

## توسعه و حل یک مدل تعیین اندازه انباشته دو سطحی با چند روش تولید بوسیله الگوریتم بهینه سازی میرایی ارتعاش

محمد ابراهیمی<sup>۱</sup>، امیری<sup>۲\*</sup>، مقصود<sup>۳\*</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، گروه صنایع، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران  
آستاد، گروه مدیریت، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران (عهده‌دار مکاتبات)

تاریخ دریافت: آبان ۱۳۹۶، اصلاحیه: دی ۱۳۹۶، پذیرش: بهمن ۱۳۹۶

### چکیده:

مسئله تعیین اندازه انباشته شامل تعیین مقدار محصول و زمان‌بندی برای چندین قلم بر روی یک واحد تسهیل با بیش از یک تعداد متناهی از دوره به طوری که تقاضا و ظرفیت محدود می‌تواند با حداقل هزینه ارضا شود، می‌باشد. در این مقاله، یک مدل تعیین اندازه انباشته دو سطحی با چند روش تولید ارائه می‌شود. هدف مدل ارائه شده مینیمم‌سازی هزینه می‌باشد. از الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاش برای حل مدل استفاده می‌شود. از آنجایی که کیفیت حل همه الگوریتم‌های فرا ابتکاری به پارامترهای آن‌ها وابسته است، برای تنظیم پارامتر الگوریتم میرایی ارتعاش از روش تاگوچی استفاده شده است. سپس برای اثبات عملکرد مناسب روش حل ارائه شده، ابتدا مسائل آزمایشی با ابعاد مختلف تولید شده و سپس توسط نرم‌افزار لینگو و الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاش حل گردید. در نهایت پاسخ لینگو و الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاش را با هم از نظر زمان حل مقایسه می‌کنیم که نتایج بدست آمده نشان می‌دهد، جواب الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاش در مسائل با اندازه بزرگ کیفیت بهتری نسبت لینگو داشته است.

**واژه‌های اصلی:** ساختار محصول چند سطحی، مسئله تعیین اندازه انباشته، الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاش.

### ۱- مقدمه

با محدودیت ظرفیت است که در آن باید مقدار بهینه انباشته تعیین شود. بنابراین در سال ۲۰۱۵، ورما و شارما به حل یک مدل تعیین اندازه انباشته دو سطحی با روش لاگرانژ پرداختند. مدل آن‌ها یک مدل دو سطحی، چند محصولی، چند دوره‌ای با در نظر گرفتن زمان راه‌اندازی و سفارش عقب افتاده بود. در این تحقیق تصمیم بر این داریم که مدل ورما و شارما را با اضافه نمودن موارد کاربردی دیگر گسترش دهیم [۱۸].

### ۲- مبانی نظری:

تولدو و همکاران (۲۰۰۹)، یک الگوریتم تکاملی جهت حل یک مسئله همزمان و یکپارچه اندازه انباشته دو سطحی و زمان‌بندی معرفی نمودند [۱۶]. آلمادا لوبو و همکاران (۲۰۰۷)، مطالعه‌ای با عنوان مسئله اندازه انباشته چند محصولی تک ماشینی با محدودیت ظرفیت و با توالی متکی به راه‌اندازی را ارائه نمودند. آن‌ها دو مدل جدید برنامه‌ریزی عدد صحیح مخلوط را برای مسئله ارائه شده فرموله نمودند و جهت حل نیز یک روش ابتکاری با پنج گام را ارائه نمودند [۶]. تمپلمیر (۲۰۱۱) مطالعه‌ای بر

برنامه‌ریزی تولید از جمله فعالیت‌هایی است که همواره در پی یافتن ترکیب بهینه استفاده مؤثر از منابع تولیدی با توجه به نیازهای تولیدی در جهت برآورده‌سازی رضایت‌مندی مشتریان و سود دهی در طول افق برنامه‌ریزی است. اگر در برنامه‌ریزی تولید مسئله مطرح باشد مسائل عمده تصمیم‌گیری عبارتند از: اینکه چه اقلامی ساخته شوند، 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 جهت زمان بندی 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 غیر موجه بودن برنامه تولید و یا برنامه‌ای با موجودی بیش از حد گردد. اخیراً سیستم‌های برنامه‌ریزی پیشرفته یا برنامه‌ریزی پیشرفته و سیستم زمان بندی به عنوان یک ابزار قدرتمند برای برنامه‌ریزی زنجیره تأمین که محدودیت در ظرفیت منابع را در نظر می‌گیرد ظهور کرده اند [۸]. یکی از مسائل مطرح در حیطه برنامه‌ریزی تولید، مسئله تعیین اندازه انباشته دو سطحی

\*amiri@atu.ac.ir

یک الگوریتم ابتکاری برای مسئله اندازه انباشته چند قلم کالایی با محدودیت ظرفیت و الزام در فروش از دست رفته را ارائه نمودند. آنها در مدل خود فرض کردند که یک واحد از قلم کالا توسط یک واحد از ظرفیت، تهیه و یا تولید می‌شود [۲]. رضانیان و سعیدی مهرآباد (۲۰۱۳)، به بررسی مسئله تعیین اندازه سفارش و زمانبندی از یک سیستم "فلوشاپ"<sup>۲</sup> با محدودیت ظرفیت، راه‌اندازی وابسته به توالی، زمان پردازش نامشخص، چند محصولی و تقاضای چند دوره‌ای پرداختند [۱۴]. مهدی‌زاده و همکاران (۲۰۱۵)، از الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاش برای مسئله زمان‌بندی ماشین‌های موازی با اتکا به توالی زمان راه‌اندازی خانواده استفاده نمودند. هدف مسئله آن‌ها کمینه سازی مجموع وزن مدت زمان تکمیل بود [۱۳]. 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 [۱۲]. با توجه به پژوهش‌های موجود در مبانی نظری تاکنون مدل اندازه انباشته دوسطحی - چندمحصولی با محدودیت‌های ظرفیت، همراه با کمبود به دو صورت پسا‌فوت و فروش از دست‌رفته، چند روش تولید، محصول مرجوعی و با تقاضاهای غیرقطعی (فازی) به‌طور هم-زمان مطالعه نشده است که در این پژوهش قصد برآن است که مدل ریاضی این مسئله ارائه شده و درنهایت با سه روش فراابتکاری حل شود.

### ۳- روش شناسی پژوهش

#### ۳-۱ بیان مسئله:

چن (۲۰۱۵)، در بیشتر سیستم‌های برنامه‌ریزی منابع سرمایه‌ای، برنامه تولید جهت زمان بندی بدون در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت منابع مانند سیستم برنامه نیازمندی مواد مورد استفاده قرار می‌گیرد. در هر سیستم برنامه‌ریزی فرض می‌شود که زمان تدارک برای هر عمل تولید یا تدارک از پیش مشخص شده است، یکی از مسائل مطرح در حیطه برنامه‌ریزی تولید، مسئله تعیین اندازه انباشته دو سطحی با محدودیت ظرفیت است که در آن باید مقدار بهینه انباشته تعیین شود. ورما و شارما (۲۰۱۵) به حل یک مدل تعیین اندازه انباشته دو سطحی با روش لاگرانژ پرداختند. مدل آن‌ها یک مدل دو سطحی، چند محصولی، چند دوره‌ای با در نظر گرفتن زمان راه‌اندازی و سفارش عقب افتاده است. در این تحقیق تصمیم داریم که مدل ورما و شارما را با اضافه نمودن موارد کاربردی دیگر گسترش دهیم. در دنیای امروزی همیشه محصولات مرجوعی برای تولیدکنندگان یکی از دغدغه‌های اساسی می‌باشند، به

