مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال هفدهم، شماره چهارم (پیاپی ۶۷)،زمستان ۹۹، ص ص ۶۲-۴۱
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

منبع‌یابی و تعیین اندازه سفارش یکپارچه چندهدفه دارو با در نظر گرفتن منابع چندگانه و انتقال جانبی در شرایط احتمالی با روش بهینه‌سازی شبیه‌سازی

مجید عادلی[۱]، مصطفی زندیه[۲*]، علیرضا مؤتمنی[۳]، اشکان عیوق[۴]

۱- دانشجوی دکتری مدیریت تولید و عملیات، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۲- استاد، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳-دانشیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۴- استادیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

رسید مقاله: ۳۰ دی ۱۳۹۷

پذیرش مقاله: ۱۲ شهریور ۱۳۹۹

چکیده

در این پژوهش یک مساله یکپارچه انتخاب تأمین‌کننده و سیاست موجودی برای یک شرکت توزیع دارو در ایران با انبارهای چندگانه در مکان های مختلف بررسی شده است. در این مساله انبارهای پخش با تقاضای تصادفی دارو توسط خرده‌فروش مواجه‌اند و موجودی داروی خود را توسط یک یا چند تأمین‌کننده برآورده می‌نمایند که در یک مجموعه کاندیدای مشخص با قیمت، ظرفیت، کیفیت و خصوصیات اختلال متفاوت قرار دارند. به‌علاوه انبارها ممکن است به جهت اهمیت موجودی دارو، در صورت مواجهه با کمبود، موجودی‌شان را از سایر انبارهای همکار تأمین نمایند. با این توصیف مساله این پژوهش یک مساله یکپارچه انتخاب تأمین‌کننده چندمنبعی و تعیین اندازه سفارش با لحاظ نمودن انتقال جانبی بین انبارهاست. به علاوه، مزایای تأمین چندمنبعی و انتقال جانبی بین انبارها در کاهش ریسک مواجهه با کمبود به علت تقاضای احتمالی و اختلال تأمین‌کننده تاکنون با نگاه کمی در بحث دارو مورد بررسی قرار نگرفته است. به جهت NP-hard بودن مدل طراحی‌شده و پیچیدگی سیستم مساله، یک الگوریتم بهینه‌سازی شبیه‌سازی چندهدفه Sim-NSGA-II برای حل مدل ارایه شده است و با حل مدل، اثر اختلالات مختلف، انتقال جانبی و چندمنبعی بودن بر سیستم مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: بهینه‌سازی شبیه‌سازی چندهدفه، تأمین چندمنبعی، انتقال جانبی، زنجیره‌تأمین دارو.

* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: m_zandieh@sbu.ac.ir

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.3.5]

۱ مقدمه

مدیریت موجودی و زنجیره‌تأمین دارو یکی از فعالیت‌های چالش‌برانگیز و مهم حوزه سلامت است [۱]. زنجیره‌تأمین دارو به معنای مسیری است که از طریق آن محصولات دارویی با کیفیت مناسب در مکان و زمان مناسب در بین مصرف‌کنندگان نهایی توزیع می‌شوند [۲]. در طی قرن گذشته افزایش قابل‌توجهی در بحث کمبود دارو توسط اداره آمار مرکزی آمریکا گزارش شده است و علت آن را اختلالات تأمین اعلام نموده‌اند. هزینه‌های تأمین دارو در آمریکا حدود ۱۰ درصد هزینه‌های سلامت سالیانه برآورد شده و در کل جهان این هزینه ۶۰۰ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۸ تخمین زده شده است [۳]. در ایران نیز با اینکه آمار دقیقی از کمبود دارو اعلام نمی‌شود، اما بنا به اذعان شرکت‌های توزیع و خرده‌فروشان دارو، این کمبود معنادار است. به گفته دبیر کل جمعیت هلال‌احمر در ۳۰ بهمن ۹۸ به دلیل تحریم‌ها و نقل‌وانتقال‌های مالی دشوار، شرکت‌های اروپایی علاقه‌ای برای همکاری مستقیم با شرکت‌های ایرانی ندارند و در حدود ۴۰۰ قلم دارو با مشکل کمبود مواجه هستند. طبق نظر متخصصین این حوزه مشکلات سیستم تأمین در کنار اختلالاتی چون تحریم از علل این کمبود است. مدیریت موجودی بخش سلامت مستلزم شناخت عملیات و ویژگی‌های خاص آن جهت کاهش هزینه در کنار افزایش سطح سرویس است. [۴] در ایران شرکت‌های توزیع دارو در شرایط تحریم و مخصوصاً پس از بحران‌هایی چون بیماری کرونا با این مشکل که از چه کسی و چه میزان دارو بخرند مواجه‌اند. کمبود دارو به جهت نقش حیاتی آن جایز نبوده و اتخاذ سیاست موجودی مناسب در این راستا ضروری می‌نماید و از نیازهای روز حوزه پخش داروست. از دیگر سو، نگهداری مقادیر زیاد دارو به علت سرمایه بالا و همچنین ماهیت فسادپذیری دارو طی زمان در کنار تجهیزات و سیستم‌های گران‌قیمت نگهداری دارو، به‌صرفه نیست. آنچه از تحقیقات پیشین مسلم است ضعف یک مدل جامع چندهدفه انتخاب تأمین‌کننده و منبع‌یابی چندگانه دارو در شرایط احتمالی است. تاکنون تحقیقات کمی قابل‌توجهی برای یکپارچه‌سازی منبع‌یابی و سیاست موجودی در صنعت توزیع دارو با توجه به شرایط خاص این کالا و در شرایط احتمالی انجام نشده است. این پژوهش در پی رفع این شکاف و ایجاد الگویی برای بهینه‌سازی سیستم توزیع داروست.

مساله این پژوهش در خصوص یک شرکت توزیع داروست که تعدادی تأمین‌کننده کاندیدا و تعدادی انبار پخش دارد. در این زنجیره تأمین دوسطحی برای برآوردن تقاضای هر انبار پخش، یک مجموعه از تأمین‌کنندگان بالقوه با مشخصات از پیش تعیین‌شده انتخاب می‌شوند. سپس هم‌زمان با انتخاب تأمین‌کنندگان، سیاست بهینه موجودی (R,Q) تعیین خواهد شد. در نظر نگرفتن ریسک‌های زنجیره‌تأمین، منجر به پیامدهای منفی چون تطویل زمان‌بندی‌ها، تأخیرها و افزایش هزینه‌ها می‌شود [۵]. برای نزدیک‌تر نمودن مساله با دنیای واقعی دو نوع اختلال کوتاه‌مدت و بلندمدت بررسی خواهند شد که در حالت اختلال بلندمدت، فاصله زمانی بین دو اختلال طولانی است و معمولاً ناشی از عواملی چون تحریم، بلایای طبیعی و مسایل حاد مالی است. در نقطه مقابل یا همان اختلال کوتاه‌مدت، مواردی چون خرابی موقت خط تولید و کمبود مواد اولیه تأمین‌کننده منشأ اختلال است.

در این پژوهش برای نخستین بار با توجه به شرایط کشور و صنعت توزیع دارو یک مدل بهینه‌سازی همزمان منبع‌یابی و سیاست موجودی طراحی شده و دو حالت تأمین تک‌منبعی و چندمنبعی مورد قیاس قرار گرفته‌اند. هر

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.3.5]

کدام از این دو حالت مزایا و معایبی به دنبال دارد. از طرفی در مسایل دنیای واقعی انتقال جانبی به‌عنوان راهکاری رایج جهت مقابله با کمبود استفاده می‌شود که تاکنون در پژوهش‌های این صنعت و حتی سایر صنایع در ایران توجهی به آن نشده است. از سوی دیگر، تاکنون پژوهشی که اختلالات تأمین را در دو دسته کوتاه پرتکرار چون خرابی موقت سیستم تأمین‌کننده و نادر طولانی‌مدت چون تحریم در مدل لحاظ کند، انجام نشده است. همچنین در این پژوهش برای نخستین بار از روش چندهدفه بهینه‌سازی شبیه‌سازی برای مساله منبع‌یابی و موجودی دارو استفاده شده است. در این پژوهش نخست به بررسی ادبیات موضوع پرداخته خواهد شد و سپس مدل ریاضی مساله ارایه خواهد شد. در ادامه با استفاده از روش بهینه‌سازی شبیه‌سازی به حل مدل پرداخته خواهد شد و نتایج حاصل مورد تحلیل و بررسی قرار خواهند گرفت.

۲ پیشینه تحقیق

با انتشار مقالات مروری آیسوئی و همکاران [۶]، تاجبخش و همکاران [۷]، تنگ و موسی [۸]، مدل‌های کمّی ترکیبی برای انتخاب تأمین‌کننده و مدیریت موجودی توجه بیشتری را به خود جلب کرده‌اند. معمول‌ترین روش‌های حل برای این مسایل شامل برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی آرمانی، برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط و برنامه‌ریزی تصادفی، شبیه‌سازی و برنامه‌ریزی استوار هستند [۴]. یک مساله با خصوصیات مشابه به همراه چند تأمین‌کننده و چند انبار توسط کِسکین و همکارانش [۱۰] بررسی شده است. پژوهش آن‌ها بدون در نظر گرفتن حالت چند- منبعی و حمل‌ونقل جانبی صورت پذیرفته است. کسکین و همکارانش [۱۰] تنها موازنه بین انتخاب تأمین‌کننده و تصمیمات موجودی در یک محیط قطعی را در نظر گرفتند و فرمولاسیون را با استفاده از یک الگوریتم کارا و تعمیم‌یافته تجزیه بندرز حل نمودند. کسکین و همکارانش در مقاله دیگری [۱۱] با بسط این مدل قطعی برای نمایان کردن تقاضای تصادفی و انتخاب تأمین‌کننده تحت اختلالات، یک رویکرد حل بر اساس بهینه‌سازی- شبیه‌سازی را توسعه دادند. تحلیل آن‌ها نشان داد که هزینه‌های واحد و دستمزد مدیریت، انتخاب تأمین‌کننده را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در برخی از حالات، اختلالات تصمیمات مربوط به انتخاب تأمین‌کننده را تحت تأثیر قرار نمی‌دهند ولی قطعاً بر تصمیمات موجودی اثر می‌گذارند. علاوه بر این، به علت فرض تک‌منبعی بودن تأمین، کسکین و همکارانش [۱۱] یک تحلیل موجودی ساده‌تر را در نظر گرفتند که نیاز به بخش‌بخش کردن نداشته باشد. ونچورا و همکارانش [۱۲] یک زنجیره‌تأمین سری چندمرحله‌ای و چند دوره‌ای را در نظر گرفتند که دارای ساختار تقاضای قطعی در مرحله آخر و تمام تأمین‌کنندگان در مرحله اول هستند. چودهاری و شانکار [۱۳] مساله مشترک مقدار تولید، انتخاب تأمین‌کننده و حامل با امکان تخفیف در خرید عمده را بررسی کردند. تمام این مقالات، یکپارچگی سیستم کمی موجودی- انتخاب تأمین‌کننده، جنبه‌های چند- منبعی و حمل‌ونقل جانبی را نادیده گرفتند.

