

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 مکان‌های 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 طراحی شده 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، زنجیره تأمین دارو.

* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: m_zandieh@sbu.ac.ir

۱ مقدمه

مدیریت موجودی و زنجیره تأمین دارو یکی از فعالیت‌های چالش‌برانگیز و مهم حوزه سلامت است [۱]. زنجیره تأمین 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 قابل توجهی 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 هلال احمر در ۳۰ بهمن ۹۸ به دلیل تحریم‌ها و نقل و انتقال‌های 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، به صرفه 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 قابل توجهی 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 تعیین شده انتخاب می‌شوند. سپس هم‌زمان با انتخاب تأمین‌کنندگان، سیاست بهینه موجودی (R, Q) تعیین خواهد شد. در نظر نگرفتن ریسک‌های زنجیره تأمین، 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

کدام از این دو حالت مزایا و معایبی به دنبال دارد. از طرفی در مسایل دنیای واقعی انتقال جانبی به عنوان راهکاری رایج جهت مقابله با کمبود استفاده می شود که تاکنون در پژوهش های 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 تأمین کننده و نادر طولانی مدت چون تحریم در مدل لحاظ کند، انجام نشده است. همچنین در این پژوهش برای نخستین بار از روش چندهدفه بهینه سازی شبیه سازی برای مساله منبع یابی 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 بهینه سازی شبیه سازی 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]، مدل های کمی ترکیبی برای انتخاب تأمین کننده و مدیریت موجودی توجه بیشتری را به خود جلب کرده اند. معمول ترین روش های حل برای این مسایل شامل برنامه ریزی خطی، برنامه ریزی آرمانی، برنامه ریزی عدد صحیح مختلط و برنامه ریزی تصادفی، شبیه سازی و برنامه ریزی استوار هستند [۴]. یک مساله با خصوصیات مشابه به همراه چند تأمین کننده و چند انبار توسط کسکین و همکارانش [۱۰] بررسی شده است. پژوهش آن ها بدون در نظر گرفتن حالت چند-منبعی و حمل و نقل جانبی صورت پذیرفته است. کسکین و همکارانش [۱۰] تنها موازنه بین انتخاب تأمین کننده و تصمیمات موجودی در یک محیط قطعی را در نظر گرفتند و فرمولاسیون را با استفاده از یک الگوریتم کارا و تعمیم یافته تجزیه بندرز حل نمودند. کسکین و همکارانش در مقاله دیگری [۱۱] با بسط این مدل قطعی برای نمایان کردن تقاضای تصادفی و انتخاب تأمین کننده تحت اختلالات، یک رویکرد حل بر اساس بهینه سازی- شبیه سازی را توسعه دادند. تحلیل آن ها نشان داد که هزینه های واحد و دستمزد مدیریت، انتخاب تأمین کننده را تحت تأثیر قرار می دهند. در برخی از حالات، اختلالات تصمیمات مربوط به انتخاب تأمین کننده را تحت تأثیر قرار نمی دهند ولی قطعاً بر تصمیمات موجودی اثر می گذارند. علاوه بر این، به علت فرض تک منبعی بودن تأمین، کسکین و همکارانش [۱۱] یک تحلیل موجودی ساده تر را در نظر گرفتند که نیاز به بخش بخش کردن نداشته باشد. ونچورا و همکارانش [۱۲] یک زنجیره تأمین سری چند مرحله ای و چند دوره ای را در نظر گرفتند که دارای ساختار تقاضای قطعی در مرحله آخر و تمام تأمین کنندگان در مرحله اول هستند. چودهاری و شانکار [۱۳] مساله مشترک مقدار تولید، انتخاب تأمین کننده و حامل با امکان تخفیف در خرید عمده را بررسی کردند. تمام این مقالات، یکپارچگی سیستم کمی موجودی- انتخاب تأمین کننده، جنبه های چند-منبعی و حمل و نقل جانبی را نادیده گرفتند.

در حالت تک منبعی قرارداد بلندمدت موجب تعمیق پیوند با تأمین کننده و کاهش هزینه برنامه ریزی و مزایای اقتصاد مقیاس می شود اما تأمین چندمنبعی ریسک مواجهه با کمبود را تقلیل می دهد. اگرچه تأمین تک منبعی می تواند همکاری و شراکت را تقویت کند، اما با وجود انبارهای ذخیره سازی، موارد مربوط به کیفیت

و اختلال، اعتماد به تنها یک تأمین‌کننده می‌تواند موجب تضعیف قدرت زنجیره تأمین شود و تأثیر مخربی بر عملکرد هزینه زنجیره تأمین داشته باشد؛ بنابراین در پژوهش حاضر، تأمین تک‌منبعی با چندمنبعی مقایسه شده 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 ارائه 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 به عنوان 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 به صورت 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 به عنوان 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 مشاهده شده 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، یو و همکارانش [۲۰] یک زنجیره تأمین دو مرحله‌ای 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 ارائه 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]. رامسش و همکارانش [۲۵] نشان می‌دهند که چند منبعی بودن اطمینان بیشتری را در