روی مسئله اندازه انباشته با محدودیت ظرفیت چند آیتمی پویا تحت دوره‌های تقاضای تصادفی انجام داد. مدل اندازه انباشته او یک مدل اندازه انباشته توانای یک سطحی بود. همچنین تمپلمیر یک روش ابتکاری جهت حل مدل ارائه نمود [۱۵]. ویوو و همکاران (۲۰۱۲) یک مسئله تعیین اندازه انباشته چند سطحی با محدودیت ظرفیت و با زمان راه-اندازی و یک کلاس از مسائل متفاوت که اغلب یک برنامه‌ریزی تولید با آن مواجه هست را در نظر گرفتند [۲۰]. چن (۲۰۱۵) یک روش جدید تثبیت و بهینه‌سازی برای مسئله پویای تعیین اندازه انباشته چند سطحی با محدودیت ظرفیت و بدون انتقال راه‌اندازی و همچنین مسئله پویای تعیین اندازه انباشته چند سطحی با محدودیت ظرفیت و با انتقال راه-اندازی را ارائه نمودند [۸]. بونم و ستانان (۲۰۱۶) یک مدل تعیین اندازه انباشته چند سطحی با محدودیت ظرفیت و مشکل برنامه‌ریزی در صنعت طیور را ارائه نمودند. در ابتدا برای حل از روش ازدحام ذرات استفاده نمودند و در مرحله بعد برای حل بهتر مدل، روش جی‌ال‌ان‌پی‌اس<sup>۱</sup> را ارائه نمودند [۷]. ولسی (۲۰۰۲) به حل یک مسئله تعیین اندازه انباشته چند محصولی با یک حل کننده برنامه‌ریزی عدد صحیح مخلوط که از طبقه‌بندی استفاده می‌کرد و با فرمول‌بندی تازه استفاده می‌نمود، پرداخت [۱۹]. اسی (۲۰۰۸) یک مدل و روش برای مسئله تعیین اندازه انباشته با محدودیت ظرفیت ارائه نمود. او در مدل خود زمان راه‌اندازی، کمبود تقاضا و هزینه‌های کمبود موجودی اطمینان را در نظر گرفت. همچنین او سه روش حل را برای مدل خود در نظر گرفت که عبارتند از: شاخه و برش، آزادسازی لاگرانژ و روش ابتکاری مبتنی بر برنامه‌ریزی عدد صحیح مخلوط [۵]. تولدو و همکاران (۲۰۱۴)، یک الگوریتم ژنتیک جاسازی شده با تکنیک‌های برنامه‌ریزی ریاضی جهت حل هماهنگ و اندازه انباشته دو سطحی یکپارچه و مسئله برنامه‌ریزی برانگیخته بوسیله یک مسئله واقعی که در تولید نوشابه مطرح است را انجام دادند [۱۷]. گانر گرون و ناتالی (۲۰۱۵)، با استفاده از روش ابتکاری تثبیت و بهینه-سازی که با الگوریتم ژنتیک ترکیب شده بود به حل یک مسئله تعیین اندازه انباشته با محدودیت ظرفیت و انتقال راه‌اندازی پرداختند [۹]. جنز و دگرو (۲۰۰۷)، با توجه به این‌که در دهه‌های اخیر با استفاده از تئوری پیچیدگی محاسباتی و آزمایشات انجام گرفته نشان داده شده که بیشتر مسائل تعیین اندازه سفارش از نوع سخت هستند و برای حل این دسته از مسائل روش‌های ابتکاری متفاوتی نظیر شبیه‌سازی تبرید، ژنتیک و جستجوی ممنوعه ارائه شده است [۱۰]. فاطمی قمی و همکاران (۱۳۸۵)

<sup>2</sup> Flow shop

<sup>1</sup> GLNPSO

$$XP_{it} \geq 0 \quad \forall i, t \quad (5)$$

$$XINV_{it}, XBO_{it} \geq 0 \quad \forall i, t \quad (6)$$

$$XINV_{i0}, XINV_{iT}, XBO_{i0}, XBO_{iT} = 0 \quad \forall i \quad (7)$$

$$YS_{it} \in [0, 1] \quad (8)$$

معادله ۱ تابع هدف می‌باشد که هدف آن حداقل رساندن هزینه تولید، راه‌اندازی، موجودی و سفارش عقب افتاده است. معادله ۲ محدودیت تعادل مواد برای هر قلم و مدت زمان است.  $\sum_{j \in S_i} XP_{jt} N_{ij}$  نشان دهنده تقاضای داخلی از یک قلم نام  $i$  ام، برای تولید سطح بعدی که قلم  $j$  ام است، می‌باشد. 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 و ۶ محدودیت غیر منفی است. در معادله ۷ فرض می‌شود، که هیچ موجودی و سفارش عقب افتاده اولیه و نهایی وجود ندارد. رابطه ۸ محدودیت صفر و یک متغیر راه‌اندازی است، در صورت راه‌اندازی مقدار یک و در غیر این صورت صفر است.

### ۳-۳ پارامترهای مدل پیشنهادی

$CINV_{it}$  = هزینه نگهداری موجودی هر واحد قلم  $i$  ام برای یک دوره  
 $CBO_{it}$  = هزینه سفارش عقب افتاده هر واحد قلم  $i$  ام که تقاضا می‌گردد طی دوره  $t$  ام  
 $CAPT_{it}$  = ظرفیت موجود به واحد زمان در برای تولید قلم  $i$  ام دوره  $t$  ام  
 $D_{it}$  = تقاضای بیرونی قلم  $i$  ام در طی دوره  $t$  ام  
 $N_{it}$  = تعداد قلم  $i$  ام مورد نیاز جهت تولید یک واحد از محصول یک در ساختار محصول (برای حالت دو سطحی)  
 $CP_{imt}$  = هزینه تولید هر واحد قلم  $i$  ام به روش  $m$  ام در دوره  $t$  ام  
 $CS_{imt}$  = هزینه راه‌اندازی هر واحد قلم  $i$  ام به روش  $m$  ام در دوره  $t$  ام  
 $CAP_{imt}$  = ظرفیت موجود برای تولید قلم  $i$  ام به روش  $m$  ام در دوره  $t$  ام  
 $TP_{im}$  = زمان مورد نیاز جهت فرآیند تولید قلم  $i$  ام به روش  $m$  ام  
 $TS_{im}$  = زمان مورد نیاز جهت راه‌اندازی تولید قلم  $i$  ام به روش  $m$  ام  
 $CQ_{it}$  = هزینه هر واحد فروش از دست رفته محصول  $i$  ام در طی دوره  $t$  ام  
 $\rho$  = احتمال کمبود پس‌افت  
 $CD_{it}$  = هزینه از رده خارج کردن هر واحد مرجوعی از محصول  $i$  ام در دوره  $t$  ام

همین دلیل در این مقاله سعی شده است که با در نظر گرفتن محصول مرجوعی، مدل ارائه شده به شرایط دنیای واقعی نزدیک‌تر گردد. در مدل ورما و شارما فقط سفارش عقب افتاده وجود دارد، ولی ما قصد داریم که در مدل خود ترکیبی از کمبود به دو صورت پس‌افت و فروش از دست رفته را با یکدیگر ترکیب نماییم و این‌گونه مسئله را به واقعیت نزدیک‌تر کنیم در اکثر کاربردهای گسترده صنعتی یکی از مهمترین سوالات تعیین بهترین مقدار تولید است. همچنین برای تولید یک محصول ممکن است که از چندین روش تولید استفاده شود، که ما تصمیم داریم این مورد را در مدل خود اضافه کنیم. چن (۲۰۱۵) در مقاله خود مشخص کرد که مسئله تعیین اندازه انباشته چند سطحی با محدودیت ظرفیت از جمله مسائل سخت NP-Hard محسوب می‌شود. همچنین ورما و شارما در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که مسئله تعیین اندازه انباشته دو سطحی، چند محصولی، چند دوره‌ای با در نظر گرفتن زمان راه‌اندازی و سفارش عقب افتاده از جمله مسائل سخت NP-hard می‌باشد. بنابراین با توجه به NP-hard بودن مسئله، امکان حل مدل در ابعاد دنیای واقعی با روش‌های دقیق وجود ندارد و این‌گونه از الگوریتم‌ها در حل مسائل سخت کارایی نخواهند داشت و زمان حل این الگوریتم در مسائل سخت به صورت نمایی افزایش می‌یابد. برای حل مدل از رویکرد بهینه‌سازی شامل الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاش استفاده خواهد شد. در انتها، برای نشان دادن کارایی مناسب روش حل بکارگرفته شده در این مطالعه، مسائلی با ابعاد مختلف تولید خواهد شد و توسط الگوریتم میرایی ارتعاش حل خواهند گردید، سپس پاسخ الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاش با پاسخ لینگو مطابقت داده خواهد شد تا به این صورت بتوانیم روش حل را از نظر کیفیت حل برای مدل ارائه شده بررسی نماییم.

