

ارائه مدل بهینه‌سازی ریاضی برای زنجیره تأمین چند محصولی با امکان وقوع اختلال در تأمین‌کننده در شرایط تحریم

(مطالعه موردی صنایع تعمیراتی پالایشگاهی)

امیر رحیمی منش^۱، حمزه امین‌طهماسبی^{۲*} و کامبیز شاهرودی^۳

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۰۶	در این پژوهش مدل بهینه‌سازی شده ریاضی برای زنجیره تأمین چند محصولی با امکان وجود اختلال در تأمین‌کننده در شرایط تحریم، ارائه شده است. یک زنجیره تأمین شامل هم‌راستایی و هم‌سوایی شرکت‌هایی است که محصولات یا خدمات را به بازار عرضه می‌کنند. در راستای مدیریت زنجیره تأمین چند محصولی، نیاز به تأمین اقلام و مواد اولیه جهت استفاده در فرآیندها وجود دارد و تأمین این اقلام با عدم قطعیت مواجه است به‌گونه‌ای که ممکن است تأمین‌کنندگان، بخشی از تقاضای سفارش داده شده را در زمان مورد نیاز در اختیار سفارش‌دهنده قرار ندهند. به‌منظور مقابله با این شکل از عدم قطعیت، دو نوع تأمین‌کننده مورد نظر است. دسته اول تأمین‌کننده‌های ارزان قیمت ولی غیرمطمئن است و در مقابل، دسته دوم تأمین‌کننده‌ها وجوددارند که مطمئن هستند ولی گران‌تر از دسته اول می‌باشند. اقلام دریافتی از تأمین‌کننده‌ها، در فرآیند تولید یا تعمیرات مورد استفاده قرار می‌گیرد و مدلی مدون برای مدیریت این فرآیند می‌بایست ارائه‌گردد. جهت ادغام این تصمیمات در قالب مدل یکپارچه، مدل تصمیم‌گیری دومرحله‌ای تصادفی بکار رفته است و در حل مسئله پیشنهادی از روش تقریب میانگین نمونه‌گیری استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از مدل دومرحله‌ای تصادفی به‌اندازه ۶/۸۴ درصد در خروجی-های مسئله بهبود ایجاد می‌شود و همین‌طور استفاده از تأمین‌کننده گران در کنار تأمین‌کننده ارزان منجر به بهبود خروجی‌های مدل به‌اندازه ۱۴/۹ درصد گردید.
پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۱۶	
واژگان کلیدی: زنجیره تأمین، بهینه‌سازی ریاضی، اختلال، مدل دو مرحله تصادفی، تقریب میانگین نمونه‌گیری.	

۱- مقدمه
که در آن جهانی‌سازی پایدار نقش مهمی ایفا می‌کند، در حال حاضر زنجیره تأمین بیشتر در معرض اختلال قرار دارد [۲]. فرآیند تصمیم‌گیری در زنجیره‌تأمین، ریسک‌هایی را در بر دارد که می‌توانند پیشرفت شرکت در ارائه محصولی جدید، توسعه در بازارهای مختلف و برون‌سپاری کارهای تولیدی را تحت تأثیر قرار دهند. شرکت‌ها می‌توانند با در نظر گرفتن ریسک‌ها در تصمیمات خود و به‌کارگیری استراتژی مناسب کاهش ریسک، در پاسخ به وقایع پیش‌بینی‌نشده،

حفظ عملکرد سازمان در شرایط تحریم از اهمیت بسزایی در مدیریت سازمان‌ها برخوردار است. شرایط تحریم با اثر گذاری بر ظرفیت تسهیلات زنجیره‌تأمین تأثیر معناداری بر شرایط رقابت خواهد داشت [۱]. مفهوم مدیریت زنجیره تأمین اولین بار توسط الیور و وبر در سال ۱۹۸۲ شناخته شده‌است و از آن زمان تا به حال برای حل چالش‌های مختلف تکامل یافته است. در این چارچوب در حال تغییر

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: amintahmasbi@guilan.ac.ir

۱. دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رشت، رشت، ایران.

۲. استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی شرق، دانشگاه گیلان، رودسر، ایران.

۳. استادیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رشت، رشت، ایران.

دارد، انتخاب تأمین‌کننده، یک وظیفه راهبردی شناخته می‌شود. انتخاب تأمین‌کنندگان فرآیندی است که در طی آن تأمین‌کنندگان به‌عنوان یک جزء از زنجیره تأمین، مورد تحلیل و انتخاب قرار می‌گیرند [۸].

در این پژوهش، هدف اصلی، بررسی اثر اختلال در تأمین‌کننده در زنجیره تأمین چند محصولی است. برای تولید اقلام و محصولات در یک زنجیره تأمین، نیاز است تا یک سری از اقلام و مواد اولیه، تأمین گردد که با تأمین این اقلام و انجام فرآیند تولید زمینه جهت برآورده‌سازی نیاز مشتری نهایی فراهم می‌شود. در چنین شرایطی عدم فراهم‌آوری هر کدام از مواد اولیه توسط تأمین‌کنندگان منجر به عدم توانایی در تولید محصول نهایی و هزینه‌های دیرکرد و هزینه‌هایی از این دست می‌گردد. با توجه به شرایط بازار، تحریم‌های دولت‌ها، عوامل غیرقطعی و قوانین مختلف موجود در بازارهای رقابتی این امکان وجود دارد تا تأمین مواد اولیه با اختلال مواجه گردد. مسئله انتخاب مجموعه مناسبی از تأمین‌کنندگان کارا و تخصیص سفارش به آن‌ها، یکی از مهم‌ترین تصمیمات استراتژیک برای ایجاد یک سیستم زنجیره تأمین کارا و بهینه در محیطی رقابتی و دارای عدم قطعیت است [۹]. در چنین شرایطی در عمل استراتژی‌های متعددی جهت مقابله با اختلال در دسترس است که از جمله می‌توان به نگهداری موجودی اضافی، همکاری با تعداد بیشتری تأمین‌کننده و یا استفاده از استراتژی‌های منبع‌یابی جایگزین اشاره نمود. استراتژی نسبتاً معقولی که در این زمینه توسط بسیاری از مصرف‌کنندگان مورد استفاده قرار می‌گیرد، استراتژی‌های منبع-یابی جایگزین یا اقتضائی است که در این پژوهش از آن استفاده می‌شود. مدیریت اختلال زنجیره تأمین، شامل مدیریت ریسک‌های اختلال خارجی و داخلی زنجیره تأمین است که با رویکرد هماهنگ بین اعضای زنجیره تأمین به-منظور کاهش آسیب‌پذیری زنجیره تأمین انجام می‌شود. مدیریت ریسک اختلال، لزوماً به اختلال بین اعضای حاضر در زنجیره تأمین نمی‌پردازد بلکه ممکن است در حوزه مدیریت ریسک‌های اختلال درون شرکت‌ها باشد.

البته هدف مدیریت ریسک اختلال زنجیره تأمین، جلوگیری از رخداد شکست‌هایی است که می‌تواند کل زنجیره تأمین را متأثر نماید. یافتن و تحلیل این ریسک‌ها مهم‌ترین کار در فرآیند مدیریت ریسک و اختلال زنجیره تأمین است.

خوب عمل کنند. سلیقه‌ای بودن، عدم اطمینان و ابهام از جمله فاکتورهای کلیدی هستند که موجب می‌شوند پرداختن به ریسک دشوار باشد؛ بنابراین، تحلیل، کاهش و کنترل ریسک توصیه‌هایی را برای تصمیم‌گیری مناسب فراهم

می‌کنند [۳]. مطالعه اتفاقات روی داده در مواردی که یک شرکت نزدیک به ضرر دهی باشد، می‌تواند به شناسایی موضوعات سیستماتیک کمک کند و از این طریق باعث ارتقاء انعطاف‌پذیری سازمانی شود. باین‌حال، آنچه مهم است، چگونگی یادگیری بنگاه‌ها از حوادث ناگوار است و اینکه چگونه یادگیری آن‌ها در مواجهه با اختلال در زنجیره تأمین، به استراتژی‌های پاسخ‌دهی تبدیل می‌شود [۴]. زنجیره‌های تأمین در پاسخ به تغییر محیط‌های تجاری و فن‌آوری به‌طور فزاینده‌ای پویا شده‌اند. این امر چالش‌هایی را در مدیریت جریان مواد ایجاد کرده و خطر بیشتری برای اختلال ایجاد کرده‌است. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که پویایی زنجیره تأمین تأثیر مثبت قابل توجهی بر جهت‌گیری اختلال زنجیره تأمین و انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین دارد و انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین نیز از جهت‌گیری اختلال زنجیره تأمین تأثیر می‌پذیرد [۵]. اختلال در زنجیره تأمین تهدیدهای عمده‌ای را برای تداوم کسب‌وکار به وجود می‌آورد، به‌خصوص هنگامی که این اختلال شامل شکست متوالی و آسیب‌داری‌های نیازمند کار تعمیراتی باشد [۶]. با به وجود آمدن اختلال در ورودی کلیدی عملیات پایین دستی فرآوری نفت مانند پالایشگاه‌های نفت، این اختلال بر مشتریان تجاری و مشتریان خانگی محصولات نفتی تصفیه‌شده تأثیر می‌گذارد. بهبود انعطاف‌پذیری در زنجیره تأمین صنایع نفتی و پالایشگاهی و انعطاف‌پذیری زیرساخت تأمین محصولات نفتی یکی از راه‌های مواجهه با اختلال است [۷]. یکی از مسائل مهم در طراحی یک زنجیره تأمین، مسئله انتخاب تأمین‌کننده است. پیچیدگی این مسئله در حقیقت به این دلیل است که هر کدام از تأمین‌کنندگان بخشی از نیازهای خریدار را برآورده می‌کنند و به همین دلیل انتخاب تأمین‌کننده ملزم به یک رویکرد ساختاریافته و سیستمی است [۸]. در دهه اخیر نحوه تأمین مواد اولیه و انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین چالشی برای بیشتر سازمان‌ها بوده‌است. از آنجاکه عملکرد تأمین‌کنندگان، اثر اساسی بر موفقیت یا شکست زنجیره تأمین