در حالت تک‌منبعی قرارداد بلندمدت موجب تعمیق پیوند با تأمین‌کننده و کاهش هزینه برنامه‌ریزی و مزایای اقتصاد مقیاس می‌شود اما تأمین چندمنبعی ریسک مواجهه با کمبود را تقلیل می‌دهد. اگرچه تأمین تک‌منبعی می‌تواند همکاری و شراکت را تقویت کند، اما با وجود انبارهای ذخیره‌سازی، موارد مربوط به کیفیت

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.3.5]

و اختلال، اعتماد به تنها یک تأمین‌کننده می‌تواند موجب تضعیف قدرت زنجیره‌تأمین شود و تأثیر مخربی بر عملکرد هزینه زنجیره‌تأمین داشته باشد؛ بنابراین در پژوهش حاضر، تأمین تک‌منبعی با چندمنبعی مقایسه‌شده است. برخی محققان سیاست‌های بخش بخش کردن (Q, R) را برای حالت چند- منبعی بدون اختلال اجرا کرده‌اند. برای مثال می‌توان به پژوهش‌های مندوزا و ونچورا[۱۴] ؛ مندوزا و ونچورا [۱۵]؛ و پاژانی و همکارانش [۱۶] اشاره کرد. در حقیقت، مندوزا و ونچورا [۱۵] و پاژانی و همکارانش [۱۶] ، شرکت دادن خطرپذیری زنجیره تأمین به شکل اختلالات را در مسایل انتخاب تأمین‌کننده، توصیه می‌کنند. تعداد محدودی از مقالات در زمینه انتخاب تأمین‌کننده از جمله بورک و همکاران [۱۷] ، برگر و ژنگ[۱۸] ، بورک و همکاران[۱۹]، یو و همکاران [۲۰]، ژانگ و ژنگ [۲۱] بر روی حالت تأمین چند منبعی تمرکز کرده‌اند. برگر و ژنگ [۱۸] اولین تحلیل در رابطه با مقایسه حالت تک‌منبعی با چند منبعی را ارایه کردند. در پژوهش آن‌ها رابطه بین سطوح خطرپذیری و موازنه مربوط به آن توسط یک مدل درخت تصمیم استخراج شد و در بسیاری از موقعیت‌ها، حالت تأمین تک‌منبعی به‌عنوان یک رویکرد مؤثر اثبات نشد. بورک و همکارانش[۱۷]، با توجه به تقاضای غیرمطمئن کالا، اعتمادپذیری تأمین‌کننده، ظرفیت‌های تأمین‌کننده، هزینه‌های موجودی تولیدکننده و مزایای تنوع تولیدکننده در اخذ تصمیمات ترکیبی انتخاب تأمین‌کننده و انتصاب موجودی را به‌صورت همزمان در نظر گرفتند. حتی با وجود آزمایشات محدود، آن‌ها اعلام کردند که حالت تأمین تک‌منبعی تنها در صورتی گزینه بهتری است که تأمین‌کنندگان ظرفیت بالایی داشته باشند. آن‌ها این پژوهش را توسعه دادند تا بتوانند عدم قطعیت‌های بالادست جریان (تأمین‌کننده) و پایین‌دست جریان (تقاضا) موجود در مقاله بورک و همکارانش [۱۹] را بررسی کنند. برخلاف نتایج این پژوهش، بورک و همکارانش [۱۹] دریافتند که هزینه واحد پیشنهاد شده از طرف تأمین‌کننده (و نه اعتمادپذیری تأمین‌کننده) معیار کلیدی انتخاب تأمین‌کننده است. در مقاله آن‌ها، بورک و همکارانش [۱۹] بیشینه‌سازی سود را به‌عنوان هدف در نظر گرفتند و هزینه ثابت انتخاب تأمین‌کننده را به همراه اثر کیفیت بر روی هزینه‌های کل نادیده گرفتند. مشابه بورک و همکاران[۱۷ و ۱۹]، ژانگ و ژنگ [۲۱] نیز مساله ترکیبی انتخاب تأمین‌کننده-موجودی را تحت تقاضای تصادفی با بیشینه‌سازی سود بررسی نمودند. در مدل آن‌ها، مساله موجودی مشاهده‌شده توسط خریدار، مشابه مساله روزنامه‌فروش است. آن‌ها فرمولاسیون برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح را بر اساس رویکرد حل شاخه و حد، حل کردند. در مقاله دیگری، یوو همکارانش [۲۰] یک زنجیره‌تأمین دومرحله‌ای که در آن شرکت خریدار با تقاضای غیرثابت و حساس به قیمت برای تجهیزات حساس و در دسترس بودن دو تأمین‌کننده (اولیه و ثانویه) مواجه است مطالعه نمودند. آن‌ها دریافتند که با توجه به مقدار احتمال اختلال، تک یا دو منبعی بودن تأمین می‌تواند مؤثر باشد. تمامی این مقالات اثر مربوط به تحویل مرتبط با زمان انجام کار، کیفیت‌های متغیر در محل تأمین‌کننده و هزینه‌های حمل‌ونقل را حذف کردند. پژوهش حاضر یک تحلیل منحصربه‌فرد برای تخمین مزایای چند منبعی و حمل‌ونقل جانبی در زمانی که تأمین‌کنندگان با اختلال روبه‌رو هستند را ارایه می‌دهد. تعدادی از مقالات به مسایل موجودی با در نظر گرفتن چند تأمین‌کننده اشاره کرده‌اند، از جمله اکیسی [۲۲]، فدرگران و یانگ [۲۳]، حجی و همکاران [۲۴]، رامسش و همکاران [۲۵]، روئیز و همکاران [۲۶]، ساویک [۲۷]. راماسش و همکارانش [۲۵] نشان می‌دهند که چند منبعی بودن اطمینان بیشتری را در

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.3.5]

رابطه با تحویل به‌موقع و انعطاف‌پذیری بیشتری در حجم کالاهای بالادستی را به‌واسطه تنوع نیازهای شرکت فراهم می‌آورد. پارلار و پری [۲۸] مزایای حالت چند منبعی را در صورت عدم قطعیت تأمین مورد بحث قرار دادند. فدرگران و یانگ[۲۳] این کار را تعمیم دادند تا مجموعه بهینه این تأمین‌کنندگان، سفارش تجمعی و انتصاب آن به تأمین‌کنندگان منتخب درصورتی‌که تأمین‌کنندگان با اختلال و مشکلات کیفیت روبه‌رو باشند را تعیین کنند. حجی و همکارانش[۲۴] مساله مشابهی را با تمرکز بر سیاست‌های کنترل به اشتراک‌گذاری اطلاعات مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها یک فرمولاسیون برنامه‌ریزی دینامیکی تصادفی را توسعه دادند که ساختار بهینه سیاست کنترل را نشان می‌دهد. بااین‌حال، آن‌ها در دسترس بودن، ظرفیت و عملکرد تحویل تأمین‌کنندگان را در نظر نگرفتند. مندوزا و ونچورا [۱۵] مدل‌هایی را برای انتخاب ترکیبی تأمین‌کننده و انتصاب مقدار سفارش با در نظر گرفتن عوامل کیفیت و ظرفیت برای تأمین‌کنندگان را توسعه دادند اما فرض کردند که تأمین‌کنندگان همیشه در دسترس هستند. پاژانی و همکارانش [۱۶] یک نظام موجودی سری که مدیریت موجودی را با تصمیم انتخاب تأمین‌کننده و هزینه‌های حمل‌ونقل ترکیب می‌کند را بررسی کردند. در تحلیل آن‌ها، مزایای ترکیب از طریق مقایسه نظام خودشان با یک نظام سلسله مراتبی مورد بحث قرار گرفته است. اکیسی [۲۲] یک بهینه‌سازی را بر پایه تأمین‌کنندگان ظرفیت‌دار و سیاست سفارش چرخشی پیشنهاد داد که به یک الگوریتم آسان‌تر منتهی شد و کار آن‌ها را برای در نظر گرفتن ظرفیت سالانه دقیق تأمین‌کنندگان گسترش داد. روئیز- تورزو همکارانش [۲۶] یک شبکه زنجیره تأمین با قابلیت مدیریت منبع چند- تأمین‌کننده و اختلال تأمین‌کننده را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها برای هر تأمین‌کننده یک خاصیت انعطاف‌پذیری در نظر گرفتند که حمل‌ونقل احتمالی در صورت وجود اختلال در تأمین‌کنندگان دیگر را ممکن می‌سازد. ساویک [۲۹] همان فرضیات روئیز- تورز و همکارانش [۲۶] به‌جز خاصیت احتمالی را در نظر گرفتند و با سناریوهای سراسری و محلی محدود اختلال، حل‌های بهینه ریسک‌گریزی را برای تابع هدف‌های هزینه و سطح خدمات مشتری ارایه نمودند. برای بحث جزیی‌تر بر روی مدل‌های موجودی چند- تأمین‌کننده، خواننده به مقالات مروری منتشرشده توسط تاجبخش و همکارانش [۷] ارجاع داده می‌شود. تفاوت اصلی بین مقالات قبلی انتخاب تأمین‌کننده مرتبط با مدیریت موجودی و مقاله حاضر این است که این مقاله صراحتاً تصمیمات انتخاب تأمین‌کننده را به همراه هزینه‌های ثابت متحمل‌شده برای هر تأمین‌کننده منتخب در نظر می‌گیرد. همچنین این پژوهش احتمال حمل‌ونقل جانبی بین انبارها را نیز در نظر می‌گیرد که همان‌طور که پترسون و همکارانش [۳۰] عنوان می‌کنند، توجه کمی در آثار گذشته به آن شده است. در توزیع دارو به جهت اینکه بیش از فضای رقابت جان انسان‌ها اهمیت دارد این انتقال جانبی نقش پررنگی به خود می‌گیرد. تنها کاری که در حال حاضر ارزش حمل‌ونقل درون مجموعه تأمین‌کننده را به یک روش ضمنی مطالعه می‌کند، آکساتر و همکارانش [۳۱] است. شبکه آن‌ها که شامل N خرده‌فروش است از یک انبار مرکزی تأمین می‌شود. به‌طوری‌که یک انبار حامی/ احتمالی، خرده‌فروش‌ها را در مواقعی که آن‌ها متوجه کمبود در انبار مرکزی شوند، تأمین می‌کند. در مقاله حاضر، مفهوم وسیع‌تری از حمل‌ونقل جانبی در نظر گرفته می‌شود، نه‌تنها به‌عنوان حمل‌ونقل احتمالی بلکه به‌عنوان منبع جایگزین. بیشتر آثار در حوزه حمل‌ونقل جانبی، حمل‌ونقل انفعالی را در نظر می‌گیرند. در فرضیات انفعالی، مشابه آنچه در آکساتر و همکارانش [۳۱] در نظر گرفته شد، یک

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.3.5]