### ۳-۳ مدل پایه ورما و شارما

ورما و شارما (۲۰۱۵) به حل یک مدل تعیین اندازه انباشته دو سطحی با روش لاگرانژ و نرم افزار گمز پرداختند. مدل آن‌ها یک مدل دو سطحی، چند محصولی، چند دوره‌ای با در نظر گرفتن زمان راه‌اندازی و سفارش عقب افتاده بود.

$$MinZ = \sum_i \sum_t \{CP_{it} XP_{it} + CS_{it} YS_{it} + CINV_{it} XINV_{it} + CBO_{it} XBO_{it}\} \quad (1)$$

Subject to:

$$XP_{it} + XINV_{i,t-1} + XBO_{it} = D_{it} + XINV_{it} \quad (2)$$

$$+ XBO_{i,t-1} + \sum_{j \in S_i} XP_{jt} N_{ij} \dots \dots \dots \forall i, t$$

$$\sum_{i=1} (TP_i XP_{it} + TS_i YS_{it}) \leq CAPT_t \quad \forall t \quad (3)$$

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

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 ۱۲ محدودیت ظرفیت تولید، که مقدار تولید را همیشه کمتر یا برابر با حداکثر ظرفیت تولید در دسترس برای همه اقلام و دوره-های زمانی تضمین می‌کند. معادله ۱۳ حداکثر محصول مرجوعی که می‌توان از بین برد را نشان می‌دهد. معادله ۱۴ حداکثر محصول مرجوعی که می‌تواند دوباره با انجام سرویس به چرخه تأمین کننده برگردد را نشان می‌دهد. معادله ۱۵ جریان موجودی محصول برگشتی را نشان می‌دهد. معادله ۱۶ و ۱۷ محدودیت غیر منفی هستند. در معادله ۱۸ فرض می‌شود، که هیچ موجودی و سفارش عقب افتاده نهایی وجود ندارد. رابطه ۱۹ محدودیت صفر و یک متغیر راه‌اندازی است، در صورت راه‌اندازی مقدار یک و در غیر این صورت صفر است.

### ۳-۵ الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاش:

مهدی‌زاده و توکلی‌مقدم (۲۰۰۹) یک الگوریتم بهینه‌سازی جدید به نام بهینه‌سازی میرایی ارتعاش که بر پایه میرایی ارتعاشات مکانیکی است، ارائه کردند [۱۱]. آن‌ها از این الگوریتم برای حل مسئله زمانبندی ماشین‌های موازی استفاده نمودند. 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 هر چه دامنه نوسان کمتر باشد فراوانی کمتر می‌شود.

$CB_{it}$  = هزینه تعمیر هر واحد مرجوعی از محصول  $i$  ام در دوره  $t$  ام  
 $CBI_{it}$  = هزینه نگهداری هر واحد مرجوعی از محصول  $i$  ام در دوره  $t$  ام  
 $MAXBD_{it}$  = ماکزیمم تعداد محصول مرجوعی از محصول  $i$  ام در دوره  $t$  ام که می‌توان از بین برد  
 $MAXBR_{it}$  = بیشترین تعداد محصول مرجوعی از محصول  $i$  ام در دوره  $t$  ام که می‌تواند دوباره با انجام سرویس به چرخه تأمین کننده برگردد  
 $MAXB_{it}$  = تعداد کل محصول مرجوعی از محصول  $i$  ام در دوره  $t$  ام

۳-۴ مدل پیشنهادی:

$$Min Z = \quad (9)$$

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

Subject to:

$$\left( \sum_{m=1}^M XP_{imt} \right) + XIN V_{i,t-1} + XBO_{it} + XBR_{it} = \quad (10)$$

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

$$\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M (TP_{im} XP_{imt} + TS_{im} YS_{imt}) \leq CAP T_t \quad \forall t \quad (11)$$

$$XP_{imt} \leq CAP_{imt} YS_{imt} \quad \forall i, m, t \quad (12)$$

$$XBD_{it} \leq MAXBD_{it} \quad \forall i, t \quad (13)$$

$$XBR_{it} \leq MAXBR_{it} \quad \forall i, t \quad (14)$$

$$BI_{it} = BI_{i,t-1} - XBD_{it} - XBR_{it} + MAXB_{it} \quad \forall i, t \quad (15)$$

$$XP_{imt} \geq 0 \quad \forall i, m, t \quad (16)$$

$$XIN V_{it}, XBO_{it} \geq 0 \quad \forall i, t \quad (17)$$

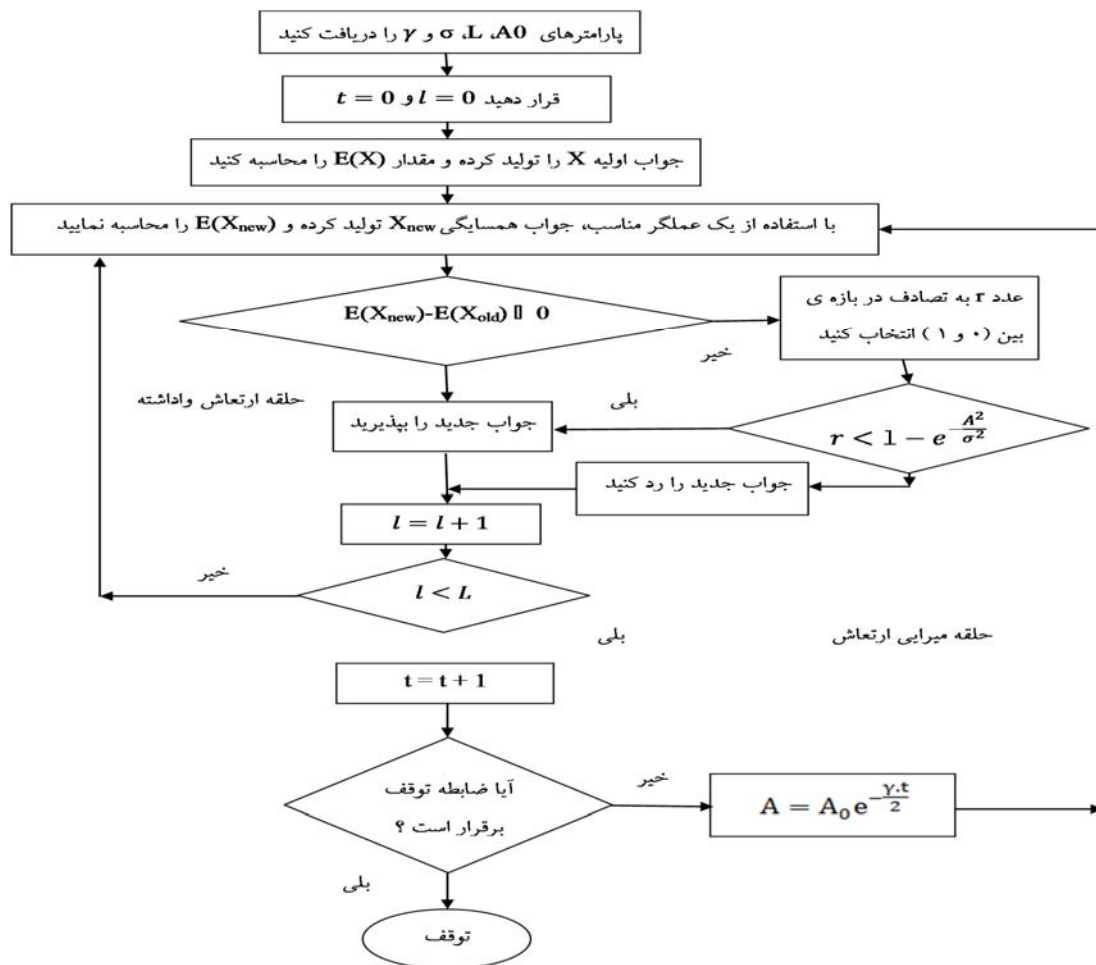
$$XIN V_{iT}, XBO_{iT} = 0 \quad \forall i \quad (18)$$

