

## ارائه یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه برای مساله ذخیره سازی مبتنی بر کلاس در انبار

محمدحسن کریمی و مهدی سیف برقی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی قزوین، [mohamadhasankarimi75@yahoo.com](mailto:mohamadhasankarimi75@yahoo.com)

دانشیار، عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی قزوین، [seifbar@yahoo.com](mailto:seifbar@yahoo.com)

نویسنده مسئول: محمد حسن کریمی

### چکیده

طراحی انبار به عنوان یک موضوع بسیار مهم توسط محققان و مشاغل صنعتی شناخته شده است. هزینه‌های بهره‌وری و لجستیک وابسته به سیستم‌های ذخیره‌سازی و به شدت تحت تاثیر تصمیم‌گیری‌های طراحی انبار می‌باشد. تصمیم‌گیری در مورد ذخیره‌سازی در انبار تحت تاثیر عواملی همچون مدت زمان چیدن سفارش و بازیابی آن‌ها، بهره‌وری، حمل و نقل، تعیین سیاست ذخیره‌سازی، فضای مورد نیاز و موجودی برای یک محصول درون انبار می‌باشد، در این مقاله با استفاده از سیاست ذخیره‌سازی مبتنی بر کلاس و سیاست مسیریابی، فاصله و زمان ذخیره نمودن و بازیابی اقلام در انبار حداقل و در نتیجه یک حالت بهینه‌ای از هزینه‌ها و زمان‌های ذخیره‌سازی و بازیابی اقلام داخل انبار بوجود می‌آید. به منظور حل مدل عدد صحیح مختلط چند هدفه، در ابعاد کوچک از نرم افزار GAMS و برای حل مدل در ابعاد متوسط و بزرگ از الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک استفاده شده است. هدف این مطالعه ارائه یک روش بهینه‌سازی ریاضی برای حل یک مدل چند هدفه برای مسئله چیدمان انبار است. نتایج نشان می‌دهد که اختلاف معناداری در خطای ۵٪ برای عملکرد روش‌های حل پیشنهادی، برای معیار تابع هدف و زمان محاسباتی وجود ندارد، هرچند زمان محاسباتی حاصل از حل گمز از الگوریتم ژنتیک بیشتر است اما این اختلاف بصورت معنادار نبوده است.

**کلمات کلیدی:** ذخیره سازی کلاس‌بندی شده، انبار، طراحی انبار، حمل و نقل، الگوریتم ژنتیک

## ۱. مقدمه

انبار، محلی است که در آن اقلام (مواد اولیه-محصول-کالا...) جهت ذخیره سازی موقت و نگهداری آن‌ها تا زمانی که به آن نیاز پیدا می‌شود برای بازیابی آن‌ها، نگهداری می‌شود. طراحی انبار به عنوان یک موضوع بسیار مهم توسط محققان و مشاغل صنعتی شناخته شده است. هزینه های بهره وری و لجستیک وابسته به سیستم‌های ذخیره سازی و به شدت تحت تاثیر تصمیم‌گیری‌های طراحی انبار می‌باشد. تصمیم‌گیری در مورد ذخیره سازی در انبار تحت تاثیر عواملی همچون مدت زمان چیدن سفارش و بازیابی آن‌ها، بهره وری، حمل و نقل، تعیین سیاست ذخیره سازی، فضای مورد نیاز و موجودی برای یک محصول درون انبار می‌باشد. انبارداری فرایندی است که از زمان دریافت کالا توسط انباردار تا زمان تحویل دادن کالا به مصرف کننده را در بر می‌گیرد. پس از ورود کالا به انبار ضروری است تا مراقبت‌های لازم از کالا بعمل آمده و تا زمان مذکور محافظت گردد. در راستای نگهداری صحیح و شایسته از موجودی انبار، اصول و روش‌های مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرند (فرجاد و همکاران، ۱۳۹۸).

از این رو در این مقاله سعی شده با برنامه ریزی‌های اولیه بر روی طراحی و بررسی چیدمان محصولات در انبار و سیاست‌های ذخیره‌سازی و بازیابی اقلام یک مسئله بهینه‌سازی دو هدفه ارائه داده شود که هدف اول در جهت بهینه نمودن هزینه‌های فضای ذخیره سازی و هزینه‌های حمل و نقل و هدف دوم کمینه‌سازی زمان‌های چیدمان و زمان‌های حمل و نقل اقلام جهت ذخیره سازی و بازیابی آن‌ها با استفاده از وسایل حمل متفاوت با ظرفیت‌های مختلف انجام شده است. با توجه به اهمیت موضوع انبار در ایفای نقش‌های سیستم‌های لجستیک، مطالعات زیادی در این زمینه ایجاد شده است.

فراضله و شارپ (۱۹۸۹)<sup>۱</sup> به بررسی در مورد مساله تخصیص در انبار کالا که جزء مسائل NP-Hard بوده و روش‌های اکتشافی زیادی برای آن ارائه شده است، پرداختند و مشخص نمودند سیاست ذخیره‌سازی مبتنی بر کلاس، اقلام را به کلاس‌هایی دسته بندی می‌کند و معمولا یک منطقه ثابت به کلاس‌ها اختصاص داده می‌شود و داخل هر منطقه اقلام بصورت تصادفی ذخیره می‌شوند.

گری و همکاران (۱۹۹۲)<sup>۲</sup> یک مدل ترکیبی برای طراحی و مسائل عملیاتی از تثبیت سفارش معمولی در انبارها که در آن با استفاده از ابزار شبیه‌سازی دقیق با داده‌های مختلف انبار، استفاده شده بود، ارائه کردند.

رودنبرگ و دیکوستر (۲۰۰۱)<sup>۳</sup> یک الگوریتم برنامه نویسی پویا برای پیدا کردن حداقل تور در یک دوره چیدن اقلام در انبارهای با قفسه‌های متقابل و متعدد پیشنهاد نمودند.

چو و تانگ (۱۹۹۹)<sup>۴</sup> یک مدل تحلیلی برای سیستم‌های تخصیص در سفارشات انبار که در سیستم چیدن سفارش از یک مدل صف  $E_k/G/C$  مشتری استفاده شده است، را ارائه نمودند.

کوئل و همکاران (۱۹۹۶)<sup>۵</sup> بررسی کردند که چیدن سفارش و بازیابی اقلام برای برآوردن سفارش مشتری در انبار بیشترین هزینه و تاثیر در بهره وری زنجیره تامین را دارد.

هوانگ و همکاران (۲۰۰۴)<sup>۶</sup> یک مدل تحلیلی برای مقایسه سه نوع سیاست مسیریابی بازگشت، پیمایش، نقطه میانی با فرض شاخص  $COI^v$  در یک سیستم انبار داری سطح پایین که جمع‌کننده اقلام، با توجه به سیاست‌های مختلف مسیریابی اقلام را به محل ورود و خروج می‌آورد، پرداختند.

نتایج با استفاده از ابزارهای شبیه سازی برای این سه نوع سیاست مسیر یابی مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص شد که سیاست نقطه میانی نتایج بهتری را نشان می‌دهد.

پترسون و آسی (۲۰۰۴)<sup>۸</sup> پیشنهاد کردند که تعامل بین روش‌های مسیریابی و قوانین تخصیص ذخیره سازی در یک سیستم چیدن سفارش دستی بسیار مهم است.

