوریتم ژنتیک - تبرید شبیه‌سازی شده - بزرگ					
منبع	DF	SS	MS	F	P
ژنتیک- تبرید حجم	۱	۱/۰۰۱۷۳E+۱۵	۱/۰۰۱۷۳E+۱۵	۳/۲۳	۰/۰۸۹
خطا	۱۸	۵/۵۸۱۱۸E+۱۵	۳/۱۰۰۶۶E+۱۴		
کل (مجموع)	۱۹	۶/۵۸۲۹۱E+۱۵			
سطح	N	میانگین	انحراف معیار		
الگوریتم ژنتیک	۱۰	۴۷۱۸۱۲۲۶۷	۱۷۸۷۴۷۶۲		
تبرید شبیه‌سازی شده	۱۰	۴۵۷۶۵۷۸۹۹	۱۷۳۲۸۵۱۹		

بازه اطمینان ۹۰٪ منفرد برای میانگین بر اساس انحراف معیار pooled

سطح	-----+-----+-----+-----+-----
ژنتیک	(-----*-----)
تبرید	(-----*-----)
	-----+-----+-----+-----+-----
	۴/۸۰E+۰۸ ۴/۷۰E+۰۸ ۴/۶۰E+۰۸ ۴/۵۰E+۰۸

شکل ۱۳. خروجی تحلیل واریانس برای مسائل با ابعاد بزرگ بین الگوریتم ژنتیک و تبرید شبیه‌سازی شده

با توجه به شکل ۱۳، در مقایسه بین الگوریتم ژنتیک و تبرید شبیه‌سازی شده، چون در ابعاد بزرگ مقدار $P. Value < \alpha$ است؛ بنابراین فرض H_1 پذیرفته شده و فرض H_0 رد می‌شود؛ پس در ابعاد بزرگ دو الگوریتم یکسان نیستند و با توجه به شکل ۱۳، الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک داشته است.

آنالیز واریانس یک طرفه: نتیجه - بزرگ - الگوریتم ژنتیک - میرایی ارتعاش در مقایسه با ژنتیک - میرایی ارتعاش - بزرگ					
منبع	DF	SS	MS	F	P
ژنتیک- میرایی ارتعاش- حجم	۱	۳/۸۷۴۴۷E+۱۵	۳/۸۷۴۴۷E+۱۵	۱۲/۸۶	۰/۰۰۲
خطا	۱۸	۵/۴۲۱۸۲E+۱۵	۳/۰۱۳۱۲E+۱۴		
مجموع	۱۹	۹/۲۹۶۳۹E+۱۵			
سطح	N	میانگین	انحراف معیار		
ژنتیک	۱۰	۴۷۱۸۱۲۲۶۷	۱۷۸۷۴۷۶۲		
میرایی ارتعاش	۱۰	۴۴۳۹۷۵۳۴۳	۱۶۸۲۰۱۵۱		

بازه ی اطمینان ۹۰٪ منفرد برای میانگین بر اساس انحراف معیار pooled

سطح	-----+-----+-----+-----+-----
ژنتیک	(-----*-----)
میرایی ارتعاش	(-----*-----)
	-----+-----+-----+-----+-----
	۴/۸۰E+۰۸ ۴/۶۸E+۰۸ ۴/۵۶E+۰۸ ۴/۴E+۰۸

شکل ۱۴. خروجی تحلیل واریانس برای مسائل با ابعاد بزرگ بین الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی میرایی ارتعاش

با توجه به شکل ۱۴، در مقایسه بین الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی میرایی ارتعاش، چون در ابعاد بزرگ مقدار $P. Value < \alpha$ است؛ بنابراین فرض H_1 پذیرفته شده و فرض H_0 رد می‌شود، پس در ابعاد بزرگ دو الگوریتم یکسان نیستند و با توجه به شکل ۱۴، الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاش عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک داشته است.

آنالیز واریانس یک طرفه: نتیجه - بزرگ - الگوریتم میرایی ارتعاش - تبرید شبیه‌سازی شده در مقایسه با الگوریتم میرایی ارتعاش - تبرید شبیه‌سازی شده - بزرگ					
منبع	DF	SS	MS	F	P
- میرایی ارتعاش-تبرید شبیه‌سازی - حجیم	۱	۹/۳۶۰۶۲E+۱۴	۹/۳۶۰۶۲E+۱۴	۳/۲۱	۰/۰۹۰
خطا	۱۸	۵/۲۵۱۸۸E+۱۵	۲/۹۱۷۷۱E+۱۴		
مجموع	۱۹	۶/۱۸۷۹۴E+۱۵			
سطح	N	میانگین	انحراف معیار		
تبرید شبیه‌سازی	۱۰	۴۵۷۶۵۷۸۹۹	۱۷۳۳۸۵۱۹		
میرایی ارتعاش	۱۰	۴۴۳۹۷۵۳۴۳	۱۶۸۲۰۱۵۱		