$$YS_{imt} \in [0, 1] \quad \forall i, m, t \quad (19)$$

معادله ۹ تابع هدف می‌باشد که هدف آن حداقل رساندن هزینه تولید، راه‌اندازی، موجودی، پس‌افت و فروش از دست رفته، از رده خارج کردن محصول مرجوعی، تعمیر محصول مرجوعی و نگهداری محصول مرجوعی است. معادله ۱۰ تعادل جریان موجودی می‌باشد. معادله ۱۱ محدودیت

$t=0, A=A_0, X_{best} = \square, \text{Generate } \square. X_{best} = X_0$   
 DO (Damping Loop)  
      $n=0$   
 Do (Force Loop)  
 Select a move random  $X$  and run over  $X_n$  as:  $\Delta E = E(X_{new}) - E(X_{best})$   
 If  $\Delta E \leq 0$  then  $X_{best} = X_{new}$  and  $n = n + 1$  and  $X_n = X_{new}$   
 Else  
 Generate  $r \rightarrow U[0, 1]$  Random  $y$ , Set  $Z = 1 - e^{(-A^2/2\sigma^2)}$   
 If  $r \leq z$  then  $n = n + 1$  &  $X_n = X_{new}$ , End if  
 Loop while  $n \leq N$   
 $t = t + 1, A_t = A_0 e^{(-\phi/2)}$   
 Loop while (until terminating condition and  $A_t > 0$ )  
 Print  $X_{best}$

شکل (۱): شبه کد الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاش



شکل (۲): نمودار جریان برای الگوریتم میرایی ارتعاش (مهدی زاده و آتشی، ۱۳۹۳)

#### ۴ - تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

##### ۴-۱ روش‌های حل برای مدل پیشنهادی:

به منظور حل مدل پیشنهادی از الگوریتم بهینه سازی میرایی ارتعاش استفاده خواهیم نمود، همچنین جهت نشان دادن صحت جواب‌های بدست آمده از الگوریتم میرایی ارتعاش، پاسخ الگوریتم بهینه سازی میرایی ارتعاش با نرم افزار لینگو تطبیق داده شده است.

##### ۴-۲ روش‌های بهینه‌سازی و فراابتکاری:

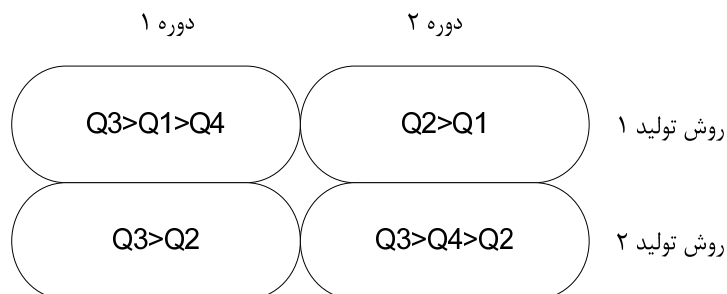
بهینه‌سازی فرآیندی است که برای بهتر کردن چیزی دنبال می‌شود. فکر، ایده و یا طرحی که به وسیله یک دانشمند یا یک مهندس مطرح می‌شود، طی روال بهینه‌سازی بهتر می‌شود. در هنگام بهینه‌سازی، شرایط اولیه با روش‌های مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد و اطلاعات به دست آمده، برای بهبود بخشیدن به یک فکر یا روش مورد استفاده قرار می‌گیرند. بهینه‌سازی ابزاری ریاضی است که برای یافتن پاسخ بسیاری از پرسش‌ها در خصوص چگونگی راه حل مسائل مختلف به کار می‌رود. در بهینه‌سازی از یافتن بهترین جواب برای یک مسئله صحبت به میان می‌آید.

الگوریتم‌های فرا ابتکاری یا فراتکاملی نوعی از الگوریتم‌های دقیق هستند که برای یافتن پاسخ بهینه به کار می‌روند. روش‌ها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی به دو دسته الگوریتم‌های دقیق و الگوریتم‌های تقریبی تقسیم‌بندی می‌شوند. الگوریتم‌های دقیق قادر به یافتن جواب بهینه به صورت دقیق هستند اما در مورد مسائل بهینه‌سازی سخت‌کاری ندارند و زمان حل آن‌ها در این مسائل به صورت 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 فرا ابتکاری و فوق

ابتکاری بخش بندی می‌شوند. دو مشکل اصلی الگوریتم‌های ابتکاری، قرار گرفتن آن‌ها در بهینه‌های محلی، و ناتوانی آن‌ها برای کاربرد در مسائل گوناگون است. الگوریتم‌های فرا ابتکاری برای حل این مشکلات الگوریتم‌های ابتکاری ارائه شده‌اند. در واقع الگوریتم‌های فرا ابتکاری، یکی از انواع الگوریتم‌های بهینه‌سازی تقریبی هستند که دارای راهکارهای برون‌رفت از بهینه محلی می‌باشند و قابل کاربرد در طیف گسترده‌ای از مسائل هستند.

##### ۴-۳ تعریف کروموزوم:

بدیهی است که مبنای هر رویکرد فرا ابتکاری، نحوه نمایش جواب می‌باشد. بنابراین کروموزوم‌های طراحی شده این‌گونه تعریف می‌گردند. 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 راه اندازی روش تولید  $m$  در دوره  $t$  را تعریف می‌کند. برای تعیین مقادیر هر تغییر  $TYS_{mt}$  برای آماده‌سازی، مقدار بزرگترین راه اندازی به پارامتر  $TYS_{mt}$  اختصاص داده می‌شود. به طور مثال اگر محصولات  $Q1, Q2, Q3, Q4$  را داشته باشیم که هر کدام توسط یک روش و در یک زمان خاص تولید گردند، کروموزوم مانند شکل (۳) می‌باشد. در کلیه کروموزوم‌های در نظر گرفته شده فقط مقادیر بیت‌ها تغییر کرده و طول کروموزوم‌ها ثابت می‌باشد. روش به کار رفته مشابه روشی است که تولد و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیق خود استفاده نمودند [۱۷]. شکل (۳) یک کروموزوم که به صورت یک ماتریس  $۲ \times ۲$  می‌باشد 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 داشته باشیم به ماتریس  $۴ \times ۲$  داریم.