دیکاستر و همکاران (۲۰۰۷)<sup>۹</sup> یک مدل تحلیلی برای محاسبه میانگین زمان سفر از سفارش تصادفی که بصورت پواسون و با سیاست مسیریابی S شکل می‌باشد، ارائه کردند که بهینه اندازه معیار چیدن را برآورد می‌کند.

ون نیوون هایس و دیکاستر (۲۰۰۹)<sup>۱۰</sup> یک مدل تحلیلی برای کنترل عواملی مانند: محاسبه میانگین زمان سفارش و ظرفیت چیدن و عملیات مرتب‌سازی اقلام و سیاست چیدن را ارائه نمودند.

پاریخ و میلر (۲۰۱۰)<sup>۱۱</sup> نشان دادند که یک مدل می‌تواند پیکربندی سیستم ذخیره سازی را بهینه کند. با در نظر گرفتن حرکت عمودی در مکان ذخیره کردن و جایجایی اقلام داخل انبارها. آنها سیستم ذخیره سازی سطح بالا را بادر نظر گرفتن سیاست ذخیره سازی تصادفی و یک سیاست مسیریابی بررسی نمودند.

<sup>1</sup> Frazelle and Sharp

<sup>2</sup> Gray et al

<sup>3</sup> Roodbergen and De Koster

<sup>4</sup> Chew and Tang

<sup>5</sup> Coyle et al

<sup>6</sup> Hwang et al

<sup>v</sup> Cube-per-order index

<sup>8</sup> Petersen and Aase

<sup>9</sup> De Koster et al

<sup>11</sup> Van Nieuwenhuysse and De Koester

پان و وو (۲۰۱۲)<sup>۱</sup> یک روش تقریبی براساس  $GI / G / 1$  یک شبکه صف بسته با استفاده از یک الگوریتم خود اصلاح به منظور بررسی زمان کاراز یک چیدن سفارش با جمع کننده های متعدد برای سیاست های مختلف مسیریابی ارائه نمودند. اسچلیر و ژئو (۲۰۱۲)<sup>۲</sup> یک مدل تحلیلی برای برآورد توان عملیاتی مبتنی بر مدل های احتمالی و زمان گسسته به منظور تعیین اندازه بهینه دسته ها برای چیدن در یک انبار تک بلوکه را توسعه دادند. پان و وو (۲۰۱۴)<sup>۳</sup> یک مدل تخمین زمان سفر برای بازیابی قطعات در ارتفاع بالا با لحاظ کردن سیاست ذخیره سازی مبتنی بر کلاس و سیاست های مختلف مسیریابی ارائه نمودند. آن ها نشان دادند که اگر تمام اقلام در هر ردیف بصورت یکسان توزیع شوند و از ارتفاع برای ذخیره نمودن اقلام استفاده شود توان سیستم بهبود پیدا می کند. نتایج برای سیاست های مختلف ذخیره سازی با استفاده از ابزارهای شبیه سازی اعتبار سنجی می شوند. بورتولینی و همکاران (۲۰۱۵)<sup>۴</sup> یک مدل تحلیلی محاسبه زمان سفر برای ذخیره سازی و بازیابی خودکار مبتنی بر سه کلاس ABC و تعیین میانگین زمان سفر برای چیدن اقلام در حالت های تک و دو تقاضایی ارائه نمودند. ضمن اینکه در بیشتر تحقیقات انجام شده با استفاده از الگوریتم های فرا ابتکاری و مدل های تحلیلی سعی در حداقل نمودن فاصله و زمان ذخیره سازی و بازیابی اقلام با سیاست های مختلف ذخیره سازی و مسیریابی در انبار شده است، در این مقاله از مدل چند هدفه برای حداقل نمودن زمان ذخیره سازی و هزینه های داخل انبار و حداکثر نمودن بهره وری با طرح بهینه انبار بطور همزمان استفاده شده است. هدف اصلی تحقیق ارائه یک روش بهینه سازی ریاضی برای توسعه شبکه تعاملات متقابل ریسک ها و بهینه سازی پاسخ به ریسک هاست و فرضیات تحقیق شامل موارد ذیل می باشد.

- ۱- شکل انبار مستطیل شکل و ابعاد آن مشخص می باشد.
- ۲- انبار دارای یک نقطه ورود/خروج می باشد.
- ۳- همه راهروها موازی و طولشان یکسان است.
- ۴- فضاهای داخل قفسه و راهرو پیوسته و تعداد راهروها گسسته می باشد.
- ۵- از سیاست های مسیریابی استفاده و سیاست ذخیره سازی، مبتنی بر کلاس می باشد.
- ۶- هیچ ازدحامی بین وسایل نقلیه/جرثقیل/بارها در داخل انبار وجود ندارد. هریک از اقلام فقط به یک مکان برای ذخیره سازی اختصاص می یابد.

## ۲. روش پژوهش، محاسبات و فرمول ها

روش پژوهش در این مقاله ارائه یک مدل ریاضی عدد صحیح مختلط چند هدفه برای مسئله چیدمان انبار است و با توجه به اینکه مدل از لحاظ محاسبات از نوع NP-Hard بوده، از الگوریتم فرا ابتکاری برای حل مدل مورد نظر استفاده شده است.

### ۱-۲- ساختار مدل پیشنهادی

#### ۱-۱-۲- اندیس ها

- $C$  (  $c = 1, 2, \dots$  ) و  $c'$  برای تعداد کلاس ها
- $l$  (  $l = 1, 2, \dots$  ) و  $l'$  برای تعداد مکان های ذخیره سازی
- $P$  (  $p = 1, 2, \dots$  ) و  $p'$  برای تعداد محصولات
- $T$  (  $t = 1, 2, \dots$  ) برای دوره های زمان
- $K$  (  $k = 1, 2, \dots$  ) برای وسایل نقلیه

#### ۲-۱-۲- پارامترها

- $a_l$ : مساحت ناحیه ای از محل  $l$
- $COI_p$ : شاخص مکعب در هر سفارش برای محصول  $p$
- $d_{ll'}$ : فاصله محل  $l$  از محل  $l'$
- $D_p$ : تعداد کل چیدمان ها (در واحد بار) برای محصول  $p$  در دوره برنامه ریزی
- $f$ : هزینه فضا \$ در هر فوت مربع
- $f_p$ : تراکم مساحت، اینست که، مساحت منطقه مورد نیاز برای ذخیره یک واحد بار از محصول  $p$  با در نظر گرفتن ارتفاع انباشته (منظور ارتفاع مجازی که می توان بسته های محصول را تا آن ارتفاع روی هم گذاشت)
- $I_p^t$ : سطح ذخیره سازی در بارهای واحد برنامه ریزی شده برای محصول  $p$  در طی دوره زمانی  $t$
- $C_k$ : هزینه جابجایی وسیله نقلیه  $k$  م

<sup>1</sup> Parikh and Meller	1
<sup>1</sup> Pan and Wu	2
<sup>1</sup> Schleyer and Gue	3
<sup>1</sup> Pan and Wu	4
<sup>1</sup> Bortolini et al	5

