

## ارایه یک مدل کنترل موجودی دو هدفه احتمالی با سفارش دهی بسته‌ای و سیستم توزیع چندسطحی مبتنی بر مساله بسته‌بندی ظرف

سید مسعود طحانیان قمی<sup>۱</sup>، مریم حامدی<sup>۲\*</sup>، رضا توکلی مقدم<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۳- استاد، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه تهران، تهران، ایران

رسید مقاله: ۵ آبان ۱۴۰۱

پذیرش مقاله: ۱۳ اسفند ۱۴۰۱

### چکیده

این مقاله، یک مدل کنترل موجودی - انتخاب توزیع کننده تک محصولی و دو هدفه با تقاضا و زمان تحویل احتمالی نرمال ارایه می‌کند که خرده‌فروش برای تامین تقاضای خود به توزیع کنندگانی در سطوح مختلف سفارش می‌دهد. هر کدام از این توزیع کنندگان دارای قیمت فروش، اندازه بسته و مقدار سفارش مختص به خود هستند. در این مدل دو تابع هدف در نظر گرفته شده است که یکی هزینه‌های سفارش دهی، نگهداری، خرید و حمل و نقل و دیگری تعداد کمبود را کمینه می‌کند. هدف در این مساله این است که علاوه بر این که مقدار اقتصادی سفارش و ضریب اطمینان بهینه پیدا شود، همزمان این مقدار به نحوی به توزیع کنندگانی با اندازه بسته و قیمت فروش متفاوت تخصیص داده شود تا علاوه بر اینکه مقدار سفارش، محدودیت‌های کمینه مقدار سفارش (MOQ) و سفارش دهی بسته‌ای را برآورده کند، توابع هدف نیز کمینه شوند. برای یکپارچگی تمام این موارد در یک مدل از مساله بسته‌بندی ظرف با قیمت و اندازه بسته متفاوت الگوبرگشتی شده است. به منظور حل مدل با توجه به پیچیدگی آن، در ابعاد کوچک، از روش محدودیت پس‌یلون و برای ابعاد بزرگ الگوریتم NSGA-II استفاده شده و نتایج حاصل توسط شاخص‌های میانگین فاصله از آرمان، معیار پراکندگی و زمان حل مورد ارزیابی قرار گرفته است.

**کلمات کلیدی:** سیستم توزیع چندسطحی، سفارش دهی بسته‌ای، بهینه‌سازی چندهدفه.

### ۱ مقدمه و مرور ادبیات

بیشتر مسائل واقعی را نمی‌توان در قالب یک مساله بهینه‌سازی تک‌هدفه مدل‌سازی کرد. این فرض که شرکت‌ها به جای تعامل بین اهداف مختلف فقط به دنبال کمینه (بیشینه) کردن هزینه (سود)های خودشان هستند مورد انتقاد قرار گرفته شده است. به عنوان مثال یک سیستم کنترل موجودی باید علاوه بر کمینه کردن هزینه‌ها، به دنبال

\* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: hamed@pnu.ac.ir

برآورده کردن سطح خدمت‌رسانی مطلوب، که مورد انتظار مشتری است باشد. کمینه کردن هزینه‌ها و بیشینه کردن سطح خدمات به عنوان دو هدف متناقض از جمله اهداف این مسایل است [۱]. از جمله مقالاتی که کمینه کردن هزینه‌ها و کمینه کردن میزان کمبود را به عنوان اهداف مساله مورد بحث قرار داده‌اند مراجع [۲-۴] هستند. یکی از مهم‌ترین انتظارات مشتریان از سیستم موجودی در راستای برآوردن سطح خدمت، کمینه‌بودن میزان کمبود قطعات است که در بعضی اقسام مانند دارو بسیار حیاتی است. عادل و همکاران [۵]. یک مساله یکپارچه‌ی انتخاب تامین‌کننده و تعیین اندازه سفارش را با در نظر گرفتن انتقال جانبی بین انبارها را برای توزیع دارو در کشور مدل‌سازی و حل نمودند.

یکی از موضوعات مورد بحث در این مقاله، مساله بسته‌بندی ظرف<sup>۱</sup> است. مساله بسته‌بندی ظرف جزء مسایل بهینه‌سازی است که در دنیای واقعی کاربرد فراوانی دارد. این مساله جزء مسایل سخت<sup>۲</sup> است [۶]. مساله بسته‌بندی ظرف شامل قرار گرفتن  $n$  شی در تعدادی (معمولاً  $n$ ) بسته است. هر شی یک وزن دارد و هر بسته، یک ظرفیت دارد. هدف مساله این است که طوری شی‌ها به بسته‌ها تخصیص داده شوند که علاوه بر این که کل وزن شی‌هایی که در هر کدام از بسته‌ها قرار می‌گیرند از ظرفیت آن تجاوز نکند هم‌چنین تعداد بسته‌های استفاده‌شده نیز کمینه شود.

در بسیاری از مسایل برای سفارش‌دهی، یک "اندازه بسته استاندارد" تعیین می‌گردد تا سفارشات تنها بر مبنای این اندازه‌ی استاندارد صورت گیرد [۷-۸]. به این نوع سفارش‌دهی، سفارش‌دهی بسته‌ای اطلاق می‌گردد. موضوع دیگر در بحث اندازه‌بسته، تعداد حالت‌های ممکن برای اندازه بسته در هر بخش سیستم توزیع است به طور مثال خرده‌فروش برای خرید یک محصول از تامین‌کنندگان می‌تواند فقط در یک بسته استاندارد و یا در بسته‌های مختلف و با قیمت‌های مختلف اقدام کند. پس در نتیجه می‌توان کارهای تحقیقاتی انجام‌شده در بحث اندازه بسته را به دو گروه تقسیم‌بندی کرد: مقالاتی که در هر بخش از زنجیره‌تامین، فقط از یک نوع اندازه بسته استفاده می‌کنند و مقالاتی که چندین نوع اندازه‌بسته با قیمت متفاوت برای هر واحد محصول را در نظر می‌گیرند. شکافی که در مرور ادبیات وجود دارد این است که در یک بخش خاص از زنجیره‌تامین تا به حال در هیچ مقاله‌ای چند نوع اندازه‌بسته برای سفارش‌دهی و موضوع تصمیم‌گیری در مورد انتخاب بین اندازه‌های بسته موجود در نظر گرفته نشده است [۹-۱۰].

یکی دیگر از مسایل این تحقیق، دستیابی به کمینه مقدارسفارش<sup>۳</sup> (MOQ) است. در صنایع، MOQ و سفارش‌دهی بسته‌ای به طور مستقل یا هم‌زمان استفاده و هر دو توسط تامین‌کنندگان اجرا می‌شوند. هر دوی اینها از نظر اقتصادی می‌تواند فوایدی برای شرکت‌ها داشته باشند. MOQ بدین معنی است که یک سفارش یا اتفاق نمی‌افتد و یا اینکه حداقل باید برابر یا بیشتر از یک سطح مشخصی باشد که برای تامین‌کنندگان از نظر اقتصادی در زمینه تولید و حمل‌ونقل مقرون به صرفه است. استفاده هم‌زمان از MOQ و سفارش‌دهی بسته‌ای برای اولین بار در مقاله ژو و همکاران [۱۱] استفاده شده است.