شکل (۳): کروموزوم تعریف شده

$MP_{311}=1$ ,  $MP_{111}=1$ ,  $MP_{411}=1$  و  $MP_{211}=0$  که مورد آخر نشان دهنده این است که به روش تولید یک، در دوره یک، محصول دو تخصیص داده نشده است، و بنابراین برای محصول دو، آماده سازی وجود ندارد. ولی برای سه محصول دیگر، آماده سازی وجود دارد. همچنین بر اساس تولید یک محصول در یک دوره می‌توان مقدار  $TYS_{mt}$  را براساس

حال باید شکل فوق رمزگشایی شده تا بتوانیم بر اساس آن و با توجه به محدودیت‌های مسئله، مقدار تابع هدف را تعیین نماییم. به عنوان نمونه برای دوره یک و روش تولید یک داریم،  $i=1$  شماره محصول را نشان می‌دهد،  $m=1$  که نشان دهنده روش تولید یک است و  $t=1$  که نشان دهنده دوره زمانی یک است. بنابراین چون محصول سوم، اول و چهارم به دوره یک و روش تولید یک تخصیص یافته است، داریم

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 (۴) دو دوره تولید داریم و دو روش تولید، بنابراین کروموزوم ما به صورت یک ماتریس  $۲ \times ۲$  می‌باشد. که در هر دوره هر بیت یک ماتریس است، که محصولات جهت تولید در آن وجود دارد. عملگر تعویض در شکل (۴) نمایش داده شده است، به منظور عدم شلوغ شدن شکل تنها بخش‌هایی که مقادیرشان با یکدیگر تعویض گشته است به یکدیگر مرتبط شده‌اند:

مقدار زمان آماده سازی بر اساس رابطه (۲۰) مشخص نمود، به عنوان مثال:

$$TYS_{11} = TS_{11} \quad (20)$$

رابطه (۱۳) زمان راه اندازی در روش تولید یک در دوره یک را نشان می‌دهد. بنابراین با توجه به راه اندازی‌هایی که صورت می‌گیرد، هزینه راه اندازی قابل محاسبه می‌باشد. مقدار  $XP_{imt}$  که مقدار محصول  $i$  توسط روش تولید  $m$  و در دوره  $t$  می‌باشد، از طریق فرمول (۲۱) محاسبه می‌گردد:

$$XP_{imt} = UXP_{imt} / NSXP_{imt} \quad (21)$$

$UXP_{imt}$  مجموع اندازه انباشته محصول  $i$  در روش تولید  $m$  و در دوره  $t$  تولید می‌شود، با توجه به زمان تولید محصول و زمان در دسترس بدست 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 نشان دهنده راه اندازی منبع جهت تولید قلم  $i$  ام به روش  $m$  ام در دوره  $t$  ام. همچنین برای بدست آوردن مقادیر دیگر طبق فرمول های (۲۲) تا (۲۴) عمل شده است:

$$\left( \sum_{m=1}^M UXP_{imt} \right) + XINV_{i,t-1} + XBO_{it} + XBR_{it} = \quad (22)$$

$$D_{it} + XINV_{it} + XBO_{i,t-1} + \left( \sum_{m=1}^M UXP_{im} N_{il} \right) \dots \dots \dots \forall i, t$$

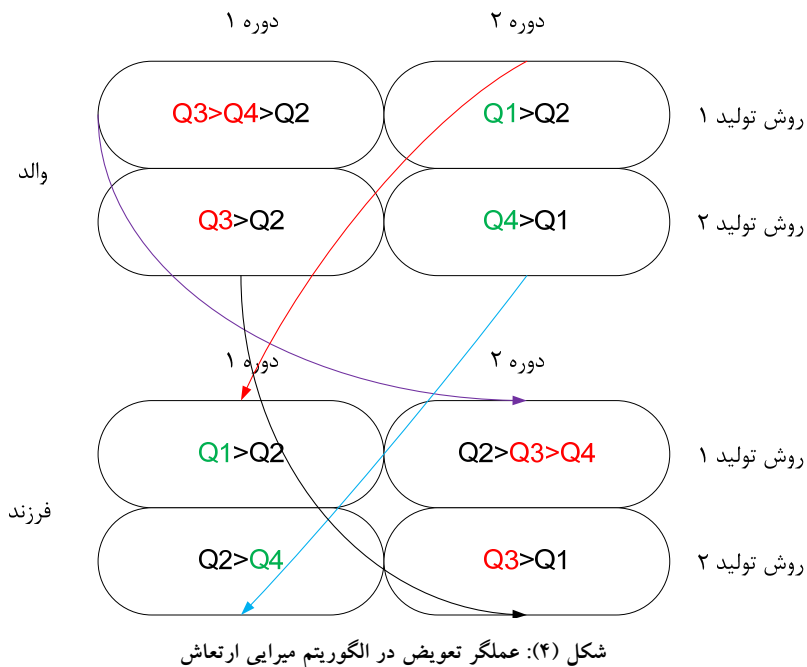
$$\sum_{i=1}^I TP_{im} UXP_{imt} + TYS_{mt} \leq CAPT_t \dots \dots \dots \forall t \quad (23)$$

$$UXP_{imt} \leq CAP_{imt} NSXP_{imt} \dots \dots \dots \forall i, m, t \quad (24)$$

حال با توجه به مقادیر به دست آمده و مقادیری که براساس محدودیت-های مدل به دست می‌آید، تابع هدف نیز محاسبه می‌گردد.

#### ۴-۴ عملگر الگوریتم میرایی ارتعاش جهت جستجوی همسایگی:

برای حرکت در فضای جواب و استخراج جواب‌های بهتر، نیاز به طراحی عملگرهای مناسب می‌باشد. در الگوریتم میرایی ارتعاش از عملگر تعویض استفاده می‌کنیم. کروموزوم تعریف شده برای این الگوریتم در شکل (۳) نشان داده شده است. عملگر تعویض استفاده شده برای این الگوریتم به این صورت عمل می‌نماید:



مناسب‌ترین طرح، آزمایش‌های پنج سطحی تشخیص داده شد و با توجه به آرایه‌های متعامد استاندارد تاگوچی، آرایه‌ی متعامد  $L_{25}$  به عنوان طرح مناسب آزمایشی برای تنظیم پارامتر الگوریتم بهینه سازی میرایی ارتعاش، انتخاب گردید.

برای انجام آزمایش‌ها از نرم‌افزار مینی‌تب ۱۶ استفاده کردیم که میانگین نسبت سیگنال به نویز به دست آمده برای هر سطح از عوامل مربوط به الگوریتم میرایی ارتعاش در شکل (۵) نشان داده شده است. سطوح پارامتر الگوریتم بهینه سازی میرایی ارتعاش، در جدول (۱) نشان داده شده است.