رابطه با تحویل به موقع و انعطاف پذیری بیشتری در حجم کالاهای بالادستی را به واسطه تنوع نیازهای شرکت فراهم می آورد. 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 تأمین کنندگان، سفارش تجمعی و انتصاب آن به تأمین کنندگان منتخب در صورتی که تأمین کنندگان با اختلال و مشکلات کیفیت روبه رو باشند را تعیین کنند. حجی و همکارانش [۲۴] مساله مشابهی را با تمرکز بر سیاست های کنترل به اشتراک گذاری اطلاعات مورد مطالعه قرار دادند. آن ها یک فرمولاسیون برنامه ریزی دینامیکی تصادفی را توسعه دادند که ساختار بهینه سیاست کنترل را نشان می دهد. با این حال، آن ها در دسترس بودن، ظرفیت و عملکرد تحویل تأمین کنندگان را در نظر نگرفتند. مندوزا و ونچورا [۱۵] مدل هایی را برای انتخاب ترکیبی تأمین کننده و انتصاب مقدار سفارش با در نظر گرفتن عوامل کیفیت و ظرفیت برای تأمین کنندگان را توسعه دادند اما فرض کردند که تأمین کنندگان همیشه در دسترس هستند. پاژانی و همکارانش [۱۶] یک نظام موجودی سری که مدیریت موجودی را با تصمیم انتخاب تأمین کننده و هزینه های حمل و نقل ترکیب می کند را بررسی کردند. در تحلیل آن ها، مزایای ترکیب از طریق مقایسه نظام خودشان با یک نظام سلسله مراتبی مورد بحث قرار گرفته است. اکیسی [۲۲] یک بهینه سازی را بر پایه تأمین کنندگان ظرفیت دار و سیاست سفارش چرخشی پیشنهاد داد که به یک الگوریتم آسان تر منتهی شد و کار آن ها را برای در نظر گرفتن ظرفیت سالانه دقیق تأمین کنندگان گسترش داد. روئیز- تورزو همکارانش [۲۶] یک شبکه زنجیره تأمین با قابلیت مدیریت منبع چند- تأمین کننده و اختلال تأمین کننده را مورد مطالعه قرار دادند. آن ها برای هر تأمین کننده یک خاصیت انعطاف پذیری در نظر گرفتند که حمل و نقل احتمالی در صورت وجود اختلال در تأمین کنندگان دیگر را ممکن می سازد. ساویک [۲۹] همان فرضیات روئیز- تورزو و همکارانش [۲۶] به جز خاصیت احتمالی را در نظر گرفتند و با سناریوهای سراسری و محلی محدود اختلال، حل های بهینه ریسک گریزی را برای تابع هدف های هزینه و سطح خدمات مشتری ارائه نمودند. برای بحث جزئی تر بر روی مدل های موجودی چند- تأمین کننده، خواننده به مقالات مروری منتشر شده توسط تاجبخش و همکارانش [۷] ارجاع داده می شود. تفاوت اصلی بین مقالات قبلی انتخاب تأمین کننده مرتبط با مدیریت موجودی و مقاله حاضر این است که این مقاله صراحتاً تصمیمات انتخاب تأمین کننده را به همراه هزینه های ثابت متحمل شده برای هر تأمین کننده منتخب در نظر می گیرد. همچنین این پژوهش احتمال حمل و نقل جانبی بین انبارها را نیز در نظر می گیرد که همان طور که پترسون و همکارانش [۳۰] عنوان می کنند، توجه کمی در آثار گذشته به آن شده است. در توزیع دارو به جهت اینکه بیش از فضای رقابت جان انسان ها اهمیت دارد این انتقال جانبی نقش پررنگی به خود می گیرد. تنها کاری که در حال حاضر ارزش حمل و نقل درون مجموعه تأمین کننده را به یک روش ضمنی مطالعه می کند، آکساتر و همکارانش [۳۱] است. شبکه آن ها که شامل N خرده فروش است از یک انبار مرکزی تأمین می شود. به طوری که یک انبار حامی / احتمالی، خرده فروش ها را در مواقعی که آن ها متوجه کمبود در انبار مرکزی شوند، تأمین می کند. در مقاله حاضر، مفهوم وسیع تری از حمل و نقل جانبی در نظر گرفته می شود، نه تنها به عنوان حمل و نقل احتمالی بلکه به عنوان منبع جایگزین. بیشتر آثار در حوزه حمل و نقل جانبی، حمل و نقل انفعالی را در نظر می گیرند. در فرضیات انفعالی، مشابه آنچه در آکساتر و همکارانش [۳۱] در نظر گرفته شد، یک

حمل‌ونقل بعد از دریافت تقاضای تصادفی و به‌طور بالقوه، در مواقع کمبود موجودی اتفاق می‌افتد. با این حال، 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 بازاریابی پیوسته انجام شده است. پژوهش حاضر نیز در پی بر کردن شکاف موجود در آثار گذشته سهیم است. چن و وهاب [۳۵] یک مساله بازپرسازی را با محدودیت‌های بودجه و ظرفیت حمل‌ارایه 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 توسعه یافته بود. یاکیده و همکاران [۴۰] یک مدل تلفیقی انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش چندهدفه ارایه نمودند و مدل خود را با روش تاپسیس تعدیل شده 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 توأم آن هم با شرایط احتمالی است. با توجه به پیشینه تحقیق

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

۳ بیان مساله و مدل سازی

این پژوهش از نوع توسعه ای و کاربردی است. بخش عمده ای از مطالب مربوط به این مقاله از منابع کتابخانه ای شامل کتب، پایان نامه ها و مقالات جمع آوری شده است. به منظور آزمودن الگوریتم های ارایه شده از داده های آزمایشی موجود در تحقیقات پیشین مخصوصاً مقاله برکو و همکاران [۹] و عادل و زندیه [۳۹] استفاده شده است.