1 Bin Packing Problem

2 NP-Hard

3 Minimum Order of Quantity(MOQ)

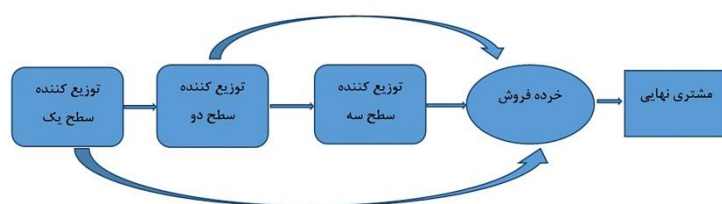
در دنیای واقعیت، خرده‌فروشان سفارش خود را از یک سیستم توزیع چندسطحی تامین می‌کنند. منظور از سیستم توزیع چندسطحی، سیستم توزیعی است که در آن چندین توزیع‌کننده برای یک کالای خاص در سطوح مختلف وجود دارند که هر کدام دارای اندازه بسته<sup>۱</sup> و قیمت فروش مختص به خود هستند و هر توزیع‌کننده براساس قیمت فروش و اندازه بسته سفارش خود، در هر یک از این سطوح قرار می‌گیرند. نکته‌ای که وجود دارد این است که توزیع‌کنندگان در سطوح مختلف کاملاً از هم مستقل هستند. به طور مثال توزیع‌کننده‌هایی که در سطح یک، قرار می‌گیرند آنهایی هستند که معمولاً یا تولیدکننده کالا هستند و یا این که کالای مربوطه را از خارج کشور وارد می‌کنند. مسلم است که این توزیع‌کنندگان برای فروش محصول خود از اندازه بسته سفارش بزرگی مثلاً کانتینر استفاده می‌کنند و به طور حتم قیمت فروش آنها نسبت به سطوح پایین‌تر، کمتر است. هر چه به سطوح توزیع پایین‌تر نزدیک‌تر می‌شویم از اندازه بسته سفارش کاسته و به قیمت فروش افزوده می‌شود و در نهایت در سطح آخر توزیع، خرده‌فروشان هستند که معمولاً اندازه بسته آنها "یک" و دارای بالاترین قیمت فروش هستند. شکافی دیگر که در مرور ادبیات وجود دارد سیستم توزیع چندسطحی است که در هیچ مقاله‌ای بحث نشده است در حالی که موضوعی است که در دنیای واقعی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در سیستم‌های برنامه‌ریزی و کنترل موجودی، دو نوع کمبود به نام‌های "پس‌افت" و "فروش از دست رفته" لحاظ می‌شوند. در شکل ۱ سطح‌بندی توزیع‌کنندگان نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر سطح می‌تواند یک یا چند توزیع‌کننده وجود داشته باشد. نکته دیگر این است که هر چه به سطح خرده‌فروش نزدیک می‌شویم به علت افزایش تعداد توزیع‌کنندگان و عجله مشتریان برای دستیابی به سفارش، ضریب کمبود فروش از دست رفته نسبت به پس‌افت بیشتر می‌شود. به عبارت دیگر مشتریان به علت بالا بودن تعداد رقبا خیلی برای دریافت سفارش صبر نمی‌کنند و در صورت مواجهه با کمبود از توزیع‌کننده دیگر خریداری می‌کنند. در این مقاله، چون مدل برای سفارش‌دهی خرده‌فروش در نظر گرفته شده است، کمبود از نوع فروش از دست رفته در نظر گرفته شده است.

سفارش خرده‌فروش می‌تواند ترکیبی از چند سطح توزیع‌کنندگان باشد. به‌طور مثال می‌تواند دو بسته در سطح یک و سه بسته در سطح دو، سفارش دهد. در شکل ۲ نحوه سفارش‌دهی خرده‌فروش از توزیع‌کنندگان سطوح مختلف نشان داده شده است.



شکل ۱. سطح‌بندی توزیع‌کنندگان



شکل ۲. نحوه سفارش دهی خرده فروش از توزیع کنندگان سطوح مختلف

از مساله بسته بندی ظرف تعمیم‌هایی<sup>۱</sup> (GBPP) تاکنون ارایه شده است: مساله بسته بندی ظرف<sup>۲</sup> (BPP) [۱۱]، مساله بسته بندی ظرف با اندازه متفاوت<sup>۳</sup> (VSBPP) [۱۲] و مساله بسته بندی ظرف با هزینه و اندازه متفاوت<sup>۴</sup> (VCSBPP) [۱۳-۱۴]. در BPP تمام بسته‌ها ظرفیت یکسانی دارند و هدف کمینه کردن تعداد بسته انتخابی است، در VSBPP بسته‌ها ظرفیت متفاوتی دارند و هدف کمینه کردن اتلاف ظرفیت است و در VCSBPP بسته‌ها ظرفیت و هزینه متفاوتی دارند و هدف کمینه کردن هزینه است [۱۵]. مساله مهم دیگر تخصیص سفارش به توزیع کنندگان است [۱۶-۱۷].

مساله بسته بندی ظرف، جز مسایلی است که در حوزه‌های مختلف قابل استفاده است [۱۸-۲۳]. به طور مثال حوزه لجستیک و صنعت. اصطلاح "بسته" در اینجا در واقع یک نام عمومی است که می‌تواند برای "پالت" در حوزه "حمل و نقل"، یا "ایستگاه کاری" در خطوط مونتاژ، یا "مقطعی از زمان" در مسایل زمان بندی و یا "یک سطح" در صنایع فلزات استفاده شود [۲۴]. در این مقاله نیز ما "یک بسته سفارش" را در حوزه سفارش دهی به عنوان "بسته" در نظر گرفته‌ایم. یکی دیگر از کاربردهای مساله بسته بندی ظرف، بحث تخصیص سفارش به سطح توزیع کننده است. مطالعه تحقیقات علمی نشان می‌دهد که در هیچ مقاله‌ای از این مدل برای انتخاب تامین کننده‌ها با اندازه سفارش و قیمت فروش متفاوت استفاده نشده است. در این مقاله، برای تخصیص سفارش به سطوح مختلف توزیع کنندگان از این مدل الگوگیری شده است. مزیت استفاده از این مدل در بحث انتخاب توزیع کننده این است که علاوه بر آسان شدن مدل سازی مساله موجودی- انتخاب توزیع کننده، موجب می‌شود تا مباحث متعددی مانند بحث موجودی و سفارش دهی، بحث انتخاب سطح توزیع کننده و تخصیص سفارش به آنها، بحث MOQ و سفارش دهی بسته‌ای و بحث مدل احتمالی و دو هدفه به صورت یکپارچه در یک مدل مورد استفاده قرار گیرند.

این مقاله، یک مدل کنترل موجودی - انتخاب توزیع کننده دو هدفه با تقاضای احتمالی ارایه می‌کند که خرده فروش برای تامین تقاضای خود به توزیع کنندگانی در سطوح مختلف سفارش می‌دهد هر کدام از این توزیع کنندگان دارای قیمت فروش، اندازه بسته و MOQ مختص به خود هستند. مدل کنترل موجودی در حالت تک محصولی است و میزان تقاضا در زمان تحویل از توزیع نرمال پیروی می‌کند. در این مدل دو تابع هدف

1 Generalized Bin Packing Problem(GBPP)

2 Bin Packing Problem

3 Variable Size Bin Packing Problem(VSBPP)

4 Variable Cost and Size Bin Packing Problem(VCSBPP)

در نظر گرفته شده است که یکی هزینه های سفارش دهی، نگهداری، خرید و حمل و نقل را کمینه می کند و دیگری تعداد کمبود را کمینه می کند. هدف در این مساله این است که علاوه بر اینکه مقدار اقتصادی سفارش و ضریب اطمینان<sup>۱</sup> بهینه پیدا شود، هم زمان این مقدار را طوری به توزیع کننده هایی با اندازه بسته و قیمت فروش متفاوت تخصیص داده شود تا علاوه بر اینکه مقدار سفارش، محدودیت های MOQ و سفارش دهی بسته ای را برآورده کند، توابع هدف نیز کمینه شوند. برای یکپارچگی تمام این موارد در یک مدل از مساله بسته بندی ظرف الگوگیری شده است. به علت وجود توزیع کنندگانی با قیمت و اندازه بسته متفاوت، از VCSBPP استفاده شده است و برای حل مدل از الگوریتم NSGA-II استفاده شده است. به منظور کارایی الگوریتم پیشنهادی در ابعاد کوچک، از روش محدودیت اپسیلون<sup>۲</sup> استفاده شده است و برای ابعاد بزرگ نیز الگوریتم NSGA-II حل و نتایج حاصل ارزیابی گردیده است. در جدول ۱ پیشینه پژوهش های صورت گرفته در این زمینه، نشان داده شده است. ستون سوم بیانگر این است که آیا توزیع کنندگان در مقاله مربوطه نقشی دارند یا خیر و در صورت جواب بله، توزیع کنندگان تک یا چندحالتی هستند. منظور از تک یا چندحالتی این است که توزیع کنندگان در چند پارامتر با یکدیگر تفاوت دارند به طور مثال در این مقاله توزیع کنندگان براساس دو پارامتر قیمت و اندازه بسته با یکدیگر تفاوت دارند. ستون چهارم تعداد اهداف را نشان می دهد. ستون پنجم استفاده از سفارش دهی بسته ای را نشان می دهد. ستون ششم بیانگر این است که بسته ها براساس چند پارامتر با یکدیگر تفاوت دارند. ستون هفتم استفاده از مساله بسته بندی ظرف را نشان می دهد. ستون هشتم استفاده از مساله کمینه مقدار سفارش را نشان می دهد و ستون آخر استفاده از مساله انتخاب تامین کننده را نشان می دهد.