ولی در صورت وقوع اختلال بر روی این تأمین کننده، سیستم کاملاً آسیب پذیر خواهد بود. پارلار و برکین^۳ نخستین پژوهشی است که با پشتوانه ریاضیاتی به بررسی مدل های موجودی با امکان وقوع اختلال می پردازد. امکان وقوع اختلال در تحقیق ایشان به معنای عدم امکان دسترسی به تأمین کننده در برخی اوقات است؛ یعنی این که در برخی از موارد تأمین کننده در حالت در دسترس و در برخی از مواقع در حالت غیرقابل دسترس بوده و عدم قطعیت در عرضه و منبع در نظر گرفته شده است. ایشان مدل موجودی برای مسئله EOQ^۴ با فرض اختلال در عرضه و سیاست سفارش در نقطه صفر (ZIO)^۵ را ارائه دادند [۱۸]. زینپ- سورکت و کیو^۶ به بررسی زمانی پرداختند که راهبرد سفارش با مقدار با فرض ZIO نسبت به سفارش تاندازه ای خاص با نقطه سفارش مثبت، بهتر است. فرض اصلی ایشان، اختلال در دوره های فعالیت یا عدم فعالیت تأمین کننده و فروشنده بود [۱۹].

از میان پژوهش های اصلی که تک تأمین کننده را مدنظر قرار داده اند می توان به این موارد اشاره نمود: ژیاوو و کیو^۷ تک تأمین کننده با دو فروشنده رقیب برای مسئله روزنامه فروش را بررسی کردند [۲]. کرن^۸ به بررسی مدلی با بازده تصادفی برای مدل موجودی تک دوره ای با تقاضای قطعی پرداخت [۲۱]. بهرامی و همکاران یک زنجیره تأمین دو سطحی تحت قرارداد مدیریت موجودی توسط فروشنده که در آن یک تأمین کننده چندین کالا را برای چندین فروشنده به منظور برآورده سازی تقاضای آن ها تولید و برایشان ارسال می نماید، توسعه دادند [۲۲]. سیمچی لوی^۹ و همکاران به ارائه ی راهبرد هیبرید انعطاف پذیری فرآیند و موجودی جهت مقابله با اختلال می پردازند. مدل به صورت مدل احتمالی دومرحله ای مدل سازی گردیده است به گونه ای که در مرحله ی اول سازمان به تخصیص موجودی می پردازد و در مرحله ی دوم تصمیم گیری، سازمان زمان بندی تولید را با استفاده از انعطاف دهی در فرآیند و موجودی به منظور حداقل سازی دیرکرد مشخص می نماید [۲۳]. از میان پژوهش هایی که چند تأمین کننده را مدنظر قرار داده اند می توان به این موارد اشاره نمود: سونگ^{۱۰} و همکاران به بررسی

تانگ^۱ معتقد است جهت دستیابی به زنجیره تأمین رقابتی که توانایی اجتناب از ریسک و اختلال را دارا باشد، لازم است مدیران اهداف خود را بر بهبود و هماهنگی ارتباطات اجزاء زنجیره تأمین متمرکز کنند و در این راستا به چهار رویکرد پایه برای مدیریت ریسک اختلال به شرح زیر اشاره می کند: ۱- مدیریت تأمین ۲- مدیریت محصول ۳- مدیریت تقاضا ۴- مدیریت اطلاعات [۱۰]. کریستوفر و لی^۲ بر این باور هستند که در فرآیند مقاوم سازی زنجیره تأمین نسبت به اختلال، می بایست کارایی زنجیره را در کنار سایر رویکردهای که آسیب پذیری زنجیره را کاهش می دهند، بررسی نمود [۱۱]. با توجه به مسائلی که سازمان به علت اختلال در زنجیره تأمین با آن مواجه می شود، راهکارهای مختلفی برای مقابله با آن ها در زنجیره تأمین ارائه گردیده است.

از این میان می توان به مواردی چون ارتقاء پایداری در زنجیره تأمین [۱۲]، ارتقاء خاصیت بازگشت پذیری در زنجیره تأمین [۱۳ و ۱۴]، ارتقاء امنیت زنجیره تأمین [۱۵ و ۱۶] و ارتقاء چابکی در زنجیره تأمین [۱۷]، اشاره نمود. می توان راهبردهای مدیریت اختلال در زنجیره تأمین را به دو گروه راهبردهای پیشگیرانه و مدیریت اختلال تقسیم کرد. جنبه های نوآوری این پژوهش عبارت است از: ۱- توسعه رویکردهای منبع یابی اقتضائی جهت مقابله با اختلال، ۲- مدل سازی مسئله در قالب مدل های دو مرحله ای تصادفی.

۲- مرور ادبیات

پژوهش های زیادی درباره فرآیند انتخاب تأمین کننده در شرایط اختلال صورت گرفته است که هر کدام از جنبه خاصی به این مسئله پرداخته اند. در مدل های موجودی با اختلال، مدل های کاهش اثر اختلال با موجودی اضافی و مدل های با چند تأمین کننده بخش اصلی ادبیات این حوزه را تشکیل می دهند. در حالی که در مدل های با تک تأمین کننده تنها از راهبرد نگهداری موجودی اضافه جهت کاهش اثر اختلال استفاده می شود. در مدل های با چندین تأمین کننده، سفارش ها بین چند منبع تقسیم می گردد که موجب کاهش اثر اختلال بر روی کل مجموعه خواهد شد. اگرچه مدل های تک منبعی موجب ارائه ی مزایای قیمتی نظیر تخفیف، هزینه ی کمتر مدیریت تأمین کننده و ... می شود

⁶ Zeynep Sargut and Qi

⁷ Xiao and Qi

⁸ Keren

⁹ Simchi-Levi

¹⁰ Song

¹ Tang

² Christopher and Lee

³ Parlar and Berkin

⁴ Economic Order Quantity

⁵ Zero Inventory Ordering

این پژوهش قلمداد کرد که به‌نحوی آن را جزء اولین مطالعات از این حیث قرار می‌دهد. ۲- در هیچ‌کدام از مطالعات پیشین از راهبرد منبع یابی اقتضائی برای حل مسئله اختلال در زنجیره تأمین چند محصولی استفاده نشده است. ۳- مدل‌سازی مسئله در قالب مدل تصادفی دو مرحله ای انجام گرفته است و برای حل آن از روش تقریب میانگین نمونه استفاده شده است.

در جدول ۱، وجوه تمایز پژوهش‌های پیشین در حوزه مدل‌های موجودی با اختلال از منظر نوع عدم قطعیت، راهبرد مقابله با آن، متغیر تصمیم‌گیری سفارش، تعداد اقلام، نوع تقاضا، ساختار زمانی، سیاست مرور موجودی، راهبرد منبع یابی، نوع اختلال، مراحل زنجیره تأمین، زمان تدارک و نوع دیرکرد نشان داده شده است.

تحلیل پژوهش‌های انجام شده بر اساس داده‌های جدول ۱ مبنای ارائه‌ی شکاف تحقیق و ارائه‌ی مدل پیشنهادی بر اساس این شکاف است. جهت تحلیل ادبیات موضوع، پژوهش‌ها به زیر بخش‌هایی تقسیم می‌گردد این زیربخش‌ها شامل حوزه‌هایی است که در ادبیات و پژوهش‌های مربوط به موجودی با اختلال به‌عنوان ویژگی‌های مدل پیشنهادی پژوهشگران مورد بررسی قرار گرفته است. این حوزه‌ها شامل «عدم قطعیت در عرضه و تقاضا، اختلال بازده برنولی-بازده تصادفی، ساختار زمانی، منبع یابی، سیاست تحمل برای مدتی، تصمیم‌گیرنده‌ی ریسک‌گریز و ریسک‌خشی، ادبیات تک محصولی-چندمحصولی، سفارش‌های عقب‌افتاده-سفارش از دست‌رفته، روش حل و مدل‌سازی، زمان در راه سفارش و توسعه‌ی ادبیات» است. علت این تقسیم‌بندی این است که در ادبیات پژوهش‌های موجود، این حوزه‌ها به‌عنوان مرزهای پژوهش توسط پژوهشگران مد نظر قرار گرفته است. از میان پژوهش‌هایی که در سال‌های اخیر صورت پذیرفته است، پژوهش‌هایی که حالت چند منبعی را در نظر گرفته‌اند رو به افزایش است که بخشی از آن‌ها به حالت تأمین‌کننده اقتضائی اختصاص دارد. با توجه به اینکه استفاده از تأمین‌کننده اقتضائی می‌تواند موجب افزایش انعطاف‌پذیری در مدل‌های موجودی گردد، پیاده‌سازی این مدل‌ها در عمل بیشتر امکان‌پذیر است.