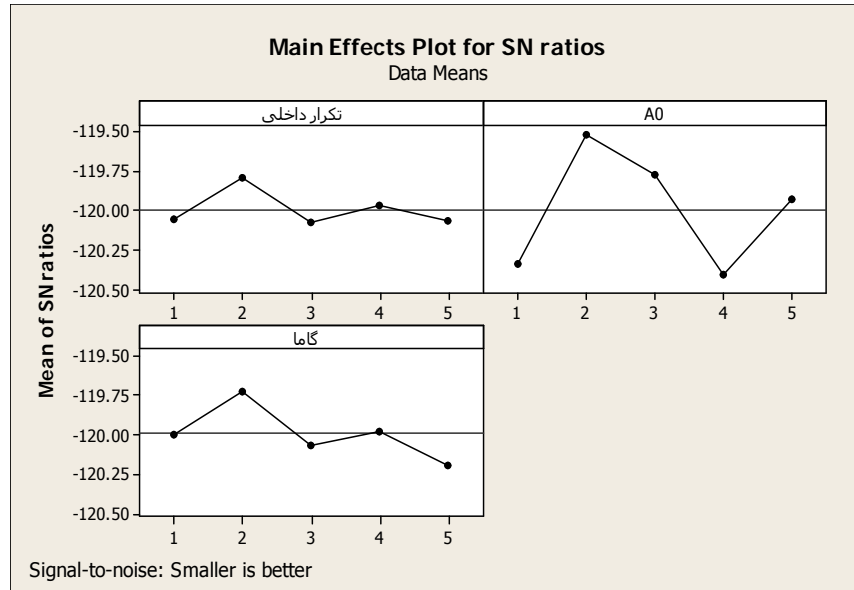
#### ۴-۵ تنظیم پارامترها به روش تاگوچی:

روش تاگوچی یکی از روش‌های فاکتوریل کسری بوده که توسط جنیچی تاگوچی دانشمند ژاپنی در سال ۱۹۶۰ پایه گذاری شد. این روش می‌تواند با کمترین تعداد آزمایش‌ها، شرایط بهینه را تعیین نماید و باعث کاهش چشمگیر زمان و هزینه انجام آزمایش‌های مورد نیاز گردد [۱]. از آنجایی که نحوه بکارگیری ترکیبات مختلف پارامترها در مسائل مختلف، متفاوت خواهد بود، بنابراین تنظیم پارامتر در الگوریتم‌های فرا ابتکاری بسیار مهم است. روش تاگوچی از مجموعه‌ای از آزمایشات برای پیدا نمودن بهترین ترکیب پارامترها با هدف دستیابی به بهترین پاسخ و کمترین حساسیت پاسخ به اغتشاش (هر تغییر غیر قابل کنترل که می‌تواند بر عملکرد الگوریتم اثرگذار باشد) استفاده می‌کند. در این مقاله،

جدول (۱): 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 (۵): نمودار سیگنال به نویز الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاش

جدول (۲): سطوح بهینه‌ی پارامترهای ورودی الگوریتم بهینه-

سازی میرایی ارتعاش

پارامتر	مقدار بهینه
تکرار داخلی	۳۵
A0	۵
گاما	۰/۰۵

پس از گذشت یک ساعت نتوانسته است به جواب بهینه در آن برسد، در این جدول ذکر شده است، همچنین در جدول (۵) اختلاف مقادیر جواب بدست آمده از الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاش نسبت به لینگو نشان داده شده است. مقادیر پارامتر الگوریتم میرایی ارتعاش مطابق جدول (۲) در سطوح بهینه خود تنظیم شده‌اند. به منظور پیاده‌سازی مسائل، سیاست‌های جدول (۳) را جهت تولید ورودی‌ها مدل مورد استفاده قرار دادیم. لازم به ذکر است که هر دوره بر اساس شیفت کاری می‌باشد.

بر اساس مطالعات مهدی‌زاده و آتشی (۱۳۹۳)، مقدار پارامتر توزیع ریلی ( $\sigma$ ) در الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاش مقدار ثابت یک در نظر گرفته شده است [۴].

#### ۴-۶ تحلیل نتایج و مقایسات:

برای نشان دادن کارایی مناسب روش حل، ابتدا چندین مسئله آزمایشی با ابعاد مختلف تولید خواهیم کرد و سپس نتایج محاسباتی بدست آمده از الگوریتم بهینه‌سازی میرایی ارتعاش و لینگو را مورد مطابقت قرار می‌دهیم. برای این منظور ۳۰ مسئله در ابعاد مختلف شامل مسائل با ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ تولید شده و مقادیر تابع هدف بدست آمده و مورد مقایسه قرار دادیم (مهدی‌زاده و فاتحی، ۲۰۱۴). جدول (۴) و (۶) خروجی محاسباتی بدست آمده از مسائل آزمایشی تولید شده را نشان می‌دهد. جدول (۴) نشان دهنده حداکثر اندازه مسئله‌ای می‌باشد که لینگو می‌تواند آن را حل نماید و مسائل در ابعاد بزرگتر که لینگو حتی

جدول (۳): مقادیر ورودی پارامترهای مسائل

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

جدول (۴): نتایج محاسباتی روش های حل بکار گرفته شده جهت حل مدل

پیشهادی

شماره	تعداد اقلام $i$	روش تولید $m$	دوره $t$	نرم افزار لینگو	زمان حل لینگو (s)	الگوریتم بهینه سازی میرایی ارتعاش	زمان حل الگوریتم بهینه سازی میرایی ارتعاش (s)
۱	۵	۲	۴	۱۲۲۱۵۲۳۰	۱	۱۲۲۱۵۲۳۰	۵
۲	۵	۲	۵	۱۵۰۰۰۵۴۰	۱	۱۵۰۰۰۵۴۰	۶
۳	۵	۲	۸	۲۳۴۶۵۹۰۰	۱	۲۳۴۶۷۲۲۰	۱۱
۴	۵	۲	۱۴	۴۰۵۴۴۸۰۰	۱	۴۳۷۸۸۳۸۸	۱۶
۵	۵	۳	۴	۱۲۱۷۸۷۲۰	۱	۱۲۴۵۳۰۱۹	۱۹
۶	۵	۳	۸	۲۳۸۰۱۵۷۰	۱	۲۴۷۰۵۷۰۰	۲۲
۷	۵	۵	۴	۲۳۵۱۲۷۳۰	۱	۲۴۳۹۳۷۵۴	۲۸
۸	۶	۵	۱۲	۷۱۴۲۸۵۷۰	۲	۷۷۱۴۲۸۵۹	۳۸
۹	۶	۵	۱۸	۸۵۳۷۰۴۹۰	۸	۹۲۲۰۰۱۳۳	۴۱
۱۰	۶	۵	۲۴	۹۰۰۱۸۴۱۰	۱۲	۹۷۲۱۹۸۸۶	۴۸
۱۱	۶	۵	۳۶	۱۰۱۷۸۹۸۷۰	۲۳	۱۱۱۰۵۸۳۵۴	۷۶
۱۲	۶	۸	۱۶	۷۹۵۴۹۱۳۰	۴۳	۸۵۴۸۱۵۰۴	۸۸
۱۳	۶	۱۰	۱۸	۸۳۷۸۹۳۷۰	۱۰۴	۹۳۳۵۷۷۷۹	۱۲۲
۱۴	۸	۱۰	۳۶	۱۲۸۹۱۷۶۰۰	۳۶۹	۱۴۱۲۵۵۲۴۵	۱۶۷
۱۵	۱۰	۱۰	۴۸	۱۸۷۹۰۱۲۵۰	۶۲۵	۲۱۲۰۸۶۴۴۲	۲۴۴
۱۶	۱۰	۱۲	۷۲	۲۴۷۹۸۷۶۱۰	۱۷۸۱	۲۷۵۱۸۵۷۵۶	۲۹۹
۱۷	۱۴	۱۰	۸۵	۲۹۸۰۰۱۴۳۰	۲۲۵۴	۳۱۳۳۰۱۶۴۹	۳۱۷
۱۸	۱۸	۱۰	۸۵	۳۱۴۳۲۱۴۱۰	۳۰۱۸	۳۱۴۷۶۹۶۲۸	۳۳۷
۱۹	۱۸	۱۰	۹۰	---	---	۳۴۳۹۵۰۲۴۰	۳۴۴
۲۰	۱۸	۱۰	۹۵	---	---	۳۴۹۷۵۰۴۲۷	۳۵۱
۲۱	۱۸	۱۰	۱۰۰	---	---	۴۱۹۶۶۲۷۰۶	۳۷۱
۲۲	۲۰	۱۰	۱۰۵	---	---	۴۲۱۰۲۱۲۴۷	۴۰۴
۲۳	۲۰	۱۰	۱۱۰	---	---	۴۲۷۸۳۶۷۱۲	۴۱۱
۲۴	۲۰	۱۲	۱۲۰	---	---	۴۴۲۸۰۴۴۰۵	۴۲۸
۲۵	۲۰	۱۲	۱۲۵	---	---	۴۴۵۱۳۳۱۷۷	۴۷۱
۲۶	۲۰	۱۲	۱۳۰	---	---	۴۴۷۸۵۶۱۳۸	۴۸۷
۲۷	۲۰	۱۲	۱۳۵	---	---	۴۵۰۹۴۲۱۸۷	۵۰۸
۲۸	۲۰	۱۲	۱۴۰	---	---	۴۵۲۸۶۶۵۹۴	۵۴۱
۲۹	۲۲	۱۲	۱۴۰	---	---	۴۵۸۵۰۲۲۲۷	۵۶۹
۳۰	۲۲	۱۲	۱۴۵	---	---	۴۷۲۱۲۹۰۸۳	۵۸۹