از نوآوری های مقاله می توان به موارد زیر پرداخت:

- ۱- استفاده از مساله بسته بندی ظرف، در بحث های سفارش دهی و انتخاب بین توزیع کنندگان
  - ۲- استفاده از مساله بسته بندی ظرف در یک مدل چندهدفه
  - ۳- تعریف و استفاده از سیستم توزیع چندسطحی
  - ۴- در نظر گرفتن چند نوع اندازه بسته متفاوت، برای سفارش دهی و بحث تصمیم گیری در مورد انتخاب بین اندازه های بسته موجود
  - ۵- استفاده هم زمان از بحث سفارش دهی بسته ای و انتخاب بین چند توزیع کننده
  - ۶- تمام مباحث سفارش دهی بسته ای، MOQ، سیستم توزیع چندسطحی، انتخاب بین توزیع کنندگان و سیستم موجودی دوهدفی احتمالی در یک مدل به صورت یکپارچه آورده شده و حل شده است.
- در ادامه، ابتدا مدل بسته بندی ظرف و تعمیم آن ارائه می شود سپس به تعریف مساله و مدل ریاضی پیشنهادی مقاله پرداخته می شود و نحوه الگوگیری از این مساله در مدل پیشنهادی توضیح داده می شود، سپس به منظور حل مدل پیشنهادی، الگوریتم NSGA-II ارائه می شود و به منظور کارایی الگوریتم پیشنهادی در ابعاد کوچک، از روش محدودیت اپسیلون استفاده شده است و نتایج بررسی و مقایسه می شود. در آخر مسایلی با ابعاد بزرگ با استفاده

از الگوریتم NSGA-II حل می‌شوند و توسط شاخص‌های "میانگین فاصله از آرمان (MID)<sup>۱</sup>" و "معیار پراگندگی (DM)<sup>۲</sup>" و "زمان حل" ارزیابی می‌شود.

#### جدول ۱. پیشینه پژوهش‌های صورت گرفته

| منبع | پژوهشگران                        | تعداد حالات توزیع کنندگان | تعداد اهداف | سفارش‌دهی بسته ای | تعداد حالت بسته | استفاده از بسته‌بندی ظرف | کمینه مقدار سفارش | انتخاب تامین کننده |
|------|----------------------------------|---------------------------|-------------|-------------------|-----------------|--------------------------|-------------------|--------------------|
| [۲۵] | Taleizadeh et al (2010)          | استفاده نشده              | یک          | خیر               | استفاده نشده    | خیر                      | خیر               | خیر                |
| [۲۶] | Topan et al (2010)               | یک                        | یک          | بله               | یک              | خیر                      | خیر               | خیر                |
| [۲۷] | Teimoury et al (2011)            | یک                        | یک          | بله               | یک              | خیر                      | خیر               | خیر                |
| [۲۸] | Glock (2011)                     | یک                        | یک          | خیر               | استفاده نشده    | خیر                      | خیر               | بله                |
| [۲۹] | and Huh Janakiraman (2012)       | یک                        | یک          | بله               | یک              | خیر                      | خیر               | خیر                |
| [۳۰] | Lagodimos et al(2012)            | یک                        | یک          | بله               | یک              | خیر                      | خیر               | خیر                |
| [۳۱] | Yang et al (2014)                | یک                        | یک          | بله               | یک              | خیر                      | خیر               | خیر                |
| [۳۲] | Zhu et al (2015)                 | یک                        | یک          | بله               | یک              | خیر                      | بله               | خیر                |
| [۳۳] | Dehghanbaghi and Sajadieh (2017) | استفاده نشده              | یک          | خیر               | استفاده نشده    | خیر                      | خیر               | خیر                |
| [۳۴] | Jiang et al (2017)               | یک                        | یک          | بله               | یک              | خیر                      | خیر               | خیر                |
| [۳۵] | Li (2020)                        | استفاده نشده              | یک          | بله               | یک              | خیر                      | خیر               | خیر                |
| [۳۶] | Tayyab and Sarkar (2021)         | یک                        | چند         | خیر               | استفاده نشده    | خیر                      | خیر               | بله                |
| [۳۷] | Alejo-Reyes et al (2021)         | چند                       | یک          | خیر               | استفاده نشده    | خیر                      | بله               | بله                |
|      | مقاله حاضر                       | چند                       | چند         | بله               | چند             | بله                      | بله               | بله                |

#### ۲ تعریف مساله و مدل ریاضی پیشنهادی مساله

در این قسمت، ابتدا مدل بسته‌بندی ظرف و تعمیم آن ارایه می‌شود سپس به تعریف مساله و مدل ریاضی پیشنهادی در این مقاله پرداخته می‌شود و در ادامه نحوه الگوگیری از مساله بسته‌بندی ظرف در مدل پیشنهادی توضیح داده می‌شود.

1 Mean Ideal Distance(MID)  
2 Diversitification Metric(DM)

## ۲-۱ مدل‌های ریاضی مساله بسته‌بندی ظرف

فرمول ریاضی بسته‌بندی ظرف توسط مارتلو و تث [۳۸] ارایه شده است. مدل‌های مختلفی برای مساله بسته‌بندی ظرف ارایه شده است. مدل بسته‌بندی ظرف، در ادامه آورده شده است. پارامتر  $c$  بیانگر ظرفیت بسته است و  $w_j$  بیانگر وزن شی  $j$  است. متغیرهای تصمیم‌باینری  $x_{ij}$  برابر مقدار یک است اگر شی  $j$  داخل بسته  $i$  قرار گیرد و متغیر باینری  $y_{jk}$  برابر یک است اگر از بسته  $i$  استفاده شود.

فرمول ریاضی VCSBPP به صورت زیر است. پارامتر  $w_k$  بیانگر ظرفیت بسته از نوع  $k$  است و  $w_i$  بیانگر وزن شی  $i$  است و  $C_k$  بیانگر هزینه استفاده از بسته نوع  $k$  است. متغیرهای تصمیم‌باینری  $x_{ij}$  برابر مقدار یک است اگر شی  $i$  داخل بسته  $j$  قرار گیرد و متغیر باینری  $y_{jk}$  برابر یک است، اگر بسته  $j$  از نوع  $k$  باشد.

| مساله بسته‌بندی ظرف                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | بسته‌بندی ظرف با اندازه و هزینه‌های مختلف                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\text{Min } z(y) = \sum_{i=1}^n y_i$ <p>s.t.</p> $\sum_{j=1}^m w_j \cdot x_{ij} \leq c y_j \quad \text{for } i=1,2,\dots,n$ $\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \text{for } j=1,\dots,n$ $y_i \in \{0,1\} \quad \text{for } i=1,2,\dots,n$ $x_{ij} \in \{0,1\} \quad \text{for } i=1,2,\dots,n \text{ and } j=1,2,\dots,n$ | $\text{Min } \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m c_k y_{jk}$ <p>s.t.</p> $\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \text{for } i=1,2,\dots,n$ $\sum_{k=1}^m y_{jk} = 1 \quad \text{for } j=1,2,\dots,n$ $\sum_{i=1}^m w_i \cdot x_{ij} \leq \sum_{k=1}^m w_k \cdot y_{jk} \quad \text{for } j=1,2,\dots,n$ $x_{ij} \in \{0,1\} \quad \text{for } i,j=1,2,\dots,n$ $y_{ij} \in \{0,1\} \quad \text{for } j=1,2,\dots,n \text{ and } k=1,\dots,m$ |

## ۲-۲ مدل ریاضی پیشنهادی مساله

مدل پیشنهادی این مقاله، یک مدل کنترل موجودی دوهدفه احتمالی است. در این مدل، یک خرده فروش در نظر گرفته شده است که دارای تقاضای احتمالی است. این مدل در حالت تک محصولی است و میزان تقاضا در زمان تحویل از توزیع نرمال پیروی می‌کند. در این مدل چند نوع توزیع‌کننده محصول در نظر گرفته شده است. تفاوت این توزیع‌کننده‌ها در اندازه بسته سفارش و قیمت فروش است که به این حالت، سیستم توزیع چندسطحی گفته می‌شود که قبلاً توضیح داده شد.