$Cap_k$ : ظرفیت وسیله حمل  $k$

$T_{ll'}$ : زمان حمل از جایگاه  $l$  به جایگاه  $l'$

$t_{ikp}$ : زمان چیدمان توسط وسیله  $k$  به ازای هر واحد محصول  $p$

۳-۲-۱- متغیرهای تصمیم گیری

$$x_{pc} = \begin{cases} 1 & \text{اگر محصول } p \text{ به کلاس } c \text{ اختصاص یابد} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$y_{lc} = \begin{cases} 1 & \text{اگر محل } l \text{ به کلاس } c \text{ اختصاص یابد} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$Z_{pp'k} = \begin{cases} 1 & \text{اگر وسیله حمل } k \text{ محصول } p' \text{ را بعد از محصول } p \text{ حمل و انبارش کند} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

۴-۱-۲- تشریح تابع هدف و محدودیت ها

$$\text{Min } z = f \cdot \sum_c \sum_l (a_l \cdot y_{lc}) + \sum_{p' \in \{OUP\}} \sum_{p \in \{OUP\}} \sum_k C_k \sum_{l'} \sum_{c'} \sum_l \sum_c d_{ll'} \cdot x_{pc} \cdot y_{lc} \cdot x_{p'c'} \cdot y_{l'c'} \cdot D_p \cdot Z_{p'pk} \quad (1)$$

$$\text{Min } T = \sum_p \sum_k (t_{ikp} \cdot \sum_{p' \in \{OUP\}} D_p \cdot Z_{p'pk}) + \sum_{p' \in \{OUP\}} \sum_{p \in \{OUP\}} \sum_k \sum_{l'} \sum_{c'} \sum_l \sum_c T_{ll'} \cdot x_{pc} \cdot y_{lc} \cdot x_{p'c'} \cdot y_{l'c'} \cdot Z_{p'pk} \quad (2)$$

$$COI_p \cdot x_{pc} \leq COI_{p'} \cdot x_{p'c} \quad \forall p \neq p' \text{ and } c < c' \quad (3)$$

$$l \cdot y_{lc} \leq l' \cdot y_{l'c} \quad \forall l \neq l' \text{ and } c < c', \quad (4)$$

$$\sum_c y_{lc} \leq 1 \quad \forall l, \quad (5)$$

$$\sum_c x_{pc} = 1 \quad \forall p \quad (6)$$

$$\sum_p (I_p^t \cdot f_p \cdot x_{pc}) \leq \sum_l (a_l \cdot y_{lc}) \quad \forall c, t, \quad (7)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{p' \in \{OUP\}} Z_{pp'k} = 1 \quad \forall p \quad (8)$$

$$\sum_p Z_{opkt} \leq 1 \quad \forall k, t \quad (9)$$

$$\sum_{p' \in \{OUP\}} Z_{pp'k} = \sum_{p' \in \{OUP\}} Z_{p'pk} \quad \forall k, p \in \{O \cup P\} \quad (10)$$

$$\sum_{p \in P} (I_p^t \cdot f_p) \cdot \sum_{p' \in \{OUP\}} Z_{p'pk} \leq Cap_k \quad \forall k, t \quad (11)$$

$$y_{lc} \in x_{pc} \in \{0,1\} \quad \forall p, c, \quad (12)$$

$$\{0,1\} \quad \forall l, c, \quad (13)$$

$$Z_{pp'k} \in \{0,1\} \quad \forall p, p', k, \quad (14)$$

تابع هدف اول به دنبال مینیمم سازی هزینه فضا و هزینه حمل است.

تابع هدف دوم به دنبال مینیمم سازی زمان چیدمان و زمان حمل است.

محدودیت های (۳) و (۴) با هم تضمین می نمایند که اگر محصولی COI کمتری دارد به کلاس  $c$  تخصیص یابد و محصولاتی که COI

بیشتری دارند به کلاس  $c'$  اختصاص یابند درحالی که  $c$  نسبت به  $c'$  به درب ورود/خروج نزدیکتر می باشد.

محدودیت (۵) تاکید می کند که یک مکان ذخیره سازی حداکثر به یک کلاس اختصاص می یابد.

محدودیت (۶) تضمین می کند که هر محصول فقط و فقط تنها به یک کلاس اختصاص می یابد.

محدودیت (۷) تضمین می نماید که فضای ذخیره سازی کافی برای نگه داشتن محصولات در کلاس در هر دوره برنامه ریزی وجود دارد.

محدودیت (۸) تضمین می نماید که هر محصول توسط یک وسیله حمل حمل و انبارش شود.

محدودیت (۹) تضمین می نماید که هر وسیله حمل یکبار از نقطه مبدا خارج شود.

محدودیت (۱۰) تضمین می نماید که اگر وسیله حمل یک محصول را انبارش کرد از محل انبارش خارج شود.

محدودیت (۱۱) تضمین می نماید که محصولات تخصیصی به وسیله حمل کمتر از ظرفیت انبارشش باشد.

محدودیت های (۱۲) و (۱۳) و (۱۴) نشان می دهند که متغیرهای تصمیم از جنس  $\{0,1\}$  می باشند.

۵-۱-۲- خطی سازی مدل

در مدل ارائه شده توابع هدف مسئله بصورت غیر خطی هستند. از این رو برای خطی سازی مدل محدودیتها و متغیرهای زیر به مدل اضافه شده اند.

۵-۱-۲-۱- متغیرها

$U_{plc}$ : اگر محصول  $p$  در دسته  $c$  در موقعیت  $l$  جانمایی شود مقدار یک در غیر اینصورت صفر است.  
 $W_{p'pl'l}$ : اگر محصول  $p$  در موقعیت  $l$  بعد از محصول  $p'$  در موقعیت  $l'$  توسط وسیله نقلیه بازدید شود عدد یک در غیر اینصورت صفر می شود.

$$x_{pc} + y_{lc} - 1 \leq U_{plc} \quad \forall l \in L, p \in P, c \in C \quad (15)$$

$$U_{plc} \leq x_{pc} \quad \forall l \in L, p \in P, c \in C \quad (16)$$

$$U_{plc} \leq y_{lc} \quad \forall l \in L, p \in P, c \in C \quad (17)$$

این سه محدودیت موقعیت هر محصول در کلاس  $c$  در محل  $l$  را تعیین می کنند.

$$\sum_c U_{plc} + \sum_{c'} U_{p'l'c'} + \sum_{k \in K} Z_{p'pk} - 2 \leq W_{p'pl'l} \quad \forall l, l' \in L, p, p' \in P \quad (18)$$

$$\sum_c W_{p'pl'l} \leq \sum_{c'} U_{p'l'c'} \quad \forall l' \in L, p, p' \in P \quad (19)$$

$$\sum_{l'} W_{p'pl'l} \leq \sum_c U_{plc} \quad \forall l \in L, p, p' \in P \quad (20)$$

$$W_{p'pl'l} \leq \sum_{k \in K} Z_{p'pk} \quad \forall l, l' \in L, p, p' \in P \quad (21)$$

این چهار محدودیت نحوه جابجایی وسیله نقلیه از یک مکان به مکان دیگر و اینکه چه محصولی را این توالی جابجا می کند را نشان می دهد.