مساله این پژوهش یک شرکت توزیع داروست که $M \geq 2$ تأمین کننده کانیددا و $N \geq 2$ انبار پخش دارد. در این زنجیره تأمین دوسطحی برای ارضای تقاضا در هر انبار پخش، یک مجموعه از تأمین کنندگان بالقوه که معیارهای مورد انتظار مالی، کیفی و تحویل دارو را برای شرکت برآورده می سازند، انتخاب می شوند. این مساله در دو حالت تأمین تک منبعی و چند منبعی بررسی شده است. هر تأمین کننده کانیددا 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 می باشد. ظرفیت عرضه سالانه هر تأمین کننده z در سال W_j واحد دارو و کیفیت داروی تحویلی آن $1 \leq q_j \leq \infty$ است. این کیفیت با توجه به عواملی چون اثربخشی و عوارض دارو، توسط متخصصین مربوط تعیین شده است. امروزه اختلال سیستم زنجیره تأمین دارو یکی از چالش برانگیزترین معضلات این حوزه است. برای نزدیک تر نمودن مساله با دنیای واقعی این اختلالات در این پژوهش مورد تأکید قرار گرفته است. تأمین کننده z در طی زمان دچار اختلالاتی با فراوانی θ_j و مدت زمان خرابی v_j می گردد. این اختلال دو نوع کوتاه مدت و بلند مدت دارد که در حالت اختلال بلند مدت، 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 کوتاه مدت، مواردی چون خرابی موقت خط تولید و کمبود مواد اولیه تأمین کننده منشأ اختلال است. لازم به ذکر است که میزان تأمین W_j بدون در نظر گرفتن این اختلال اعلام می شود. از سوی دیگر، هر انبار توزیع، تقاضایی با توزیع احتمال پواسون و میانگین λ_j دارد و برای تأمین تقاضای انبارها، متغیر تصمیم صفر و یک X_j بیانگر انتخاب و یا عدم انتخاب تأمین کننده z از میان تأمین کنندگان کانیدداست. تخصیص تأمین کنندگان به انبارها توسط متغیر تصمیم صفر و یک A_{ij} صورت می گیرد و Y_{ij} میزان داروی تأمین شده توسط تأمین کننده z برای انبار i را به دست می دهد. قبل از این که به مدل سازی ریاضی سیستم پرداخته شود، نمادهای استفاده شده به شرح زیر معرفی می شوند.

پارامترهای مدل

$I = \{1, \dots, i, \dots, N\}$: مجموعه انبارها
 $J = \{1, \dots, j, \dots, M\}$: مجموعه تأمین کنندگان کاندیدا
 c_j : هزینه تأمین هر واحد دارو از تأمین کننده j , $\forall j \in J$
 f_i : هزینه ثابت قرارداد با تأمین کننده i , $\forall i \in I$
 p_{ij} : هزینه ثابت حمل سفارش به انبار i از تأمین کننده j توسط هر کامیون، $\forall i \in I$ و $\forall j \in J$
 r_{ij} : هزینه متغیر حمل موجودی به انبار i از تأمین کننده j توسط هر کامیون (بر اساس مسافت) $\forall j \in J$ و $\forall i \in I$
 d_{ij} : فاصله بین انبار i و تأمین کننده j , $\forall i \in I$ و $\forall j \in J$
 LT_{ij} : مدت زمان تحویل سفارش تأمین کننده i به انبار j , $\forall i \in I$ و $\forall j \in J$
 D_i : تقاضای سالانه انبار i , $\forall i \in I$
 s_i : هزینه کمبود هر واحد سفارش معوق 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 تأمین کننده j
 $q_i^{\min}$: حداقل سطح کیفیت قابل پذیرش برای انبار i , $\forall i \in I$
 W_j : ظرفیت خروجی سالانه تأمین کننده j
 q_j : درصد محصولات با کیفیت قابل قبول توسط تأمین کننده j
 $TrSize$: ظرفیت کامیون‌ها
 PrT : زمان فاسدشدن (انقضا) از لحظه ارسال

متغیرهای تصمیم

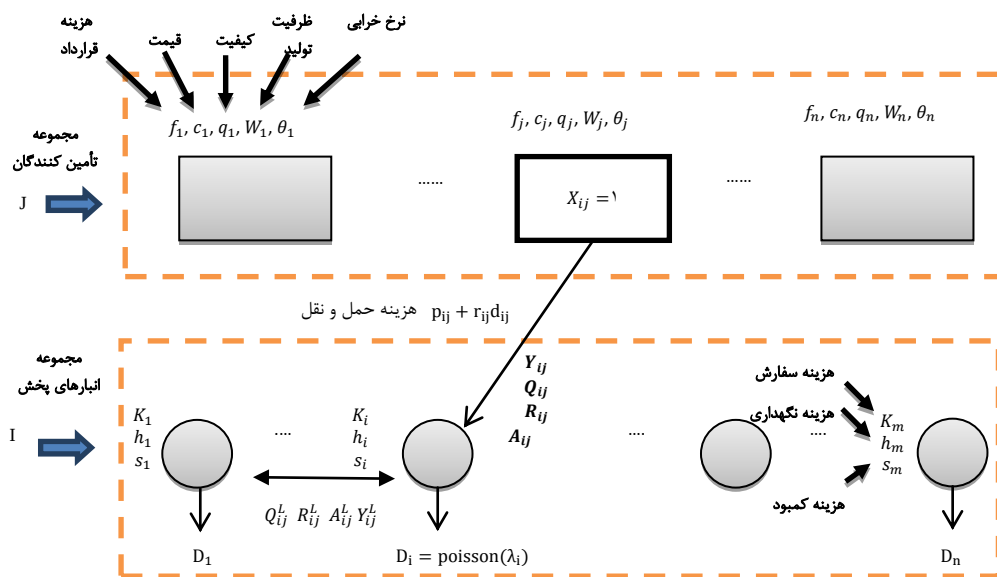
X_j : اگر تأمین کننده j انتخاب شود برابر ۱ و در غیر این صورت برابر صفر است.
 Y_{ij} : مقدار تقاضای سالیانه انبار i که توسط تأمین کننده j ارضا می‌گردد.
 $A_{ij} = \delta(Y_{ij})$: اگر انبار i توسط تأمین کننده j ارضا شود برابر ۱ و در غیر این صورت صفر است.
 n_{ij} : مقدار عدد صحیح مربوط به Q_{ij} برای انبار i از تأمین کننده j
 Q_{ij} : مقدار هر بار سفارش انبار i از تأمین کننده j
 R_{ij} : نقطه سفارش مجدد انبار i از تأمین کننده 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 غیر این صورت صفر است.