چند تأمین‌کننده هنگامی که چند نوع عدم قطعیت نظیر عدم قطعیت عرضه‌ی مواد اولیه، زمان تولید غیرقطعی و تقاضای غیرقطعی وجود دارد، پرداختند. در پژوهش ایشان، فرآیند مدیریت سیاست یکپارچه‌ی سفارش‌دهی مواد اولیه و کنترل تولید با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی پویا مدل شد [۲۴]، فیروزی^۱ و همکاران به ارائه‌ی سیاست بهینه برای دو محصول با مرور دوره‌ای موجودی پرداختند که احتمال در دسترس بودن تأمین‌کننده غیرمشخص است. علاوه بر این دو نوع هزینه‌ی ثابت که به هر کدام از محصولات اختصاص می‌یابد مورد بررسی قرار گرفت [۲۵]. سوایک^۲ یک رویکرد مدل‌سازی دو دوره ای نوین برای کاهش اختلال زنجیره تأمین ارائه نمود که در آن، افق برنامه‌ریزی به دو دوره قبل از اختلال و بعد از اختلال تقسیم می‌شود [۲۶]. پال^۳ و همکاران به ارائه‌ی یک سیستم تک‌مرحله‌ای تولید-موجودی پرداخت که در آن سیستم به صورت غیر منتظره با اختلال محدود یا اختلال کلی مواجه می‌گردد. ایشان یک مدل ریاضی برای برنامه‌ریزی مجدد تولید بعد از رخ دادن اختلال جهت حداکثر کردن سود در دوره‌ی باز یابی را ارائه دادند [۲۷]. پال و همکاران به مقایسه‌ی تحقیقات انجام شده با رویکرد تولید-موجودی و مدیریت اختلال در زنجیره تأمین پرداختند. شاخص‌های تمایز اصلی در نظر گرفته شده در پژوهش ایشان، عبارت است از فاکتورهای ریسک فضای واقعی، نظیر فرآیند تولید غیرمطمئن، ریسک و اختلال تولید، عرضه، تقاضا و حمل و نقل بود [۲۸]. یائو و مینر^۴ مدل‌های چند تأمین‌کننده در زنجیره‌های تأمین مواجه با اختلال را بررسی کردند [۲۹]. شائو^۵ به بررسی اثر ارضاء تقاضا به صورت عرضی در یک زنجیره تأمین پرداخت [۳۰] و مورالز و همکاران^۶ مسئله مسیریابی موجودی و اثر اختلال بر روی شبکه را مورد بررسی قرار داد [۳۱].

با توجه به مطالب ذکر شده و مطالعات پیشین در حوزه اختلال در تأمین‌کننده، می‌توان مهم‌ترین انگیزه‌های پرداختن به این موضوع را به صورت عوامل زیر برشمرد:

۱- با توجه به مطالعات صورت گرفته، پژوهشی که در آن مدل‌سازی ریاضی برای زنجیره تأمین چند محصولی با امکان وقوع اختلال در تأمین‌کننده در شرایط تحریم انجام شده باشد، یافت نشد و این امر را می‌توان مهم‌ترین نوآوری

⁴ Yao and Minner

⁵ Shao

⁶ Morales

¹ Firouzi

² Sawik

³ Paul

			✓															فروش عقب افتاده	نوع دیرکرد
✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓		✓								فروش از دست رفته	
													✓		✓			غیر صفر-غیر ثابت	زمان تناژک
		✓	✓	✓				✓										غیر صفر-ثابت	
✓	✓				✓	✓	✓		✓	✓					✓			صفر	
		✓	✓															تک مرحله	مراحل زنجیره
✓	✓				✓	✓	✓	✓		✓					✓			چند مرحله	
				✓						✓								بازده تصادفی	نوع اختلال
✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓											بازده برنولی	
								✓							✓			تک منبعی	راهبرد منبع یابی
✓		✓							✓	✓				✓		✓		چند منبعی	
	✓	✓	✓	✓	✓				✓	✓	✓							منبع یابی مشروط	
					✓				✓									پیوسته	سیاست مرور
✓	✓			✓			✓	✓		✓	✓		✓	✓				پریودیک	
					✓										✓			پیوسته	ساختار سازمانی
✓			✓				✓	✓	✓						✓			پریودیک	
	✓	✓				✓				✓								تک پر بود	
			✓	✓					✓						✓			غیر ثابت	تفاضل
✓	✓		✓				✓	✓		✓							✓	ثابت	
✓					✓			✓	✓						✓	✓		چند	تعداد اقلام
	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	تک	
				✓											✓	✓		نقطه سفارش مجدد	مغزیر تصمیم گیری سفارش
✓	✓	✓	✓			✓		✓	✓		✓							میزان سفارش	
✓	✓	✓			✓		✓		✓					✓	✓			سفارش تا اندازه خاص	
✓						✓		✓	✓	✓	✓						✓	منبع یابی	راهبرد مقاله
✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓		✓						✓		نگهداری موجودی	
		✓							✓						✓			تفاضل	نوع عدم قطعیت
✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	عرضه	
[۵۷]	[۵۶]	[۵۵]	[۵۴]	[۵۳]	[۵۲]	[۵۱]	[۵۰]	[۳۱]	[۳۰]	[۲۹]	[۴۹]	[۴۸]	[۴۷]	[۲۵]	[۲۴]	[۲۳]		منبع	

تأمین‌کنندگان ارزان چه مقدار کالا را برآورده کرده است، سفارش‌ها به تأمین‌کننده‌ی گران‌تر ارائه می‌گردد. واضح است که تأمین‌کننده گران‌تر در عمل می‌بایست مطمئن‌تر عمل نماید.

تأمین‌کننده‌ی ارزان دارای عدم قطعیت از نوع بازده تصادفی^۵ و همین‌طور عدم قطعیت در زمان تدارک می‌باشند. در ارتباط با عدم قطعیت از نوع بازده تصادفی، تنها بخشی از سفارش داده شده توسط این تأمین‌کننده تحویل داده می‌شود. جهت استفاده از تأمین‌کننده‌ی گران (مطمئن) در مرحله‌ی دوم می‌بایست آیت‌ها را از این تأمین‌کننده رزرو نمود (پیش پرداخت به این تأمین‌کننده پرداخت نمود) در صورتی که نیاز به سفارش به تأمین‌کننده گران احساس شود، حداکثر می‌توان تا مقدار رزرو شده به او سفارش داد. در صورتی که در چنین وضعیتی سفارشی به تأمین‌کننده‌ی گران ارائه نگردد یا اینکه تأمین‌کننده از حالت در دسترس خارج گردد، هزینه‌ی رزرو موجودی عملاً از دست‌رفته محسوب می‌شود. میزان اضافه از هر کدام از آیت‌ها در انتهای افق تصمیم‌گیری با ارزش دفتری (هزینه‌ی اسقاط) مورد محاسبه قرار می‌گیرند. زمان تدارک برای آیت‌ها به صورت غیرقطعی در نظر گرفته شده است. هدف مدل از بعد سفارش‌دهی، تعیین مقادیر سفارش به هر کدام از تأمین‌کننده‌ها است. همچنین این مدل، انجام تأمین با قیمت پایین‌تر از تأمین‌کننده‌ی ارزان و نیز استفاده از درجه اطمینان بالاتر تأمین‌کننده‌ی گران را به همراه خواهد داشت. فرض استفاده از تأمین‌کننده ارزان و تأمین‌کننده گران تنها از طریق مدل‌سازی مسئله با مفاهیم مدل‌های تصادفی دو مرحله‌ای میسر است. لذا سفارش‌ها در ساختار دومرحله‌ای ارائه می‌شود به گونه‌ای که در مرحله‌ی اول سفارش‌ها به تأمین‌کننده‌های ارزان ارائه می‌شود و همین‌طور میزان رزرو از تأمین‌کننده گران مشخص می‌شود و در مرحله‌ی دوم به محض اینکه اطلاعات بیشتری از پارامترهای غیرقطعی مشخص شد، سفارش‌ها به تأمین‌کننده‌ی گران ارائه می‌شود.

عدم تأمین هر کدام از اقلام اولیه، موجب عدم توانایی در تولید محصول نهایی مربوطه می‌شود. چنین فرضی موجب می‌شود که فرآیند سفارش‌دهی مواد اولیه و تولید

از طرف دیگر بیشتر پژوهش‌های صورت پذیرفته در ادبیات موضوع حوزه‌ی اختلال در موجودی، حالت تک‌محصولی را در نظر می‌گیرند. تعداد بسیار کمتری از پژوهش‌ها در حالت چند محصولی صورت پذیرفته است. گورنانی^۱ و همکاران و هوپ و یین^۲ یک سیستم مونتاژ را در نظر می‌گیرند که چند محصول در آنجا تولید می‌شود [۵۸ و ۵۹]، تاملین^۳ امکان جایگزینی دو محصول را در نظر می‌گیرد [۳۴]، اشمیت و سینگ^۴ فرض دو محصول که در چند کارخانه تولید می‌شود را مدنظر قرار می‌دهد. [۶۰]. در پژوهش حاضر ضمن توسعه رویکرد منبع‌یابی اقتضایی در زنجیره تأمین چند محصولی، از مدل دومرحله‌ای تصادفی برای مدل‌سازی مسئله استفاده شده است.