حمل‌ونقل بعد از دریافت تقاضای تصادفی و به‌طور بالقوه، در مواقع کمبود موجودی اتفاق می‌افتد. بااین‌حال، جریان دیگری از تحقیقات از جمله آگراوال و همکاران [۳۲]، بانرجی و همکاران [۳۳]، بارتون و بانرجی [۳۴] بر روی حمل‌ونقل جانبی فعالانه تمرکز می‌کند. علاوه بر این، همان‌طور که توسط پترسون و همکارانش [۳۱] عنوان شد، تجدید توازن منظم موجودی از طریق حمل‌ونقل جانبی فعالانه، مزایایی برای نظام موجودی دارد، اگرچه کارهای کمی در رابطه با حمل‌ونقل جانبی فعالانه در بازبینی پیوسته انجام شده است. پژوهش حاضر نیز در پی پر کردن شکاف موجود در آثار گذشته سهیم است. چن و وهاب [۳۵] یک مساله بازپرسازی را با محدودیت‌های بودجه و ظرفیت حمل ارایه نمودند. آن‌ها کامیون‌های چندگانه با هزینه ثابت حمل را در نظر گرفتند و کالاهایی را لحاظ نمودند که امکان حمل آن با سایر کالاها در یک کامیون مقدور نیست. هدف آن‌ها کمینه نمودن هزینه بود و مساله را با روش ژنتیک حل کردند. جوئم و همکاران [۳۶] بیان کردند که شرکت‌ها به دلیل نوسانات تقاضا به دلایل مختلف از جمله آب‌وهوا ممکن است در برخی مراکز فروش با کمبود کالا و در برخی مراکز با ازدیاد کالا مواجه شوند. به همین دلیل از انتقال جانبی بهره می‌جویند. آن‌ها مدلی را ارایه نمودند که موجودی در چند مکان را تحت سیاست مرور دوره‌ای کنترل می‌کرد و دنبال سیاست بهینه‌ای بود که منابع انتقال جانبی و تعداد کالای انتقال‌یافته را به نحوی تعیین کند تا سود شبکه بیشینه گردد. آن‌ها از برنامه‌ریزی پویا برای حل مساله خود بهره جستند. یعقوبی و کامور [۳۷] مدلی را ارایه نمودند که به توزیع فراورده‌های خونی بین نقاط تقاضا با لحاظ نمودن انتقال جانبی می‌پردازد. آن‌ها با خطی سازی مدل خود، آن را با استفاده از روش‌های دقیق حل نمودند. خسروجردی و همکاران [۳۸] یک مدل عدد صحیح مختلط برای مساله اندازه سفارش اقتصادی چند دوره‌ای با چند تأمین‌کننده ارایه نمودند که طی آن درصد اقلام معیوب و قابل بازساخت را لحاظ کردند که علاوه بر خرید محصولات، وسایل حمل نیز بر اساس تعداد وسیله نقلیه ارسالی مشمول تخفیف می‌شوند. تسای و چن [۳۹] یک مدل چندهدفه برای کمینه‌سازی هزینه موجودی، سطح موجودی و فراوانی کمبود ارایه نمودند و آن را با کمک روش رتبه‌بندی و انتخاب بر پایه شبیه‌سازی حل نمودند. به‌علاوه آن‌ها روش دیگری را ارایه نمودند که جواب‌های جبهه پارتو با روش AHP به یک مطلوبیت واحد تبدیل شود. مساله آن‌ها مواردی چون انتخاب همزمان تأمین‌کننده و حمل‌ونقل و انتقالات جانبی را لحاظ نکرده است. پرایان و تایاکومار [۱] یک مدل موجودی فازی را برای شرایط احتمالی در یک شرکت دارویی ارائه نمودند و از روش ضرایب لاگرانژ برای حل آن استفاده نمودند. زندیه و عادلی [۳۹] یک مدل یکپارچه منبع‌یابی و سیاست موجودی ارایه نمودند. گرچه آن‌ها مدل خود را به روش بهینه‌سازی شبیه‌سازی حل نمودند، اما در مدل آن‌ها اختلالات، انتقال جانبی و منبع‌یابی چندگانه لحاظ نشد و با توجه به یک سیستم کالایی عمومی توسعه‌یافته بود. یاکیده و همکاران [۴۰] یک مدل تلفیقی انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش چندهدفه ارایه نمودند و مدل خود را با روش تاپسیس تعدیل‌شده حل نمودند. لازم به ذکر است مدل آن بسیاری از جوانب چون انتقال جانبی، اختلالات و فسادپذیری کالا را در نظر می‌گیرد.

آنچه از تحقیقات پیشین مسلم است ضعف یک مدل جامع که هم چندهدفه باشد و انتخاب تأمین‌کننده و تعیین سیاست بهینه موجودی دارو را به‌صورت توام آن هم با شرایط احتمالی است. با توجه به پیشینه تحقیق

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.3.5]

بیان‌شده در بالا هیچ‌کدام از تحقیقات پیشین مدلی به این میزان نزدیک به دنیای واقعی طراحی ننموده و از تلفیق بهینه‌سازی فرا ابتکاری چندهدفه با شبیه‌سازی برای حل این مساله استفاده نکرده است. با توجه به شرایط و حساسیت صنعت دارو در مدل طراحی‌شده برای این صنعت باید به مسایلی چون انتقال جانبی بین انبارهای توزیع و قرارداد با تأمین‌کنندگان مختلف جهت کاهش ریسک زنجیره تأمین نیز توجه شود. همچنین به جهت اهمیت کمبود دارو، باید تمرکز بیشتری روی کمبود آن صورت گیرد و به‌عنوان هدف مجزا لحاظ گردد که برای نخستین بار در این تحقیق انجام می‌شود. با توسعه این مدلی با شرایط فوق توسعه یک روش حل جدید ضروری می‌نماید. این تحقیق در پی مرتفع نمودن شکاف پژوهشی یاد شده است.

۳ بیان مساله و مدل‌سازی

این پژوهش از نوع توسعه‌ای و کاربردی است. بخش عمده‌ای از مطالب مربوط به این مقاله از منابع کتابخانه‌ای شامل کتب، پایان‌نامه‌ها و مقالات جمع‌آوری شده است. به‌منظور آزمودن الگوریتم‌های ارایه‌شده از داده‌های آزمایشی موجود در تحقیقات پیشین مخصوصاً مقاله برکو و همکاران [۹] و عادلی و زندیه [۳۹] استفاده شده است.

مساله این پژوهش یک شرکت توزیع داروست که $M \geq ۲$ تأمین‌کننده کاندیدا و $N \geq ۲$ انبار پخش دارد. در این زنجیره‌تأمین دوسطحی برای ارضای تقاضا در هر انبار پخش، یک مجموعه از تأمین‌کنندگان بالقوه که معیارهای مورد انتظار مالی، کیفی و تحویل دارو را برای شرکت برآورده می‌سازند، انتخاب می‌شوند. این مساله در دو حالت تأمین تک‌منبعی و چند منبعی بررسی شده است. هر تأمین‌کننده کاندیدا در صورت انتخاب شدن، به میزان f_j هزینه انعقاد قرارداد همکاری را به دنبال دارد و قیمت هر واحد داروی آن c_j واحد پولی می‌باشد. ظرفیت عرضه سالانه هر تأمین‌کننده j در سال W_j واحد دارو و کیفیت داروی تحویلی آن $۰ \leq q_j \leq ۱$ است. این کیفیت با توجه به عواملی چون اثربخشی و عوارض دارو، توسط متخصصین مربوط تعیین شده است. امروزه اختلال سیستم زنجیره‌تأمین دارو یکی از چالش‌برانگیزترین معضلات این حوزه است. برای نزدیک‌تر نمودن مساله با دنیای واقعی این اختلالات در این پژوهش مورد تأکید قرار گرفته است. تأمین‌کننده j در طی زمان دچار اختلالاتی با فراوانی θ_j و مدت‌زمان خرابی ν_j می‌گردد. این اختلال دو نوع کوتاه‌مدت و بلندمدت دارد که در حالت اختلال بلندمدت، فاصله زمانی بین دو اختلال طولانی است و معمولاً ناشی از عواملی چون تحریم، بلایای طبیعی و مسایل حاد مالی است. در نقطه مقابل یا همان اختلال کوتاه‌مدت، مواردی چون خرابی موقت خط تولید و کمبود مواد اولیه تأمین‌کننده منشأ اختلال است. لازم به ذکر است که میزان تأمین W_j بدون در نظر گرفتن این اختلال اعلام می‌شود. از سوی دیگر، هر انبار توزیع، تقاضایی با توزیع احتمال پوآسون و میانگین λ_i دارد و برای تأمین تقاضای انبارها، متغیر تصمیم صفر و یک X_j بیانگر انتخاب و یا عدم انتخاب تأمین‌کننده j از میان تأمین‌کنندگان کاندیداست. تخصیص تأمین‌کنندگان به انبارها توسط متغیر تصمیم صفر و یک A_{ij} صورت می‌گیرد و Y_{ij} میزان داروی تأمین‌شده توسط تأمین‌کننده j برای انبار i را به‌دست می‌دهد. قبل از این‌که به مدل‌سازی ریاضی سیستم پرداخته شود، نمادهای استفاده‌شده به شرح زیر معرفی می‌شوند.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.3.5]

پارامترهای مدل

I: مجموعه انبارها $I = \{1,\ldots,i,\ldots,N\}$

J: مجموعه تأمین‌کنندگان کاندیدا $J = \{1,\ldots,j,\ldots,M\}$

c_j: هزینه تأمین هر واحد دارو از تأمین‌کننده j، $\forall j \in J$

f_j: هزینه ثابت قرارداد با تأمین‌کننده i، $\forall i \in I$

p_{ij}: هزینه ثابت حمل سفارش به انبار i از تأمین‌کننده j توسط هر کامیون، $\forall j \in J$ و $\forall i \in I$

r_{ij}: هزینه متغیر حمل موجودی به انبار i از تأمین‌کننده j توسط هر کامیون (بر اساس مسافت) $\forall j \in J$ و $\forall i \in I$

d_{ij}: فاصله بین انبار i و تأمین‌کننده j $\forall j \in J$ و $\forall i \in I$

LT_{ij}: مدت‌زمان تحویل سفارش تأمین‌کننده i به انبار j $\forall j \in J$ و $\forall i \in I$

D_i: تقاضای سالانه انبار i $\forall i \in I$

s_i: هزینه کمبود هر واحد سفارش معوّق در انبار i $\forall i \in I$

K_i: هزینه ثبت هر سفارش انبار i $\forall i \in I$

h_i: هزینه نگهداری هر واحد موجودی در انبار i $\forall i \in I$

Q_j^{min}: حداقل مقدار قابل سفارش از تأمین‌کننده j

q_i^{min}: حداقل سطح کیفیت قابل‌پذیرش برای انبار i $\forall i \in I$

W_j: ظرفیت خروجی سالانه تأمین‌کننده j

q_j: درصد محصولات با کیفیت قابل‌قبول توسط تأمین‌کننده j

TrSize: ظرفیت کامیون‌ها

PrT: زمان فاسدشدن (انقضا) از لحظه ارسال

متغیرهای تصمیم

X_j: اگر تأمین‌کننده j انتخاب شود برابر ۱ و در غیر این صورت برابر صفر است.