جدول (۶): نتایج محاسباتی الگوریتم پیشنهادی در سه قسمت

ابعاد مسأله	شماره	تعداد اقلام i	روش تولید m	دوره ی t	الگوریتم بهینه سازی میرایی ارتعاش	زمان الگوریتم بهینه سازی میرایی ارتعاش (s)
	۱	۵	۲	۴	۱۲۲۱۵۲۳۰	۵
	۲	۵	۲	۵	۱۵۰۰۰۵۴۰	۶
	۳	۵	۲	۸	۲۳۴۶۷۲۲۰	۱۱
	۴	۵	۲	۱۴	۴۳۷۸۸۳۸۸	۱۶
کوچک	۵	۵	۳	۴	۱۲۴۵۳۰۱۹	۱۹
	۶	۵	۳	۸	۲۴۷۰۵۷۰۰	۲۲
	۷	۵	۵	۴	۲۴۳۹۳۷۵۴	۲۸
	۸	۶	۵	۱۲	۷۷۱۴۲۸۵۹	۳۸
	۹	۶	۵	۱۸	۹۲۲۰۰۱۳۳	۴۱
	۱۰	۶	۵	۲۴	۹۷۲۱۹۸۸۶	۴۸
	۱۱	۶	۵	۳۶	۱۱۱۰۵۸۳۵۴	۷۶
	۱۲	۶	۸	۱۶	۸۵۴۸۱۵۰۴	۸۸
	۱۳	۶	۱۰	۱۸	۹۳۳۵۷۷۷۹	۱۲۲
	۱۴	۸	۱۰	۳۶	۱۴۱۲۵۵۲۴۵	۱۶۷
متوسط	۱۵	۱۰	۱۰	۴۸	۲۱۲۰۸۶۴۴۲	۲۴۴
	۱۶	۱۲	۱۰	۷۲	۲۷۵۱۸۵۷۵۶	۲۹۹
	۱۷	۱۴	۱۰	۸۵	۳۱۳۳۰۱۶۴۹	۳۱۷
	۱۸	۱۸	۱۰	۸۵	۳۱۴۷۶۹۶۲۸	۳۳۷
	۱۹	۱۸	۱۰	۹۰	۳۴۳۹۵۰۲۴۰	۳۴۴
	۲۰	۱۸	۱۰	۹۵	۳۴۹۷۵۰۴۲۷	۳۵۱
	۲۱	۱۸	۱۰	۱۰۰	۴۱۹۶۶۲۷۰۶	۳۷۱
	۲۲	۲۰	۱۰	۱۰۵	۴۲۱۰۲۱۲۴۷	۴۰۴
	۲۳	۲۰	۱۰	۱۱۰	۴۲۷۸۳۶۷۱۲	۴۱۱
	۲۴	۲۰	۱۲	۱۲۰	۴۴۲۸۰۴۴۰۵	۴۲۸
بزرگ	۲۵	۲۰	۱۲	۱۲۵	۴۴۵۱۳۲۱۷۷	۴۷۱
	۲۶	۲۰	۱۲	۱۳۰	۴۴۷۸۵۶۱۳۸	۴۸۷
	۲۷	۲۰	۱۲	۱۳۵	۴۵۰۹۴۲۱۸۷	۵۰۸
	۲۸	۲۰	۱۲	۱۴۰	۴۵۲۸۶۶۵۹۴	۵۴۱
	۲۹	۲۲	۱۲	۱۴۰	۴۵۸۵۰۲۲۲۷	۵۶۹
	۳۰	۲۲	۱۲	۱۴۵	۴۷۲۱۲۹۰۸۳	۵۸۹

در جدول (۴) علامت (---) به این معنی است که مثال‌های مورد نظر بعد از گذشت یک ساعت به جواب بهینه نرسیده‌اند. به عنوان مثال، در مسئله ۱۸، ۱۸، ۱۰ قلم، ۱۰ روش و ۸۵ دوره (روز) داریم که جواب حل لینگو برای این مسئله ۳۱۴۳۲۱۴۱۰ با زمان حل ۳۰۱۸ (s) و جواب حل الگوریتم بهینه سازی میرایی ارتعاش ۳۱۴۷۶۹۶۲۲ با زمان حل ۳۳۷ (s) بدست آمد. همچنین در جدول (۵) اختلاف مقدار پاسخ‌های لینگو با الگوریتم بهینه سازی میرایی ارتعاش آورده شده است.

جدول (۵): اختلاف پاسخ‌های الگوریتم بهینه سازی میرایی ارتعاش با پاسخ-

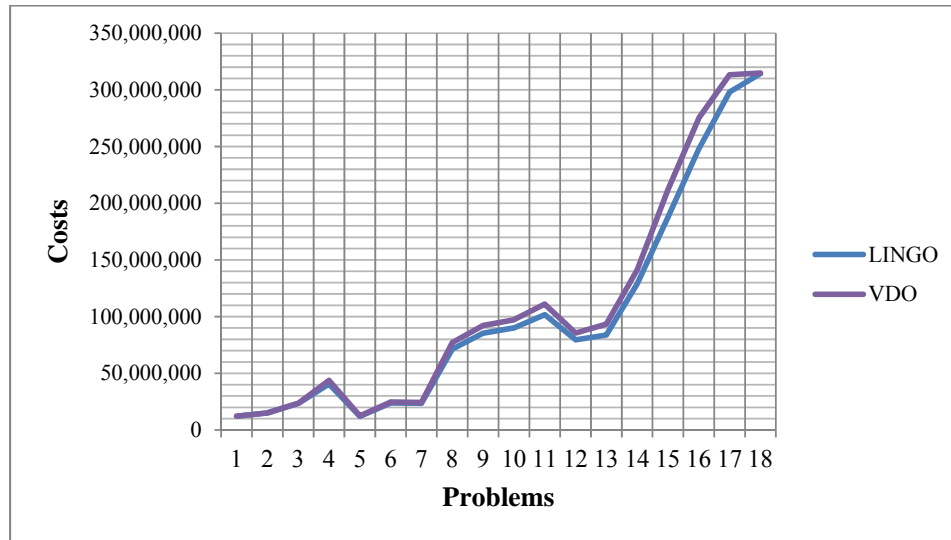
های نرم‌افزار لینگو

شماره	تعداد اقلام i	روش تولید m	دوره ی t	اختلاف الگوریتم میرایی ارتعاش و لینگو
۱	۵	۲	۴	۰
۲	۵	۲	۵	۰
۳	۵	۲	۸	۱۳۲۰
۴	۵	۲	۱۴	۳۲۴۳۵۸۸
۵	۵	۳	۴	۲۷۴۲۹۹
۶	۵	۳	۸	۹۰۴۱۳۰
۷	۵	۵	۴	۸۸۱۰۲۴
۸	۶	۵	۱۲	۵۷۱۴۲۸۹
۹	۶	۵	۱۸	۶۸۲۹۶۴۳
۱۰	۶	۵	۲۴	۷۲۰۱۴۷۶
۱۱	۶	۵	۳۶	۹۲۶۸۴۸۴
۱۲	۶	۸	۱۶	۵۹۳۳۳۷۴
۱۳	۶	۱۰	۱۸	۹۵۶۸۴۰۹
۱۴	۸	۱۰	۳۶	۱۲۳۳۷۶۴۴
۱۵	۱۰	۱۰	۴۸	۲۴۱۸۵۱۹۲
۱۶	۱۲	۱۰	۷۲	۲۷۱۹۸۱۴۶
۱۷	۱۴	۱۰	۸۵	۱۵۳۰۰۲۱۹
۱۸	۱۸	۱۰	۸۵	۴۴۸۲۱۸

بر اساس مطالعات مهدی‌زاده و آتشی (۱۳۹۳) ما نیز مسائل این مطالعه را به سه قسمت تقسیم خواهیم کرد. مسائل در ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ تقسیم می‌گردند و سپس به مقایسه آن‌ها خواهیم پرداخت. در جدول (۶) مسائل به سه قسمت تقسیم بندی شده‌اند [۴].

