مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال بیستم، شماره سوم (پیاپی ۷۸)، پاییز ۰۲، ص ص ۱۷-۱
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

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

سید مسعود طحانیان قمی[۱]، مریم حامدی[۲*]، رضا توکلی مقدم[۳]
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 توزیع‌کننده تک محصولی و دو هدفه با تقاضا و زمان تحویل احتمالی نرمال ارایه می‌کند که خرده‌فروش برای تامین تقاضای خود به توزیع‌کنندگانی در سطوح مختلف سفارش می‌دهد. هر کدام از این توزیع‌کنندگان دارای قیمت فروش، اندازه بسته و مقدار سفارش مختص به خود هستند. در این مدل دو تابع هدف درنظر گرفته‌شده‌است که یکی هزینه‌های سفارش‌دهی، نگهداری، خرید و حمل‌ونقل و دیگری تعداد کمبود را کمینه می‌کند. هدف در این مساله این است که علاوه بر این‌که مقدار اقتصادی سفارش و ضریب اطمینان بهینه پیدا شود، همزمان این مقدار به نحوی به توزیع‌کننده‌هایی با اندازه‌بسته و قیمت‌فروش متفاوت تخصیص داده شود تا علاوه بر اینکه مقدار سفارش، محدودیت‌های کمینه مقدار سفارش (MOQ) و سفارش‌دهی بسته‌ای را برآورده کند، توابع هدف نیز کمینه شوند. برای یکپارچگی تمام این موارد در یک مدل از مساله بسته‌بندی‌ظرف با قیمت و اندازه‌بسته متفاوت الگوگیری شده‌است. به منظور حل مدل با توجه به پیچیدگی آن، در ابعاد کوچک، از روش محدودیت اپسیلون و برای ابعاد بزرگ الگوریتم NSGA-II استفاده‌شده و نتایج حاصل توسط شاخص‌های میانگین فاصله از آرمان، معیار پراکندگی و زمان حل مورد ارزیابی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: سیستم توزیع چندسطحی، سفارش‌دهی بسته‌ای، بهینه‌سازی چندهدفه.

۱ مقدمه و مرور ادبیات
بیشتر مسایل 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 گرفته‌شده است. به عنوان مثال یک سیستم کنترل موجودی باید علاوه بر کمینه کردن هزینه‌ها، به‌دنبال

* عهده‌دار مکاتبات
آدرس الکترونیکی: hamedi@pnu.ac.ir

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-09-30]
[DOI: 10.22034/20.3.1]

برآورده‌کردن سطح خدمت‌رسانی مطلوب، که مورد انتظار مشتری است باشد. کمینه‌کردن هزینه‌ها و بیشینه‌کردن سطح خدمات به عنوان دو هدف متناقض از جمله اهداف این مسایل است [۱]. از جمله مقالاتی که کمینه‌کردن هزینه‌ها و کمینه‌کردن 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 اقلام مانند دارو بسیار حیاتی است. عادلی 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[1] است. مساله بسته‌بندی ظرف جزء مسایل بهینه‌سازی است که در دنیای واقعی کاربرد فراوانی دارد. این مساله جزء مسایل سخت[2] است [۶]. مسأله بسته‌بندی ظرف شامل قرارگرفتن 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 این‌که 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 تحقیقایی 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 به‌حال 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[3] (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)

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-09-30]
[DOI: 10.22034/20.3.1]

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[1] و قیمت‌فروش 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 کاملا از هم مستقل هستند. به طور مثال توزیع‌کننده‌هایی که در سطح یک، قرار می‌گیرند آنهایی هستند که معمولا یا تولیدکننده کالا هستند و یا این‌که کالای مربوطه را از خارج کشور وارد می‌کنند. مسلم است که این توزیع‌کنندگان برای فروش محصول خود از اندازه بسته سفارش بزرگی مثلا 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 اندازه‌بسته سفارش کاسته و به قیمت‌فروش افزوده می‌شود و در نهایت در سطح آخر توزیع، خرده‌فروشان هستند که معمولا اندازه‌بسته 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 نام های "پس افت" 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.