Y_{ij}: مقدار تقاضای سالیانه انبار i که توسط تأمین‌کننده j ارضا می‌گردد.

$A_{ij} = \delta(Y_{ij})$ اگر انبار i توسط تأمین‌کننده j ارضا شود برابر ۱ و در غیر این صورت صفر است.

n_{ij} مقدار عدد صحیح مربوط به Q_{ij} برای انبار i از تأمین‌کننده j

Q_{ij}: مقدار هر بار سفارش انبار i از تأمین‌کننده j

R_{ij}: نقطه سفارش مجدد انبار i از تأمین‌کننده j

Q_{ij}^L: مقدار هر بار سفارش انبار i از انبار k

Y_{ij}^L: مدار تقاضای سالیانه انبار i که توسط انبار k ارضا می‌گردد.

R_{ij}^L: نقطه سفارش مجدد انبار i از انبار k

A_{ik}^L اگر انبار i توسط انبار k ارضا شود برابر ۱ و در غیراین صورت صفر است.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-01]

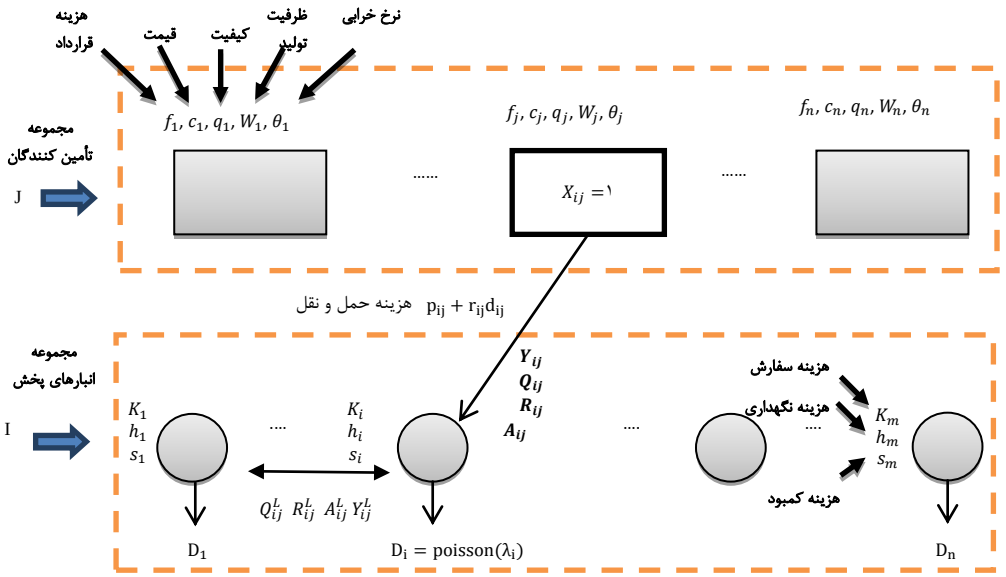
[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.3.5]

n_{ik}^{L} مقدار عدد صحیح مربوط به Q_{ij}^{L} برای انبار i از انبار k

تعدادی از پارامترها و متغیرهای این پژوهش مربوط به تعامل انبارها با سایر انبارها و یا همان انتقال جانبی است که با اندیس بالانویس L مشخص شده‌اند. به‌عنوان‌مثال A_{ik}^{L} بیانگر این است که آیا انتقال جانبی دارو از انبار i به انبار k صورت می‌گیرد یا خیر.

مدل‌سازی ریاضی

با توجه به تعریف مساله و نمادهای معرفی‌شده، نمای کلی مساله مطابق شکل ۱ می‌باشد.



شکل ۱. نمای کلی مساله منبع‌یابی و سیاست موجودی با انتقال جانبی

مطابق شکل ۱ هر انبار توزیع دارو از یک سیاست موجودی مرور مستمر (nQ,R) پیروی می‌کند. بر اساس سیاست (nQ,R) سطح موجودی انبار به‌طور مستمر بررسی می‌شود و هر زمان که سطح موجودی دارو کمتر از میزان R واحد شد، به میزان nQ سفارش داده می‌شود. پس از طی زمان تحویل LT_{ij} سفارش ارسالی از طرف تأمین‌کننده j به انبار i می‌رسد. سفارش توسط کامیون‌هایی با ظرفیت $TrSize$ به انبار حمل می‌شوند. ازآنجاکه کیفیت موجودی ارسالی تأمین‌کننده j برابر q_j است، لذا سطح موجودی انبار i به میزان $Q_i \times q_j$ واحد دارو افزایش می‌یابد. در ادامه با توجه به توضیحات بیان‌شده به مدل‌سازی ریاضی مساله پرداخته خواهد شد.

در این پژوهش دو هدف برای مدل مساله در نظر گرفته شده است. هدف نخست مطابق روابط (۱) تا (۶)کمینه‌سازی هزینه است. این هزینه شامل هزینه راه‌اندازی و قرارداد با تأمین‌کننده منتخب طبق رابطه (۱)، هزینه خرید دارو یا تدارکات طبق رابطه (۲)، هزینه سفارش‌دهی طبق رابطه (۳)، هزینه نگهداری در انبار و اجاره فضای اضافی طبق رابطه (۴)، هزینه قابل‌محاسبه کمبود دارو طبق رابطه (۵) و هزینه حمل‌ونقل دارو مطابق رابطه (۱۲) می‌باشد. بر اساس رابطه (۱۲) هزینه حمل‌ونقل از تأمین‌کننده j به انبار i شامل دو بخش است. بخش نخست هزینه ثابت حمل توسط کامیون که (p_{ij}) به فاصله بین انبار و تأمین‌کننده وابسته نیست و بخش دیگر هزینه متغیر حمل

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.3.5]

توسط کامیون (r_{ij}) است که به ازای هر واحد مسافت بین انبار i و تأمین‌کننده j می‌باشد. لازم به ذکر است که به دلیل شرایط خاص نگهداری دارو از نظر دما و رطوبت، حمل آن با خودروهای مخصوصی صورت می‌گیرد. بنابراین هزینه حمل آن نسبت به سایر کالاها به میزان بیشتری قابل توجه است. برای محاسبه هزینه جابجایی متغیر بین انبار i و تأمین‌کننده j از رابطه $r_{ij} \times d_{ij}$ استفاده می‌شود. d_{ij} فاصله (اقلیدسی) بین انبار i و تأمین‌کننده j است. این قاعده در مورد حمل‌ونقل از انبار i به انبار جانبی k نیز به طور مشابه برقرار است. برای کاهش هزینه در افق برنامه‌ریزی باید یک بده بستان بین انتخاب تأمین‌کننده و سیاست کنترل موجودی هر انبار صورت گیرد.

$$min \quad Z_1 = \sum f_j X_j \tag{۱}$$

$$+\sum_{i\in I}\sum_{j\in J} c_j Y_{ij} \tag{۲}$$

$$+\sum_{i\in I}\left[\sum_{j\in J, Q_{ij}\neq 0}\frac{K_i}{n_{ij}Q_{ij}}+\sum_{k\in I, Q_{ik}^L\neq 0}\frac{K_i^L Y_{ik}^L}{n_{ik}^L Q_{ik}^L}\right] \tag{۳}$$

$$+$$

$$\sum_{i\in I} h_i\left[\sum_{j\in J} A_{ij}\left\{\frac{n_{ij}Q_{ij}}{2}+R_{ij}-E\left[LTD_{ij}\right]\right\}+\sum_{k\in I,k\neq i} A_{ik}^L\left\{\frac{n_{ik}^L Q_{ik}^L}{2}+R_{ik}^L-E\left[LTD_{ik}\right]\right\}\right] \tag{۴}$$

$$+\sum_{i\in I} s_i\left[\sum_{j\in J, Q_{ij}\neq 0}\eta\left(LTD_{ij}, R_{ij}\right)\frac{Y_{ij}}{n_{ij}Q_{ij}}+\sum_{k\in I, Q_{ik}^L\neq 0}\eta\left(LTD_{ik}, R_{ik}^L\right)\frac{Y_{ik}^L}{n_{ik}^L Q_{ik}^L}\right] \tag{۵}$$

$$+\sum_{i\in I}\left[\sum_{j\in J, Q_{ij}}\frac{\left(p_{ij}+r_{ij}d_{ij}\right)+Y_{ij}}{n_{ij}Q_{ij}}+\sum_{k\in I, Q_{ik}^L\neq 0}\frac{\left(p_{ik}^L+r_{ik}^L d_{ik}^L\right)Y_{ik}^T}{n_{ik}^L Q_{ik}^L}\right] \tag{۶}$$

بدیهی است محاسبه مقدار دقیق هزینه کمبود دارو، امری دشوار و شاید نشدنی باشد، زیرا بخشی از هزینه کمبود شامل هزینه‌های معنوی، خسارات جانی، خسارات اجتماعی، کسر اعتبار شرکت و سایر عواقب ناشی از کمبود دارو، به‌صورت کمّی قابل‌محاسبه نیستند؛ بنابراین تعداد کمبود، مطابق رابطه (۷) به‌عنوان هدفی مجزا در این پژوهش لحاظ گردید.

$$min \ Z_2 = \sum_{i\in I}\left[\sum_{j\in J, Q_{ij}\neq 0}\eta\left(LTD_{ij}, R_{ij}\right)\frac{Y_{ij}}{n_{ij}Q_{ij}}+\sum_{k\in I, Q_{ik}^L\neq 0}\eta\left(LTD_{ik}, R_{ik}^L\right)\frac{Y_{ik}^L}{n_{ik}^L Q_{ik}^L}\right] \tag{۷}$$

در ادامه به بررسی محدودیت‌های مدل پرداخته خواهد شد.

$$\sum_{j\in J} Y_{ij}+\sum_{k\in I,k\neq i} Y_{ik}^L-\sum_{l\in I,l\neq i} Y_{li}^L = E\left(D_i\right), \forall i\in I \tag{۸}$$

$$Y_{ij} \le E\left(D_i\right) X_j, \forall i\in I \ \ \forall j\in J \tag{۹}$$

$$\sum_{i\in I} Y_{ij} \le W_j X_j, \forall j\in J \tag{۱۰}$$

$$A_{ij} \le X_j, \forall i\in I \ \ \forall j\in J \tag{۱۱}$$

$$Y_{ij} \le E\left(D_i\right) A_{ij}, \forall i\in I \ \ \forall j\in J \tag{۱۲}$$

$$Y_{ik}^L \le E\left(D_i\right) A_{ik}^L, \forall i,k\in I \ \ i\neq k \tag{۱۳}$$

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-01]