۳- معرفی مسئله و مدل‌سازی

مسئله مورد پژوهش در محیط چندآیتمی، چندمحصولی در محیط تولیدی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این پژوهش، هدف اصلی، بررسی اثر اختلال در زنجیره تأمین برای یک زنجیره تأمین شامل تأمین‌کننده اقلام اولیه، تولیدکننده محصولات و مشتری نهایی است. در زنجیره تأمین چند محصولی عدم فراهم‌آوری هر کدام از مواد اولیه توسط تأمین‌کنندگان منجر به عدم توانایی در تولید محصول نهایی و هزینه‌های دیرکرد و هزینه‌هایی از این دست می‌گردد. با توجه به شرایط بازار و عوامل غیرقطعی موجود در بازارهای رقابتی، این امکان وجود دارد تا تأمین مواد اولیه با اختلال مواجه گردد. در این پژوهش عملاً اختلال به طور مستقیم بر روی تأمین مواد اولیه مدنظر قرار گرفته است. در بسیاری صنایع نظیر صنایع تعمیراتی، غذایی، دارویی و سایر صنایعی که تاریخ انقضاء برای اقلام مصرفی وجود دارد امکان نگهداری انبوهی از مواد اولیه میسر نیست. همین‌طور همکاری با تعداد بسیار از تأمین‌کنندگان نیز هزینه‌ی بالایی برای مدیریت تأمین‌کنندگان به سیستم موجودی تحمیل می‌نماید. استراتژی نسبتاً معقولی که در این زمینه توسط بسیاری از مصرف‌کنندگان مورد استفاده قرار می‌گیرد، استراتژی‌های منبع‌یابی اقتضایی است. در این سیاست، سفارش‌ها در ساختار دومرحله‌ای داده می‌شود به گونه‌ای که در مرحله‌ی اول سفارش‌ها به تأمین‌کننده‌های ارزان‌تر ارائه می‌شود و در مرحله‌ی دوم به محض اینکه مشخص شد که

⁴Schmitt and Singh

⁵Random Yield

¹Gurnani

²Hopp and Yin

³Tomil

۳-۱- برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای^۱

روش سنتی نمایش ریاضی برنامه‌ریزی احتمالی دومرحله‌ای به شکل زیر است که در آن متغیرها و پارامترها مرحله‌ی اول و دوم طبق معادلات (۱) الی (۴) قابل تمایز می‌باشند.

$$\min \left\{ a^T x + \sum_{s \in S} p^s \times b^s \times y^s \right\} \quad (1)$$

subject to

$$Ax = c \quad (2)$$

$$B^s x + C^s \times y^s = d^s, s \in S \quad (3)$$

$$x, y^s \geq 0, s \in S \quad (4)$$

در مدل بالا مقادیر x و y به ترتیب متغیرهای مرحله‌ی اول و دوم می‌باشند. A, B, C و ضرایب ماتریس‌های تکنولوژی است. c و d مقادیر سمت راست و S نمایانگر سناریوی مربوطه است. p نیز احتمال مجموعه سناریو است.

۳-۲- مدل تصادفی دومرحله‌ای برای مدل پیشنهادی

طبق فرضیات ارائه‌شده در بخش قبلی مدل‌سازی مسئله به شکل زیر صورت می‌پذیرد. در ادامه اندیس‌ها، پارامترها، متغیرها و مدل‌سازی مسئله ارائه‌گردیده‌است.

اندیس‌ها

i	اندیس ماده اولیه مورد نیاز برای تولید
p	اندیس محصولات جهت تولید
o	اندیس سفارش‌های ارسالی
c	اندیس تأمین‌کننده‌ی ارزان غیرمطمئن
e	اندیس تأمین‌کننده‌ی گران مطمئن
t	اندیس پرپود ($t = 1, 2, \dots, T$)
s	اندیس سناریو

مجموعه‌ها

$IT(p)$	مجموعه مواد اولیه موردنیاز برای تولید محصول p
$C(i, p)$	مجموعه تأمین‌کننده ارزان که می‌توانند ماده اولیه i از محصول p را ارائه‌دهند
$E(i, p)$	تأمین‌کننده‌ی گران که می‌تواند ماده اولیه i از محصول p را ارائه‌دهند
P	مجموعه محصولاتی که تولید آن‌ها در تصمیم‌گیری مورد بررسی تعمیر قرار می‌گیرند.
S	مجموعه‌ی سناریوهای قابل وقوع

محصولات نهایی وابستگی بیشتری داشته باشند. لذا این مدل سعی دارد تا رابطه‌ی میان سفارش‌دهی برای مواد اولیه و برنامه‌ریزی تولید را نیز برقرار نماید. واضح است که هر کدام از محصولات نهایی نیازمند اقلام و مواد اولیه است. با توجه به اینکه در فرآیند تولید تمامی مواد اولیه می‌بایست تأمین‌گردند و عملاً رابطه‌ی مستقیمی می‌بایست بین برنامه‌ی تولید هر کدام از محصولات نهایی و تأمین مواد اولیه برقرار شود، در مدل پیشنهادی برنامه‌ی تولید در کنار برنامه سفارش‌دهی مواد اولیه مشخص می‌گردد.



شکل ۱: ساختار فرایند تصمیم‌گیری مدل

برنامه اصلی تولید می‌بایست در ابتدای افق تصمیم‌گیری مشخص‌شود لذا در مدل پیشنهادی، برنامه تولید اصلی، تولید و میزان سفارش‌های پذیرفته‌شده برای محصولات نهایی، از مشتری نهایی، در مرحله اول تصمیم‌گیری هم‌زمان با تعیین سفارش‌ها به تأمین‌کننده غیرمطمئن مشخص می‌گردد. همین‌طور از آنجا که مدل در شرایط عدم قطعیت مدل‌سازی شده‌است، میزان تقاضای قطعی برآورده شده در مرحله دوم مشخص می‌شود و میزان انحرافات از سفارش‌های پذیرفته‌شده به سیستم، هزینه تحمیل می‌نماید. شکل (۱) نشان‌دهنده‌ی ساختار فرایند تصمیم‌گیری است.

^۱ Two-stage Stochastic Programming

پارامترها

PDP_p	میزان جریمه بابت تغییر مثبت (تولید زودتر) در برنامه‌ی تولید برای محصول p
NDP_p	میزان جریمه بابت تغییر منفی (انجام دیرتر) در برنامه‌ی تولید برای محصول p
RS_p	میزان موردنیاز نیروی انسانی برای تولید یک واحد محصول p
SC_t	ظرفیت موجود از نیروی انسانی در دوره‌ی t

متغیرهای مرحله‌ی اول

$AO_{p,t}$	مقدار سفارش پذیرفته‌شده از محصول نوع p در دوره‌ی t
$RQ_{i,p,e,t}$	مقدار رزرو شده (پیش‌پرداخت شده) از ماده اولیه‌ی i برای محصول p از تأمین‌کننده‌ی e در دوره‌ی t
$OC_{i,p,c,t}$	میزان سفارش از ماده اولیه‌ی i از محصول p به تأمین‌کننده‌ی ارزان c برای دوره‌ی t
$IMP_{p,t}$	برنامه‌ی اولیه‌ی تولید محصول p در زمان t

متغیرهای مرحله‌ی دوم

$RP_{i,p,e,t,s}$	میزان باقیمانده‌ی پرداخت که برای ماده اولیه i برای محصول p در دوره‌ی t برای سناریوی s در صورت تحویل کالا می‌بایست به تأمین‌کننده‌ی e پرداخته‌شود
$I_{i,p,t,s}$	سطح موجودی ماده اولیه‌ی i از محصول p در پایان دوره‌ی t برای سناریوی s
$IP_{p,t,s}$	سطح موجودی محصول نهایی محصول p در پایان دوره‌ی t برای سناریوی s
$AMP_{p,t,s}$	میزان قطعی تولید محصول p در زمان t برای سناریوی s
$OE_{i,p,e,t,s}$	میزان قطعی سفارش از ماده اولیه i از محصول p به تأمین‌کننده‌ی گران e برای دوره‌ی t برای سناریوی s
$C_{i,p,t,s}$	میزان مصرف‌شده از ماده اولیه i از محصول p در پایان دوره‌ی t برای سناریوی s
$LP_{i,j,p,e,t,s}$	میزان سرمایه‌گذاری که برای ماده اولیه i برای محصول p در دوره‌ی t برای سناریوی s از تأمین‌کننده‌ی e از دست‌رفته‌است.
$DMP_{j,p,s}^+$	میزان تغییر مثبت (انجام زودتر) در برنامه‌ی تولید محصول p برای سناریوی s
$DMP_{j,p,s}^-$	میزان تغییر منفی (انجام دیرتر) در برنامه‌ی تولید محصول p برای سناریوی s

PRSS

$HP_{p,t}$	هزینه نگهداری یک واحد محصول p در دوره‌ی t
RO_p	عایدی حاصل از فروش یک واحد محصول p
PC_p	هزینه تولید یک واحد محصول p
$RC_{i,p,e,t}$	هزینه رزرو یک واحد از ماده اولیه i برای محصول p از تأمین‌کننده‌ی گران e در دوره‌ی t
$CP_{i,p,c,t}$	قیمت واحد آئتم i برای محصول p از تأمین‌کننده‌ی ارزان c برای تحویل در دوره‌ی t
$EP_{i,p,e,t}$	قیمت واحد آئتم i برای محصول p از تأمین‌کننده‌ی گران e برای تحویل در دوره‌ی t
$BI_{i,p}$	ارزش دفتری ماده اولیه‌ی i از محصول p در ابتدای افق تصمیم‌گیری
$BE_{i,p}$	ارزش دفتری ماده اولیه‌ی i از محصول p در انتهای افق تصمیم‌گیری
$II_{i,p}$	موجودی اولیه ماده اولیه‌ی i از محصول p
H_i	هزینه نگهداری یک واحد از ماده اولیه‌ی i برای یک دوره
$Y_{i,c,t,s}$	بازده ماده اولیه‌ی i در پیرو t از تأمین‌کننده ارزان c برای سناریوی s
$\bar{Y}_{i,p,c}$	متوسط بازده ماده اولیه‌ی i متعلق به محصول p از تأمین‌کننده ارزان c
$\alpha_{i,e}$	حداقل درصدی از مقدار رزرو شده از ماده اولیه‌ی i از تأمین‌کننده گران e که باید سفارش داده‌شود.
$MIE_{i,p}$	حداقل مقدار مورد نیاز از ماده اولیه‌ی i از محصول p در پایان افق
$MAE_{i,p}$	حداکثر مقدار مورد نیاز از آئتم i از محصول p در پایان افق
$CC_{i,p,c}$	ظرفیت تأمین‌کننده‌ی c برای ماده اولیه‌ی i از محصول p
$CE_{i,p,e}$	ظرفیت تأمین‌کننده‌ی e برای ماده اولیه‌ی i از محصول p
$B_{e,s}$	اگر تأمین‌کننده‌ی e در سناریوی s دسترس باشد مقدار یک می‌گیرد. در غیر این صورت صفر
$\gamma_{i,p}$	مقدار مورد نیاز از ماده اولیه‌ی i برای تولید یک واحد محصول p
$LDE_{i,p,e}$	زمان تدارک ماده اولیه‌ی i از محصول p از تأمین‌کننده‌ی e برای سناریوی s
$LDC_{i,j,p,e}$	زمان تدارک ماده اولیه‌ی i از محصول p از تأمین‌کننده‌ی c برای سناریوی s