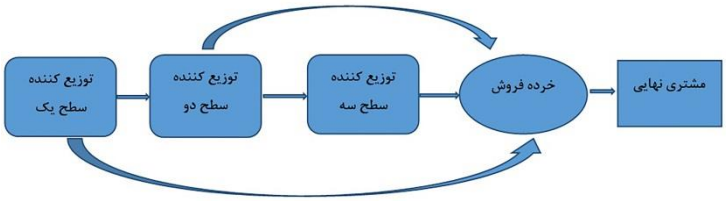
سفارش خرده فروش می‌تواند ترکیبی از چند سطح توزیع‌کنندگان باشد. به‌طور مثال می‌تواند دو بسته در سطح یک و سه بسته در سطح دو، سفارش دهد. در شکل ۲ نحوه سفارش‌دهی خرده‌فروش از توزیع‌کنندگان سطوح مختلف نشان داده شده است.

شکل ۱. سطح‌بندی توزیع‌کنندگان

1 Batch Size

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-09-30]

[DOI: 10.22034/20.3.1]



شکل ۲. نحوه سفارش‌دهی خرده‌فروش از توزیع‌کنندگان سطوح مختلف

از مساله بسته‌بندی ظرف تعمیم‌هایی[1] (GBPP) تاکنون ارایه شده است: مساله بسته‌بندی ظرف[2] (BPP) [۱۱]، مساله بسته‌بندی ظرف با اندازه متفاوت[3] (VSBPP) [۱۲] و مساله بسته‌بندی ظرف با هزینه و اندازه متفاوت[4] (VCSBPP) [۱۴-۱۳]. در BPP تمام بسته‌ها ظرفیت یکسانی دارند و هدف کمینه‌کردن تعداد بسته انتخابی است، در VSBPP بسته‌ها ظرفیت متفاوتی دارند و هدف کمینه‌کردن اتلاف ظرفیت است و در VCSBPP بسته‌ها ظرفیت و هزینه متفاوتی دارند و هدف کمینه‌کردن هزینه است [۱۵]. مساله مهم دیگر تخصیص سفارش به توزیع‌کنندگان است [۱۷-۱۶].

مساله بسته‌بندی ظرف، جز مسایلی است که در حوزه‌های مختلف قابل استفاده است [۲۳-۱۸]. به طور مثال حوزه لجستیک و صنعت. اصطلاح "بسته" در اینجا در واقع یک نام عمومی است که می‌تواند برای "پالت" در حوزه "حمل‌ونقل"، یا "ایستگاه‌کاری" در خطوط مونتاژ، یا " مقطعی از زمان" در مسایل زمان‌بندی و یا "یک سطح" در صنایع فلزات استفاده شود [۲۴]. در این مقاله نیز ما "یک بسته سفارش" را در حوزه سفارش‌دهی به عنوان "بسته" در نظر گرفته‌ایم. یکی دیگر از کاربردهای مساله بسته‌بندی ظرف، بحث تخصیص سفارش به سطح توزیع‌کننده است. مطالعه تحقیقات علمی نشان می‌دهد که در هیچ مقاله‌ای از این مدل برای انتخاب تامین‌کننده‌ها با اندازه سفارش و قیمت فروش متفاوت استفاده نشده است. در این مقاله، برای تخصیص سفارش به سطوح مختلف توزیع‌کنندگان از این مدل الگوگیری شده‌است. مزیت استفاده از این مدل در بحث انتخاب توزیع‌کننده این است که علاوه بر آسان‌شدن مدل‌سازی مساله موجودی- انتخاب توزیع‌کننده، موجب می‌شود تا مباحث متعددی مانند بحث موجودی و سفارش‌دهی، بحث انتخاب سطح توزیع‌کننده و تخصیص سفارش به آنها، بحث MOQ و سفارش‌دهی 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 توزیع‌کننده دو هدفه با تقاضای احتمالی ارایه می‌کند که خرده‌فروش برای تامین تقاضای خود به توزیع‌کنندگانی در سطوح مختلف سفارش می‌دهد هر کدام از این توزیع‌کنندگان 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)

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-09-30]
[DOI: 10.22034/20.3.1]