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. به عنوان مثال A_{ik}^L بیانگر این است که آیا انتقال جانبی دارو از انبار i به انبار k صورت می‌گیرد یا خیر.

مدل سازی ریاضی

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



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

مطابق شکل ۱ هر انبار توزیع دارو از یک سیاست موجودی مرور مستمر (nQR) پیروی می‌کند. بر اساس سیاست (nQR) سطح موجودی انبار به طور 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 تأمین کننده j به انبار i می‌رسد. سفارش توسط کامیون‌هایی با ظرفیت $TrSize$ به انبار حمل می‌شوند. از آنجا که کیفیت موجودی ارسالی تأمین کننده 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 بیان شده به مدل سازی 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) کمینه سازی هزینه است. این هزینه شامل هزینه راه اندازی و قرارداد با تأمین کننده منتخب طبق رابطه (۱)، هزینه خرید دارو یا تدارکات طبق رابطه (۲)، هزینه سفارش دهی طبق رابطه (۳)، هزینه نگهداری در انبار و اجاره فضای اضافی طبق رابطه (۴)، هزینه قابل محاسبه کمبود دارو طبق رابطه (۵) و هزینه حمل و نقل دارو مطابق رابطه (۱۲) می‌باشد. بر اساس رابطه (۱۲) هزینه حمل و نقل از تأمین کننده j به انبار i شامل دو بخش است. بخش نخست هزینه ثابت حمل توسط کامیون که (p_{ij}) به فاصله بین انبار و تأمین کننده وابسته نیست و بخش دیگر هزینه متغیر حمل

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 حمل و نقل 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.

$$\min Z_1 = \sum f_j X_j \quad (1)$$

$$+ \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_j Y_{ij} \quad (2)$$

$$+ \sum_{i \in I} \left[\sum_{j \in J, Q_{ij} \neq 0} \frac{K_i}{n_{ij} Q_{ij}} + \sum_{k \in I, Q_{ik}^L \neq 0} \frac{K_i^L Y_{ik}^L}{n_{ik}^L Q_{ik}^L} \right] \quad (3)$$

$$+ \sum_{i \in I} h_i \left[\sum_{j \in J} A_j \left\{ \frac{n_{ij} Q_{ij}}{r} + R_{ij} - E[LTD_{ij}] \right\} + \sum_{k \in I, k \neq i} A_k^L \left\{ \frac{n_{ik}^L Q_{ik}^L}{r} + R_{ik}^L - E[LTD_{ik}] \right\} \right] \quad (4)$$

$$+ \sum_{i \in I} s_i \left[\sum_{j \in J, Q_{ij} \neq 0} \eta(LTD_{ij}, R_{ij}) \frac{Y_{ij}}{n_{ij} Q_{ij}} + \sum_{k \in I, Q_{ik}^L \neq 0} \eta(LTD_{ik}, R_{ik}^L) \frac{Y_{ik}^L}{n_{ik}^L Q_{ik}^L} \right] \quad (5)$$

$$+ \sum_{i \in I} \left[\sum_{j \in J, Q_{ij} \neq 0} \frac{(p_{ij} + r_{ij} d_{ij}) + Y_{ij}}{n_{ij} Q_{ij}} + \sum_{k \in I, Q_{ik}^L \neq 0} \frac{(p_{ik}^L + r_{ik}^L d_{ik}^L) Y_{ik}^T}{n_{ik}^L Q_{ik}^L} \right] \quad (6)$$

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، به صورت کمی قابل محاسبه نیستند؛ بنابراین تعداد کمبود، مطابق رابطه (۷) به عنوان هدفی مجزا در این پژوهش لحاظ گردید.

$$\min Z_2 = \sum_{i \in I} \left[\sum_{j \in J, Q_{ij} \neq 0} \eta(LTD_{ij}, R_{ij}) \frac{Y_{ij}}{n_{ij} Q_{ij}} + \sum_{k \in I, Q_{ik}^L \neq 0} \eta(LTD_{ik}, R_{ik}^L) \frac{Y_{ik}^L}{n_{ik}^L Q_{ik}^L} \right] \quad (7)$$

در ادامه به بررسی محدودیت‌های مدل پرداخته خواهد شد.

$$\sum_{j \in J} Y_{ij} + \sum_{k \in I, k \neq i} Y_{ik}^L - \sum_{l \in I, l \neq i} Y_{li}^L = E(D_i), \forall i \in I \quad (8)$$