مدل‌سازی ریاضی

$$\text{Max} \left\{ \begin{aligned} & \sum_{p \in P} \sum_{t=1}^T (RO_p - PC_p) AO_{p,t} \\ & - \sum_{p \in P} \sum_{i \in IT(p)} \sum_{e \in E(i,p)} \sum_{t=1}^T RC_{i,p,e,t} \times RQ_{i,p,e,t} \\ & - \sum_{p \in P} \sum_{i \in IT(p)} \sum_{c \in C(i,p)} \sum_{t=1}^T CP_{i,p,c,t} \times \bar{y}_{i,p,c} \times OC_{i,p,c,t} \end{aligned} \right\} - \sum_{s=1}^S PRS_s \times \left\{ \begin{aligned} & + \sum_{p \in P} \sum_{i \in IT(p)} \sum_{e \in E(i,p)} \sum_{t=1}^T RP_{i,p,e,t,s} \\ & + \sum_{p \in P} \sum_{i \in IT(p)} (BI_{i,p} \times II_{i,p} - BE_{i,p} \\ & + \sum_{p \in P} \sum_{i \in IT(p)} \sum_{t=1}^T (H_{i,p} \times I_{i,t} \\ & + \sum_{p \in P} \sum_{t=1}^T (HP_{p,t} \times IP_{p,t,s} \\ & + \sum_{p \in P} \sum_{t=1}^T (PDP_p \times DMP_{p,t}^+ \\ & + \sum_{p \in P} \sum_{t=1}^T (NDP_p \times DMP_{p,t}^- \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Subject to:

$$\left\{ \begin{aligned} & II_{i,p} + \sum_{c \in C(i)} y_{i,p,c,1,s} \times OC_{i,p,c,1} + \sum_{e \in E(i)} OE_{i,p,e,1,s} = I_{i,p,1,s} + C_{i,p,1,s}, \forall p \in P, i \in IT(p), s \\ & I_{i,p,t-1,s} + \sum_{c \in C(i)} y_{i,p,c,t,s} \times OC_{i,p,c,t} + \sum_{e \in E(i)} OE_{i,p,e,t,s} = I_{i,p,t,s} + C_{i,p,t,s}, \forall p \in P, i \in IT(p), t = 2, \dots, T, s \end{aligned} \right. \quad (6)$$

$$I_{i,p,T,s} \geq MIE_{i,p}, \forall p \in P, i \in IT(p), s \quad (7)$$

$$I_{i,p,T,s} \leq MAE_{i,p}, \forall p \in P, i \in IT(p), s \quad (8)$$

$$\sum_{t=1}^T OC_{i,p,c,t} \leq CC_{i,p,c}, \quad \forall p \in P, i \in IT(p), c \in C(i) \quad (9)$$

$$\sum_{t=1}^T RQ_{i,p,e,t} \leq CE_{i,p,e}, \forall p \in P, i \in IT(p), e \in E(i) \quad (10)$$

$$RC_{i,p,e,t} \times RQ_{i,p,e,t} + RP_{i,p,e,t,s} - LP_{i,p,e,t,s} = EP_{i,p,e,t} \times OE_{i,p,e,t,s}, \forall p \in P, i \in IT(p), e \in E(i), t, s \quad (11)$$

$$OE_{i,p,e,t,s} \leq B_{e,s} \times RQ_{i,p,e,t}, \forall p \in P, i \in IT(p), t, e \in E(i), s \quad (12)$$

$$\alpha_{i,p,e} \times B_{e,s} \times \sum_{t=1}^T RQ_{i,p,e,t} \leq \sum_{t=1}^T OE_{i,j,p,e,t,s}, \forall p \in P, j \in J(p), i \in IT(p), e \in E(i), s \quad (13)$$

$$C_{i,p,t,s} = \gamma_{i,p} \times AMP_{p,t,s}, \forall p \in P, i \in IT(p), t, s \quad (14)$$

$$\sum_{t=1}^{LDC_{i,p,c}} OC_{i,p,c,t} = 0, \forall p \in P, i \in IT(p), c \in C(i) \quad (15)$$

$$\sum_{t=1}^{LDE_{i,p,e,s}} OE_{i,p,e,t,s} = 0, \forall p \in P, i \in IT(p), e \in E(i), s \quad (16)$$

$$IP_{p,t-1,s} + AMP_{p,t,s} = IP_{p,t,s} + AO_{p,t}, \forall p \in P, t, s \quad (17)$$

$$IMP_{p,t} - AMP_{p,t,s} = DMP_{p,t,s}^+ - DMP_{p,t,s}^-, \forall p \in P, t, s \quad (18)$$

$$\sum_{p \in P} RS_p \times IMP_{p,t} \leq SC_t, \forall t \quad (19)$$

$$\sum_{p \in P} RS_p \times AMP_{p,t,s} \leq SC_t, \forall t, s \quad (20)$$

$$RQ_{i,p,e,t}, OC_{ip,c,t}, IMP_{p,t}, RP_{i,p,e,t,s}, I_{i,p,t,s}, AMP_{p,t,s}, OE_{i,p,e,t,s}, C_{i,p,t,s}, DMP_{p,s}^+, DMP_{p,s}^- \geq 0 \quad (21)$$

خریداری نمود. معادله‌ی (۱۴) نشان می‌دهد که در صورتی که برنامه‌ی تولید برای یک دوره‌ی خاص تعیین گردد، آنگاه می‌بایست مواد اولیه مربوط به آن تأمین گردیده باشد. معادله‌ی (۱۵) نشان‌دهنده‌ی محدودیت زمان تدارک غیر قطعی برای تأمین‌کننده‌ی ارزان است. معادله‌ی (۱۶) نشان‌دهنده‌ی محدودیت زمان تدارک غیرقطعی برای تأمین‌کننده‌ی گران است. معادله‌ی (۱۷) محدودیت بالانس موجودی محصولات تولیدی می‌باشد. معادله‌ی (۱۸) مشخص‌کننده‌ی انحراف مثبت و منفی برنامه‌ی نهایی و برنامه‌ی اولیه‌ی تولید است. معادله‌ی (۱۹) تضمین می‌نماید که برنامه‌ی اولیه‌ی تولید با توجه به ظرفیت نیروی انسانی تعیین گردد. معادله‌ی (۲۰) تضمین می‌نماید که برنامه‌ی نهایی تولید با توجه به ظرفیت نیروی انسانی تعیین گردد. معادله‌ی (۲۱) مثبت‌بودن متغیرها را بیان می‌نماید.

در طی سال‌های اخیر روش‌های متعددی به‌منظور حل مسائل زنجیره‌تأمین چندسطحی معرفی شده ولی بیشتر این

رویکردها بر پایه شرایط قطعی و تک‌هدفه هستند. به‌علاوه رویکردهای تک‌هدفه موجود نیز فرض می‌کنند که اهداف مستقل از یکدیگر هستند. از این رو یک متد بهینه‌سازی چند هدفه مقاوم بر اساس رویکرد تابع مطلوبیت ارائه شده است که از مزایا و ویژگی‌های زیر برخوردار است. ۱- پارامترهای مدل، احتمالی فرض می‌شود تا فاصله بین مدل ریاضی و دنیای واقعی به حداقل ممکن برسد.