## اندیس و پارامترها:

|                               |                                                            |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------|
| $n$ : تعداد بسته‌های سفارش    | $A_j$ : هزینه ثابت سفارش دهی از توزیع‌کننده $j$            |
| $m$ : تعداد توزیع‌کننده‌ها    | $r_j$ : هزینه حمل و نقل از توزیع‌کننده $j$ به ازای یک بسته |
| $h$ : نرخ هزینه نگهداری محصول | $u_j$ : ظرفیت توزیع‌کننده $j$ براساس تعداد بسته            |

$D$ : متوسط تقاضای سالیانه  $MOQ_i$ : کمینه مقدار سفارش برای توزیع کننده  $i$  به ازای

$w_j$ : اندازه بسته سفارش توزیع کننده  $j$  که بسته

یک عدد صحیح است.  $Q(t)$ : توزیع نرمال تقاضا با میانگین  $\mu$  و واریانس  $\sigma^2$  در

$c_j$ : هزینه خرید از توزیع کننده  $j$  مدت زمان تحویل

### متغیرهای تصمیم:

$x_i$ : مقداری از محصول که توسط بسته  $i$  سفارش داده می شود.

$y_{ij}$ : یک متغیر صفر و یک است و زمانی برابر با مقدار یک است که بسته  $i$  از توزیع کننده  $j$  سفارش داده شده باشد.

$k$ : ضریب اطمینان محصول

مدل ریاضی مساله پیشنهادی در زیر آورده شده است:

$$\text{Min } f_1 = h \times \left( \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{2} + k \times \sigma_L \right) + \frac{D}{\sum_{i=1}^n x_i} \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m y_{ij} A_j \right) + \frac{D}{\sum_{i=1}^n x_i} \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m y_{ij} c_j w_j \right) + \frac{D}{\sum_{i=1}^n x_i} \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m y_{ij} r_j \right) \quad (1)$$

$$\text{Min } f_r = \frac{D}{\sum_{i=1}^n x_i} \int_k^\infty (t-k) \phi(t) dt \quad (2)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^m y_{ij} \leq 1 \quad \text{for } i = 1, \dots, n \quad (3) \quad 0 \leq k \leq \left( D / \sigma_L \right) \quad (7)$$

$$x_i = \sum_{j=1}^m w_j y_{ij} \quad \text{for } i = 1, \dots, n \quad (4) \quad \sum_{i=1}^n y_{ij} \leq u_j \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^n y_{ij} \geq MOQ_j \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, m \quad (5) \quad x_i \geq 0 \quad \text{for } i = 1, \dots, n$$

$$0 \leq \sum_{i=1}^n x_i \leq D \quad (6) \quad y_{ij} \in \{0, 1\} \quad \text{for } i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m.$$

معادله (۱) کل هزینه های مورد انتظار سالیانه را کمینه می کند که به ترتیب هزینه های نگهداری، سفارش دهی، خرید و حمل و نقل هستند، معادله (۲) تعداد کمبود را کمینه می کند و عبارت  $\int_k^\infty (t-k) \phi(t) dt$  میانگر متوسط کمبود در مدت زمان تحویل است، معادله (۳) محدودیتی است که تضمین می کند هر بسته فقط به یک توزیع کننده تخصیص داده شود و معادله (۴) و (۵) محدودیت هایی است که بحث سفارش دهی براساس اندازه بسته و MOQ هر توزیع کننده را تضمین می کنند. معادلات (۶) و (۷) نیز محدودیت های مربوط به مقدار اقتصادی سفارش و ضریب اطمینان را نشان می دهد. معادله (۸) نیز محدودیت ظرفیت تعداد بسته هر توزیع کننده را نشان می دهد. باتوجه به این که سفارش دهی باید به صورت بسته ای در نظر گرفته شود؛ لذا محدودیت (۴) در نظر گرفته شده است تا مقدار سفارش به هر توزیع کننده دقیقاً برابر با اندازه بسته سفارش آن باشد. از طرف دیگر



متغیر  $X_i$  که در اصل باید یک متغیر عدد صحیح باشد با در نظر گرفتن این محدودیت، می تواند یک متغیر پیوسته باشد؛ زیرا با در نظر گرفتن این محدودیت حتما مقدار این متغیر عدد صحیح می شود.

### ۲-۳ الگوبری از مساله بسته بندی ظرف در مدل پیشنهادی مقاله

در مدلی پیشنهادی در این مقاله، شی در واقع محصول است و منظور از بسته ها، سفارش یک بسته هستند که می توانند به هر کدام از توزیع کنندگان که دارای اندازه بسته و قیمت فروش مختلف هستند تخصیص داده شوند. در جدول ۲ الگوبری از بسته بندی ظرف نمایش داده شده است.

جدول ۲. الگوبری از مساله بسته بندی ظرف

| مدل پیشنهادی                          | مساله بسته بندی ظرف           |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| محصول                                 | Item                          |
| سفارش یک بسته از توزیع کنندگان متفاوت | Bins                          |
| اندازه بسته توزیع کننده               | Bin capacity                  |
| قیمت فروش توزیع کننده                 | Bin cost                      |
| اندازه بسته و قیمت توزیع کنندگان      | Bin variability               |
| محدودیت های موجودی و سفارش بسته ای    | Restrictions on item ordering |

چون مدل پیشنهادی تک محصولی است منظور از شی، محصولات هستند (کران بالای تعداد محصول مورد نظر در شی، برابر با میزان تقاضای سالیانه است). اما تعداد بسته، که در اینجا معادل سفارش یک بسته است برابر با  $n$  است که می تواند به  $m$  توزیع کننده مختلف، تخصیص داده شود. پس تعداد بسته ( $n$ ) می تواند در بیشترین حالت برابر با میزان تقاضای سالیانه تقسیم بر کوچک ترین اندازه بسته باشد. در واقع این حالت در زمانی اتفاق می افتد که خرده فروش تمام تقاضای خود را از توزیع کننده ای تامین کند که دارای کمترین اندازه بسته و بالاترین قیمت فروش است. تفاوتی که مدل پیشنهادی با مدل بسته بندی ظرف دارد در این است که در مدل بسته بندی ظرف، متغیر  $X_{ij}$  یک متغیر صفر و یک است که اگر شی  $j$  به بسته  $i$  تخصیص داده شود مقدار یک می گیرد؛ اما در مدل پیشنهادی، متغیر  $X_i$  بیانگر مقداری از محصول است که توسط بسته  $i$  سفارش داده می شود و یک متغیر پیوسته و بزرگ تر از صفر است و متغیر  $y_{ij}$  یک متغیر صفر و یک است و زمانی که مقدار یک می گیرد بیانگر این است که سفارش  $i$  به توزیع کننده  $j$  تخصیص داده شده است.

### ۳ روش حل

مدل سفارش دهی در نظر گرفته شده در این مقاله شامل دو تابع هدف کمینه سازی است. به دلیل این که هر دو تابع هدف این مقاله از نوع غیرخطی هستند و همچنین برای مسایلی با ابعاد بزرگ، زمانبر می شود از الگوریتم های فراابتکاری برای حل این مدل استفاده می شود. یکی از الگوریتم های پر کاربرد و انعطاف پذیر در بحث بهینه سازی چندهدفه که عملکرد بسیار خوبی نیز در تولید جواب های پارتو دارد الگوریتم NSGA-II است که توسط دب و همکاران [۳۸] ارایه شده است.

یکی از ویژگی‌های الگوریتم‌های فراابتکاری جستجوی فضای بسیار بزرگی از جواب‌های کاندید است؛ اما با وجود این ویژگی هیچ تضمینی برای یافتن جواب بهینه وجود ندارد به همین منظور معمولاً برای تایید جواب‌های پارتوی به دست آمده توسط این الگوریتم، مدل در ابعاد کوچک توسط یک روش دقیق نیز حل می‌شود. در این مقاله ما از روش محدودیت اسیلون برای رسیدن به این هدف استفاده کرده‌ایم. در نهایت برای بررسی کیفیت جواب‌های تولید شده از شاخص‌های مختلفی استفاده می‌شود که در این مقاله از سه شاخص DM، MID و زمان حل استفاده شده است.

### ۳-۱ الگوریتم NSGA-II

شبه کد الگوریتم NSGA-II در مقاله دب و همکاران [۳۹] ارایه شده است.