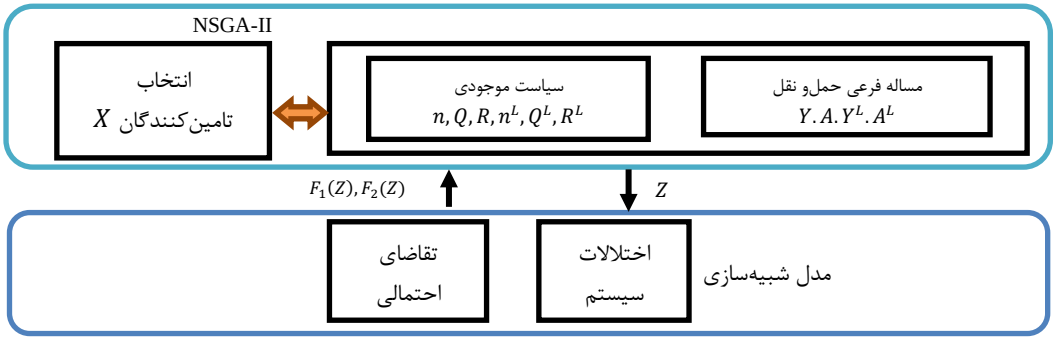
[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.3.5]

$$\frac{n_{ij}Q_{ij}}{Y_{ij}}, \frac{n_{ik}^{L}Q_{ik}^{L}}{Y_{ik}^{L}} < PrT, \forall i,k \in I \quad i \neq k \; \forall j \in J \qquad (۱۴)$$

مطابق رابطه (۸) تقاضا در هر انبار فقط می‌تواند توسط تأمین‌کنندگان منتخب و همچنین سایر انبارهای منتخب برآورده شود. همچنین طبق رابطه (۹) انبارها فقط می‌توانند توسط تأمین‌کنندگانی بازپرسازی شوند که از قبل انتخاب شده‌اند. طبق رابطه (۱۰) هر تأمین‌کننده فقط به میزان ظرفیت خروجی خود می‌تواند دارو تأمین نماید و مطابق رابطه (۱۱) یک تأمین‌کننده تنها در صورت انتخاب شدن می‌تواند به انبارها تخصیص یابد. بنا بر رابطه (۱۲) در طی یک انتقال جانبی، فقط از انبارهایی می‌توان دارو گرفت که انتقال جانبی مذکور برای آن‌ها تعریف و برقرار شده باشد. طبق رابطه (۱۴) زمان تحویل دارو باید کمتر از زمان فساد دارو باشد.

٤ حل مدل و تحلیل داده‌ها

مدل ارایه‌شده در این پژوهش یک مدل ترکیبی عدد صحیح غیرخطی است که NP-hard بودن مساله آن در فرم مسایل ساده‌تر در مقالات پیشین بیان شده است و با افزایش تعداد متغیرها و ابعاد، به یک مساله بسیار پیچیده مبدل می‌گردد که حل آن با روش‌های مرسوم ممکن نیست، لذا برای حل آن از یک تکنیک بهینه‌سازی شبیه‌سازی دومرحله‌ای استفاده شد. تابع هدف این مساله به جهت شرایط احتمالی و پیچیدگی که دارد، قابل محاسبه با روش‌های رایج نیست و باید برای محاسبه آن از شبیه‌سازی گسسته پیشامد استفاده شود. مطابق شکل ۲ بخش شبیه‌سازی یک سناریو احتمالی پیچیده را به تصویر می‌کشد و مقدار توابع هدف را محاسبه می‌کند. برای فائق آمدن بر پیچیدگی حل مساله نیز از روش‌های بهینه‌سازی فراابتکاری استفاده گردید. نمای کلی روش بهینه‌سازی استفاده‌شده در این پژوهش مطابق شکل ۲ است.



شکل ۲. نمای کلی روش بهینه‌سازی شبیه‌سازی پیشنهادی

مطابق شکل ۲ روش حل ارایه شده شامل دو گام است که با تکرار حلقه آن جواب بهینه به دست می‌آید.

گام اول: در این گام بهینه‌سازی شامل انتخاب تأمین‌کنندگان (X) و محاسبه متغیرهای تصمیم مساله موجودی شامل $Q, R, n^L, Q^L, R^L n, Q, R, n^L, Q^L, R^L$ با کمک الگوریتم بهینه‌سازی NSGA-II انجام می‌شود.

گام دوم: در این گام با کمک شبیه‌سازی گسسته پیشامد مقادیر تابع هدف محاسبه می‌شوند و جهت ارزیابی مجدد به الگوریتم NSGA-II ارسال می‌گردند.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.3.5]

در روش ارایه‌شده برای حل مساله، در گام نخست یک مجموعه جواب برای X_j تولید شده و سپس با حل مساله حمل‌ونقل زیر Y_{ij} و A_{ij}^L محاسبه می‌گردند. برای حل مساله حمل‌ونقل فوق نیاز به داشتن مقادیر Q_{ij}^L و Q_{ij} می‌باشد که برای محاسبه مقادیر فوق از فرمول مقدار سفارش اقتصادی EOQ به شرح روابط (۱۵) و (۱۶) برای به دست آوردن تخمینی از این دو استفاده می‌شود.

$$\bar{Q}_{ik}^L = \frac{\sqrt{\frac{۲K_i^L E\left(D_i\right)}{h_i}}}{N-۱} \qquad (۱۵)$$

$$\bar{Q}_{ij} = \frac{\sqrt{\frac{۲K_i E\left(D_i\right)}{h_i}}}{M} \qquad (۱۶)$$

با جایگذاری مقادیر به‌دست‌آمده در روابط (۱۷) و (۱۸) مقادیر دقیق‌تر Q_{ij} و Q_{ij}^L به دست می آیند.

$$Q_{ij} = \sqrt{\frac{۲\bar{Y}_{ij}\left\{K_i + \left(p_{ij} + r_{ij}d_{ij}\right)\right\}}{h_i}}, \forall i \in I \ \ \forall j \in J \qquad (۱۷)$$

$$Q_{ik}^L = \sqrt{\frac{۲\bar{Y}_{ik}^{\ L}\left\{K_i^L + \left(p_{ik}^L + r_{ik}^L d_{ik}^L\right)\right\}}{h_i}}, \forall i \in I \ \ \forall k \neq i \qquad (۱۸)$$

سپس با کمک رابطه $R_i = F^{-۱}\left(\alpha\right)$ مقدار سفارش مجدد برای سطح سرویس α به دست می‌آید. حال با کمک روابط (۱۹) تا (۲۲) می‌توان نقطه سفارش مجدد را برای هر کدام از تأمین‌کنندگان و انبارهای جانبی مشخص نمود.

$$\Psi_{ij} = \frac{Y_{ij}}{\sum_{j\in J} Y_{ij} + \sum_{k\in I} Y_{ik}^L}, j \in J \ , Y_{ij} > ۰ \qquad (۱۹)$$

$$\Psi^L{}_{ij} = \frac{Y_{ik}^L}{\sum_{j\in J} Y_{ij} + \sum_{k\in I} Y_{ik}^L}, k \in I \ , Y_{ik}^L > ۰ \qquad (۲۰)$$

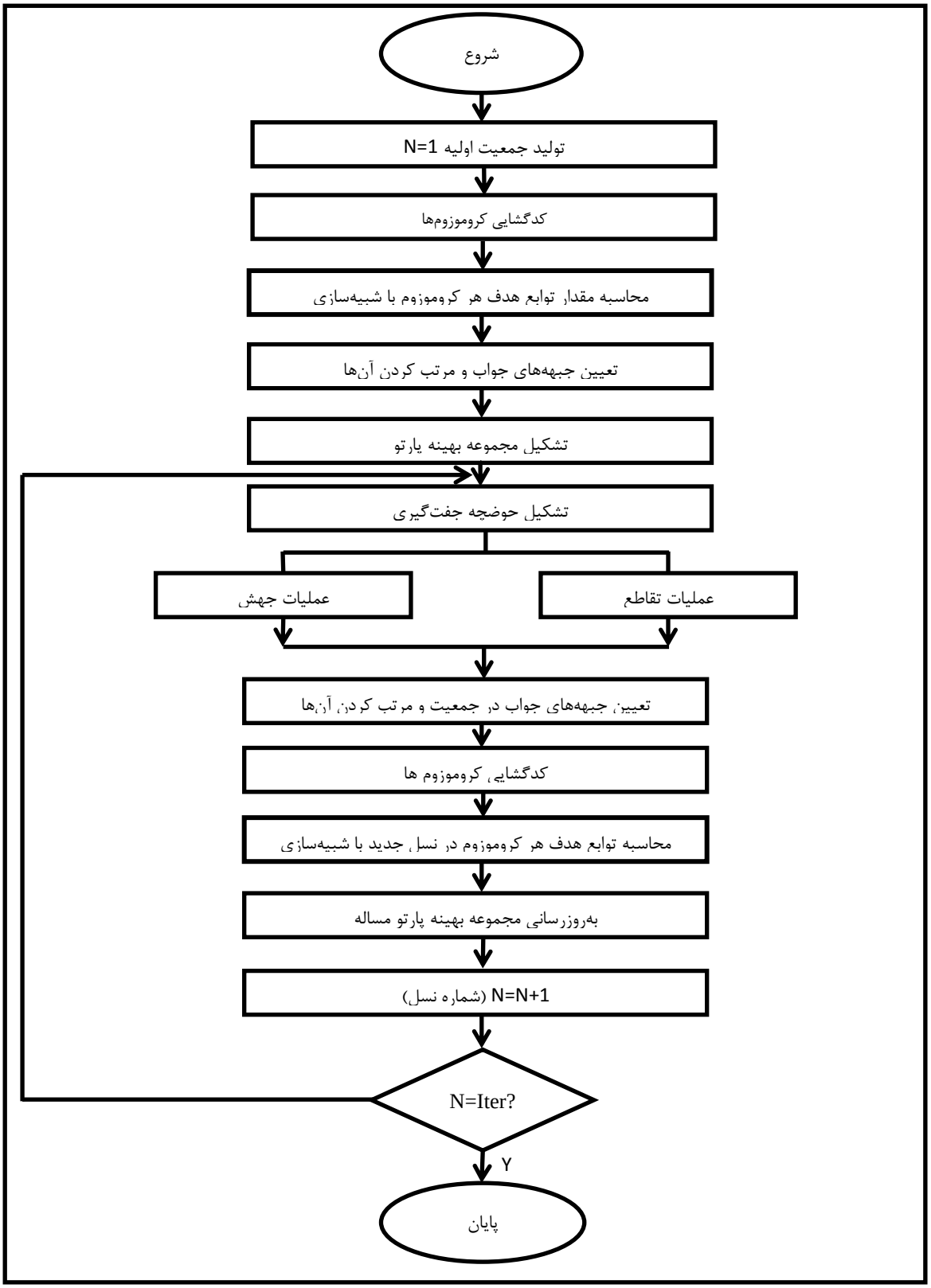
$$R_{ij} = \Psi_{ij} R_i + \lambda_i L_{ij} \qquad (۲۱)$$

$$R_{ij}^L = \Psi^L{}_{ij} R_i + \lambda_i L_{ik}^L \qquad (۲۲)$$

در ادامه شمای الگوریتم NSGA-II در شکل ۳ آمده است. لازم به ذکر است در الگوریتم شکل ۳ برای مکانیزم انتخاب روش تورنمنت و برای عملگر تقاطع از تلفیق دو رویکرد تقاطع تک نقطه‌ای و دونقطه‌ای استفاده شد. برای جهش نیز از رویکرد جهش تصادفی استفاده گردید و برای محاسبه مقادیر تابع هدف از شبیه‌سازی گسسته پیشامد استفاده گردید.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.3.5]

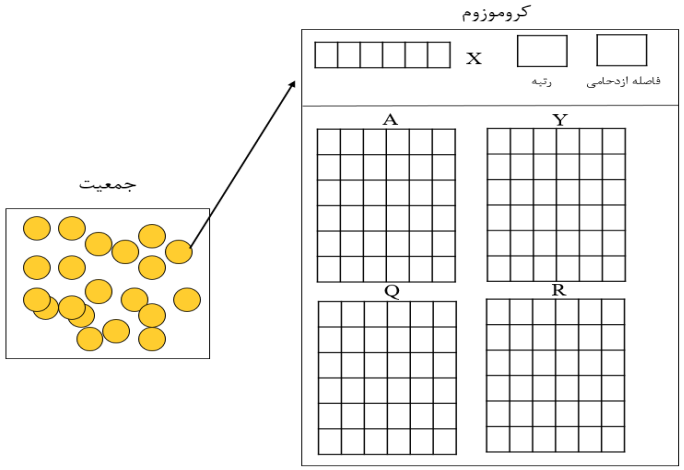


شکل ۳. فلوچارت الگوریتم NSGA-II پیشنهادی

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.3.5]

برای نمایش جواب‌ها در الگوریتم NSGA-II تلفیق‌شده با شبیه‌سازی از روش ماتریس‌های تودرتو به شرح شکل ۴ استفاده شد.