$$Y_{ij} \leq E(D_i) X_j, \forall i \in I \quad \forall j \in J \quad (9)$$

$$\sum_{i \in I} Y_{ij} \leq W_j X_j, \forall j \in J \quad (10)$$

$$A_j \leq X_j, \forall i \in I \quad \forall j \in J \quad (11)$$

$$Y_{ij} \leq E(D_i) A_j, \forall i \in I \quad \forall j \in J \quad (12)$$

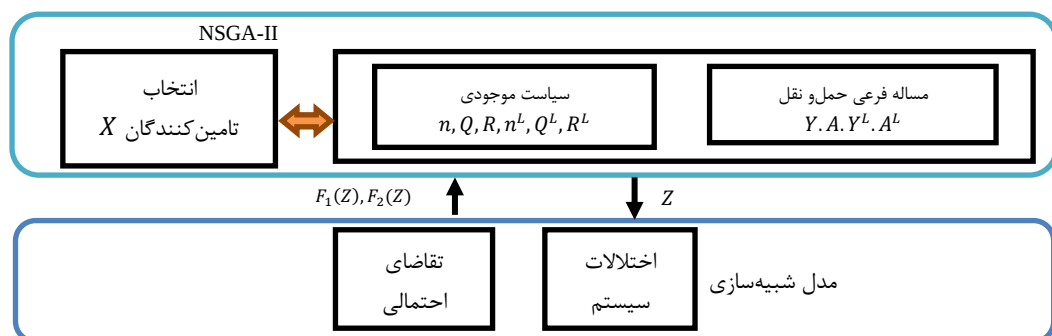
$$Y_{ik}^L \leq E(D_i) A_k^L, \forall i, k \in I \quad i \neq k \quad (13)$$

$$\frac{n_{ij}Q_{ij}}{Y_{ij}}, \frac{n_{ik}^L Q_{ik}^L}{Y_{ik}^L} < PrT, \forall i, k \in I \quad i \neq k \quad \forall j \in J \quad (14)$$

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.

۴ حل مدل و تحلیل داده‌ها

مدل ارائه شده 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 استفاده شده در این پژوهش مطابق شکل ۲ است.



شکل ۲. نمای کلی روش بهینه‌سازی شبیه‌سازی پیشنهادی

مطابق شکل ۲ روش حل ارائه 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 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.

در روش ارایه شده برای حل مساله، در گام نخست یک مجموعه جواب برای X_j تولید شده و سپس با حل مساله حمل و نقل زیر Y_{ij} و A_{ij}^L محاسبه می گردند. برای حل مساله حمل و نقل فوق نیاز به داشتن مقادیر Q_{ij}^L و Q_{ij} می باشد 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 می شود.

$$\bar{Q}_{ij} = \frac{\sqrt{\frac{2K_i E(D_i)}{h_i}}}{M} \quad (16) \quad \bar{Q}_{ik}^L = \frac{\sqrt{\frac{2K_i^L E(D_i)}{h_i}}}{N-1} \quad (15)$$

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

$$Q_{ij} = \sqrt{\frac{2\bar{Y}_{ij} \{K_i + (p_{ij} + r_{ij}d_{ij})\}}{h_i}}, \forall i \in I \quad \forall j \in J \quad (17)$$

$$Q_{ik}^L = \sqrt{\frac{2\bar{Y}_{ik}^L \{K_i^L + (p_{ik}^L + r_{ik}^L d_{ik}^L)\}}{h_i}}, \forall i \in I \quad \forall k \neq i \quad (18)$$

سپس با کمک رابطه $R_i = F^{-1}(\alpha)$ مقدار سفارش مجدد برای سطح سرویس α به دست می آید. حال با کمک روابط (۱۹) تا (۲۲) می توان نقطه سفارش مجدد را برای هر کدام از تأمین کنندگان و انبارهای جانبی مشخص نمود.

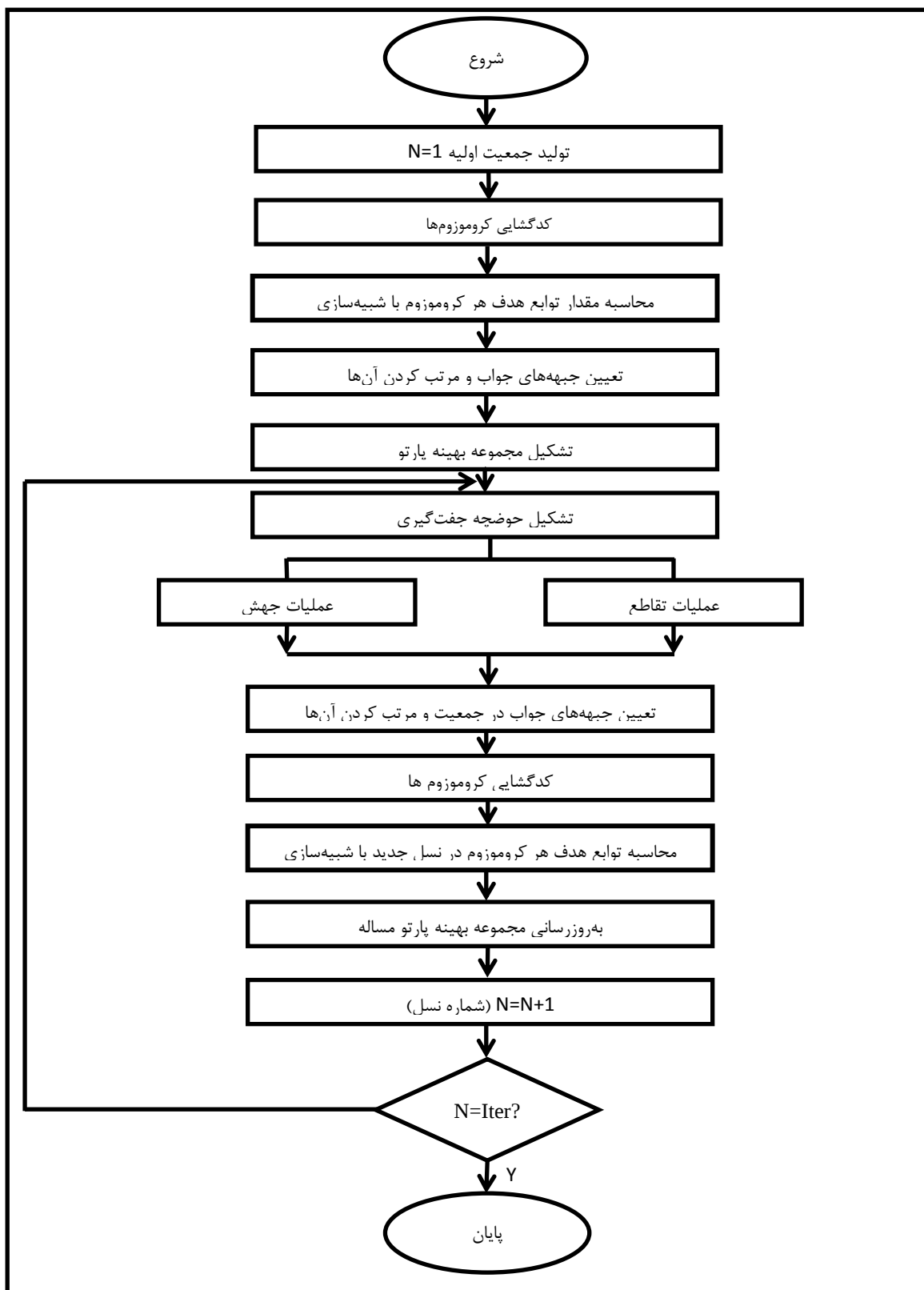
$$\Psi_{ij} = \frac{Y_{ij}}{\sum_{j \in J} Y_{ij} + \sum_{k \in I} Y_{ik}^L}, j \in J, Y_{ij} > 0 \quad (19)$$