درنظر گرفته‌شده‌است که یکی هزینه‌های سفارش‌دهی، نگهداری، خرید و حمل‌ونقل را کمینه می‌کند و دیگری تعداد کمبود را کمینه می‌کند. هدف در این مساله این است که علاوه بر اینکه مقدار اقتصادی سفارش و ضریب اطمینان[1] بهینه پیدا شود، هم‌زمان این مقدار را طوری به توزیع‌کننده‌هایی با اندازه‌بسته و قیمت‌فروش متفاوت تخصیص داده شود تا علاوه بر اینکه مقدار سفارش، محدودیت‌های MOQ و سفارش‌دهی بسته‌ای را برآورده کند، توابع هدف نیز کمینه شوند. برای یکپارچگی تمام این موارد در یک مدل از مساله بسته‌بندی‌ظرف الگوگیری شده‌است. به علت وجود توزیع‌کنندگانی با قیمت و اندازه‌بسته متفاوت، از VCSBPP استفاده شده‌است و برای حل مدل از الگوریتم NSGA-II استفاده‌شده است. به منظور کارایی الگوریتم پیشنهادی در ابعاد کوچک، از روش محدودیت اپسیلون[2] استفاده شده است و برای ابعاد بزرگ نیز الگوریتم NSGA-II حل و نتایج حاصل ارزیابی گردیده است. در جدول ۱ پیشینه پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه، نشان داده شده است. ستون سوم بیانگر این است که آیا توزیع‌کنندگان در مقاله مربوطه نقشی دارند یا خیر و در صورت جواب بله، توزیع‌کنندگان تک یا چندحالتی هستند. منظور از تک یا چندحالتی این است که توزیع‌کنندگان در چند پارامتر با یکدیگر تفاوت دارند به طور مثال در این مقاله توزیع‌کنندگان براساس دو پارامتر قیمت و اندازه بسته با یکدیگر تفاوت دارند. ستون چهارم تعداد اهداف را نشان می‌دهد. ستون پنجم استفاده از سفارش‌دهی بسته‌ای را نشان می‌دهد. ستون ششم بیانگر این است که بسته ها براساس چند پارامتر با یکدیگر تفاوت دارند. ستون هفتم استفاده از مساله بسته‌بندی ظرف را نشان می‌دهد. ستون هشتم استفاده از مساله کمینه مقدار سفارش را نشان می‌دهد و ستون آخر استفاده از مساله انتخاب تامین‌کننده را نشان می‌دهد.

از نوآوری‌های مقاله می‌توان به موارد زیر پرداخت:

۱- استفاده از مساله بسته‌بندی ظرف، در بحث‌های سفارش‌دهی و انتخاب بین توزیع‌کنندگان

۲- استفاده از مساله بسته‌بندی ظرف در یک مدل چندهدفه

۳- تعریف و استفاده از سیستم توزیع چندسطحی

۴- در نظر گرفتن چند نوع اندازه بسته متفاوت، برای سفارش‌دهی و بحث تصمیم‌گیری در مورد انتخاب بین اندازه‌های بسته موجود

۵- استفاده هم‌زمان از بحث سفارش‌دهی بسته‌ای و انتخاب بین چند توزیع‌کننده

۶- تمام مباحث سفارش‌دهی بسته‌ای، MOQ، سیستم توزیع چندسطحی، انتخاب بین توزیع‌کنندگان و سیستم موجودی دوهدفی احتمالی در یک مدل به‌صورت یکپارچه آورده شده و حل شده است.

در ادامه، ابتدا مدل بسته‌بندی ظرف و تعمیم آن ارایه می‌شود سپس به تعریف مساله و مدل ریاضی پیشنهادی مقاله پرداخته می‌شود و نحوه الگوگیری از این مساله در مدل پیشنهادی توضیح داده می‌شود، سپس به منظور حل مدل پیشنهادی، الگوریتم NSGA-II ارایه می‌شود و به منظور کارایی الگوریتم پیشنهادی در ابعاد کوچک، از روش محدودیت اپسیلون استفاده شده است و نتایج بررسی و مقایسه می‌شود. در آخر مسایلی با ابعاد بزرگ با استفاده

1 Safety Factor
2 ϵ-Constraint

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-09-30]

[DOI: 10.22034/20.3.1]

از الگوریتم NSGA-II حل می‌شوند و توسط شاخص‌های "میانگین فاصله از آرمان (MID)[1] " و "معیار پراگندگی(DM)[2] " و "زمان حل" ارزیابی می‌شود.