۲- انحراف استاندارد اهداف به‌عنوان یک‌دسته از اهداف جدید به مدل وارد شده تا تأثیر فاکتورهای اختلال در

معادله‌ی (۵) نشان‌دهنده‌ی تابع هدف است که شامل عایدی منهای هزینه‌های مرحله اول و دوم است. هزینه‌های مرحله اول شامل هزینه‌ی رزرو از تأمین‌کننده گران و هزینه‌ی سفارش‌دهی به تأمین‌کننده‌ی ارزان می‌باشد. هزینه‌های مرحله دوم شامل هزینه‌های مربوط به پرداخت باقیمانده‌ی سفارش به تأمین‌کننده‌ی گران، هزینه‌ی موجودی مصرفی، هزینه‌ی نگهداری موجودی و هزینه‌ی انحراف از برنامه‌ی تولید است. معادله (۶) نشان‌دهنده محدودیت بالانس موجودی مواد اولیه می‌باشد. معادله (۷) بیانگر این است که موجودی نهایی از یک ماده اولیه در پایان دوره از یک حد مشخصی بیشتر باشد. معادله‌ی (۸) بیانگر آن است که موجودی نهایی از یک ماده اولیه در پایان دوره از یک حد مشخصی کمتر باشد. معادله‌ی (۹) نشان می‌دهد که میزان سفارش داده‌شده به تأمین‌کننده‌ی ارزان کمتر از ظرفیت تأمین‌کننده‌ی ارزان است. معادله‌ی (۱۰) نشان می‌دهد که میزان رزرو شده از تأمین‌کننده‌ی گران کمتر از ظرفیت تأمین‌کننده‌ی گران است. معادله‌ی (۱۱) نشان‌دهنده‌ی پرداخت باقیمانده‌ی هزینه‌ی تأمین از تأمین‌کننده‌ی گران می‌باشد که البته برای برخی از سناریوها مقدار پیش‌پرداخت شده نیز از دست می‌رود. معادله‌ی (۱۲) تضمین می‌نماید که میزان سفارش به تأمین‌کننده‌ی گران از میزان رزرو شده کمتر است. همین‌طور تضمین می‌نماید در صورتی که در طول افق تصمیم‌گیری تأمین‌کننده‌ی گران از دسترس خارج شود، امکان سفارش به این تأمین‌کننده وجود نخواهد داشت. معادله‌ی (۱۳) بیان‌کننده‌ی این است که در صورتی که تأمین‌کننده‌ی گران در دسترس باقی بماند حداقل می‌بایست درصدی از کالای رزرو شده را

فرآیند به حداقل ممکن برسد.

۳- به دلیل استفاده از رویکرد Maxmin، از تحمیل قسمت عمده هزینه‌ها به یکی از سطوح زنجیره جلوگیری می‌شود و در بحث هماهنگی زنجیره، عدالت در تقسیم هزینه‌ها رعایت می‌شود.

۴- رویکرد پیشنهادی تضمین می‌کند که همه اهداف در ناحیه مطلوب قرار بگیرند.

۵- رویکرد پیشنهادی نسبت به همبستگی بالقوه بین اهداف پایا است.

۶- اهمیت نسبی اهداف در نظر گرفته می‌شود [۶۱].

تاکنون روش‌های حل متنوعی برای حل مدل‌های دو مرحله‌ای تصادفی خطی^{۲۴} پیشنهاد شده است. یکی از متدهایی که برای حل این مسائل مورد استفاده می‌گیرد، متد تجزیه‌ی بندرز است. در این رویکرد برای هر جواب مرحله‌ی اول که توسط مسئله‌ی اصلی^{۲۵} ایجاد می‌گردد، مسئله با متغیرهای مرحله‌ی دوم به ازای مقدار ثابت مرحله‌ی اول حل می‌گردد. این رویکرد عموماً تحت نام متد ال-شیپ^{۲۶} نام‌گذاری می‌گردد. متد ال-شیپ به ایجاد برش‌های شدنی^{۲۷} برای مسائل دومرحله‌ای که دارای بخش جبران کامل^{۲۸} نمی‌باشند، در کنار برش‌های بهینگی^{۲۹} با ایجاد خطی‌سازی خارجی^{۳۰} تابع جبران، با استفاده از تجزیه‌ی بندرز می‌پردازد. اگرچه استفاده از متدهای بالا این مزیت را برای تصمیم‌گیرنده فراهم می‌آورد که بتواند به جواب بهینه دست پیدا کند ولی استفاده از متدهای با مبنای تجزیه، معایب قابل توجهی نیز دارد. از جمله‌ی معایب اصلی این مدل‌ها می‌توان موارد زیر را مطرح نمود. اول اینکه این مدل‌ها تنها زمانی قابل استفاده هستند که تعداد سناریوهای مورد استفاده محدود باشند. به‌طور کلی زمانی که تعداد سناریوها افزایش می‌یابد، فارغ از اینکه از کدام یک از متدهای بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد با توجه به محدودیت حجم حافظه‌ی پردازشگرها امکان استفاده از این مدل‌ها وجود نخواهد داشت. ایراد دوم این مدل‌ها این است که با تغییر کوچک در نوع متغیرها (پیوسته، باینری، عدد صحیح) متد حل دچار تغییر اساسی می‌گردد و متد قبلی عملاً ناکارآمد می‌گردد. اگرچه متدهای کاهش تعداد سناریوی متفاوتی ارائه گردیده است، روش تقریب میانگین نمونه^{۳۱} با

توجه به ارائه‌ی شکاف بهینگی دارای بالاترین کارایی می‌باشد. با توجه به اینکه مسائل طراحی شبکه زنجیره‌تأمین به‌طور کلی از نوع مسائل با پیچیدگی حل بالا هستند و برای شبکه‌های بزرگ زنجیره تأمین، تعداد متغیرهای تصمیم‌گیری، محدودیت‌ها و به‌ویژه متغیرهای باینری افزایش خواهد یافت و تعداد سناریوها و دوره‌های زمانی تأثیر افزایشی بر تعداد محدودیت‌ها و متغیرها خواهند داشت، در نتیجه دشواری‌های محاسباتی با افزایش اندازه شبکه، تعداد سناریوها و دوره‌های زمانی در برنامه‌ریزی به شکل معنا داری افزایش خواهد یافت به همین جهت استفاده از روش تقریب میانگین نمونه برای حل مدل‌های تصادفی دو مرحله‌ای پیشنهاد می‌گردد [۶۲]. تقریب میانگین نمونه یک روش برای کاهش اندازه مدل تصادفی است که با تعداد بسیار زیادی از سناریوها مواجه است.

۳-۳- مراحل روش تقریب میانگین نمونه‌گیری

قدم‌های الگوریتم تقریب میانگین نمونه‌گیری به شکل زیر است.

• مرحله‌ی آغاز

M مسئله به‌صورت رندم تولید می‌شود ($m = 1, 2, \dots, M$). مجموعه‌ی سناریوی N_m به‌گونه‌ای که $|N_m| = N$ باشد در نظر گرفته می‌شود. هر مسئله شامل N سناریو است که به‌صورت مستقل و با احتمال یکسان انتخاب گردیده‌اند. همین‌طور یک مجموعه مرجع که به‌خوبی بزرگ است انتخاب می‌شود ($N' \gg N$). مقدار X_m نشان‌دهنده‌ی مجموعه‌ی جواب‌های مربوط به مرحله‌ی اول برای مسئله‌ی m است.

• مرحله‌ی اول

برای هر کدام از m مسئله‌ی تولیدشده، مدل تنها با سناریوهای مربوط به هر کدام از این مسائل حل می‌گردد و مقدار تابع‌هدف V_N^m در نظر گرفته می‌شود. مشخص است که با افزایش سایز سناریوهای در نظر گرفته‌شده جواب این مرحله‌ی به جواب مسئله‌ی اصلی نزدیک می‌شود.

• مرحله‌ی دوم

مقدار میانگین و واریانس نتایج به‌دست‌آمده در مرحله‌ی اول به شکل زیر محاسبه می‌گردد.

²⁸ Complete Recourse

²⁹ Optimality Cuts

³⁰ Outer Linearization

³¹ Sample Average Approximation

²⁴ Two-Stage Stochastic linear Programing

²⁵ Master Problem

²⁶ L-Shape

²⁷ Feasibility cuts

در عدد ثابتی ضرب گردیده است. برای هر قلم از کالاها حداقل یک تأمین کننده‌ی عادی و اضطراری وجود دارد. در صورتی که هر کدام از این نوع تأمین کنندگان در دسترس نباشند می‌توان با مقدار هزینه بالای برای خرید، از تأمین کنندگان مشابه استفاده نمود. هزینه‌ی نگهداری موجودی عملاً متناسب با نرخ بهره‌ی پرداختی توسط شرکت تعمیر کار در نظر گرفته شده است که به علت گران قیمت بودن اقلام می‌باشد. نرخ رزرواسیون، بسته به رویکرد تأمین کننده‌ها بین ۰/۱۵ تا ۰/۳ در نظر گرفته شده است. اقلام مورد نیاز توسط ۸ تأمین کننده‌ی ارزان مجزای مستقل قابل تهیه می‌باشد. برای تأمین کننده‌های با تغییرپذیری متوسط در میزان بازده عملاً سه سطح بازده در نظر گرفته شده است برای تأمین کننده‌های با تغییرپذیری بیشتر، پنج سطح بازده در سناریوهای قابل وقوع مدنظر قرار گرفته شده است. با این رویکرد تعداد سناریوها ۵۴۹۱۵ است. برای حل مدل از نرم افزار گمز استفاده شده است و خروجی‌های آن به شرح ذیل می‌باشد.

۴-۱- نتایج متد تقریب میانگین نمونه گیری

همان طور که در مرحله‌ی دوم متد تقریب میانگین نمونه گیری نیز اشاره گردید، $\bar{v}_{N,M}$ حد پایینی برای مسئله‌ی اصلی ایجاد می‌نماید. این مقادیر برای $N = M = 200$ و $100, 200, 300$ در جدول ۲ نمایش داده شده است.

جدول ۲: حد پایین مسئله

	N = 100	N = 200	N = 300
$\bar{v}_{N,M}$	۴۷۸۳/۴۹	۴۷۶۹/۱۹	۴۷۶۳/۱۴
$\sigma_{\bar{v}_{N,M}}^2$	۲۴۶/۹۹	۱۲۶/۱۸	۸۶/۶۵

مرحله‌ی سوم از متد تقریب میانگین نمونه گیری به ارائه‌ی حد بالا برای مسئله و کیفیت جواب‌های به دست آمده توسط متد تقریب میانگین نمونه گیری و بازه‌ی اطمینان ۹۵ درصد برای مسئله می‌پردازد. این مقادیر در جدول ۳ نمایش داده شده است.