$$\Psi_{ij}^L = \frac{Y_{ik}^L}{\sum_{j \in J} Y_{ij} + \sum_{k \in I} Y_{ik}^L}, k \in I, Y_{ik}^L > 0 \quad (20)$$

$$R_{ij} = \Psi_{ij} R_i + \lambda_i L_{ij} \quad (21)$$

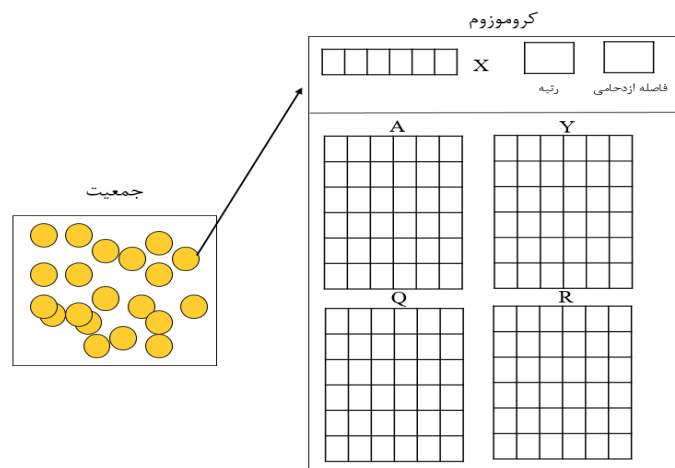
$$R_{ij}^L = \Psi_{ij}^L R_i + \lambda_i L_{ik}^L \quad (22)$$

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 نقطه ای و دونقطه ای استفاده شد. برای جهش نیز از رویکرد جهش تصادفی استفاده گردید و برای محاسبه مقادیر تابع هدف از شبیه سازی گسسته پیشامد استفاده گردید.



شکل ۳. فلو چارت الگوریتم NSGA-II پیشنهادی

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



شکل ۴. 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 سیستم عامل ویندوز ۱۰ اجرا شدند.

جدول ۱. داده‌های مساله (پارامترهای مدل)

ردیف	پارامترها	علامت	مقادیر	واحد
۱	موقعیت	$p_i = (x_i, y_i)$	$(U(0.1 و 250) و U(0.1 و 250))$	-
۲	میانگین زمان بین تقاضاها		$(0.1 و 0.7) = U \exp(\lambda_i), \lambda_i$	ساعت
۳	هزینه سفارش دهی	K_i	$U(5000 و 10000)$	واحد پولی سفارش
۴	هزینه نگهداری	h_i	$U(0.45 و 2/8)$	واحد پولی سال X واحد
۵	هزینه کمبود	s_i	$U(1/5 و 3/5)$	واحد پولی سال X واحد
۶	مکان فیزیکی	$p_i = (x_i, y_i)$	$(U(0.1 و 250) و U(0.1 و 250))$	-
۷	هزینه قرارداد	f_j	$U(12000 و 31000)$	واحد پولی

۸	هزینه واحد دارو	c_j	$U(0/6 و 1/8)$	واحد پولی
۹	ظرفیت تولید	PC_j	$U(2400 و 2800)$	کالا روز
۱۰	کیفیت	q_j	$U(0/6 و 0/85)$	-
۱۱	هزینه ثابت هر کامیون	p_{ij}	$U(25 و 275)$	واحد پولی
۱۲	زمان تأخیر	LT_{ij}	$d(i,j) * U(1/25 و 3)$	ساعت
۱۳	هزینه حمل برای هر کیلومتر	r_{ij}	$U(0/75 و 3)$	واحد پولی کیلومتر
۱۴	ظرفیت کامیون	TrSize	۵۰۰	تعداد
۱۵	عمر دارو	PrT	۳۰۰	روز

دو نوع اختلال نیز به شرح جدول ۲ برای تأمین کننده در مازول شبیه سازی تعبیه شدند. همان گونه که قبلاً بیان شد اختلال بلندمدت شامل مواردی چون تحریم و بلایای طبیعی است و اختلال کوتاه مدت شامل مواردی چون توقف های کوتاه مدت تأمین کننده است.