جدول ۱. پیشینه پژوهش‌های صورت‌گرفته

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

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 Diversitificatiom Metric(DM)

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-09-30]

[DOI: 10.22034/20.3.1]

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 تصمیم باینری x_{ij} برابر مقدار یک است اگر شی j داخل بسته i قرار گیرد و متغیر باینری y_j برابر یک است اگر از بسته i استفاده شود.

فرمول ریاضی VCSBPP به‌صورت زیر است. پارامتر W_k بیانگر ظرفیت‌بسته از نوع k است و w_i بیانگر وزن شی i است و C_k بیانگر هزینه استفاده از بسته نوع k است. متغیرهای تصمیم باینری x_{ij} برابر مقدار یک است اگر شی i داخل بسته j قرار گیرد ومتغیر باینری y_{jk} برابر یک است، اگر بسته j از نوع k باشد.

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

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 قیمت‌فروش است که به این حالت، سیستم توزیع چندسطحی گفته می‌شود که قبلا توضیح داده شد.

اندیس و پارامترها:

n: تعداد بسته‌های سفارش

m : تعداد توزیع کننده‌ها

h: نرخ هزینه نگهداری محصول

A_j : هزینه ثابت سفارش دهی از توزیع‌کننده j

r_j : هزینه حمل و نقل از توزیع‌کننده j به ازای یک بسته

uj:ظرفیت توزیع‌کننده j براساس تعداد بسته

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-09-30]

[DOI: 10.22034/20.3.1]

D : متوسط تقاضای سالیانه

w_j: اندازه بسته سفارش توزیع‌کننده j که یک عدد صحیح است.

c_j: هزینه خرید از توزیع کننده j

MOQ_i: کمینه مقدار سفارش برای توزیع‌کننده i *به ازای بسته*

$Q(t)$: توزیع نرمال تقاضا با میانگین μ و واریانس σ^2 در مدت زمان تحویل

متغیرهای تصمیم:

x_i : مقداری از محصول که توسط بسته i سفارش داده می‌شود.

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

k : ضریب اطمینان محصول

مدل ریاضی مساله پیشنهادی در زیر آورده شده است:

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

$$Min \quad f_2 = \frac{D}{\sum_{i=1}^{n} x_i}\int_k^{\infty}(t-k)\phi(t)\,dt \quad (2)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^{m} y_{ij} \le 1 \quad for \;\; i=1,\dots,n \quad (3)$$

$$x_i = \sum_{j=1}^{m} w_j y_{ij} \quad for \;\; i=1,\dots,n \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{n} y_{ij} \ge MOQ_j \quad for \;\; j=1,2,\dots,m \quad (5)$$

$$0 \le \sum_{i=1}^{n} x_i \le D \quad (6)$$

$$0 \le k \le \left(D/\sigma_L\right) \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^{n} y_{ij} \le u_j \quad for \;\; j=1,2,\dots,m \quad (8)$$

$$x_i \ge 0 \quad for \;\; i=1,\dots,n$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad for \;\; i=1,\dots,n, \;\; j=1,\dots,m.$$

معادله (۱) کل هزینه‌های مورد انتظار سالیانه را کمینه می‌کند که به ترتیب هزینه‌های نگهداری، سفارش‌دهی، خرید و حمل‌ونقل هستند، معادله (۲) تعداد کمبود را کمینه می‌کند و عبارت $\int_k^{\infty}(t-k)\phi(t)dt$ بیانگر متوسط کمبود در مدت زمان تحویل است، معادله (۳) محدودیتی است که تضمین می‌کند هر بسته فقط به یک توزیع‌کننده تخصیص داده شود و معادله ((۴) و (۵)) محدودیت‌هایی است که بحث سفارش‌دهی براساس اندازه‌بسته و MOQ هر توزیع‌کننده را تضمین می‌کنند. معادلات ((۶) و (۷)) نیز محدودیت‌های مربوط به مقدار اقتصادی سفارش و ضریب اطمینان را نشان می‌دهد. معادله (۸) نیز محدودیت ظرفیت تعداد بسته هر توزیع‌کننده را نشان می‌دهد. باتوجه به این‌که سفارش‌دهی باید به صورت بسته‌ای در نظر گرفته شود؛ لذا محدودیت (۴) در نظر گرفته‌شده است تا مقدارسفارش به هر توزیع‌کننده دقیقاً برابر با اندازه بسته‌سفارش آن باشد. از طرف دیگر

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-09-30]

[DOI: 10.22034/20.3.1]

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 درنظرگرفتن این محدودیت حتما مقدار این متغیر عدد صحیح می‌شود.