بازه ی اطمینان ۹۰٪ منفرد برای میانگین بر اساس انحراف معیار pooled

شکل ۱۵. خروجی تحلیل واریانس برای مسائل با ابعاد بزرگ بین الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده و بهینه‌سازی میرایی ارتعاش

با توجه به شکل ۱۵، در مقایسه بین الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده و بهینه‌سازی میرایی ارتعاش، چون در ابعاد بزرگ مقدار $P. Value < \alpha$ است؛ بنابراین فرض H_1 پذیرفته شده و فرض H_0 رد می‌شود، پس در ابعاد بزرگ دو الگوریتم یکسان نیستند و با توجه به شکل ۱۵، الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاش عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده داشته است.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف این پژوهش، ارائه و حل یک مدل برای مسئله تعیین اندازه انباشته دوسطحی - چندمحصولی با محدودیت ظرفیت و برنامه‌ریزی تولید بود که برای کاربردی تر شدن مدل محصول مرجوعی، چند روش تولید برای تولید محصول، تقاضای فازی و در نظر گرفتن ترکیبی از کمبود به دو صورت پس‌افت و فروش ازدست‌رفته در مدل گنجانده شد. برای حل مدل از رویکردهای بهینه‌سازی، شامل الگوریتم‌های فراابتکاری، بهره گرفته شد. سه الگوریتم در این پژوهش به کار

رفتند که عبارت‌اند از: الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاش، الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده و الگوریتم ژنتیک. الگوریتم‌های مورد استفاده به‌دقت در مبنای نظری پژوهش بررسی شده‌اند. به‌منظور افزایش کارایی الگوریتم‌های مورد استفاده در دستیابی به جواب بهینه در پیاده‌سازی الگوریتم‌ها، برای تنظیم پارامتر الگوریتم‌ها از تکنیک تاگوچی استفاده شد. برای این منظور از میان آرایه‌های متعامد تکنیک تاگوچی، آرایه L_{25} برای انجام آزمایش‌ها انتخاب شد و نرم‌افزار مینی‌تب ۱۶ برای تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش‌ها به‌کار رفت. پس از تنظیم پارامترهای الگوریتم‌ها در سطوح بهینه خود، برای مدل ارائه شده، ۳۰ مثال عددی در اندازه‌های مختلف تولید شد. از نرم‌افزار لینگو و سه الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاش، الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده و الگوریتم ژنتیک برای حل مدل استفاده شد، نرم‌افزار لینگو تنها توانست تا مثال ۱۸ را در محدوده زمانی صفر تا ۳۶۰۰ ثانیه حل کند؛ بنابراین ۱۲ مثال باقی‌مانده به سه روش فراابتکاری حل شدند که نتایج آن در جدول ۱۰، ارائه شده است و نشان می‌دهد به‌ترتیب، زمان حل الگوریتم میرایی ارتعاش، الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده و الگوریتم ژنتیک بهتر است.

در انتها نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از روش طراحی آزمایش‌های تک‌عاملی در نرم‌افزار مینی‌تب ۱۶ بررسی و تحلیل شد. با توجه به نتایج حاصل از حل مدل پیشنهادی، سه الگوریتم پیشنهادی از نظر عملکرد در حل مدل در ابعاد کوچک و متوسط هیچ تفاوتی با یکدیگر ندارند؛ ولی در ابعاد بزرگ، مطابق شکل‌های ۱۳، ۱۴ و ۱۵، الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاش بهتر از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده و الگوریتم ژنتیک عمل کرده است؛ همچنین عملکرد تبرید شبیه‌سازی شده در ابعاد بزرگ بهتر از الگوریتم ژنتیک است.

پیشنهادها برای پژوهش‌های آتی به شرح زیر است:

- در نظر گرفتن مدل تعیین اندازه انباشته با زنجیره تأمین به‌صورت ترکیبی؛
- وارد کردن بحث سیستم نگهداری و تعمیرات ماشین‌آلات به مدل؛
- حل مدل با روش‌های فراابتکاری دیگر مانند جست‌وجوی هارمونی و کلونی زنبورها.