شکل ٤. نحوه نمایش جواب‌ها در الگوریتم NSGA-II

نتایج محاسباتی و تحلیل داده‌ها

برای آزمون روش پیشنهادی نخست از داده‌های مقاله زندیه و عادلی [۳۹] بدون لحاظ نمودن کالای دارویی استفاده شد و پس از تایید عملکرد الگوریتم از داده‌های ارایه‌شده توسط یک شرکت پخش دارو در ایران (داروپخش) استفاده شد. پارامترهای مساله به شرح

جدول ۱ ایجاد شده‌اند. الگوریتم مطرح‌شده به همراه شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار MATLAB 2016 پیاده‌سازی و در رایانه‌ای با پردازنده Core i3 و حافظه 4GB و سیستم‌عامل ویندوز ۱۰ اجرا شدند.

جدول ۱. داده‌های مساله (پارامترهای مدل)

	ردیف	پارامترها	علامت	مقادیر	واحد
انبار	۱	موقعیت	$p_i = (x_i, y_i)$	(U(۰/۱و۲۵۰) و U(۰/۱و۲۵۰))	-
	۲	میانگین زمان بین تقاضاها		U $expo(\lambda_i), \lambda_i$ = (۰/۱و۰/۷)	ساعت
	۳	هزینه سفارش دهی	K_i	U(۵۰۰۰و۱۰۰۰۰)	واحد پولی / سفارش
	۴	هزینه نگهداری	h_i	U(۰/۴۵و۲/۸)	واحد پولی / سال × واحد
	۵	هزینه کمبود	s_i	U(۱/۵و۳/۵)	واحد پولی / سال × واحد
تأمین کننده	۶	مکان فیزیکی	$p_i = (x_i, y_i)$	(U(۰/۱و۲۵۰) و U(۰/۱و۲۵۰))	-
	۷	هزینه قرارداد	f_j	U(۱۲۰۰۰و۳۱۰۰۰)	واحد پولی

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.3.5]

	۸	هزینه واحد دارو	c_j	U(۰/۶و۱/۸)	واحد پولی
	۹	ظرفیت تولید	PC_j	U(۲۴۰۰و۲۸۰۰)	کالا / روز
	۱۰	کیفیت	q_j	U(۰/۶و۰/۸۵)	-
عمومی	۱۱	هزینه ثابت هر کامیون	p_{ij}	U(۲۵۰و۲۷۵)	واحد پولی
	۱۲	زمان تأخیر	LT_{ij}	d(i,j) (۱/۲۵و۳)*U	ساعت
	۱۳	هزینه حمل برای هر کیلومتر	r_{ij}	U(۰/۷۵و۳)	واحد پولی / کیلومتر
	۱۴	ظرفیت کامیون	TrSize	۵۰۰	تعداد
	۱۵	عمر دارو	PrT	۳۰۰	روز

دو نوع اختلال نیز به شرح جدول ۲ برای تأمین‌کننده در ماژول شبیه‌سازی تعبیه شدند. همان‌گونه که قبلاً بیان شد اختلال بلندمدت شامل مواردی چون تحریم و بلایای طبیعی است و اختلال کوتاه‌مدت شامل مواردی چون توقف‌های کوتاه‌مدت تأمین‌کننده است.

جدول ۲. اختلالات تأمین‌کننده

نوع اختلال	فراوانی اختلال	زمان اختلال
مکرر اما کوتاه‌مدت	$Expo(۶)$	$Expo(۱)$
نادر اما طولانی‌مدت	$Expo(۱۰۰)$	$Expo(۵)$

در ادامه شش اندازه مساله در اندازه‌های متفاوت از کوچک به بزرگ به شرح جدول ۳ و با توجه به پارامترهای جدول ۱ تعریف شدند.

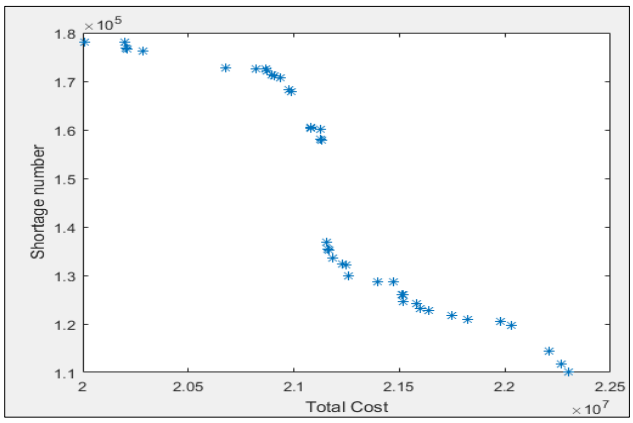
جدول ۳. مسایل تولید شده

شماره مساله	۱	۲	۳	۴	۵	۶
تعداد انبار	۱۵	۱۵	۱۵	۳۰	۳۰	۳۰
تعداد تأمین‌کننده	۱۰	۲۰	۴۰	۱۰	۲۰	۴۰

با هر بار اجرای الگوریتم یک جبهه پارتو برای مساله با اندازه ۴۰*۱۵ مطابق شکل ۵ به‌دست می‌آید که بیان‌گر مقادیر توابع هدف برای جواب‌های مساله است.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.3.5]



شکل ۵. جبهه پارتو به‌دست‌آمده از حل مدل برای مساله با اندازه ۴۰*۱۵

همان‌گونه که از شکل ۵ پیداست هیچ‌کدام از جواب‌های جبهه پارتو یکدیگر را مغلوب نمی‌کنند و با کاهش تعداد کمبود در جواب‌ها، هزینه کل سیستم افزایش می‌یابد.

تنظیم پارامترهای الگوریتم پیشنهادی با طراحی آزمایش تاگوچی

روش تاگوچی انحراف‌های ممکن از مقدار هدف را همراه با تابع زیان مدل‌بندی می‌کند. در مدل مورد بررسی در این پژوهش ازآنجاکه درصدد کمینه کردن هزینه‌های زنجیره‌تأمین هستیم، از معیار «هرچه کوچک‌تر بهتر» جهت بررسی کیفیت جواب استفاده می‌شود. با توجه به این‌که الگوریتم چندهدفه است برای تنظیم پارامتر از میانگین وزنی سه شاخص تعداد جواب پارتو[1](NOS)، معیار فاصله از جواب ایده‌آل[2](MID)، زمان اجرای الگوریتم[3](T) استفاده شد. شاخص MID با کمک رابطه (۲۳) به دست می‌آید. در این رابطه NOS تعداد جواب‌ها، g شماره اهداف و sol شماره جواب‌ها هستند.

$$\mathrm{MID} = \frac{1}{\mathrm{NOS}} \sum_{sol=1}^{n} \sqrt{\sum_{g=1}^{2} f_{sol(g)}^{2}} \qquad (۲۳)$$

سپس با کمک روابط (۲۴) تا (۲۶) شاخص بی‌مقیاس RPD برای آزمایش‌های مختلف i مشخص می‌شود. w وزن هر کدام از شاخص‌های فوق می‌باشد و $ValueSol_i$ ارزش آزمایش i را نشان می‌دهد.

$$ValueSol_i = \frac{1}{3}\left(MID_i.w_{MID} + T_i.w_T + NOS_i.w_{NOS}\right) \qquad (۲۴)$$

$$BestSol = \min\left(ValueSol_i\right), \forall i \qquad (۲۵)$$

[1] Number Of Solutions
[2] Mean Ideal Distance
[3] Time

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.3.5]

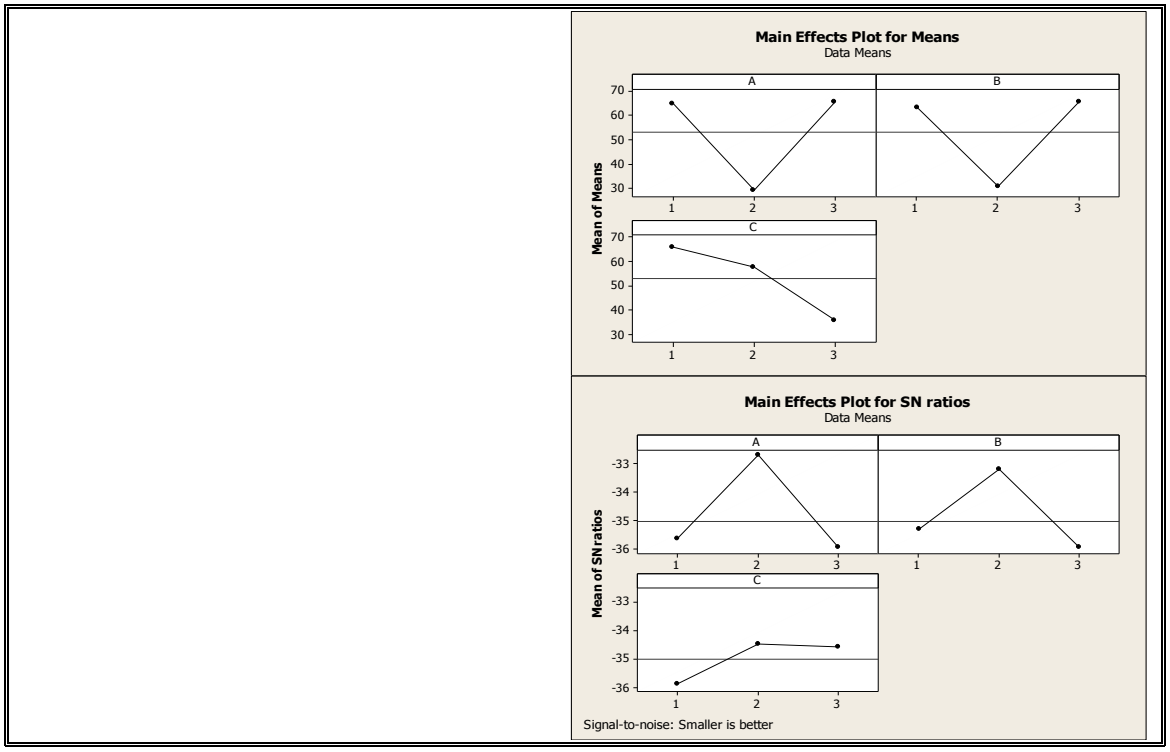
$$RPD_i = \frac{ValueSol_i - BestSol}{BestSol} \times ۱۰۰ \quad (۲۶)$$

فاکتورها و سطوح تعریف‌شده برای الگوریتم در جدول ۴ آمده است. در الگوریتم NSGA-II سه فاکتور سه سطحی در نظر گرفته شده است.