جدول ۲. اختلالات تأمین کننده

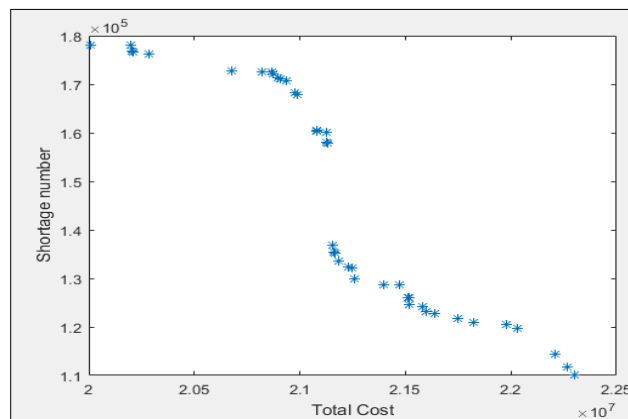
نوع اختلال	فراوانی اختلال	زمان اختلال
مکرر اما کوتاه مدت	$Expo(6)$	$Expo(1)$
نادر اما طولانی مدت	$Expo(100)$	$Expo(5)$

در ادامه شش اندازه مساله در اندازه های 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 تأمین کننده	۱۰	۲۰	۴۰	۱۰	۲۰	۴۰

با هر بار اجرای الگوریتم یک جبهه پارتو برای مساله با اندازه 15×40 مطابق شکل ۵ به دست می آید که بیان گر مقادیر توابع هدف برای جواب های مساله است.



شکل ۵. جبهه پارتو به دست آمده از حل مدل برای مساله با اندازه ۴۰*۱۵

همان گونه که از شکل ۵ پیداست هیچ کدام 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 از آنجا که درصد کمینه کردن هزینه‌های زنجیره تأمین هستیم، از معیار «هرچه کوچک‌تر بهتر» جهت بررسی کیفیت جواب استفاده می‌شود. با توجه به این که الگوریتم چندهدفه است برای تنظیم پارامتر از میانگین وزنی سه شاخص تعداد جواب پارتو^۱ (NOS)، معیار فاصله از جواب ایده آل^۲ (MID)، زمان اجرای الگوریتم^۳ (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.

$$MID = \frac{1}{NOS} \sum_{sol=1}^n \sqrt{\sum_{g=1}^r f_{sol(g)}^2} \quad (23)$$

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

$$ValueSol_i = \frac{1}{3} (MID_i \cdot w_{MID} + T_i \cdot w_T + NOS_i \cdot w_{NOS}) \quad (24)$$

$$BestSol = \min(ValueSol_i), \forall i \quad (25)$$

¹ Number Of Solutions

² Mean Ideal Distance

³ Time

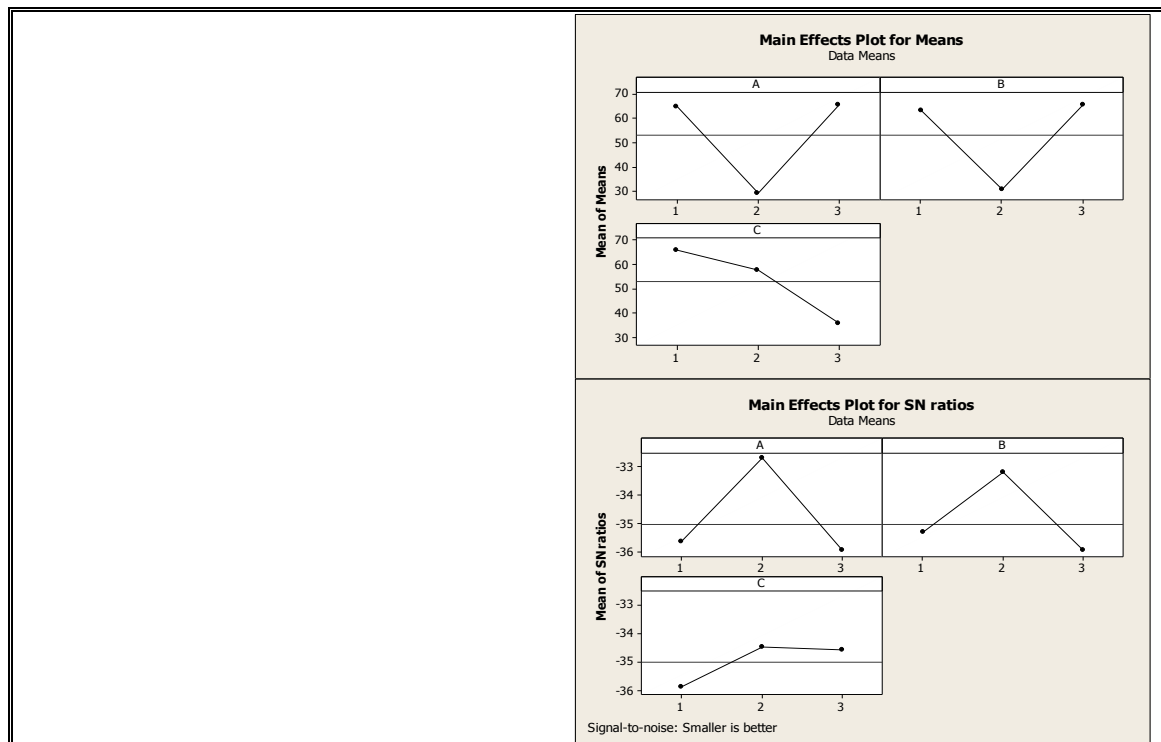
$$RPD_i = \frac{ValueSol_i - BestSol}{BestSol} \times 100 \quad (26)$$