$$\sum_c U_{plc} \leq W_{0pl'l} \quad \forall l \in L, p \in P \quad (22)$$

این محدودیت نیز مشخص می کند که در لحظه شروع حرکت، اولین محصولی که جابجایی می کند کدام محصول و موقعیت است. از این رو مدل نهایی بصورت زیر است:

$$\text{Min } z = f \cdot \sum_c \sum_l (a_l \cdot y_{lc}) + \sum_{p' \in \{0 \cup P\}} \sum_{p \in \{0 \cup P\}} \sum_k C_k \sum_{l'} \sum_l d_{ll'} \cdot D_p \cdot W_{p'pl'l} \quad (23)$$

$$\text{Min } T = \sum_p \sum_k (t_{kp} \cdot \sum_{p' \in \{0 \cup P\}} D_p \cdot Z_{p'pk}) + \sum_{p' \in \{0 \cup P\}} \sum_{p \in \{0 \cup P\}} \sum_k \sum_{l'} \sum_l T_{ll'} \cdot W_{p'pl'l} \quad (24)$$

۵-۱-۲-۲- محدودیتها

$$COI_p \cdot x_{pc} \leq COI_{\hat{p}} \cdot x_{\hat{p}c} \quad \forall p \neq \hat{p} \text{ and } c < \hat{c} \quad (25)$$

$$l \cdot y_{lc} \leq l' \cdot y_{l'c} \quad \forall l \neq l' \text{ and } c < \hat{c}, \quad (26)$$

$$\sum_c y_{lc} \leq 1 \quad \forall l, \quad (27)$$

$$\sum_c x_{pc} = 1 \quad \forall p \quad (28)$$

$$\sum_l (I_p^t \cdot f_p \cdot x_{pc}) \leq \sum_l (a_l \cdot y_{lc}) \quad \forall c, t, \quad (29)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{p' \in \{0 \cup P\}} Z_{pp'k} = 1 \quad \forall p \quad (30)$$

$$\sum_p Z_{0pkt} \leq 1 \quad \forall k, t \quad (31)$$

$$\sum_{p' \in \{0 \cup P\}} Z_{pp'k} = \sum_{p' \in \{0 \cup P\}} Z_{p'pk} \quad \forall k, p \in \{0 \cup P\} \quad (32)$$

$$\sum_{p \in P} (I_p^t \cdot f_p) \cdot \sum_{p' \in \{0 \cup P\}} Z_{p'pk} \leq Cap_k \quad \forall k, t \quad (33)$$

$$x_{pc} + y_{lc} - 1 \leq U_{plc} \quad \forall l \in L, p \in P, c \in C \quad (34)$$

$$U_{plc} \leq x_{pc} \quad \forall l \in L, p \in P, c \in C \quad (35)$$

$$U_{plc} \leq y_{lc} \quad \forall l \in L, p \in P, c \in C \quad (36)$$

$$\sum_c U_{plc} + \sum_{c'} U_{p'l'c'} + \sum_{k \in K} Z_{p'pk} - 2 \leq W_{p'pl'l} \quad \forall l, l' \in L, p, p' \in P \quad (37)$$

$$\sum_{l'} W_{p'pl'l} \leq \sum_{c'} U_{p'l'c'} \quad \forall l' \in L, p, p' \in P \quad (38)$$



$$\sum_{l'} W_{p'pl'l} \leq \sum_c U_{plc} \quad \forall l \in L, p, p' \in P \quad (39)$$

$$W_{p'pl'l} \leq \sum_{k \in K} Z_{p'pk} \quad \forall l, l' \in L, p, p' \in P \quad (40)$$

$$\sum_c U_{plc} \leq W_{0pl'l} \quad \forall l \in L, p \in P \quad (41)$$

$$x_{pc}, U_{plc}, y_{lc}, W_{p'pl'l}, Z_{p'pk} \in \{0,1\} \quad \forall l, l' \in L, p, p' \in P, c \in C \quad (42)$$

### ۲-۱-۶- مدل خطی LP متریک پیشنهادی

در روش معیار جامع بر خلاف روش‌های قبلی نیازی به اولویت بندی اهداف، وزن دهی، یا تبدیل اهداف به محدودیت نیست. روش معیار جامع، بسته به مورد، مجموع توان اول، دوم، ... انحرافات نسبی اهداف از مقدار بهینه‌شان را حداقل می‌کند. در روش ال پی متریک پیشنهادی، مقدار تابع هدف عددی بین صفر تا یک است. همچنین  $MiZ_1$  و  $MiZ_2$  کمترین و بهینه ترین مقدار برای تابع هدف اول و دوم است.

$$\max Z = [W_1 \cdot \left(\frac{Z_1 - Z_1^{min}}{Z_1^{min}}\right)^P + W_2 \cdot \left(\frac{Z_2 - Z_2^{min}}{Z_2^{min}}\right)^P]^{1/P} \quad (43)$$

$$Z_1 = f \cdot \sum_c \sum_l (a_l \cdot y_{lc}) + \sum_{p' \in \{0UP\}} \sum_{p \in \{0UP\}} \sum_k C_k \sum_{l'} \sum_l d_{ll'} \cdot D_p \cdot W_{p'pl'l} \quad (44)$$

$$Z_2 = \sum_p \sum_k (t_{kp} \sum_{p' \in \{0UP\}} D_p \cdot Z_{p'pk}) + \sum_{p' \in \{0UP\}} \sum_{p \in \{0UP\}} \sum_k \sum_{l'} \sum_l T_{ll'} \cdot W_{p'pl'l} \quad (45)$$

### ۲-۱-۶-۱- محدودیت‌ها

$$COI_p \cdot x_{pc} \leq COI_{\hat{p}} \cdot x_{\hat{p}c} \quad \forall p \neq \hat{p} \text{ and } c < \hat{c} \quad (46)$$

$$l \cdot y_{lc} \leq l' \cdot y_{l'c} \quad \forall l \neq l' \text{ and } c < \hat{c}, \quad (47)$$

$$\sum_c y_{lc} \leq 1 \quad \forall l, \quad (48)$$

$$\sum_c x_{pc} = 1 \quad \forall p \quad (49)$$

$$\sum_l (I_p^t \cdot f_p \cdot x_{pc}) \leq \sum_l (a_l \cdot y_{lc}) \quad \forall c, t, \quad (50)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{p' \in \{0UP\}} Z_{pp'k} = 1 \quad \forall p \quad (51)$$

$$\sum_t Z_{0pkt} \leq 1 \quad \forall k, t \quad (52)$$

$$\sum_{p' \in \{0UP\}} Z_{pp'k} = \sum_{p' \in \{0UP\}} Z_{p'pk} \quad \forall k, p \in \{0 \cup P\} \quad (53)$$

$$\sum_{p \in P} (I_p^t \cdot f_p) \sum_{p' \in \{0UP\}} Z_{p'pk} \leq Cap_k \quad \forall k, t \quad (54)$$

$$x_{pc} + y_{lc} - 1 \leq U_{plc} \quad \forall l \in L, p \in P, c \in C \quad (55)$$

$$U_{plc} \leq x_{pc} \quad \forall l \in L, p \in P, c \in C \quad (56)$$

$$U_{plc} \leq y_{lc} \quad \forall l \in L, p \in P, c \in C \quad (57)$$

$$\sum_c U_{plc} + \sum_{c'} U_{p'l'c'} + \sum_{k \in K} Z_{p'pk} - 2 \leq W_{p'pl'l} \quad \forall l, l' \in L, p, p' \in P \quad (58)$$

$$\sum_l W_{p'pl'l} \leq \sum_{c'} U_{p'l'c'} \quad \forall l' \in L, p, p' \in P \quad (59)$$

$$\sum_{l'} W_{p'pl'l} \leq \sum_c U_{plc} \quad \forall l \in L, p, p' \in P \quad (60)$$

$$W_{p'pl'l} \leq \sum_{k \in K} Z_{p'pk} \quad \forall l, l' \in L, p, p' \in P \quad (61)$$

$$\sum_c U_{plc} \leq W_{0pl'l} \quad \forall l \in L, p \in P \quad (62)$$

$$x_{pc}, U_{plc}, y_{lc}, W_{p'pl'l}, Z_{p'pk} \in \{0,1\} \quad \forall l, l' \in L, p, p' \in P, c \in C \quad (63)$$