منابع

1. Alinejad, Alireza., Sabet Sajjad., Ekhtiari Mostafa., (1393). Solving a fuzzy multi-objective dynamic cellular production system by using a hybrid NSGA-II-simulated annealing algorithm, *Journal of Industrial Management Perspective*, 15: 131-156.
2. Amiri Maghsoud., Barzegar Majid., Niknamfar Amirhosein., (1395). Aggregated production- distribution planning by robust optimization approach in three echelon supply chain, *Journal of Industrial Management Perspective*, 23: 9 – 28.
3. Adeli Majid., Zandieh Mostafa., (1392). Providing a multi-objective simulation optimization for sourcing and integrated inventory decision making, *Journal of Industrial Management Perspective*, 11: 89-110.
4. Boonmee A., Sethanan K., (2016). A GLNPSO for multi-level capacitated lot-sizing and scheduling problem in the poultry industry. *European Journal of Operational Research*, 250: 652–665.
5. Chang H.C., Yao J.S., Ouyang L.Y., (2006). Fuzzy mixture inventory model involving fuzzy random variable lead time demand and fuzzy total demand. *European Journal of Operational Research*, 169: 65–80.
6. Chen H., (2015). Fix-and-optimize and variable neighborhood search approaches for Multi-Level Capacitated Lot Sizing Problems. *OMEGA*: 1-33.
7. Delgado M, Herrera F, Herrera-Viedma E, Marffnez L. (1998). Combining numerical and linguistic information in group decision making. *Journal of Information Sciences*, 107: 177-194.
8. Guner Goren H., Tunali S., (2015). Solving the capacitated lot sizing problem with setup carryover using a new sequential hybrid approach. *Artificial Intelligence*, 42: 805–816.
9. Gutierrez E., Hernández W., Süer G.A., (2001). Genetic Algorithms in Capacitated Lot Sizing Decisions, Computing research confrance. University of Puerto Rico, March 31.
10. Hajipour, V., Zanjirani Farahani, R., Fattahi P., (2016). Bi-objective vibration damping optimization for congested location–pricing problem. *Computers & Operations Research*, 70: 87–100.
11. Hasani K., Kravchenkob S.A., Wernerc F., (2014). Simulated annealing and genetic algorithms for the two-machine scheduling problem with a single server. *International Journal of Production Research*, 52: 3778–3792.
12. Jans R., Degraeve Z. (2007). Meta-heuristics for dynamic lot sizing: A review and comparison of solution approaches. *European Journal of Operational Research* 177: 1855–1875.
13. Ketsarapong S., Punyangarm V., Phusavat K., (2011). *The single item lot sizing problem with fuzzy parameters: apossibility approach*. TIIM2011 CONFERENCE, 28-30 June, Oulu Finland: 193-210.
14. Kirkpatrick S., Gelatt C.D., Vecchi M.P. (1983). Optimization by Simulated Annealing. *Science*, 220: 671-680.
15. Li X., Baki F., Tian P., Chaouch B.A. (2014). A robust block-chain based tabu search algorithm for the dynamic lot sizing problem with product returns and remanufacturing. *Omega* 42: 75–87.
16. Mehdizaed, Esmaeel., Atashi Abkenar, Amir Aidin, (1393). Solving an

aggregate production planning of a multi-stage production system and by considering the maintenance and repairing cost by using of meta-heuristic algorithms, Master thesis.

17. Mehdizadeh, E., Tavakkoli-Moghaddam, R. (2009). Vibration damping optimization algorithm for an identical parallel machine scheduling problem. Proc. of the 2nd Int. Conf of Iranian Operations Research Society, Babolsar, Iran.

18. Mehdizadeh, E., Fatehi-Kivi, A. (2013). The Single-item Capacitated lot-Sizing Problem with Backlogging. *Safety Stocks and Limited Outsourcing. 2nd International Conference on Industrial Engineering*, 2: 516-520.

19. Moti Ghader Habib., Lotfi Shahriar., Seyed Esfeghan Mir Mahdi., (1389). A review on some intelligent optimization, Islamic Azad University Publication, branch of Shabestar.

20. Rabbani, Arash (1390). Using fuzzy approach in determination of lot sizes in multi echelon, multi products, with limited capacity in systems which are based on MRP, *Journal of Industrial Management Faculty of Humanities of Islamic Azad University branch of Sanandaj, year 5th*, 15: 51- 53.

21. Ramezani R., Mehrabad M.S. (2013). Hybrid simulated annealing and MIP-based heuristics for stochastic lot-sizing and scheduling problem in capacitated multi-stage production system. *Applied Mathematical Modelling*, 37: 5134–5147.

22. Sadeghi Avval Shahr, Alireza., Babakhani, Abolfazl., Mostajaboldave, Hasan & Zeberjad, Seyed Mojtaba. (1391). Optimizing the Parameters of Powder metallurgy process of producing Shape Memory Alloy Nitinol by using Taguchi method. 1st International Conference, 6th International Joint Conference of Iranian Metallurgical Engineering & Iranian Foundry men Society.

23. Toledo C.F.M., França P.M., Morabito R., Kimms A., (2009). A multi-population genetic algorithm approach to solve the synchronized and integrated two-level lot sizing and scheduling problem. *Int J Product Res*, 47: 3097–3119.

24. Toledo C.F.M., Oliveira L.d., Pereira R.D.F., França P.M., Morabito R., (2014). A genetic algorithm/mathematical programming approach to solve a two-level soft drink production problem. *Computers & Operations Research*, 48: 40–52.

25. Verma M., Sharma R.R.K., (2015). Lagrangian based approach to solve a two level capacitated lot sizing problem, *Cogent Engineering*, 2: 1-13.

26. Wu T., Shi L., Song J., (2012). An MIP-based interval heuristic for the capacitated multi-level lot-sizing problem with setup times. *Annals of Operations Research*, 196: 635–650.