#### ۳-۱-۱ ساختار کروموزوم

کروموزوم دارای  $n+1$  ژن است  $n$  ژن اول بیان‌کننده تعداد بسته‌هایی است که به توزیع کنندگان، تخصیص داده می‌شود و هر ژن بیانگر سفارش یک بسته به توزیع کننده نوع  $m$  است و ژن  $n+1$  بیانگر ضریب اطمینان است. در شکل ۳ نحوه نمایش یک کروموزوم با مقادیر  $n=5$  و  $m=3$  نشان داده شده است. این کروموزوم بیانگر سفارش ۴ بسته است که شامل یک بسته از توزیع کننده سطح یک (به ازای ژن شماره یک)، دو بسته از توزیع کننده سطح دو (به ازای ژن‌های شماره سه و پنج) و یک بسته از توزیع کننده سطح سه (به ازای ژن شماره چهار) است. زمانی که یک ژن مقدار صفر می‌گیرد بیانگر این است که به ازای این ژن هیچ بسته‌ای سفارش داده نشده است. در نتیجه کروموزوم شکل ۳ بیانگر سفارش چهار بسته است که دو بسته از توزیع کننده سطح دو و یک بسته از توزیع کننده سطح یک، و یک بسته از توزیع کننده سطح سه است و در نهایت مقدار ضریب اطمینان که برابر  $18/36$  شده است.

| ضریب اطمینان | نوع سفارش یک بسته -<br>شماره پنج | نوع سفارش یک بسته -<br>شماره چهار | نوع سفارش یک بسته -<br>شماره سه | نوع سفارش یک بسته -<br>شماره دو | نوع سفارش یک بسته -<br>شماره یک |
|--------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| ۱۸.۳۶        | ۲                                | ۳                                 | ۲                               | ۰                               | ۱                               |

شکل ۳. ساختار کروموزوم

ژن‌های ۱ تا  $n$  با تولید عدد صحیح تصادفی در بازه  $[0, m]$  به دست می‌آیند و ژن  $n+1$  با تولید عدد تصادفی در بازه  $[0, D/\sigma]$  به دست می‌آید که باعث می‌شود هیچگاه معادله (۶) نقض نشود. در واقع خانه‌های ۱ تا  $n$  کروموزوم بیانگر متغیرهای  $y_{ij}$  هستند. وقتی مقدار اولین ژن در شکل ۳ برابر با یک شده است یعنی مقادیر  $y_{11}=1, y_{12}=0, y_{13}=0, y_{14}=0, y_{15}=0$  هستند. این نوع کروموزوم باعث می‌شود که هیچگاه معادله (۳) نقض نشود. مقادیر  $x_i$  با توجه با معادله (۴) محاسبه می‌شوند که برابر اندازه بسته سفارش توزیع کننده انتخابی است. برای کروموزوم واقع در شکل ۲، تعداد ۱۵ متغیر  $y_{ij}$  وجود دارد که فقط چهارتای آنها مقدار یک می‌گیرند و بقیه مقدار صفر می‌گیرند

$$(y_{11}=1, y_{12}=1, y_{13}=1, y_{14}=1)$$

## ۳-۱-۲ عملگرهای NSGA-II

روش‌های زیادی برای عمل تقاطع مانند روش تک نقطه‌ای، دو نقطه‌ای و چند نقطه‌ای و غیره وجود دارد. در این مساله از روش تک نقطه‌ای استفاده شده است. عملگر تقاطع تک نقطه‌ای، یک عملگر ترکیبی است که شامل سه مرحله است ابتدا دو کروموزوم به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند سپس یک محلی برای عمل تقاطع به طور تصادفی در طول کروموزوم انتخاب کرده و در نهایت مقدار دو کروموزوم را با توجه به محل تقاطع جابه‌جا می‌شود. در شکل ۴ نحوه کار عملگر تقاطع تک نقطه‌ای نشان داده شده است.

|                                  |   |   |   |   |      |
|----------------------------------|---|---|---|---|------|
| والد ۱                           | ۲ | ۳ | ۰ | ۳ | ۲۵/۳ |
| والد ۲                           | ۱ | ۱ | ۲ | ۲ | ۱۰/۴ |
| =تولید یک عدد تصادفی بین (۱ و ۴) |   |   |   |   |      |
| فرزند ۱                          | ۲ | ۳ | ۲ | ۲ | ۱۰/۴ |
| فرزند ۲                          | ۱ | ۱ | ۰ | ۳ | ۲۵/۳ |

شکل ۴. یک مثال از عملگر تقاطع

عملگر جهش دارای انواع مختلفی است. در این مساله از یک روش ترکیبی استفاده شده است که به این صورت است که برای ژن  $n+1$  یک عدد تصادفی در بازه  $[0, D/\sigma]$  تولید می‌شود و میانگین دو عدد محاسبه شده و در ژن  $n+1$  قرار داده می‌شود و برای ژن‌های ۱ تا  $n$  ابتدا یک عدد تصادفی بین  $(n و ۱)$  که بیانگر ژن انتخابی است تولید می‌شود سپس یک عدد تصادفی بین  $(m و ۰)$  تولید می‌شود و جایگزین ژن انتخابی قبلی می‌شود. شکل ۵ نحوه کار عملگر جهش نشان داده شده است.

|                                             |   |   |   |   |      |
|---------------------------------------------|---|---|---|---|------|
| کروموزوم                                    | ۳ | ۰ | ۲ | ۱ | ۴/۸  |
| تولید یک عدد تصادفی بین (۱ و ۴)             |   | ۲ |   |   |      |
| تولید یک عدد تصادفی بین (۰ و ۳)             |   | ۳ |   |   |      |
| تولید یک عدد تصادفی در بازه $[0, D/\sigma]$ |   |   |   |   | ۱۹/۴ |
| کروموزوم جهش یافته                          | ۳ | ۳ | ۲ | ۱ | ۱۲/۱ |

شکل ۵. یک مثال از عملگر جهش

## ۳-۱-۳ تعیین پارامترها

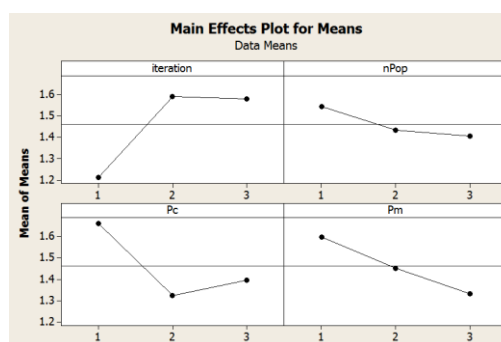
## الف-تعیین پارامترهای الگوریتم NSGA-II

الگوریتم NSGA-II دارای پارامترهایی مانند نرخ تقاطع، نرخ جهش، اندازه جمعیت اولیه، تعداد تکرار هستند که تغییر هر کدام از آنها روی سرعت رسیدن به جواب‌ها و کیفیت آنها تاثیرگذار است. در جدول ۳ تعداد و مقدار

سطوح در نظر گرفته شده متناظر با هر کدام از پارامترها آورده شده است. با مراجعه به جدول استاندارد آرایه‌های متعامد در روش تاگوچی، با نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۴، با تعداد سطح ۳ و عامل ۴ آرایه‌های متعامد  $L_4(3^4)$  و  $L_{27}(3^4)$ ، به عنوان مناسب‌ترین طرح‌ها پیشنهاد می‌شود که در این مقاله از  $L_4(3^4)$  استفاده می‌کنیم. نتایج آزمایشات به طور کامل در جدول ۳ آورده شده است و مقادیر به‌دست آمده برای پارامترهای الگوریتم NSGA-II همان‌طور که در شکل ۶ واضح است برابر است با: تعداد تکرار ۵۰، اندازه جمعیت اولیه ۱۵۰، نرخ تقاطع ۰/۶۵ و نرخ جهش ۰/۴.

جدول ۳. معرفی پارامترهای استفاده شده الگوریتم NSGA-II در روش تاگوچی

| پارامترها | Low | Medium | High |
|-----------|-----|--------|------|
|           | ۱   | ۲      | ۳    |
| MaxIt     | ۵۰  | ۷۵     | ۱۰۰  |
| Npop      | ۵۰  | ۱۰۰    | ۱۵۰  |
| Pc        | ۰/۵ | ۰/۶۵   | ۰/۸  |
| Pm        | ۰/۳ | ۰/۳۵   | ۰/۴  |