### ۳. یافته‌ها

ابتدا نحوه تولید مسائل نمونه و مشخصات مسائل نمونه بیان شده است. سپس مساله با الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک حل شده و نشان داده می‌شود که جواب‌های به دست آمده از این الگوریتم‌ها نیز معتبر می‌باشد. به منظور مقایسه الگوریتم فرا ابتکاری معرفی شده در این مطالعه نخست تنظیم پارامترهای الگوریتم‌های پیشنهادی صورت گرفته و مناسب‌ترین مقدار برای پارامترهای تاثیرگذار آن‌ها با استفاده از

روش تاگوچی تعیین می‌گردد. سپس معیارهای بهینگی و زمان حل الگوریتم‌ها مقایسه شده و در انتها با استفاده از آزمون‌های فرض آماری عملکرد الگوریتم‌ها مقایسه شده اند.

### ۳-۱- نحوه نمایش جواب‌ها

در مدل مفروض نحوه نمایش جواب مسئله از دو بردار تشکیل شده است. بردار اول محل قرارگیری هر کلاس را نشان می‌دهد. طول این بردار برابر تعداد کلاس‌ها (C) است و اعداد درون این بردار محل قرارگیری هر کلاس را نشان می‌دهد. برای تشریح بهتر مسئله، در ادامه نحوه نمایش جواب و عملگرهای الگوریتم و نحوه تولید جمعیت اولیه برای مسئله به ۶ کلاس و ۶ محل قرارگیری و ۸ محصول و ۴ وسیله نقلیه ارائه شده است. شکل کروموزوم این مسئله نمونه بصورت شکل (۱) است.

کلاس‌ها	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴	کلاس ۵	کلاس ۶
محل قرارگیری	۲	۳	۰	۵	۶	۱

شکل ۱: نمایش جواب برای ۶ کلاس

#### ۳-۱-۱- نمایش جواب برای ۶ کلاس

همانطور که در بالا اشاره شد بخش اول کروموزوم محل قرارگیری هر کلاس را نشان می‌دهد. اعداد صحیح غیر صفر درون این بردار نباید تکراری باشند زیرا در هر محل قرارگیری تنها یک کلاس می‌تواند قرار گیرد. همچنین برخی کلاس‌ها ممکن است استفاده نشوند. که محل قرارگیری آن‌ها صفر می‌شود.

بطور نمونه کلاس ۱ در موقعیت ۲ و کلاس ۴ در موقعیت ۵ قرار می‌گیرد. همچنین کلاس ۳ انتخاب نشده است. قسمت دوم کروموزوم شامل دو سطر است. سطر اول کلاس تخصیص داده شده به هر محصول مشخص می‌شود. و سطر دوم وسیله نقلیه که محصول را انبارش می‌کند مشخص شده است. طول این بردار برابر تعداد محصولات است و اعداد درون آن کلاس‌ها و وسایل نقلیه تخصیص داده شده به هر محصول را نشان می‌دهد. اعداد درون این بردار باید بزرگتر از صفر باشند. شکل کروموزوم این مسئله نمونه بصورت شکل (۲) است.

	محصول ۱	محصول ۲	محصول ۳	محصول ۴	محصول ۵	محصول ۶	محصول ۷	محصول ۸
کلاس تخصیص داده شده	۲	۳	۴	۳	۱	۶	۲	۴
ماشین تخصیص داده شده	۲	۱	۱	۲	۳	۲	۳	۱

شکل ۲: نمایش جواب برای ۸ محصول و ۶ کلاس

#### ۳-۱-۲- نمایش جواب برای ۸ محصول و ۶ کلاس

همانطور که در بالا اشاره شد بخش دوم کروموزوم در سطر اول کلاس تخصیص داده شده به هر محصول را نشان می‌دهد. و مشخص می‌شود که هر محصول در کدام کلاس قرار دارد. بطور نمونه محصولات ۱ و ۷ در کلاس ۲ و محصولات ۲ و ۴ در کلاس ۳ قرار دارند. همچنین در سطر دوم وسایل نقلیه که محصولات را جابجا می‌کنند، مشخص شده اند. بطور مثال محصولات ۲، ۳ و ۸ توسط وسیله نقلیه ۱ حمل می‌شوند.

#### ۳-۲- نحوه تولید جمعیت اولیه

ابتدا محصولات هر ۸ محصول درون ۶ کلاس موجود کلاس بندی شده و به هر محصول یک کلاس تخصیص داده می‌شود. سپس براساس محدودیت‌های مسئله، هر کلاس در یک موقعیت مکانی قرار می‌گیرد. در مرحله بعد یک توالی تصادفی از ۳ وسیله نقلیه موجود ایجاد می‌کنیم و بصورت تصادفی محصولات را براساس ظرفیت وسایل نقلیه و سایر محدودیت‌های مسئله به وسایل نقلیه تخصیص می‌دهیم بطوریکه هیچ محصولی بدون ماشین نماند.

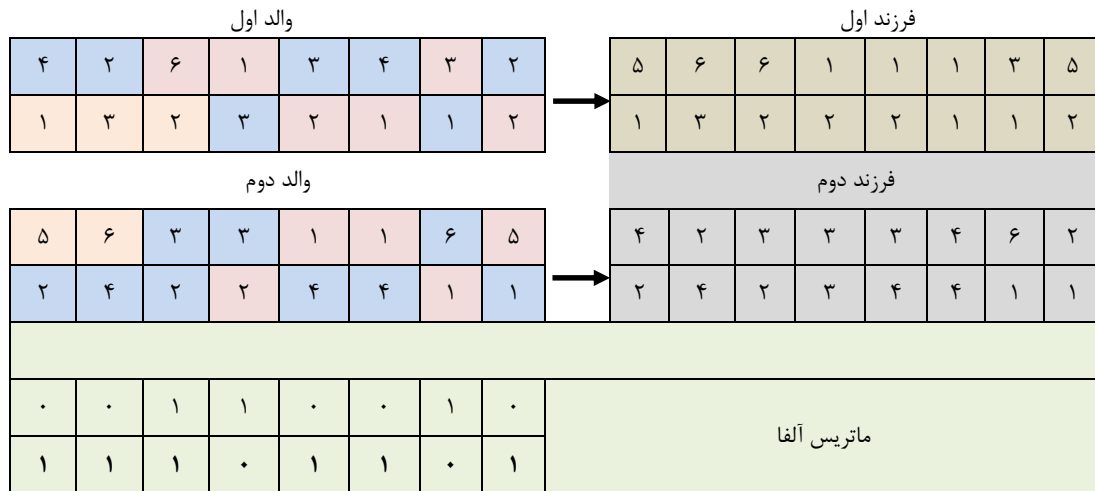
#### ۳-۳- عملگر جهش و ترکیب و شرط توقف الگوریتم ژنتیک