۲-۳ الگوگیری از مساله بسته‌بندی ظرف در مدل پیشنهادی مقاله

در مدلی پیشنهادی در این مقاله، شی در واقع محصول است و منظور از بسته‌ها، سفارش یک بسته هستند که می‌توانند به هر کدام از توزیع‌کنندگان که دارای اندازه‌بسته و قیمت فروش مختلف هستند تخصیص داده شوند. در جدول ۲ الگوگیری از بسته‌بندی ظرف نمایش داده شده است.

جدول ۲. الگوگیری از مساله بسته‌بندی ظرف

مدل پیشنهادی	مساله بسته‌بندی ظرف
محصول	Item
سفارش یک بسته از توزیع‌کنندگان متفاوت	Bins
اندازه بسته توزیع‌کننده	Bin capacity
قیمت فروش توزیع‌کننده	Bin cost
اندازه بسته و قیمت توزیع‌کنندگان	Bin variability
محدودیت‌های موجودی و سفارش بسته‌ای	Restrictions on item ordering

چون مدل پیشنهادی تک‌محصولی 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 می‌تواند به m توزیع‌کننده مختلف، تخصیص داده شود. پس تعداد بسته (n) می‌تواند در بیشترین حالت برابر با میزان تقاضای سالیانه تقسیم بر کوچک‌ترین اندازه‌بسته باشد. در واقع این حالت در زمانی اتفاق می‌افتد که خرده‌فروش تمام تقاضای خود را از توزیع‌کننده‌ای تامین کند که دارای کمترین اندازه بسته و بالاترین قیمت فروش است. تفاوتی که مدل پیشنهادی با مدل بسته‌بندی ظرف دارد در این است که در مدل بسته‌بندی ظرف، متغیر X_{ij} یک متغیر صفر و یک است که اگر شی j به بسته i تخصیص داده شود مقدار یک می‌گیرد؛ اما در مدل پیشنهادی، متغیر X_i بیانگر مقداری از محصول است که توسط بسته i سفارش داده می‌شود و یک متغیر پیوسته و بزرگ‌تر از صفر است و متغیر y_{ij} یک متغیر صفر و یک است و زمانی که مقدار یک می‌گیرد بیانگر این است که سفارش i به توزیع کننده j تخصیص داده شده است.

۳ روش حل

مدل سفارش‌دهی در نظر گرفته‌شده در این مقاله شامل دو تابع هدف کمینه‌سازی است. به دلیل این‌که هر دو تابع هدف این مقاله از نوع غیرخطی هستند و همچنین برای مسایلی با ابعاد بزرگ، زمانبر می‌شود از الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل این مدل استفاده می‌شود. یکی از الگوریتم‌های پرکاربرد و انعطاف‌پذیر در بحث بهینه‌سازی چندهدفه که عملکرد بسیار خوبی نیز در تولید جواب‌های پارتو دارد الگوریتم NSGA-II است که توسط دب و همکاران [۳۸] ارایه شده است.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-09-30]

[DOI: 10.22034/20.3.1]

یکی از ویژگی‌های الگوریتم‌های فراابتکاری جستجوی فضای بسیار بزرگی از جواب‌های کاندید است؛ اما با وجود این ویژگی هیچ تضمینی برای یافتن جواب‌بهینه وجود ندارد به همین منظور معمولا برای تایید جواب‌های پارتوی به‌دست‌آمده توسط این الگوریتم، مدل در ابعاد کوچک توسط یک روش دقیق نیز حل می‌شود. در این مقاله ما از روش محدودیت اپسیلون 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 MID ،DM 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+۱ ژن است n ژن اول بیان‌کننده تعداد بسته‌هایی است که به توزیع کنندگان، تخصیص داده می شود و هر ژن بیانگر سفارش یک بسته به توزیع کننده نوع m است و ژن n+۱ بیانگر ضریب اطمینان است.