شکل ۶. مقادیر سطوح مختلف پارامترهای الگوریتم در نسبت RPD

## ب- تعیین پارامترهای مدل پیشنهادی مساله

در این قسمت، یک مدل کنترل موجودی تک‌محصولی در نظر گرفته شده است و پارامترهای مربوط به بحث کنترل موجودی در جدول ۴ آورده شده است. مقادیری که برای این پارامترها در نظر گرفته شده است مطابق با مقادیر پارامترهای کنترل موجودی در مقالات تسو [۱، ۴۰] است. همچنین برای بحث توزیع‌کنندگان، ۱۲ نوع مختلف توزیع‌کننده در نظر گرفته شده است. مقادیر مربوط به قیمت فروش و اندازه بسته و MOQ هر کدام از آنها در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۴. مقادیر پارامترهای کنترل موجودی

| نوع | D    | $\sigma_L$ | h     | نوع | D     | $\sigma_L$ | H     |
|-----|------|------------|-------|-----|-------|------------|-------|
| ۱   | ۳۴۱۲ | ۵۳/۳۵۴     | ۷/۱۵  | ۵   | ۲۱۵   | ۲/۷۸۱      | ۱۳۰/۵ |
| ۲   | ۴۹۰  | ۵/۰۲۷      | ۷۲/۳  | ۶   | ۲۲۷۷۴ | ۲۴۵/۳۳۳    | ۳/۲۷  |
| ۳   | ۴۷۳۶ | ۵۷/۹۱۱     | ۸/۸۲  | ۷   | ۱۰۵۵۷ | ۸۵/۳۹۵     | ۰/۵۵  |
| ۴   | ۲۰۰  | ۲/۹۶۹      | ۵۷/۹۸ |     |       |            |       |

جدول ۵. اطلاعات قیمت فروش، اندازه بسته و MOQ توزیع کنندگان

| قیمت | $r$  | $A$ | MOQ<br>براساس<br>بسته | اندازه<br>بسته | توزیع<br>کنندگان | قیمت | $r$ | $A$ | MOQ<br>براساس<br>بسته | اندازه<br>بسته | توزیع<br>کنندگان |
|------|------|-----|-----------------------|----------------|------------------|------|-----|-----|-----------------------|----------------|------------------|
| ۵۰   | ۷۵۰  | ۸۱  | ۱                     | ۳۰۰            | ۷                | ۶۰   | ۵۰  | ۷۵  | ۵                     | ۱              | ۱                |
| ۴۸   | ۱۰۰۰ | ۸۲  | ۲                     | ۴۰۰            | ۸                | ۵۹   | ۵۰  | ۷۶  | ۱                     | ۱۰             | ۲                |
| ۴۷   | ۱۲۵۰ | ۸۳  | ۱                     | ۵۰۰            | ۹                | ۵۸   | ۵۰  | ۷۷  | ۱                     | ۲۰             | ۳                |
| ۴۶   | ۱۵۰۰ | ۸۴  | ۱                     | ۶۰۰            | ۱۰               | ۵۶   | ۱۵۰ | ۷۸  | ۲                     | ۵۰             | ۴                |
| ۴۵   | ۱۷۵۰ | ۸۵  | ۱                     | ۷۰۰            | ۱۱               | ۵۴   | ۲۵۰ | ۷۹  | ۱                     | ۱۰۰            | ۵                |
| ۴۳   | ۲۰۰۰ | ۸۶  | ۲                     | ۸۰۰            | ۱۲               | ۵۲   | ۵۰۰ | ۸۰  | ۲                     | ۲۰۰            | ۶                |

## ۳-۲ روش قیود محدود محدودیت اپسیلون

همیز و همکاران [۴۱] روش محدودیت اپسیلون را برای اولین بار مطرح کردند. در این روش یکی از توابع هدف برای بهینه‌سازی انتخاب و توابع دیگر به محدودیت تبدیل می‌شوند.

## ۴ نتایج محاسباتی

در این قسمت، ابتدا مساله در ابعاد کوچک با استفاده از روش محدودیت اپسیلون و الگوریتم NSGA-II حل می‌شود و نتایج به‌دست آمده از دو روش با هم مقایسه می‌شوند. در ادامه ۱۰ مساله مختلف با پارامترهای متفاوت ارایه می‌شود و این ۱۰ مساله با الگوریتم NSGA-II حل می‌شوند و کیفیت جواب‌ها با معیارهای MID، DM و زمان حل ارزیابی می‌شوند.

## ۴-۱ بررسی نتایج برای مساله با ابعاد کوچک

پارامترهای کنترل موجودی این مساله، از ردیف چهارم جدول ۴ استفاده شده است. برای سفارش دهی، ۴ بسته و ۲ نوع توزیع‌کننده مختلف (توزیع‌کنندگان ۳ و ۵) از جدول ۵ در نظر گرفته شده است. ابتدا این مساله توسط روش محدودیت اپسیلون حل می‌شود. بدین منظور تابع هدف مربوط به هزینه‌ها ( $f_i$ ) به عنوان یک محدودیت در نظر گرفته شده است و کران بالای اپسیلون برای آن در نظر گرفته شده است. مقدار  $\epsilon$  برابر با ۲۰۰۰۰ در نظر گرفته شده است. نتایج مربوط به این محاسبات در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶. جواب روش محدودیت اپسیلون و الگوریتم NSGA-II

| $f_r$                                               | $K$     | $Q = \sum_{i=1}^r x_i$ | نوع توزیع‌کننده برای<br>بسته چهار | نوع توزیع‌کننده<br>برای بسته سه | نوع توزیع‌کننده<br>برای بسته دو | نوع توزیع‌کننده<br>برای بسته یک |
|-----------------------------------------------------|---------|------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| جواب بهینه روش محدودیت اپسیلون                      |         |                        |                                   |                                 |                                 |                                 |
| ۱۰/۵۵۷۸                                             | ۳۴/۷۶۷۷ | ۱۰۰                    | ۰                                 | ۰                               | ۰                               | ۵                               |
| نزدیک جواب الگوریتم NSGA-II به جواب محدودیت اپسیلون |         |                        |                                   |                                 |                                 |                                 |
| ۱۰/۹۱۷۲                                             | ۳۴/۵۸۱۲ | ۱۰۰                    | ۰                                 | ۰                               | ۰                               | ۵                               |

این مساله با الگوریتم NSGA-II نیز حل شده است. نزدیک‌ترین جواب نامغلوب به‌دست آمده از روش NSGA-II به جواب روش محدودیت اپسیلون در جدول ۶ نمایش شده است. با مقایسه نتایج به‌دست آمده از

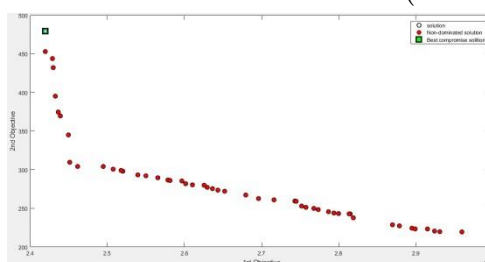
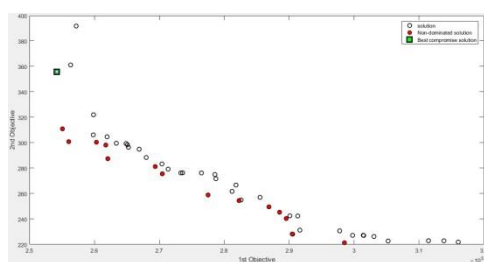
روش NSGA-II و محدودیت اپسیلون برای این مساله، این نتیجه حاصل می شود که اختلاف نتایج بسیار ناچیز هستند.

#### ۲-۴ بررسی نتایج برای مساله با ابعاد بزرگ

##### ۱-۲-۴ شاخص های ارزیابی الگوریتم

برای آشنایی با دو شاخص میانگین فاصله از آرمان (MID) و معیار پراگندگی (DM) به مقاله [۴۲] مراجعه شود. تمام محاسبات توسط کامپیوتر با Intel Core i3-4130 CPU 3.40 GHz و RAM 4GB حل شده است. در شکل ۷ خط پارتو الگوریتم NSGA-II را برای دو تکرار مشاهده می کنید. در شکل سمت چپ با ۵ تکرار، جوابی که کمترین مقدار MID را دارد نقطه  $(۳۵۸, ۵۴ \times 10^4 / ۲)$  با MID=۱۶۹۳۳ و برای شکل سمت راست نقطه

$(۴۷۹, ۴۳ \times 10^4 / ۲)$  با MID=۴۸۶۰ است.