در الگوریتم‌های ژنتیکی به طبع طبیعت آمیزش وجود دارد. آمیزش با تعویض ژن‌ها، بین دو کروموزوم انجام می‌گیرد و هر کدام از کروموزوم‌ها خصوصیتی از خود را به فرزندان انتقال می‌دهند. بدیهی است کروموزوم‌هایی که دارای برازندگی بیشتری هستند شانس بیشتری برای آمیزش دارند. مهم‌ترین عملگر در الگوریتم ژنتیک، عملگر تقاطع است. تقاطع، فرآیندی است که در آن نسل قدیمی کروموزوم‌ها با یکدیگر ترکیب می‌شوند تا نسل تازه‌ای از کروموزوم‌ها به وجود بیاید. برای تمام ماتریس‌های کروموزوم مسئله از عملگر یکنواخت برای ترکیب استفاده شده است:

$$Ch_1 = \text{round}(Paret_1 * Alpha + Paret_2 * (1 - Alpha)) \quad (1)$$

$$Ch_2 = \text{round}(Paret_2 * Alpha + Paret_1 * (1 - Alpha)) \quad (2)$$

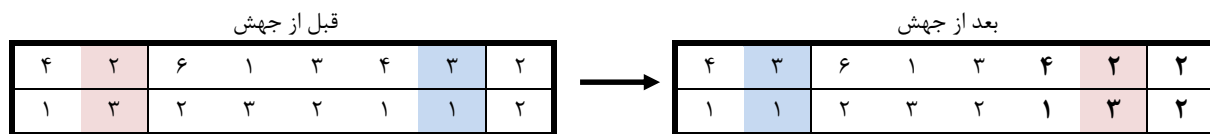
که  $Paret_1$  و  $Paret_2$  به ترتیب پدر و مادر انتخابی بوده و  $\alpha$  یک ماتریس هم بعد ماتریس های کروموزوم می باشد و اعداد درون آن صفر یا یک هستند و  $Ch_1$  و  $Ch_2$  فرزندان حاصل شده می باشند. در شکل زیر عملگر تقاطع برای قسمت دوم کروموزوم برای ۸ محصول به صورت شماتیک در شکل (۳) ارائه شده است.



شکل ۳: عملگر ترکیب برای قسمت دوم کروموزوم

#### ۳-۴- عملگر ترکیب برای قسمت دوم کروموزوم

در الگوریتم ژنتیک بعد از اینکه یک عضو جدید در جمعیت جدید به وجود آمد، هر ژن آن با احتمال جهش، جهش می یابد. در جهش ممکن است ژنی از مجموعه ژن های جمعیت حذف شود یا ژنی که تا به حال در جمعیت وجود نداشته است به آن اضافه شود. برای عملگر جهش نیز برای هر ماتریس کروموزوم یک دو ستون به صورت تصادفی انتخاب می شود و اعداد درون آن ها جابجا می شوند. به طور مثال در شکل (۴) قسمت دوم کروموزوم برای مسئله با ۸ محصول انجام شده است؛ و کلاس و ماشین محصول ۲ با محصول ۷ جابجا شده است.



شکل ۴: عملگر جهش برای قسمت دوم کروموزوم

#### ۳-۵- تنظیم پارامتر و مشخصات مسائل نمونه

از آنجایی که مدل پیشنهادی جدید بوده طبق تحقیقات صورت گرفته مسائل نمونه معیاری برای مساله مطرح شده وجود ندارد از مسائل نمونه که بصورت تصادفی تولید شده است برای حل الگوریتم های پیشنهادی بهره برده می شود. در این تحقیق از ۱۵ مسئله مطابق جدول (۱) برای تولید جواب ها استفاده شده است. همچنین پارامترهای مربوط به مسئله به منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم های پیشنهادی بصورت تصادفی تولید شده اند و از تابع توزیع یکنواخت برای تولید اعداد استفاده شده است. همچنین دامنه تولید پارامترها با توجه به مقالات موجود در این زمینه برای الگوریتم های پیشنهادی در نظر گرفته شده در جدول (۲) ارائه شده است. همچنین احتمال رخداد هر سناریو طوری انتخاب می شود که مجموع احتمال رخداد سناریو ها برابر ۲ شود.

جدول ۱: مشخصات مسائل حل شده

شماره	محصولات	کلاس ها	وسایل نقلیه	دوره زمانی
۱	۲	۲	۱	۳
۲	۵	۲	۲	۳



۳	۸	۲	۲	۵
۴	۱۰	۳	۳	۸
۵	۱۲	۳	۳	۸
۶	۱۵	۴	۳	۱۰
۷	۱۸	۵	۳	۱۰
۸	۲۰	۷	۴	۱۲
۹	۲۵	۸	۴	۱۲
۱۰	۲۸	۱۰	۵	۱۵
۱۱	۳۰	۱۲	۸	۱۵
۱۲	۳۵	۱۵	۸	۱۸
۱۳	۴۰	۱۸	۱۰	۱۸
۱۴	۴۵	۲۰	۱۲	۲۰
۱۵	۵۰	۲۵	۱۵	۲۴

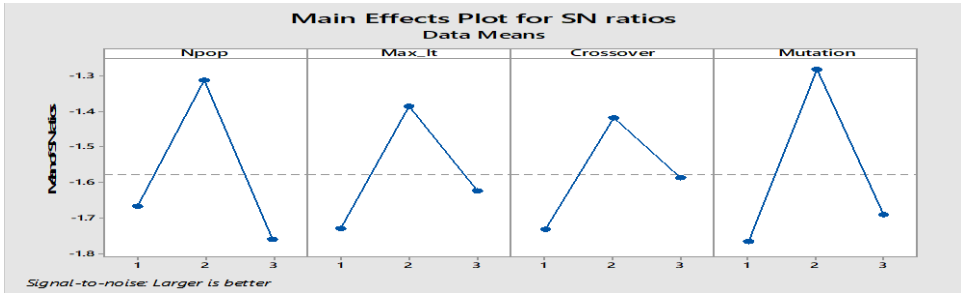
جدول ۲: توابع توزیع احتمال برای تولید پارامترها

پارامتر	$U(a, b)$
$a_i$	$U(80, 150)$
$COI_p$	$U(0.75, 1.2)$
$d_{ll'}$	$U(5, 20)$
$D_p$	$U(20, 45)$
$f_p$	$U(1, 3)$
$I_p^t$	$U(25, 40)$
$C_k$	$U(10, 20)$
$Cap_k$	$U(100, 150)$
$T_{ll'}$	$U(1, 5)$
$ti_{kp}$	$U(3, 7)$

معیار مقدار تابع هدف به عنوان معیار پاسخ در نظر گرفته شده اند. همچنین برای هر فاکتور سه سطح بصورت زیر در نظر گرفته شده است.

- جمعیت اولیه: ۶۰، ۵۰، ۴۰
- حداکثر تعداد تکرار: ۲۰۰، ۱۵۰، ۵۰
- ضریب جابجایی: ۰/۹، ۰/۸، ۰/۷
- ضریب جهش: ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳

در روش تاگوچی از معیار (S/N) استفاده می شود. این معیار مقدار تغییرات رخ داده شده در متغیر پاسخ را نشان می دهد. برای هر فاکتور، مقدار سطحی بهینه و مناسب است که مقدار معیار (S/N) آن بیشتر باشد پس باتوجه به شکل (۵) برای هر چهار فاکتور npop, Mutation, Crossover, max\_it به ترتیب سطح دوم (۵۰)، سطح دوم (۱۵۰)، سطح دوم (۰/۸) و سطح دوم (۰/۲) بهترین مقادیر می باشند.