جدول ٤. سطوح فاکتورها در تنظیم پارامتر الگوریتم

	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
نرخ تقاطع	۰/۵	۰/۷	۰/۹
نرخ جهش	۰/۱	۰/۳	۰/۵
جمعیت	۵۰	۱۰۰	۱۵۰

جهت انتخاب بهترین پارامتر از دو معیار درصد انحراف نسبی و نرخ سیگنال به اغتشاش استفاده گردید که با استفاده از نرم‌افزار Minitab 16 مقادیر میانگین RPD و نرخ S/N برای پارامترهای مختلف الگوریتم مطابق شکل ۶ به دست آمد.



شکل ٦. خروجی نرم‌افزاری تنظیم پارامتر الگوریتم

با توجه به نتایج نرم‌افزاری شکل فوق مشخص است که سطح ۲ میزان RPD کمتر و S/N بیشتر دارد و مقادیر آن بهتر از سایر سطوح هستند. بنابراین تنظیم پارامتر الگوریتم به‌صورت جدول ۵ انجام شد.

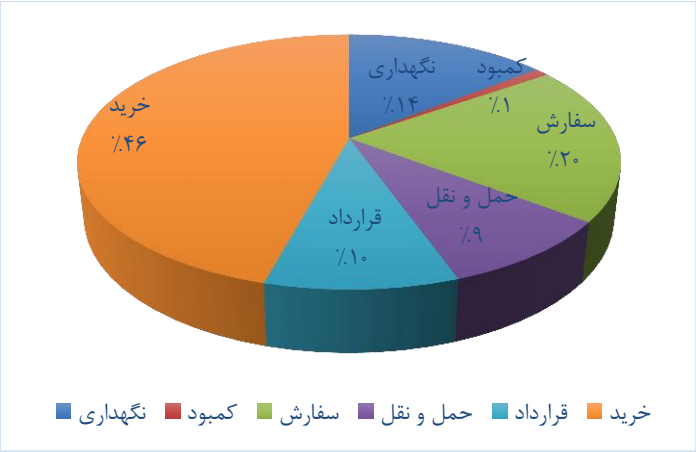
[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.3.5]

جدول ۵. مقدار پارامترهای تنظیم‌شده الگوریتم

نرخ تقاطع	نرخ جهش	جمعیت	تعداد تکرار
۰/۷	۰/۳	۱۵۰	۱۰۰

در ادامه با حل مساله شماره ۶ جدول ۳ در حالت تک‌منبعی و بدون انتقال جانبی سهم هزینه‌ها به شرح شکل ۶ به دست آمد. در ادامه به بررسی آثار چندمنبعی، انتقال جانبی و انواع اختلال در سیستم پرداخته خواهد شد.



شکل ۷. سهم هزینه‌ها در سیستم پخش داروی مساله

همان‌گونه که از شکل ۷ مشخص است در این مساله هزینه خرید (تدارکات)، سفارش‌دهی و نگهداری بیشترین سهم از هزینه کل را دارند.

بررسی آثار تعدد منابع تأمین و انتقال جانبی

برای مقایسه اثر تعدد منابع تأمین بر اهداف مدل در شرایط بدون انتقال جانبی برای ۱۰ مساله بزرگ اجرا گردید و سپس با کمک آزمون ناپارامتریک من- ویتنی فرض رابطه (۲۷) با کمک نرم‌افزار SPSS 22 صورت گرفت.

$$\begin{cases} H_0 = \mu_{SS}(shortage) = \mu_{MS}(shortage) \\ H_1 = \mu_{SS}(shortage) \neq \mu_{MS}(shortage) \end{cases} \quad (۲۷)$$

مطابق نتایج آزمون فوق فرض صفر با $sig = ۰/۰۰$ رد شد و این بدان معناست که میزان کمبود در حالت چندمنبعی کمتر از حالت تک‌منبعی است؛ بنابراین در مواردی که داروی ما حیاتی است و جایگزین مناسبی برای آن وجود ندارد انعقاد قرارداد با چند تأمین‌کننده از ریسک سیستم موجودی خواهد کاست. در ادامه هزینه‌های سیستم در دو حالت تک‌منبعی و چندمنبعی طبق رابطه (۲۸) مقایسه شدند. نکته جالب اینجاست که در مورد هزینه‌ها فرض صفر تأیید شده و این دو حالت تفاوت معناداری در هزینه سیستم ندارند؛ بنابراین برای داروی غیرضروری مثل مکمل‌ها شاید بستن قرارداد با یک تأمین‌کننده مخصوصاً در شرایطی که هزینه قرارداد بالاست کافی باشد.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.3.5]

$$\begin{cases} H_0 = \mu_{SS}(cost) = \mu_{MS}(cost) \\ H_1 = \mu_{SS}(cost) \neq \mu_{MS}(cost) \end{cases} \quad (۲۸)$$

مقایسه اهداف در دو حالت انتقال جانبی و بدون انتقال جانبی در شرایط تک‌منبعی نیز صورت گرفت. برای مقایسه اثر انتقال جانبی بین انبارها، الگوریتم برای ۱۰ مساله بزرگ در هر کدام از دو حالت با انتقال جانبی و بدون انتقال جانبی با کمک آزمون‌های فرض (۲۹) و (۳۰) اجرا شد.

$$\begin{cases} H_0 = \mu_{NLT}(cost) = \mu_{LT}(cost) \\ H_1 = \mu_{NLT}(cost) \neq \mu_{LT}(cost) \end{cases} \quad (۲۹)$$

$$\begin{cases} H_0 = \mu_{NLT}(shortage) = \mu_{LT}(shortage) \\ H_1 = \mu_{NLT}(shortage) \neq \mu_{LT}(shortage) \end{cases} \quad (۳۰)$$

با رد فرض صفر برای این حالت نیز می‌توان گفت انتقال جانبی موجب می‌شود کمتر با ریسک کمبود مواجه شویم. در این مورد نیز کمبود در شرایط انتقال جانبی به‌طور معناداری کمتر از حالت بدون انتقال جانبی است اما در مورد هزینه تفاوتی ایجاد نشد؛ بنابراین هنگامی‌که هزینه قرارداد با سایر همکاران هم‌سطح زنجیره پایین بوده و یا عدم مواجهه با کمبود دارو اهمیت بالایی داشته باشد، انتقال جانبی در بهبود سیستم تأمین دارو اثر قابل‌ملاحظه‌ای خواهد داشت.

بررسی آثار اختلالات

در انتها با اعمال دو نوع اختلال قیدشده در جدول ۲ و همچنین آزمون فرض رابطه (۳۱) مشخص گردید که اختلال نادر اما طولانی‌مدت، اثر مخرب‌تری بر وضعیت موجودی و کمبود دارو می‌گذارد و این کمبود را ۲۱/۳٪ افزایش می‌دهد.

$$\begin{cases} H_0 = \mu_{disrupt1}(shortage) = \mu_{disrupt2}(shortage) \\ H_1 = \mu_{disrupt1}(shortage) \neq \mu_{disrupt2}(shortage) \end{cases} \quad (۳۱)$$

بنابراین در مواقعی که اختلالات طولانی‌مدت از جمله تحریم در تأمین‌کنندگان تشدید می‌شود اهمیت منبع‌یابی چندگانه و انتقال جانبی بیش‌ازپیش می‌شود. لذا انتخاب تأمین‌کننده‌ای که با اختلالاتی چون تعمیرات و نگهداری و توقف کوتاه خدمت‌رسانی مواجه است بر تأمین‌کنندگانی با احتمال اختلال بلندمدت چون تحریم و بلایای طبیعی ارجحیت دارد.

۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

با وجود اهمیت زنجیره‌تأمین دارو، تاکنون مدل کمی جامعی که برخی شرایط خاص این زنجیره از جمله تقاضای احتمالی، اختلالات تأمین از قبیل تحریم، حوادث طبیعی و کمبود مواد اولیه، انتقال جانبی بین انبارهای توزیع دارو، منبع‌یابی چندگانه و اهداف چندگانه را به‌طور هم‌زمان و در یک مدل دیده باشد، توسط پژوهشگران انجام نشده است. در تحقیقات پیشین مطابق آنچه در بخش پیشینه تحقیق مطرح شد این مسایل به‌صورت جزیره‌ای و جدای از همدیگر بررسی شده است و نتایج آن بهینگی حالت یکپارچه را ندارد. از طرفی تاکنون مدل منبع‌یابی و

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.3.5]