شکل ۷. خط پارتو الگوریتم NSGAII با اندازه جمعیت ۵۰  
سمت چپ: ۵ تکرار و سمت راست: ۵۰ تکرار

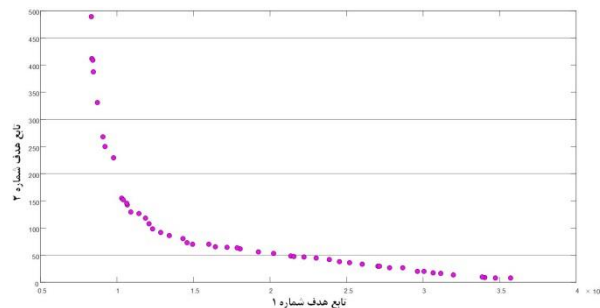
##### ۲-۲-۴ محاسبات الگوریتم در ابعاد بزرگ

برای بررسی کیفیت جواب های الگوریتم پیشنهادی در ابعاد بزرگ، ۱۰ مساله توسط الگوریتم، حل و بررسی شده است. برای بررسی کیفیت جواب های حاصل از الگوریتم NSGA-II از MID و DM و زمان حل در ابعاد بزرگ استفاده می شود. پارامترهای مربوط به بحث کنترل موجودی، مطابق با مقادیر پارامترهای کنترل موجودی در مقالات تسو [۱، ۴۲] است که در جدول ۴ آورده شده است. همچنین برای بحث توزیع کنندگان، ۱۲ توزیع کننده مختلف در نظر گرفته شده است. با استفاده از ۷ نوع پارامترهای موجودی ارایه شده در جدول ۳ و دوازده توزیع کننده ارایه شده در جدول ۵، تعداد ده مساله تولید شده است و هر کدام از آنها توسط الگوریتم NSGA-II حل شده است. نتایج محاسباتی الگوریتم NSGA-II برای ده مساله در جدول ۷ آورده شده است. ستون دوم این جدول بیانگر نوع پارامترهای کنترل موجودی انتخاب شده از جدول ۴ است. به طور مثال برای مساله یک، از پارامترهای کنترل موجودی نوع دوم از جدول ۴ استفاده شده است. ستون سوم این جدول بیانگر تعداد بسته های سفارش است، ستون چهارم، تعداد توزیع کنندگان لحاظ شده را نشان می دهد، ستون پنجم بیانگر این است که از ۱۲ توزیع کننده موجود، کدامیک در مدل استفاده شده اند. در ستون ششم تا هشتم، هر مساله توسط الگوریتم حل شده است و معیار MID در ستون ششم، معیار DM در ستون هفتم و زمان حل در ستون هشتم قرار داده شده است.

هر مساله با سه تکرار متفاوت حل شده است که در ستون نه تا یازده، هر مساله با ۵۰ تکرار حل شده است و در ستون ۱۱ تا ۱۳، مساله با ۷۵ تکرار حل شده و در ستون ۱۴ تا ۱۶، مساله با ۱۰۰ تکرار حل شده است. شکل ۸ نمودار پارتویی جواب های نامغلوب مساله شماره هشت با ۱۰۰ تکرار را نشان می دهد.

جدول ۷. نتایج محاسباتی الگوریتم NSGA-II برای ۱۰ مساله

| مساله | نوع پارامتر موجودی | تعداد بسته (n) | تعداد انواع توزیع کننده (m) | توزیع کنندگان لحاظ شده | با ۵۰ تکرار NSGA-II         |                            |                | با ۷۵ تکرار NSGA-II         |                            |                | با ۱۰۰ تکرار NSGA-II        |                            |                |
|-------|--------------------|----------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------|-----------------------------|----------------------------|----------------|-----------------------------|----------------------------|----------------|
|       |                    |                |                             |                        | MID<br>( $\times 10^{-2}$ ) | DM<br>( $\times 10^{-2}$ ) | (باز حل اولیه) | MID<br>( $\times 10^{-2}$ ) | DM<br>( $\times 10^{-2}$ ) | (باز حل اولیه) | MID<br>( $\times 10^{-2}$ ) | DM<br>( $\times 10^{-2}$ ) | (باز حل اولیه) |
| ۱     | ۲                  | ۱۰             | ۳                           | ۱ و ۴                  | ۱/۳۲                        | ۲/۰۳                       | ۱۱/۳۲          | ۱/۲۴                        | ۲/۰۳                       | ۱۶/۹۹          | ۱/۱۸                        | ۲/۰۹                       | ۲۲/۳۴          |
| ۲     | ۷                  | ۱۵             | ۱۰                          | ۱-۱۰                   | ۷/۴                         | ۵/۲                        | ۱۱/۲۰          | ۷/۱۲                        | ۵/۲۱                       | ۱۶/۵۱          | ۱۱/۱۵                       | ۵/۲۶                       | ۲۱/۸۹          |
| ۳     | ۱                  | ۵              | ۲                           | ۳ و ۵                  | ۸/۷۶                        | ۶/۶۱                       | ۱۰/۹۱          | ۸/۶۲                        | ۶/۶۱                       | ۱۶/۲۵          | ۱۰/۸۱                       | ۸/۷۰                       | ۲۱/۹۳          |
| ۴     | ۶                  | ۲۰             | ۱۲                          | ۱-۱۲                   | ۱/۵۴                        | ۱/۱۳                       | ۱۱/۸۸          | ۱/۴۲                        | ۱۱/۳                       | ۱۷/۵۵          | ۱۱/۷۲                       | ۱/۵۵                       | ۲۲/۹۴          |
| ۵     | ۳                  | ۲۵             | ۱۱                          | ۱-۱۱                   | ۳/۸۶                        | ۲/۹۸                       | ۱۰/۹۲          | ۳/۷۵                        | ۲/۹۴                       | ۱۶/۵۴          | ۱۰/۷۹                       | ۲/۹۹                       | ۲۱/۹۱          |
| ۶     | 6                  | ۳۰             | ۱۲                          | ۱-۱۲                   | ۱/۵۷                        | ۱/۱۵                       | ۱۱/۹۳          | ۱/۵۵                        | ۱/۱۷                       | ۱۷/۶۵          | ۱/۱۸                        | ۱/۱۸                       | ۲۳/۲۱          |
| ۷     | ۲                  | ۱۲             | 5                           | 1-5                    | ۵/۹۱                        | ۵/۷۱                       | ۱۰/۱۸          | ۵/۷۷                        | ۵/۸۲                       | ۱۵/۱۵          | ۱۰/۰۸                       | ۵/۹۱                       | ۲۰/۴۳          |
| ۸     | ۴                  | ۸              | ۳                           | ۲ و ۴                  | ۲/۳۱                        | ۲/۱۳                       | ۱۰/۲۹          | ۲/۲۱                        | ۲/۲۵                       | ۱۵/۲۴          | ۱۰/۲۲                       | ۱۵/۳                       | ۲۰/۴۶          |
| ۹     | ۱                  | ۱۴             | ۴                           | ۱ و ۳ و ۱۰             | ۲/۶۶                        | ۲/۰۵                       | ۱۱/۸۵          | ۲/۵۲                        | ۲/۱۳                       | ۱۷/۴۵          | ۱/۱۶                        | ۱/۷۵                       | ۲۳/۰۹          |
| ۱۰    | ۷                  | ۲۲             | ۹                           | ۱-۹                    | ۷/۷۳                        | ۵/۳۳                       | ۱۲/۰۸          | ۷/۵۹                        | ۵/۴۵                       | ۱۷/۴۱          | ۷/۴۸                        | ۵/۴۹                       | ۲۲/۹۴          |



شکل ۸. نمودار پارتویی جواب های نامغلوب الگوریتم NSGA-II

## ۵ نتیجه گیری

در این مقاله، به بررسی یک مدل موجودی-سفارش دهی دوهدفه پرداخته شد که تابع هدف اول آن کمینه کردن هزینه ها بود، هزینه ها شامل هزینه های سفارش دهی، نگهداری، حمل و نقل و خرید و تابع هدف دوم بیانگر کمینه کردن تعداد کمبود بود و میزان تقاضا در لیدتایم دارای توزیع نرمال بود. در این مقاله چندین توزیع کننده با اندازه بسته، قیمت فروش و MOQ متفاوت در نظر گرفته شده بودند. خرده فروش برای تامین تقاضا با در نظر گرفتن اهداف و محدودیت ها، سفارش را به توزیع کنندگان تخصیص می دهد. در این مقاله از مساله بسته بندی ظرف برای تخصیص سفارش به توزیع کنندگان مختلف الگوگیری شده است. این مساله توسط الگوریتم NSGA-II حل شد و برای بررسی نتایج مساله در یک ابعاد کوچک توسط روش محدودیت پسیلون نیز حل و

نتایج بررسی شد. نتایج حاصله نشان داد که اختلاف نتایج به دست آمده توسط این دو روش بسیار ناچیز است. همچنین برای ابعاد بزرگ نیز، ۱۰ مساله با ابعاد بزرگ توسط الگوریتم NSGA-II حل و نتایج محاسباتی توسط سه شاخص میانگین فاصله از آرمان (MID) و معیار پراگندگی (DM) و زمان حل ارزیابی شد.