در شکل ۳ نحوه نمایش یک کروموزوم با مقادیرn=۵ و m=۳ نشان داده شده است. این کروموزم بیانگر سفارش ۴ بسته است که شامل یک بسته از توزیع‌کننده سطح یک (به ازای ژن شماره یک)، دو بسته از توزیع‌کننده سطح دو (به ازای ژن های شماره سه و پنج) و یک بسته از توزیع‌کننده 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 کروموزم شکل ۳ بیانگر سفارش چهار بسته است که دو بسته از توزیع‌کننده سطح دو و یک بسته از توزیع کننده سطح یک، و یک بسته از توزیع‌کننده سطح سه است و در نهایت مقدار ضریب اطمینان که برابر ۱۸/۳۶ شده است.

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

شکل ۳. ساختار کروموزوم

ژن‌های ۱ تا n با تولید عدد صحیح تصادفی در بازه $[0, m]$ به‌دست می‌آیند و ژن n+۱ با تولید عدد تصادفی در بازه $[0, D/\sigma]$به‌دست 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 شکل۳ 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 توزیع‌کننده انتخابی است. برای کروموزم واقع در شکل ۲، تعداد ۱۵ متغیر y_{ij} وجود دارد که فقط چهارتای آنها مقدار یک می‌گیرند و بقیه مقدار صفر می‌گیرند

$$(y_{11}=1, y_{32}=1, y_{43}=1, y_{52}=1)$$

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-09-30]

[DOI: 10.22034/20.3.1]

۳-۱-۲ عملگرهای NSGA-II

روش‌های زیادی برای عمل تقاطع مانند روش تک‌نقطه ای، دونقطه‌ای و چندنقطه‌ای و غیره وجود دارد. در این مساله از روش تک‌نقطه‌ای 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 به‌طور 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 عمگر تقاطع تک نقطه‌ای نشان داده شده‌است.

شکل ٤. یک مثال از عملگر تقاطع

عملگر جهش دارای انواع مختلفی است. در این مساله از یک روش ترکیبی استفاده شده‌است که به این صورت است که برای ژن ۱ +nیک عدد تصادفی در بازه $[0, D/\sigma]$ تولید می‌شود و میانگین دو عدد محاسبه شده و در ژن ۱+n قرار داده می‌شود و برای ژن‌های ۱ تا n ابتدا یک عدد تصادفی بین (n و۱) که بیانگر ژن انتخابی است تولید می‌شود سپس یک عدد تصادفی بین (m و۰) تولید می‌شود و جایگزین ژن انتخابی قبلی می‌شود. شکل ۵ نحوه کار عملگر جهش نشان داده شده است.

کروموزم	۳	۰	۲	۱	۴/۸
تولید یک عدد تصادفی بین (۴ و۱)		۲			
تولید یک عدد تصادفی بین (۳ و۰)		۳			
تولید یک عدد تصادفی در بازه $[0, D/\sigma]$					۱۹/۴
کروموزوم جهش‌یافته	۳	۳	۲	۱	۱۲/۱

شکل ۵. یک مثال از عمگر 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

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-09-30]

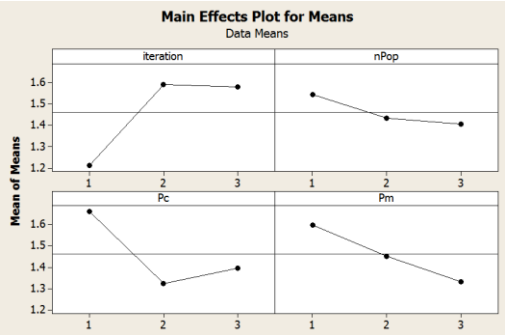
[DOI: 10.22034/20.3.1]

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 $L_{۹}\left(۳^{۴}\right)$ و $L_{۲۷}\left(۳^{۴}\right)$، به عنوان مناسب‌ترین طرح‌ها پیشنهاد می‌شود که در این مقاله از $L_{۹}\left(۳^{۴}\right)$ استفاده می‌کنیم.