جدول ۳: حد بالای مسئله

	M = 200, N = 100, N' = 100	M = 200, N = 200, N' = 200	M = 200, N = 300, N' = 300
Upperbound ($f_{N'}(\bar{x})$)	۴۷۲۰/۹۸	۴۷۳۴/۵۸	۴۷۴۱/۱۴
$Z_{\alpha} \times \sigma_{gap}(\alpha = 0/95)$	۴۲/۶۲	۳۷/۷۶	۳۴/۷۶
Confidence Interval	۱۰۵/۱۳	۷۲/۳۷	۵۶/۷۷

$$\bar{v}_{N,M} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M v_N^m \quad (22)$$

$$\sigma_{\bar{v}_{N,M}}^2 = \frac{1}{M \times (M - 1)} \times \sum_{m=1}^M (v_N^m - \bar{v}_{N,M})^2 \quad (23)$$

$\bar{v}_{N,M}$ یک حد بالای آماری برای مقدار بهینه‌ی تابع هدف برای مسئله‌ی اصلی است.

• مرحله‌ی سوم

با جایگذاری مقدار به دست آمده از متغیرهای مرحله اول در مرحله دوم، برای مسئله، با در نظر گرفتن مجموعه سناریوی مرجع، تقریب بهتری از تابع هدف مسئله اصلی به دست

می‌آید که با $f_{N'}(\bar{x})$ نمایش داده می‌شود. این مقدار حد پایین مسئله اصلی است که می‌توان این کار را برای بهترین جواب به دست آمده از متغیرهای مرحله اول، در مرحله‌ی دوم انجام داد و بهترین جواب را مدنظر قرارداد [۶۳]. همین طور واریانس ($\sigma_{\bar{v}_{N,M}}^2$) برای سناریوهای مختلف محاسبه می‌گردد و با $\sigma_{N'}^2(\bar{x})$ نمایش داده می‌شود.

• مرحله‌ی چهارم

از طریق روابط زیر مقادیر شکاف بهینگی و واریانس تقریب گر مراحل دوم و سوم محاسبه می‌شود.

$$GAP = \bar{v}_{N,M} - f_{N'}(\bar{x}) \quad (24)$$

$$\sigma_{gap}^2 = \sigma_{\bar{v}_{N,M}}^2 + \sigma_{N'}^2(\bar{x}) \quad (25)$$

بازه اطمینان بهینگی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$\bar{v}_{N,M} - f_{N'}(\bar{x}) + Z_{\alpha} \times \sigma_{gap} \quad (26)$$

که در آن $Z_{\alpha} = F^{-1}(1 - \alpha)$ و $F(z)$ میزان تجمعی تابع توزیع نرمال است.

۴- نتایج

داده‌های مورد استفاده برای ارزیابی این مدل، اطلاعات مربوط به ۱۲۶ نوع قطعه‌ی یدکی اصلی مورد نیاز جهت انجام تعمیرات در پالایشگاه است. این اقلام برای بخش‌های مختلف از تعمیرات مورد نیاز می‌باشند. این گونه اقلام عمدتاً اقلام مصرفی است که به مرور نیازمند تعویض است. به منظور حفظ اطلاعات شرکت مورد پژوهش داده‌های اصلی

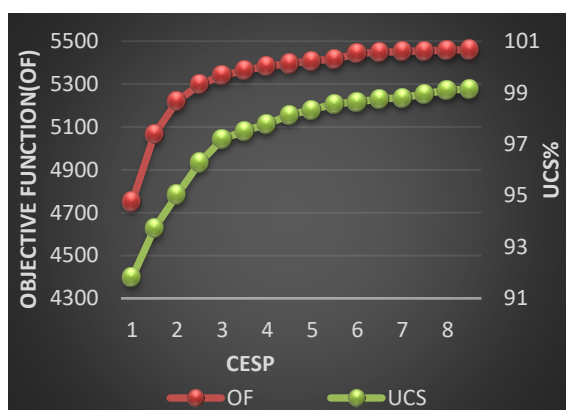
$$\text{Imp} = \text{VSS}(\bar{X}^{3000}) / \text{OF}(\bar{X}^{\text{MeanValue}})$$

$$\text{Imp} = 304/69 / 4454/58 = 6/84$$

۲-۴- تحلیل حساسیت اثر قیمت تأمین‌کننده

گران بر روی مدل

اگرچه در مدل ارائه شده، استفاده از تأمین‌کننده گران فی‌نفسه می‌تواند موجب ارتقاء انعطاف‌پذیری در مدل-گردد، ولی هرچه قیمت این تأمین‌کننده‌ها افزایش می‌یابد، میزان استفاده از آن‌ها کاهش می‌یابد. نرخ کاهش در میزان استفاده از تأمین‌کننده گران برای قیمت‌های بالا بسیار کمتر است به گونه‌ای که بعد از حد آستانه‌ای افزایش هزینه-ی تأمین‌کننده گران، بر روی خروجی‌های مسئله اثر کوچکی می‌گذارد. در این بخش از «ضریب قیمت تأمین‌کننده گران^{۳۳}» برای بررسی اثر تغییر قیمت تأمین‌کننده‌های گران بر روی مدل اصلی استفاده می‌گردد به-گونه‌ای که با ضرب این ضریب در داده‌های واقعی، مسئله‌ی جدید با داده‌های جدید تولید می‌گردد. رفتار مدل با دو شاخص سنجیده می‌گردد. این دو شاخص عبارت است از شاخص «تابع هدف^{۳۴}» و شاخص «میزان استفاده از تأمین‌کننده ارزان^{۳۵}». رفتار مدل برای مقادیر مختلف CESP در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۳: اثر قیمت تأمین‌کننده گران بر روی مدل

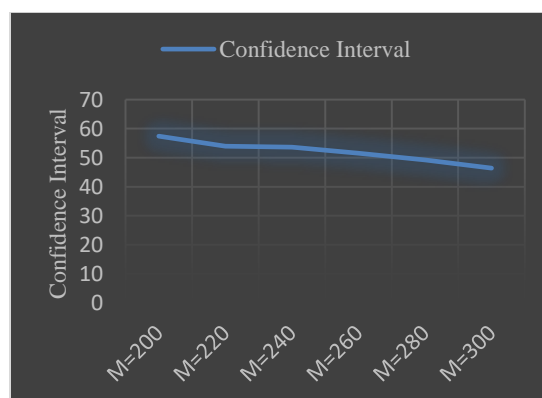
همان‌طور که از شکل (۳) مشخص است با افزایش مقدار ضریب CESP تقریباً از یک حد آستانه به بعد، نرخ افزایش مقدار تابع هدف تقریباً قابل اغماض می‌گردد. این امر نشان-می‌دهد که بعد از این حد تقریباً استفاده از تأمین‌کننده گران اثربخشی خود را از دست می‌دهد؛ و تقریباً تمام نیازها از طریق تأمین‌کننده ارزان تأمین می‌شود. در واقع اختلاف بین مقدار تابع هدف برای مطالعه‌ی موردی و

مشخص است که با افزایش سایز نمونه‌ی مورد بررسی (M)، عملاً بازه‌ی اطمینان تنگ‌تری برای مسئله انتخاب می‌گردد. این امر در شکل (۲) نمایش داده شده است.

به‌منظور نمایش اثر استفاده از مدل تصادفی دومرحله‌ای، مقادیر تابع هدف به‌دست‌آمده با استفاده از مقدار متوسط برای پارامتر غیرقطعی با مقدار جواب به‌دست‌آمده برای مدل اصلی مقایسه گردیده است و عملاً اختلاف این مقادیر به‌عنوان ارزش جواب مدل تصادفی^{۳۲} در نظر گرفته شده است. مقدار ارزش جواب مدل تصادفی به شکل زیر محاسبه می‌گردد.

$$\text{VSS} = \bar{f}_N(\bar{X}) - \bar{f}_N(\bar{X}^{\text{MeanValue}}) \quad (27)$$

که $\bar{f}_N(\bar{X})$ مقدار وسط بین حد بالا و حد پایین به‌دست‌آمده برای تابع هدف از متد تقریب میانگین نمونه‌گیری برای \bar{X} است و $\bar{f}_N(\bar{X}^{\text{MeanValue}})$ نشان‌دهنده‌ی مقدار تابع هدف برای مسئله‌ی با پارامتر متوسط است. مقادیر مقایسه‌ای برای \bar{X}^{1000} ، \bar{X}^{2000} ، \bar{X}^{3000} و $\bar{X}^{\text{MeanValue}}$ در جدول شماره ۴ قابل مشاهده است.



شکل ۲: بازه‌ی اطمینان مسئله

جدول ۴: ارزش جواب‌های مدل تصادفی

	$\bar{X}^{\text{MeanValue}}$	$\bar{x}(M = 200, N = 100, N' = 1000)$	$\bar{x}(M = 200, N' = 2000)$	$\bar{x}(M = 200, N' = 3000)$
OF	4454/58	4742	4752	4759/1
VS	-	301/6	301/95	304/69

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از مدل تصادفی، حدوداً ۶/۸۴ درصد نسبت به مدل با پارامترهای متوسط در جواب‌ها، بهبود حاصل می‌گردد.