آمده به این نتیجه رسیدیم که در ابعاد بزرگ الگوریتم میرایی ارتعاش چه از نظر پاسخ حل و چه از نظر سرعت زمان حل عملکرد بهتری نسبت به لینگو دارد، که این امر در محاسبات نموداری نیز مشهود است.

جهت دستیابی به جواب‌های بهتر از روش تاگوچی برای تنظیم پارامتر ورودی الگوریتم بهینه سازی میرایی ارتعاش استفاده شد و به منظور بررسی تأثیر انتخاب نوع روش حل در حل مدل، پاسخ‌های الگوریتم با پاسخ‌های لینگو مطابقت داده شد. در نهایت با توجه به نتایج به دست



شکل (۵): نمودار پاسخ‌های الگوریتم پیشنهادی نسبت به پاسخ‌های نرم‌افزار لینگو

با استفاده از الگوریتم بهینه سازی میرایی ارتعاش مورد حل قرار دادیم که نتایج آن در جدول ۶، ارائه شده است که نشان می‌دهد زمان حل الگوریتم بهینه سازی میرایی ارتعاش در مسائل با اندازه بزرگ نسبت به لینگو بهتر است.

#### منابع و مأخذ

- [۱] صادقی اول شهر، علیرضا، باباخانی، ابوالفضل، مستجاب الدعوه، حسن، زبرجد، سید مجتبی، (۱۳۹۱)، بهینه‌سازی پارامترهای فرآیند متالورژی پودر جهت تولید آلیاژ حافظه‌دار نایتینول با استفاده از روش تاگوچی، اولین همایش بین‌المللی، ششمین همایش مشترک انجمن مهندسی متالورژی ایران، انجمن ریخته‌گری ایران.
- [۲] فاطمی قمی، محمد تقی، جولای، فریبرز، نورایی، وحید رضا، (۱۳۸۵)، یک الگوریتم ابتکاری برای مسئله اندازه انباشته چند قلم کالایی با محدودیت ظرفیت و الزام در فروش از دست رفته، پایان‌نامه کارشناسی ارشد.
- [۳] مطیع، قادر حبیب، لطفی، شهریار، سید اسفهان، میر مهدی، (۱۳۸۹)، مروری بر برخی از روش‌های بهینه‌سازی هوشمند، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شبستر.

#### ۵- نتیجه گیری

هدف این مقاله، ارائه و حل یک مدل برای مسئله تعیین اندازه انباشته دو سطحی چند محصولی با محدودیت ظرفیت و برنامه‌ریزی تولید بود که برای کابردی‌تر شدن مدل محصول مرجوعی، چند روش تولید جهت تولید محصول و در نظر گرفتن ترکیبی از کمبود به دو صورت پس‌افت و فروش از دست رفته در مدل اضافه شد. برای حل مدل از الگوریتم بهینه سازی میرایی ارتعاش بهره گرفتیم. جهت تنظیم پارامتر الگوریتم میرایی ارتعاش از تکنیک تاگوچی استفاده شده است. برای این منظور از میان آرایه‌های متعامد تکنیک تاگوچی آرایه L25 جهت انجام آزمایشات انتخاب شد و از نرم‌افزار مینی‌تب ۱۶ جهت تجزیه و تحلیل نتایج آزمایشات استفاده شد. پس از تنظیم پارامتر الگوریتم میرایی ارتعاش در سطوح بهینه خود، برای مدل ارائه شده ۳۰ مثال عددی در اندازه‌های مختلف تولید نمودیم، از نرم‌افزار لینگو و الگوریتم بهینه سازی میرایی ارتعاش جهت حل مدل استفاده نمودیم، لینگو تنها توانست تا مثال ۱۸ را در محدوده زمانی صفر تا ۳۶۰۰ ثانیه را حل نماید و بعد از مثال ۱۸، مثال‌ها را بعد از ۳۶۰۰ ثانیه نتوانست حل نماید. بنابراین ۱۲ مثال باقی مانده را

- [12] Mehdizadeh, E., Fatehi-Kivi, A., (2013), **The Single-item Capacitated Lot-Sizing Problem with Backlogging, Safety Stocks and Limited Outsourcing**, 2<sup>nd</sup> International Conference on Industrial Engineering, Vol. 2. pp. 516-520.
- [13] Mehdizadeh, E., Tavakkoli-Moghaddamb, R., Yazdania, M., (2015), **A Vibration Damping Optimization Using a New Sequential Hybrid Approach**, Artificial Intelligence 42, 805-816.
- [14] 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, pp.5134-5147.
- [15] Tempelmeier, H., (2011), **A Column Generation Heuristic for Dynamic Capacitated Lot Sizing with Random Demand under a Fill Rate Constraint**, Omega 39, 627-633.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] Verma, M., Sharma, R.R.K., (2015), **Lagrngian Based Approach to Solve a Two Level Capacitated Lot Sizing Problem**, Cogent Engineering 2, 1-13.
- [19] Wolsey, L. A., (2002), **Solving Multi-Item Lot-Sizing Problems with an MIP Solver Using Classification and Reformulation**, Management Science 48, 1587-1602.
- [20] 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.
- [۴] مهدی‌زاده، اسماعیل، آتشی آبکنار، امیر آیدین، (۱۳۹۳)، **حل یک مدل برنامه‌ریزی تولید ادغامی جدید با سیستم تولید چند مرحله‌ای و در نظر گرفتن هزینه نگهداری و تعمیرات با استفاده از الگوریتم های فرا ابتکاری**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد.
- [5] Absi, N., (2008), **Models and Methods for Capacitated Lot-Sizing Problems**, 4OR 6, 311-314.
- [6] Almada-Lobo, B., Klabjan, D., Carravilla, M.A., Oliveira, J.F., (2007), **Single Machine Multi-Product Capacitated Lotsizing with Sequence-Dependent Setups**, International Journal of Production Research 45, 4873-4894.
- [7] 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.
- [8] Chen, H., (2015), **Fix-and-Optimize and variable neighborhood Search Approaches for Multi-Level Capacitated Lot Sizing Problems**, OMEGA, 1-33.
- [9] Guner Goren, H., Tunali, S., (2015), **Solving the Capacitated Lot Sizing Problem with Setup Carryover Algorithm for a Parallel Machines Scheduling Problem with Sequence-Independent Family Setup Times**, Applied Mathematical Modelling. doi:10.1016/j.apm.2015.02.027.
- [10] Jans, R., Degraeve, Z., (2007), **Meta-Heuristics for Dynamic Lot Sizing: A Review and Comparison of Solution Approaches**, European Journal of Operational Research 177, pp.1855-1875.
- [11] 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.