شکل ۵: نرخ S/N برای ضرایب الگوریتم ژنتیک

جدول ۳: نتایج تنظیم پارامترها الگوریتم ژنتیک

تعداد تکرار الگوریتم	جمعیت اولیه	نرخ ترکیب	نرخ جهش
۱۵۰	۵۰	۰/۸	۰/۲

۳-۶- نتایج محاسباتی الگوریتم پیشنهادی

در این قسمت نتایج محاسبات مثال های حل شده در جدول (۴) با الگوریتم ژنتیک پیشنهادی ارائه شده است. این الگوریتم در نرم افزار MATLAB ورژن b ۲۰۱۳ برنامه نویسی شده است. در این جداول ستون اول شماره مسئله براساس جدول (۱) می باشد. در ستون دوم و سوم مقدار بهینه تابع هدف و زمان حل مسئله به ازای ۱۰ اجرا برای الگوریتم ژنتیک ارائه شده است. برای حل مسئله ابتدا مدل با استفاده از روش LP متریک با مقدار P=1 تبدیل به یک تابع تک هدف شده و تابع هدف مسئله بصورت زیر فرموله می شود.

$$\max Z = W_1 \cdot \frac{(Z_1 - Z_1^{min})}{Z_1^{min}} + W_2 \cdot \frac{(Z_2 - Z_2^{min})}{Z_2^{min}} \quad (3)$$

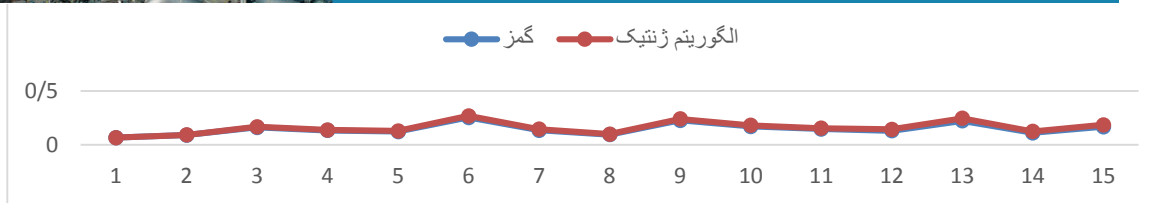
در فرمول بالا W مقدار وزن هر تابع هدف است.  $Z^{min}$  کمترین مقدار بدست آمده برای هر تابع هدف را نشان می دهد. و Z مقدار هر تابع هدف را نشان می دهد. برای حل مسئله ابتدا مینیمم مقدار هر تابع هدف بدست آورده می شود. سپس توابع هدف براساس فرمول بالا نرمالایز می شود. و تابع هدف بصورت مجموع وزنی توابع هدف نرمالایز شده حل می شود. هر میزان مقدار تابع هدف بالا ماکزیمم تر شود یعنی هر ۲ تابع هدف به سمت حالت بهینه خود بیشتر حرکت کرده اند. پس از تبدیل توابع هدف، مسائل نمونه توسط نرم افزار گمز و الگوریتم ژنتیک حل می شوند. در ادامه مقدار RPD حاصل از مسئله برای زمان حل و تابع هدف الگوریتم برای هر مسئله نمونه محاسبه شده است (جدول ۴).

مقدار RPD براساس فرمول بهترین جواب / (مقایسه سستیک - بهترین جواب) محاسبه شده است.

جدول ۴: نتایج حاصل از الگوریتم های پیشنهادی

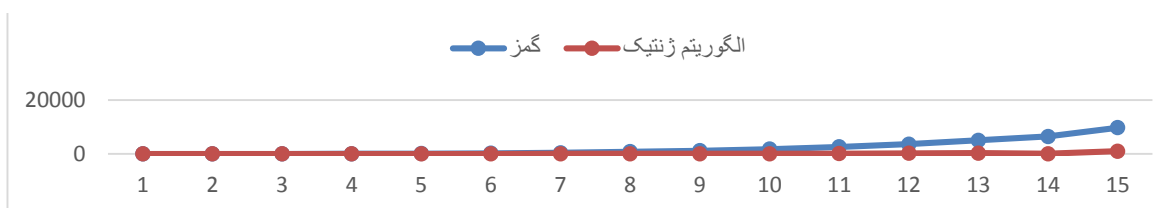
مسئله	گمز		الگوریتم ژنتیک		RPD	
	تابع هدف	مدت زمان اجرا (ثانیه)	تابع هدف	مدت زمان اجرا (ثانیه)	تابع هدف	مدت زمان اجرا (ثانیه)
۱	۰,۰۶۷	۷,۰۴	۰,۰۶۷	۲,۵۲	۰	۱,۷۹
۲	۰,۰۹۱	۹,۱	۰,۰۹۲	۴,۵	۰,۰۱	۱,۰۲
۳	۰,۱۶۳	۱۸,۹۱	۰,۱۶۹	۷,۹۷	۰,۰۳۴	۱,۳۷
۴	۰,۱۳۴	۵۹,۶۶	۰,۱۳۹	۱۲,۴۷	۰,۰۳۹	۳,۷۸
۵	۰,۱۲۴	۱۲۴,۳۳	۰,۱۳	۱۵,۶۲	۰,۰۴۹	۶,۵۹
۶	۰,۲۵۴	۲۵۹,۷۷	۰,۲۶۹	۱۷,۸۷	۰,۰۶	۱۳,۵۴
۷	۰,۱۳۵	۴۲۲,۵۶	۰,۱۴۶	۳۴,۴۹	۰,۰۸۵	۱۱,۲۵
۸	۰,۰۹۵	۸۰۸,۹۴	۰,۱	۴۶,۶۱	۰,۰۵۳	۱۶,۳۶
۹	۰,۲۲۸	۱۲۱۶,۱۷	۰,۲۴۲	۶۲,۹۳	۰,۰۶۱	۱۸,۳۳
۱۰	۰,۱۷۲	۱۷۹۵,۸۳	۰,۱۸۳	۶۴,۸۱	۰,۰۶	۲۶,۷۱
۱۱	۰,۱۴۷	۲۶۴۲,۸۵	۰,۱۵۵	۱۰۱,۹۱	۰,۰۵۵	۲۴,۹۳
۱۲	۰,۱۳۲	۳۶۰۷,۳۳	۰,۱۴۴	۲۵۵,۱۱	۰,۰۹	۱۳,۱۴
۱۳	۰,۲۲۴	۵۰۲۸,۱۸	۰,۲۴۷	۳۰۹,۸	۰,۱۰۴	۱۵,۲۳
۱۴	۰,۱۱۲	۶۴۷۶,۶۲	۰,۱۲۵	۵۲,۶۴	۰,۱۲	۱۲۲,۰۴
۱۵	۰,۱۶۸	۹۷۳۰,۴۲	۰,۱۸۷	۱۰۲۴,۴	۰,۱۱۳	۸,۵۰
میانگین	۰,۱۵۰	۲۱۴۷,۱۷۴	۰,۱۶۰	۱۳۴,۲۴۳	۰,۰۶۲	۱۹,۰۰

مقایسه مقدار تابع هدف حاصل از الگوریتم ژنتیک و گمز در شکل (۶) نیز نشان داده شده است. محور عمودی در شکل (۶) مقدار تابع هدف و محور افقی شماره مسئله نمونه را نشان می دهد.