نتایج آزمایشات به طور کامل در جدول ۳ آورده شده‌است 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 ٦. 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 شده‌است 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 ٤. مقادیر پارامترهای کنترل موجودی

نوع	D	σ_L	h	نوع	D	σ_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				

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-09-30]

[DOI: 10.22034/20.3.1]

جدول ۵. اطلاعات قیمت فروش، اندازه بسته و MOQ توزیع‌کنندگان

قیمت	r	A	MOQ براساس بسته	اندازه بسته	توزیع کنندگان	قیمت	r	A	MOQ براساس بسته	اندازه بسته	توزیع 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

هیمز 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.

٤ نتایج محاسباتی

در این قسمت، ابتدا مساله در ابعاد کوچک با استفاده از روش محددیت 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.

٤-۱ 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 شده‌است. ابتدا این مساله توسط روش محدودیت اپسیلون حل می‌شود. بدین منظور تابع هدف مربوط به هزینه‌ها (f_1) به عنوان یک محدودیت در نظر گرفته شده است و کران بالای اپسیلون برای آن در نظر گرفته شده‌است. مقدار ϵ برابر با ۲۰۰۰۰ در نظر گرفته شده‌است. نتایج مربوط به این محاسبات در جدول۶ نشان داده شده‌است.

جدول ٦ . جواب روش محدودیت اپسیلون و الگوریتم NSGA-II

f_2	K	$Q=\sum_{i=1}^{5} x_i$	نوع توزیع کننده برای بسته چهار	نوع توزیع کننده برای بسته سه	نوع توزیع کننده برای بسته دو	نوع توزیع کننده 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 شده‌است. با مقایسه نتایج به‌دست آمده از

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-09-30]

[DOI: 10.22034/20.3.1]

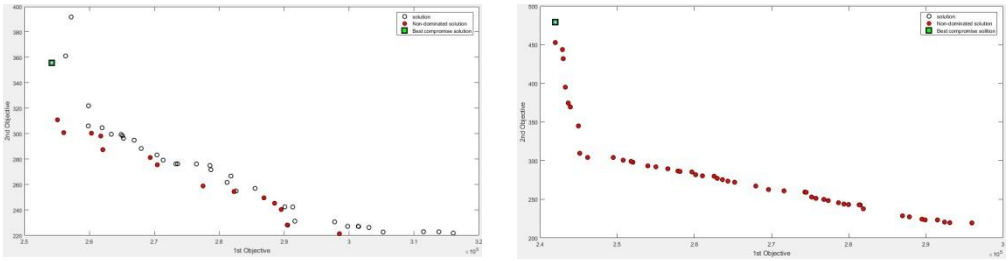
روش NSGA-II و محدودیت اپسیلون برای این مساله، این نتیجه حاصل می‌شود که اختلاف نتایج بسیار ناچیز هستند.

٤-٢ بررسی نتایج برای مساله با ابعاد بزرگ

٤-٢-١ شاخص‌های 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 $(۲/۵۴\times۱۰^{۵},۳۵۸)$ با MID=۱۶۹۳۳ و برای شکل سمت راست نقطه

$(۲/۴۳\times۱۰^{۵},۴۷۹)$ با MID=۴۸۶۰ است.