## منابع

- [1] Tsou, C.S. (2008). Multi-objective inventory planning using MOPSO and TOPSIS. *Expert Systems with Applications*, 35, 136-142.
- [2] Agrell, P. J. (1995). A multicriteria framework for inventory control. *International Journal of Production Economics*, 41, 59-70.
- [3] Sadeghian R, Hassani A H. A Multi Objective Model for Multi-Item Multi-Period Inventory Planning with Substitutable Goods and Random Demand and Solving by NSGA II and DE. *Journal of Intelligent and Manufacturing Systems*, 2021; 18 (4) :121-135.
- [4] Srivastav, A., Agrawal S. (2017). Multi-Objective Optimization of Slow Moving Inventory System Using Cuckoo Search. *Intelligent Automation and Soft Computing*, 20, 1-7.
- [5] Adeli M, Zandieh M, Motameni A, Ayyough A. Multiobjective Sourcing and Lot Sizing of Drug with Considering Multi-Sourcing and Lateral Transshipment in Stochastic Conditions with Simulation Optimization Method. *Journal of Intelligent and Manufacturing Systems*, 2020; 17 (4) :41-62.
- [6] Garey, M. R., & Johnson, D. (1979). *A Guide to the Theory of NP-Completeness*, Freeman, San Francisco. *Computers and Intractability*, 26, 618-630.
- [7] Hwang, J., Wan, Y. (2013). A supplier-retailer supply chain with intermediate storage for batch ordering. *International Journal of Production Economics*, 142, 343-352.
- [8] Yang, Y., Yuan, Q., Xue, W., Zhou, Y. (2014). Analysis of batch ordering inventory models with setup cost and capacity constraint. *Int. J. Prod. Econ.* 155, 340-350.
- [9] Akbalik, A., Hadj-Alouane, A. B., Sauer, N., & Ghribi, H. (2017). Np-hard and polynomial cases for the single-item lot sizing problem with batch ordering under capacity reservation contract. *European Journal of Operational Research*, 257, 483-493.
- [10] Jiang, D., Tan, J., Li, B. (2017). Order acceptance and scheduling with batch delivery. *Computers and Industrial Engineering*, 107, 100-104.
- [11] Zhu, H., Liu, X., & Chen, Y. (2015). Effective inventory control policies with a minimum order quantity and batch ordering. *International Journal of Production Economics*, 168, 21-30.
- [12] Monaci, M. (2002). *Algorithms for Packing and Scheduling Problems*. PhD Thesis, University di Bologna, Bologna, Italy.
- [13] Correia, I., Gouveia, L., & Saldanha-da-Gama, F. (2008). Solving the variable size bin packing problem with discretized formulations. *Computers and Operations Research*, 35, 2103-2113.
- [14] Crainic, T. G., Perboli, G., Rei, W., & Tadei, R. (2011). Efficient lower bounds and heuristics for the variable cost and size bin packing problem. *Computers and Operations Research*, 38, 1474-1482.
- [15] Baldi, M. M., Crainic, T. G., Perboli, G., & Tadei, R. (2012). The generalized bin packing problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48, 1205-1220.
- [16] Alikhani Reza, Sadegh Amal Nik Mohsen. An integrated multi-objective model for the problem of supplier selection with multiple items and optimal order allocation. *Operations research and its applications*. 2015; 11 (4): 15-37
- [17] Yakideh Kikhosro, Sarvari Eshliki Zahra, Pourshikh Ahandani Tahereh. Presenting an integrated model for supplier selection and order allocation using multi-objective planning and adjusted TOPSIS. *Operations research and its applications*. 2019; 15 (2): 109-123
- [18] Coffman, E.G., Leung, J.Y. and Ting, D.W. (1978). Bin Packing: Maximizing the number of Pieces Packed. *Acta Inform.* 9, 263-271.
- [19] Wang, T., Peng, T., Hung, J. (2016). Modeling fabric cutting scheduling as mixed integer programming. *Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, IEEE International Conference on, PP.922-926.
- [20] Crainic, T. G., Gobbato, L., Perboli, G., Rei, W. (2016). Logistics capacity planning: A stochastic bin packing formulation and a progressive hedging meta-heuristic. *European Journal of Operational Research*, 253, 404-417.



- [21] Polyakovskiy, S., Makarowsky, A., M'Hallah, Rym. (2017). Just-in-time batch scheduling problem with two-dimensional bin packing constraints. *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference*, 23, 321-328.
- [22] Hu, Q., Wei, L., Lim, Andrew. (2018). The two-dimensional vector packing problem with general costs. *Omega*, 74, 59-69.
- [23] Tahanian, M., Tavakoli Moghadam, R. (2016). Stochastic BI-OBJECTIVE Inventory Control with Multi-Mode Transportation and the Use of a Bin Packing Problem. - *Sharif Scientific and Research Journal, Industrial engineering and management*. Volume 32.1, Number 1.2, Spring and Summer 2015, pp. 97-107.
- [24] Kaaouache, M., Bouamama, S. (2015). Solving bin packing problem with a hybrid genetic algorithm for VM placement in cloud. *Procedia Computer Science*. 60, 1061-1069.
- [25] Taleizadeh, A. A., Niaki, S. T. A., Shafii, N., Meibodi, R. G., & Jabbarzadeh, A. (2010). A particle swarm optimization approach for constraint joint single buyer-single vendor inventory problem with changeable lead time and (r,Q) policy in supply chain. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 51, 1209-1223.
- [26] Topan, E., Pelin Bayindir, Z., & Tan, T. (2010). An exact solution procedure for multi-item two-echelon spare parts inventory control problem with batch ordering in the central warehouse. *Operations Research Letters*, 38, 454-461.
- [27] Teimoury, E., Mazlomi, A., & Nadafioun, R. (2011). Inventory planning with batch ordering in multi-echelon multi-product supply chain by queuing approach. *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, 2, 1428-1433.
- [28] Glock, C. H. (2011). A multiple-vendor single-buyer integrated inventory model with a variable number of vendors. *Computers and Industrial Engineering*, 60, 173-182.
- [29] Huh, WT., Janakiraman, G. (2012). On optimal policies for inventory systems with batch ordering. *Operations research*, 60, 797-802.
- [30] Lagodimos, A., Christou, I., Skouri, K. (2012). Optimal (r, nQ, T) batch ordering with quantized supplies. *Computers and Operations Research*. 39, 259-268.
- [31] Yang, Y., Yuan, Q., Xue, W., Zhou, Y. (2014). Analysis of batch ordering inventory models with setup cost and capacity constraint. *Int. J. Prod. Econ.* 155, 340-350.
- [32] Zhu, H., Liu, X., & Chen, Y. (2015). Effective inventory control policies with a minimum order quantity and batch ordering. *International Journal of Production Economics*, 168, 21-30.
- [33] Dehghanbaghi, N., Sajadieh, MS. (2017). Joint optimization of production, transportation and pricing policies of complementary products in a supply chain, *Computers & Industrial Engineering*, 107, 150-157.
- [34] Jiang, D., Tan, J., Li, B. (2017). Order acceptance and scheduling with batch delivery. *Computers and Industrial Engineering*, 107, 100-104.
- [35] Li, X. (2020). Valuing lead-time and its variance in batch-ordering inventory policies. *International Journal of Production Economics*, 228, 107731.
- [36] Tayyab, M., Sarkar, B. (2021). An interactive fuzzy programming approach for a sustainable supplier selection under textile supply chain management. *Computers & Industrial Engineering*, 155, 107164.
- [37] Alejo-Reyes, A., Mendoza, A., Olivares-Benitez, E. (2021). A heuristic method for the supplier selection and order quantity allocation problem. *Applied Mathematical Modelling*, 90, 1130-1142.
- [38] Martello, S., & Toth, P. (1990). *Knapsack Problems: Algorithms and Computer Implementations*. New York :Wiley.
- [39] Deb, K., Pratap, A., Agarwal S. (2002). A fast and elitist multi objective genetic algorithm: NSGA-II", *IEEE Trans Evol Comput*, 2, 182-97.
- [40] Tsou, C.S. (2009). Evolutionary pareto optimizers for continuous review stochastic inventory systems. *European Journal of Operational Research*, 195, 364-371.
- [41] Srinivas, N., Deb, K. (1994). Multi objective optimization using non-dominated sorting in genetic algorithms, *Evol Comput*, 2, 21-48.
- [42] Deb, Kalyanmoy. (2001). *Multi-objective optimization using evolutionary algorithms*, John Wiley & Sons, 16.