شکل ۶: مقایسه مقدار تابع هدف الگوریتم پیشنهادی با گمز

شکل (۷) نیز عملکرد الگوریتم‌ها بر اساس معیار زمان حل را نشان می‌دهد.



شکل ۷: مقایسه زمان محاسباتی الگوریتم پیشنهادی با گمز

### ۷-۳- تحلیل واریانس ارزیابی الگوریتم‌ها

برای بررسی مطلوب‌تر الگوریتم‌ها، نیاز به مقایسه الگوریتم‌ها به کمک تحلیل‌های آماری می‌باشد. در این حیطة از تکنیک آزمون فرض بهره‌جسته‌ایم. در این تحقیق از آزمون فرض برابری میانگین سه جامعه دو طرفه بهره‌جسته‌ایم (آزمون توکی). بطوریکه فرض صفر را برابری میانگین‌های معیار ارزیابی در الگوریتم با سطح اطمینان ۰.۹۵٪ در نظر گرفتیم. اگر P-Value بدست آمده کوچکتر از ۰.۰۵ (-۰.۹۵) بدست آید فرض صفر رد شده و نتیجه می‌گیریم تفاوت معناداری بین معیارهای ارزیابی عملکرد روش‌های حل وجود دارد و برعکس. در این تحقیق دو معیار ارزیابی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. معیار اول مقدار تابع هدف و معیار دوم زمان حل الگوریتم مقایسه شده‌اند.

جدول ۵: مشخصه‌های آماری مربوط به هفت معیار مورد بررسی برای هر دو الگوریتم در ساینز کوچک

	SECTION	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Objective Fu.	Gams	۱۵	۲۱۴۷/۱۷۴	۲۹۰۷/۸۲۶	۷۵۰/۷۹۷
	GA	۱۵	۱۳۴/۲۴۳	۲۶۲/۶۲۷	۶۷/۸۱۰
CPU Time	Gams	۱۵	۰/۱۴۹	۰/۰۵۳	۰/۰۱۳
	GA	۱۵	۰/۱۵۹	۰/۰۵۳	۰/۰۱۵

جدول ۶: P-value محاسبه شده برای معیارها برای مسائل

	(P-value)
Objective Fu.	۰/۰۱۲
CPU Time	۰/۰۳۲

### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله به ارائه یک مدل تک هدفه برای ذخیره سازی مبتنی بر کلاس در انبار پرداخته شده است. مدل پیشنهادی قطعی است و به علت NP-Hard بودن مدل، از روش فرا ابتکاری ژنتیک برای یافتن جواب‌های بهینه استفاده شده است. پس از طراحی مدل در ابتدا نحوه نمایش جواب و عملگرهای الگوریتم طراحی شده و شرح داده شده‌اند. بعد از کدنویسی الگوریتم‌ها ابتدا با استفاده از روش تاگوچی پارامترهای الگوریتم تنظیم شده‌اند. در ادامه ۱۵ مسئله نمونه حل طراحی شده و توسط توزیع یکنواخت تولید شدند. سپس الگوریتم‌ها برای ۱۵ مسئله اجرا شدند و دو معیار مقدار تابع هدف و زمان حل الگوریتم محاسبه و استخراج شد. همانطور که از نتایج مشخص شد اختلاف معناداری در خطای ۵٪ برای عملکرد الگوریتم‌ها برای معیار تابع هدف و زمان محاسباتی وجود ندارد و عملکرد دو الگوریتم برای این معیار تقریباً یکسان می‌باشد یعنی مقدار تابع هدف حاصل از الگوریتم ژنتیک اختلاف معناداری با عملکرد گمز ندارد هرچند نتایج حاصل از گمز از الگوریتم ژنتیک بهتر است اما این اختلاف بصورت معنادار نبوده است. همچنین برای معیار زمان نیز زمان حل محاسباتی الگوریتم ژنتیک کمتر از گمز است اما از لحاظ آماری این اختلاف بصورت معناداری نمیباشد. می‌توان



با در نظر گرفتن اولویت بندی محصولات برای قرارگیری به درب خروج براساس زمان خروج محصولات و بحث نرخ تضاد، نزدیکی و دوری محصولات نسبت به یکدیگر در بحث کلاس بندی آن ها و لحاظ کردن محل های مختلف انبارش با شرایط مختلف در انبار و تخصیص محصولات و کلاس ها براساس شرایط انبارش و یا لحاظ نمودن مبحث فساد پذیری، در قالب پیشنهادات آتی، مقاله را توسعه داد.

## ۵. منابع

- فرجاد، ع، محمدی، م، توکلی مقدم، ر. (۱۳۹۸). بهینه سازی استوار مکان یابی تسهیلات - طراحی شبکه پایا در شرایط عدم قطعیت و در محیط رقابتی. نشریه مهندسی صنایع، ۵۱(۳)، ۳۳۷-۳۲۵.
- Bortolini, M., Accorsi, R., Gamberi, M., Manzini, R., & Regattieri, A. (2015). Optimal design of AS/RS storage systems with three-class-based assignment strategy under single and dual command operations. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 79(9-12), 1747-1759.
- Chew, E. P., & Tang, L. C. (1999). Travel time analysis for general item location assignment in a rectangular warehouse. *European Journal of Operational Research*, 112(3), 582-597.
- Coyle, J. J., Bardi, E. J., & Langley, C. J. (1996). *The management of business logistics* (Vol. 6). St Paul, MN: West publishing company.
- De Koster, R., Le-Duc, T., & Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European journal of operational research*, 182(2), 481-501.
- Frazele, E. A., & Sharp, G. P. (1989). Correlated assignment strategy can improve any order-picking operation. *Industrial Engineering*, 21(4), 33-37.
- Gray, A. E., Karmarkar, U. S., & Seidmann, A. (1992). Design and operation of an order-consolidation warehouse: Models and application. *European Journal of Operational Research*, 58(1), 14-36.
- Hwang\*, H., Oh, Y. H., & Lee, Y. K. (2004). An evaluation of routing policies for order-picking operations in low-level picker-to-part system. *International Journal of Production Research*, 42(18), 3873-3889.
- Petersen, C. G., & Aase, G. (2004). A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking. *International Journal of Production Economics*, 92(1), 11-19.
- Parikh, P. J., & Meller, R. D. (2010). A travel-time model for a person-onboard order picking system. *European Journal of Operational Research*, 200(2), 385-394.
- Pan, J. C. H., & Wu, M. H. (2012). Throughput analysis for order picking system with multiple pickers and aisle congestion considerations. *Computers & Operations Research*, 39(7), 1661-1672.
- Pan, J. C. H., Wu, M. H., & Chang, W. L. (2014). A travel time estimation model for a high-level picker-to-part system with class-based storage policies. *European Journal of Operational Research*, 237(3), 1054-1066.
- Roodbergen, K. J., & Koster, R. (2001). Routing methods for warehouses with multiple cross aisles. *International Journal of Production Research*, 39(9), 1865-1883.
- Schleyer, M., & Gue, K. (2012). Throughput time distribution analysis for a one-block warehouse. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(3), 652-666.
- Van Nieuwenhuyse, I., & de Koster, R. B. (2009). Evaluating order throughput time in 2-block warehouses with time window batching. *International Journal of Production Economics*, 121(2), 654-664.