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

٤-٢-٢ محاسبات الگوریتم در ابعاد بزرگ

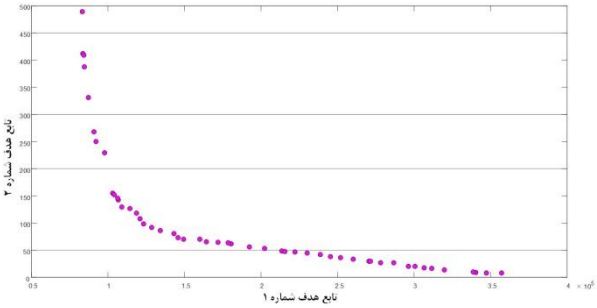
برای بررسی کیفیت جواب‌های الگوریتم پیشنهادی در ابعاد بزرگ، ۱۰ مساله توسط الگوریتم، حل و بررسی‌شده است. برای بررسی کیفیت جواب‌های حاصل از الگوریتم NSGA-II از MID و DM و زمان حل در ابعاد بزرگ استفاده می‌شود. پارامترهای مربوط به بحث کنترل موجودی، مطابق با مقادیر پارامترهای کنترل موجودی در مقالات تسو [۱،۴۲] است که در جدول ۴ آورده شده است. همچنین برای بحث توزیع‌کنندگان، ۱۲ توزیع‌کننده مختلف در نظر گرفته شده‌است. با استفاده از ۷ نوع پارامترهای موجودی ارایه‌شده در جدول ۳ و دوازده توزیع‌کننده ارایه شده در جدول ۵، تعداد ده مساله تولید شده‌است و هر کدام از آنها توسط الگوریتم NSGA-II حل شده است. نتایج محاسباتی الگوریتم NSGA-II برای ده مساله در جدول ۷ آورده شده‌است. ستون دوم این جدول بیانگر نوع پارامترهای کنترل موجودی انتخاب‌شده از جدول ۴ است. به‌طور مثال برای مساله یک، از پارامترهای کنترل موجودی نوع دوم از جدول ۴ استفاده شده‌است. ستون سوم این جدول بیانگر تعداد بسته‌های سفارش است، ستون چهارم، تعداد توزیع‌کنندگان لحاظ شده را نشان می‌دهد، ستون پنجم بیانگر این است که از ۱۲ توزیع‌کننده موجود، کدامیک در مدل استفاده شده‌اند. 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 شده‌است.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-09-30]
[DOI: 10.22034/20.3.1]

هر مساله با سه تکرار متفاوت حل شده‌است که در ستون نه تا یازده، هر مسأله با ۵۰ تکرار حل شده‌است 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 جواب‌های نامغلوب مساله شماره هشت با ۱۰۰ تکرار را نشان می‌دهد.

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

مسأله	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 ($\times 10^{-4}$)	DM ($\times 10^{-5}$)	زمان حل (ثانیه)	MID ($\times 10^{-4}$)	DM ($\times 10^{-5}$)	زمان حل (ثانیه)	MID ($\times 10^{-4}$)	DM ($\times 10^{-5}$)	زمان حل (ثانیه)
۱	۲	۱۰	۳	۸و۴و۱	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	۵و۳	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	۸و۴و۲	۲/۳۱	۲/۱۳	۱۰/۲۹	۲/۲۱	۲/۲۵	۱۵/۲۴	۱۰/۲۲	۱۵/۳	۲۰/۴۶
۹	۱	۱۴	۴	۱۰و۶و۳و۱	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 جواب‌های نامغلوب الگوریتم NSGA-II

۵ نتیجه‌گیری

در این مقاله، به بررسی یک مدل موجودی-سفارش‌دهی دوهدفه پرداخته شد که تابع هدف اول آن کمینه‌کردن هزینه‌ها بود، هزینه‌ها شامل هزینه‌های سفارش‌دهی، نگهداری، حمل‌ونقل و خرید و تابع هدف دوم بیانگر کمینه‌کردن تعداد کمبود بود و میزان تقاضا در لیدتایم دارای توزیع نرمال بود. در این مقاله چندین توزیع‌کننده با اندازه بسته، قیمت فروش و MOQ متفاوت در نظر گرفته شده بودند. خرده فروش برای تامین تقاضا با در نظر گرفتن اهداف و محدودیت‌ها، سفارش را به توزیع‌کنندگان تخصیص می‌دهد. در این مقاله از مساله بسته‌بندی ظرف برای تخصیص سفارش به توزیع‌کنندگان مختلف الگوگیری شده است. این مساله توسط الگوریتم NSGA-II حل شد و برای بررسی نتایج مساله در یک ابعاد کوچک توسط روش محدودیت اپسیلون نیز حل و

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-09-30]

[DOI: 10.22034/20.3.1]

نتایج بررسی شد. نتایج حاصله نشان داد که اختلاف نتایج به‌دست‌آمده 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. jor 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. jor 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.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-09-30]

[DOI: 10.22034/20.3.1]

[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 sortingin genetic algorithms, Evol Comput, 2, 21-48.
[42] Deb, Kalyanmoy. (2001). Multi-objective optimization using evolutionary algorithms, John Wiley & Sons, 16.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-09-30]

[DOI: 10.22034/20.3.1]