تخصیص سفارش برای سیستم توزیع دارو با توجه به شرایط خاص این کالا از جمله فسادپذیری و هزینه بالای کمبود مدنظر قرار نگرفته است. همچنین اختلالات با اهمیتی چون تحریم در مدل‌های تحقیقات پیشین لحاظ نشده‌اند و عمده تحقیقات را مدل‌های ساده قطعی با روش‌های حل کلاسیک تشکیل می‌دهند. درحالی‌که مساله این تحقیق بسیاری جوانب مذکور را در نظر گرفته و این سبب غیرخطی شدن مدل و پیچیدگی سیستم شده است و محققین پژوهش را بر آن داشته تا برای اولین بار از ابزار بهینه‌سازی شبیه‌سازی چندهدفه در این حوزه موضوعی بهره جویند. این پژوهش به جهت اهمیت حیاتی بحث کمبود موجودی در حوزه دارو، آن را به‌عنوان هدفی مجزا لحاظ نمود. با در نظر گرفتن اختلالات و شرایط احتمالی بخش‌های مختلف سیستم، امکان به دست آوردن پاسخ با روش‌های رایج بهینه‌سازی مقدور نیست، لذا در این پژوهش یک روش حل ترکیبی بهینه‌سازی شبیه‌سازی برای مساله معرفی گردید. با مدل ارایه شده در این پژوهش به‌راحتی می‌توان تأمین‌کنندگان بهینه را شناسایی نموده و زمان و مقدار سفارش بهینه سفارش از هر کدام را به دست آورد. نتایج اجرای الگوریتم‌ها علاوه بر اثبات کارایی مدل و روش حل پیشنهادی، نشان دادند که منبع‌یابی چندگانه و انتقال جانبی بین انبارهای توزیع موجب کاهش کمبود دارو در سیستم می‌گردند. طبق نتایج تحقیق و انجام آزمون‌های فرض آماری، چندمنبعی بودن و انتقال جانبی بین انبارها تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای در هزینه سیستم ندارند اما موجب کاهش تعداد کمبود می‌شوند. انتقال جانبی و منابع چندگانه هزینه برنامه‌ریزی و قرارداد با انبار جانبی را افزایش می‌دهند که این افزایش، کاهش در هزینه کمبود را پوشش می‌دهد؛ بنابراین این دو رویکرد به جهت اهمیت کمبود در بحث دارو، نتایج ارزشمندی در این حوزه خواهند داشت، اما در سایر صنایع که تمرکز روی هزینه بیشتر از سایر اهداف است، کاربرد این دو رویکرد معنادار نخواهد بود. توصیه می‌شود مدیران صنعت توزیع دارو، برنامه‌ریزی خود را با فرض قطعیت عوامل زنجیره تأمین انجام ندهند و با استفاده از این مدل و مدل‌های مشابه هزینه و میزان کمبود را در سیستم توزیع داروی خود کمینه سازند و بهینه‌ترین ترکیب تأمین‌کننده و سیاست موجودی را به دست آورند. به‌علاوه در شرایط بحرانی چون تحریم، صرفاً در پی تحکیم قرارداد با یک تأمین‌کننده برای بلندمدت نباشند و برای کاستن از ریسک خود با بیش از یک تأمین‌کننده قرارداد منعقد و زمینه همکاری ایجاد کنند. همچنین پیوند خود را با سایر توزیع‌کننده‌های هم‌سطح و همکار در زنجیره‌تأمین داخلی جهت اجرای انتقال جانبی تعمیق بخشند. در این پژوهش، حالت چندکالایی با شرایطی چون وابستگی داروها بالأخص مکمل بودن و عدم امکان حمل همزمان به جهت شرایط دمایی متفاوت بررسی نشد که زمینه مناسبی برای کارهای آتی است. همچنین در نظر گرفتن اهداف زیست‌محیطی و اجتماعی می‌تواند از زمینه‌های جذاب توسعه این پژوهش در آینده باشد. در باب ابزار حل مدل نیز سایر الگوریتم‌ها و تکنیک‌های بهینه‌سازی احتمالی همچون برنامه‌ریزی شانسی چندهدفه، تجزیه بندرز چندهدفه و انواع الگوریتم‌های فراابتکاری چندهدفه که در این پژوهش مورد بررسی قرار نگرفتند، می‌توانند در کنار مواردی چون توسعه مدل برنامه‌ریزی دوسطحی در تحقیقات آتی مورد بررسی قرار گیرند. از جمله محدودیت‌های این تحقیق می‌توان دشواری محاسبه و تخمین توابع احتمالی بخش‌های احتمالی سیستم چون تقاضا و اختلالات، دسترسی دشوار به داده‌های مالی و خریدوفروش شرکت‌های دارویی به جهت محرمانگی و شرایط ناشی از تحریم را نام برد.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.3.5]

منابع

[۵] صلاحی، ف.، رادفر، ر.، صلوعی، ع.، البرزی، م.، (۱۳۹۸)، طراحی هدل چندهدفه برای ارزیابی ریسک اختلال زنجیره‌تأمین با استفاده از الگوریتم ترکیبی ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید، تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، ۶۳، ۸۹-۱۰۸.

[۳۷]یعقوبی، س.، کامور،م.، (۱۳۹۶)، مدیریت مصرف فرآورده‌ها در زنجیره‌ی تأمین خون با در نظر گرفتن امکان انتقال جانبی بین بیمارستان‌ها (مطالعه‌ی موردی شهر تهران) ، مطالعات مدیریت صنعتی، ۷۴، ۱۵-۴۷.

[۳۸] خسروآبادی، م.، م لطفی، م.م.، خادمی زارع،ح.، (۱۳۹۲). مساله توأم انتخاب تأمین‌کننده و تعیین اندازه سفارش برای محصولات قابل بازساخت با تخفیف و هزینه حمل و نقل، پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستمهای تولید، ۱، ۱۳۹-۱۵۳.

[۳۹] زندیه، م.، عادلی، م.، (۱۳۹۲)، ارایه رویکرد چندهدفه بهینه‌سازی شبیه‌سازی برای مدل منبع یابی و تصمیمات موجودی یکپارچه، چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۱، ۸۹-۱۱۰.

[۴۰] یاکیده، ک.، سروری، ز.، آهندانی، ط.، (۱۳۹۷)، ارایه مدلی تلفیقی برای انتخاب تامین‌کننده و تخصیص سفارش با استفاده از برنامه‌ریزی چندهدفه و تاپسیس تعدیل شده، تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، ۵۷، ۱۰۹-۱۲۹.

[1] Priyan, S., Uthayakumar, R., (2014). Optimal inventory management strategies for pharmaceutical company and hospital supply chain in a fuzzy-stochastic environment, Operations Research for Health Care, 3 (4), 177–190.

[2] Mahallati,V., (2012), Management of Drug Supply Chain at 2025.

[3] Lücker, F., Seifert, R.W. (2017). Building up Resilience in a Pharmaceutical Supply Chain through Inventory, Dual Sourcing and Agility Capacity, Omega, 73, 1-124.

[4] Saha, E., Ray, P.K., (2019). Modelling and analysis of inventory management systems in healthcare: A review and reflections, Computers & Industrial Engineering, 137, 110-127.

[6] Aissaoui, N., M. Haouari, E. Hassini. (2007). Supplier selection and order lot sizing modeling: A review. Computers and Operations Research, 34(12), 3516-3540.

[7] Tajbakhsh, M. M., S. Zolfaghari, C. G. Lee. (2007). Supply uncertainty and diversification: A review, Trends in Supply Chain Design and Management, Chapter 15. Springer Series in Advanced Manufacturing, Springer, 345-368.

[8] Tang, O., Musa, S. N. (2011), Identifying risk issues and research advancements in supply chain risk management, International Journal of Production Economics, 133, 25-34.

[9] Burcu, B., Keskin, H., Cetinkaya, S. (2010). Integration of strategic and tactical decisions for vendor selection under capacity constraints, Computers & Operations Research, 37, 2182–2191.

[10] Keskin, B. B., H. Uster, S. C_ etinkaya. (2010). Integration of strategic and tactical decisions for vendor selection under capacity constraints. Computers and Operations Research, 37(6), 2182-2191.

[11] Keskin, B. B., S. Melouk, I. Meyer. (2010). A simulation-optimization approach for integrated sourcing and inventory decisions. Computers and Operations Research, 37(9), 1648-1661.

[12] Ventura, J. A., V. A. Valdebenito, B. (2013). A dynamic inventory model with supplier selection in a serial supply chain structure, European Journal of Operational Research, 230, 258-271.

[13] Choudhary, D., R. Shankar. (2013). Joint decision of procurement lot-size, supplier selection, and carrier selection. Journal of Purchasing and Supply Management, 19, 16-26.

[14] Mendoza, A., J. A. Ventura. (2010). A serial inventory system with supplier selection and order quantity allocation. European Journal of Operational Research, 207, 1304-1315.

[15] Mendoza, A., J. A. Ventura. (2012). Analytical models for supplier selection and order quantity allocation. Applied Mathematical Modelling, 36, 3826-3835.

[16] Pazhani, S., Ventura, A. (2016). A serial inventory system with supplier selection and order quantity allocation considering transportation costs, Applied Mathematical Modelling, 40, 612-634.

[17] Burke, G. J., J. E. Carillo, A. Vakharia. (2007). Single versus multiple supplier sourcing strategies. European Journal of Operational Research, 182, 95-112.

[18] Berger, P. D., A. Z. Zeng. (2006). Single versus multiple sourcing in the presence of risks. Journal of the Operational Research Society, 57, 250-261.

[19] Burke, G. J., J. E. Carrillo, A. Vakharia. (2009). Sourcing decisions with stochastic supplier reliability and stochastic demand. Production and Operations Management, 18(4), 475-484.

[20] Yu, H., A. Z. Zeng, L. Zhao. (2009). single or dual sourcing: Decision-making in the presence of supply chain disruption risks, The International Journal of Management Science, 37, 788-800.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.3.5]

[21] Zhang, J.-L., M.-Y. Zhang. (2011). Supplier selection and purchase problem with xed cost and constrained order quantities under stochastic demand, International Journal of Production Economics, 129(1), 1-7.
[22] Ekici, A. (2013). An improved model for supplier selection under capacity constraint and multiple criteria. International Journal of Production Economics, 141, 574-581.
[23] Federgruen, A., N. Yang. (2008). Selecting a portfolio of suppliers under demand and supply risks. Operations Research, 56(4), 916-936.
[24] Hajji, A., A. Gharbi, J.P., Kenne, R, Pellerin. (2011). Production control and replenishment strategy with multiple suppliers. European Journal of Operational Research, 208(1), 67-74.
[25] Ramasesh, R., J. Ord, J. Hayya, A. Pan. (1991). Sole versus dual sourcing in stochastic lead time (s; q) inventory models. Management Science, 37(4), 428-443.
[26] Ruiz-Torres, A. J., F. Mahmoodi, A. Z. Zeng. (2013). Supplier selection model with contingency planning for supplier failures, Computers and Industrial Engineering 66 374-382.
[27] Sawik, T. (2014). Joint supplier selection and scheduling of customer orders under disruption risks: Single vs. dual sourcing, The International Journal of Management Science, 43, 83-95.
[28] Parlar, M., D. Perry. (1996). Inventory models of future supply uncertainty with single and multiple suppliers, Naval Research Logistics, 43, 191-210.
[29] Sawik, T. (2015). On the fair optimization of cost and customer service level in a supply chain under disruption risks, The International Journal of Management Science, 53, 58-66.
[30] Paterson, C., G. Kiesmuller, R. Teunter, K. Glazebrook. (2011). Inventory models with lateral transshipments: A review, European Journal of Operational Research, 210, 125-136.
[31] Axsater, S., Howard, C., Marklund, J. (2013). A distribution inventory model with transshipments from a support warehouse. IIE Transactions, 45, 309-322.
[32] Agrawal, V., X. Chao, S. Seshadri. (2004). Dynamic balancing of inventory in supply chains. European Journal of Operational Research, 159(2), 296-317.
[33] Banerjee, A., J. Burton, S. (2003). A simulation study of lateral shipments in single supplier, multiple buyers supply chain networks. International Journal of Production Economics, 8, 103-114.
[34] Burton, J., A. Banerjee. (2005). Cost-parametric analysis of lateral transshipment policies in two-echelon supply chains. International Journal of Production Economics, 93, 169-178.
[35] Chen, Y., Wahab, M., Ongkunaruk, P. (2016). A joint replenishment problem considering multiple trucks with shipment and resource constraints, Computers & Operations Research, 74, 53-63.
[36] Joern Meissner, Olga V. Senicheva. (2018). Approximate Dynamic Programming for lateral transshipment problems in multi-location inventory systems, European Journal of Operational Research, 265(1), 49-64.
[39] Tsai, S.C., Chen, S.T., (2017). A Simulation-Based Multi-Objective Optimization Framework: A Case Study on Inventory Management, Omega, 70, 148-159.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.3.5]