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

جدول ۴. سطوح فاکتورها در تنظیم پارامتر الگوریتم

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

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



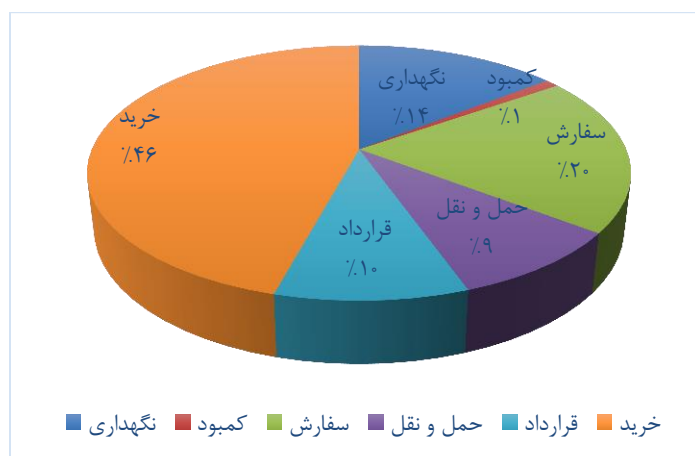
شکل ۶. خروجی نرم افزاری تنظیم پارامتر الگوریتم

با توجه به نتایج نرم افزاری 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 به صورت جدول ۵ انجام شد.

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 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-ویتی فرض رابطه (۲۷) با کمک نرم‌افزار SPSS 22 صورت گرفت.

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0 = \mu_{SS}(shortage) = \mu_{MS}(shortage) \\ H_1 = \mu_{SS}(shortage) \neq \mu_{MS}(shortage) \end{array} \right. \quad (27)$$

مطابق نتایج آزمون فوق فرض صفر با $sig = 0/00$ 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.

$$\begin{cases} H_1 = \mu_{SS}(cost) = \mu_{MS}(cost) \\ H_1 = \mu_{SS}(cost) \neq \mu_{MS}(cost) \end{cases} \quad (28)$$

مقایسه اهداف در دو حالت انتقال جانبی و بدون انتقال جانبی در شرایط تک منبعی 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.

$$\begin{cases} H_1 = \mu_{NLT}(cost) = \mu_{LT}(cost) \\ H_1 = \mu_{NLT}(cost) \neq \mu_{LT}(cost) \end{cases} \quad (29)$$

$$\begin{cases} H_1 = \mu_{NLT}(shortage) = \mu_{LT}(shortage) \\ H_1 = \mu_{NLT}(shortage) \neq \mu_{LT}(shortage) \end{cases} \quad (30)$$

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 هنگامی که 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 قابل ملاحظه‌ای 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 طولانی مدت، اثر مخرب‌تری بر وضعیت موجودی و کمبود دارو می‌گذارد و این کمبود را ۲۱/۳٪ افزایش می‌دهد.

$$\begin{cases} H_1 = \mu_{disrupt1}(shortage) = \mu_{disrupt2}(shortage) \\ H_1 = \mu_{disrupt1}(shortage) \neq \mu_{disrupt2}(shortage) \end{cases} \quad (31)$$

بنابراین در مواقعی که اختلالات طولانی مدت از جمله تحریم در تأمین کنندگان تشدید می‌شود اهمیت منبع‌یابی چندگانه و انتقال جانبی بیش‌ازپیش می‌شود. لذا انتخاب تأمین کننده‌ای که با اختلالاتی چون تعمیرات و نگهداری و توقف کوتاه خدمت‌رسانی مواجه است بر تأمین کنندگانی با احتمال اختلال بلندمدت چون تحریم و بلایای طبیعی ارجحیت دارد.

۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

با وجود اهمیت زنجیره تأمین 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 پیشنهاد 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

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. در حالی که 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 به راحتی 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 زنجیره تأمین 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 شانس 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 خرید و فروش شرکت‌های دارویی به جهت محرمانگی و شرایط ناشی از تحریم را نام برد.

منابع

- [۵] صلاحی، ف.، رادفر، ر.، صلوعی، ع.، البرزی، م.، (۱۳۹۸)، طراحی مدل چندهدفه برای ارزیابی ریسک اختلال زنجیره تأمین با استفاده از الگوریتم ترکیبی ژنتیک و شبیه سازی تبرید، تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، ۶۳، ۸۹-۱۰۸.
- [۳۷] یعقوبی، س.، کامور، م.، (۱۳۹۶)، مدیریت مصرف فرآورده ها در زنجیره ی تأمین خون با در نظر گرفتن امکان انتقال جانبی بین بیمارستان ها (مطالعه ی موردی شهر تهران)، مطالعات مدیریت صنعتی، ۷۴، ۱۵-۴۷.
- [۳۸] خسروآبادی، م.، م لطفی، م.م.، خادمی زارع، ح.، (۱۳۹۲). مساله توأم انتخاب تأمین کننده و تعیین اندازه سفارش برای محصولات قابل بازساخت با تخفیف و هزینه حمل و نقل، پژوهش های مهندسی صنایع در سیستم های تولید، ۱، ۱۳۹-۱۵۳.
- [۳۹] زندیه، م.، عادل، م.، (۱۳۹۲)، ارایه رویکرد چندهدفه بهینه سازی شبیه سازی برای مدل منبع یابی و تصمیمات موجودی یکپارچه، چشم انداز مدیریت صنعتی، ۱۱، ۸۹-۱۱۰.
- [۴۰] یاکیده، ک.، سروری، ز.، آهندانی، ط.، (۱۳۹۷)، ارایه مدلی تلفیقی برای انتخاب تامین کننده و تخصیص سفارش با استفاده از برنامه ریزی 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] Lückner, 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.

- [21] Zhang, J.-L., M.-Y. Zhang. (2011). Supplier selection and purchase problem with fixed 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.