³⁴ Objective Function(OF)

³⁵ Utilization of Cheap Supplier(UCS)

³² Value of Stochastic Solution(VSS)

³³ Coefficient of Expensive Supplier Price(CESP)

۵- نتیجه گیری

در این تحقیق اثر اختلال در تأمین کننده را در زنجیره تأمین چند محصولی مورد بررسی قرار دادیم. صنایع تعمیراتی پالایشگاهی به عنوان مطالعه موردی مورد بررسی قرار گرفته است. نوع سازمان در نظر گرفته شده سازمان های مرتبط با خدمات و تعمیرات نگهداری است که جهت انجام تعمیرات تجهیزات، می بایست اقلام یدکی را از شرکت های معتبر بین المللی تهیه کنند. تهیه اقلام یدکی در این نوع صنایع با اختلال و عدم قطعیت مواجه می باشند. از آنجایی که اقلام یدکی در صنایع با فناوری پیشرفته، از استاندارد های خاصی پیروی می کنند و به صورت خاص طراحی و ساخته می شوند، امکان ساخت این اقلام توسط سایر سازمان ها و یا مؤسسات داخلی وجود ندارد. همین طور امکان ذخیره سازی انبوهی از این اقلام نیز در سیستم وجود ندارد. لذا در این پژوهش، بنا بر این بوده است تا با بررسی سیستم های تأمین اقلام، به ارائه مدل های موجودی مناسب برای این حوزه پرداخته شود.

اقلام مورد نیاز در صنایع تعمیراتی در صورتی که سفارش تعمیراتی پذیرفته شده باشد، تهیه می گردند. در غیر این صورت خرید اقلام یدکی در عمل صورت نمی گیرد. علل چنین رویکردی به دلایل زیر است. اول اینکه با توجه به خاص بودن اقلام قابل تهیه، تنها زمانی نیاز به این اقلام احساس می شود که سفارش تعمیرات برای محصولات وابسته وجود داشته باشد و در صورت تأمین این اقلام قبل از زمانی که نیاز به آنها احساس می شود تا زمان نیاز این اقلام به صورت موجودی غیر قابل استفاده نگهداری می شوند که موجب تحمیل هزینه های نگهداری موجودی به سیستم می گردد. همین طور برخی از اقلام دارای عمر کارکردی محدود می باشند که نگهداری بیشتر از حد این اقلام موجب از دست رفتن سرمایه با توجه به گذشت تاریخ مصرف اقلام می گردد. با توجه به اینکه تعداد اقلام مربوطه در این حوزه زیاد است، امکان ارائه سیستم موجودی مجزا وجود ندارد؛ بنابراین پس از اینکه نیاز به اقلام احساس شد، سفارش برای تأمین این اقلام ارسال می شود.

مدل به گونه ای مدل سازی گردیده است که برای تعمیر هر کدام از محصولات می بایست تمامی اقلام مورد نیاز تعمیرات تأمین گردند. مسئله ای مربوطه در محیط چند

مسئله ای حدی CESP برابر ۸/۵ نشان دهنده ی « ارزش منبع یابی اقتضائی^{۳۶}» برای مسئله ی مورد بررسی است. مقدار عددی ارزش منبع یابی اقتضائی (VCS) طبق معادله ی زیر محاسبه می گردد.

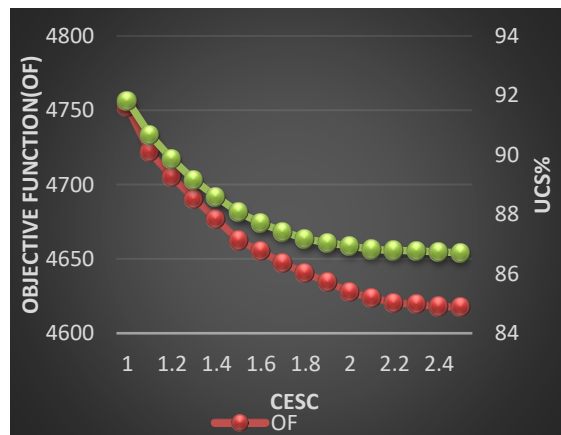
$$VCS = OF_{CESP=8/5} - OF_{CESP=1} = 709/04$$

بنابراین مشخص است که تا زمانی که تأمین کننده ی گران تر بتواند با قیمت های رقابتی به ارائه ی آیتم مورد نظر بپردازد، بخشی از تأمین کالا از این کانال صورت می گیرد ولی زمانی که قیمت این تأمین کننده ها به سطح غیر قابل قبول می رسد، استفاده از این تأمین کننده به حداقل می رسد؛ بنابراین می توان چنین برداشت نمود که با استفاده از تأمین اقتضائی به اندازه ۰/۱۴۹ = $\frac{VCS}{OF_{CESP=1}}$ موجب صرفه جویی در هزینه ها می شود.

۴-۳- تحلیل حساسیت ظرفیت تأمین کننده ی گران

بر روی مدل تصادفی دومرحله ای

با توجه به اینکه ظرفیت تأمین کننده ی گران نیز بر روی تابع هدف اثر مستقیم دارد، در این بخش به تحلیل حساسیت بر روی میزان تابع هدف پرداخته شده است. در این بخش از «ضریب ظرفیت تأمین کننده ی گران^{۳۷}» به منظور بررسی اثر ظرفیت تأمین کننده ی گران بر روی مدل استفاده شده است. مشخص است که از حد آستانه ای به بعد، هرچه ظرفیت تأمین کننده ی گران بیشتر گردد عملاً بر روی مدل اثر قابل توجهی وجود نخواهد داشت. این امر به آن علت است که برای آن حالت ها، از تأمین کننده ی گران تا حد ظرفیت آن استفاده نمی گردد. رفتار مدل برای مقادیر مختلف CESC در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۴: اثر ظرفیت تأمین کننده ی گران بر روی مدل

³⁷ Coefficient of Expensive Supplier Capacity(CESC)

³⁶ Value of Contingency Sourcing(VCS)

- و سفارش‌دهی به هر دودسته تأمین‌کنندگان نیز پرداخته شود.
- ۲- در مدل پیشنهادی فرض شده‌است که پرداخت به تأمین‌کننده ارزان بر اساس میزان قطعه‌ی دریافتی است در حالی که این امکان وجود دارد که پرداخت بر مبنای میزان سفارش صورت بگیرد.
- ۳- این امکان وجود دارد که در طول بازه‌ی زمانی بررسی موجودی با توجه به شرایط و با توجه به تاریخ انقضاء، محصولات یا سایر عوامل قابلیت استفاده را از دست بدهند که در مدل‌های توسعه‌یافته این امکان وجود دارد که این فرض در نظر گرفته شود.
- ۴- به منظور حل مدل در این تحقیق از روش تقریب میانگین نمونه‌گیری (SAA) استفاده گردیده‌است. پیشنهاد می‌شود در توسعه‌های آتی از تلفیق روش SAA با متدهای تجزیه دیگر، جهت بهبود کارکرد مدل استفاده گردد.
- ۵- این امکان وجود دارد که برای مقدار رزرو شده حد پایینی را در مدل مدنظر قرارداد.
- ۶- مدل ارائه‌شده هزینه‌ی مدیریت تأمین‌کننده را مدنظر قرار نمی‌دهد. می‌توان با این فرض به ارائه‌ی مدل کلی‌تر اقدام نمود.
- ۷- امکان در نظر گرفتن سایر پارامترها نظیر تقاضا نیز برای مدل به صورت غیرقطعی وجود دارد. می‌توان مدل دومرحله‌ای تصادفی را به مدل استوار توسعه‌داد و مدل دومرحله‌ای استوار را تحلیل نمود.

آیتمی، چندمحصولی مورد مدل‌سازی قرار گرفته‌است که به منظور تعمیر هر کدام از محصولات نیازاست تا آیتم‌ها (قطعه یدکی) مربوطه تأمین گردند و عدم تأمین هر کدام از آیتم‌ها موجب عدم توانایی در تعمیر محصول مربوطه می‌گردد. سفارش‌ها در ساختار دو مرحله‌ای مورد مدل‌سازی قرار گرفته‌است، به گونه‌ای که در مرحله‌ی اول سفارش‌ها به تأمین‌کننده‌های ارزان ارائه می‌شود و در مرحله‌ی دوم به محض اینکه اطلاعات بیشتری از پارامترهای غیرقطعی مشخص شد، سفارش‌ها به تأمین‌کننده‌ی گران ارائه می‌گردد. هدف مدل از بعد سفارش‌دهی این است که مقادیر بهینه‌ی سفارش‌ها را هم جهت بهره‌برداری از قیمت پایین‌تر تأمین‌کننده‌ی ارزان و هم استفاده از درجه اطمینان بالاتر تأمین‌کننده‌ی گران در زمان دسترسی تعیین نماید. این مدل رابطه‌ی میان سفارش‌دهی برای اقلام یدکی و برنامه‌ریزی تعمیرات را نیز برقرار می‌نماید. نتایج این مدل با در نظر گرفتن شرایط اختلال و شرایط عدم اختلال نشان داده‌است که ارزش مدل تصادفی مورد استفاده حدود ۶ درصد است و همین‌طور بهره‌گیری از استراتژی منبع‌یابی اقتضائی با استفاده از تأمین‌کننده‌ی گران می‌تواند منجر به بهبود ۱۴ درصدی در مقادیر تابع-هدف گردد. به عنوان تحقیقات آتی توصیه می‌شود توسعه مدل ارائه‌شده در جهات زیر توسط مدیران و تصمیم‌گیران این حوزه صورت پذیرد.

۱- مدل ارائه‌شده در چهارچوب تصمیم‌گیری دومرحله‌ای مدل گردیده‌است. درحالی که این امکان وجود دارد تا با بررسی مدل به صورت تک‌مرحله‌ای نیز به مدل‌سازی

مراجع

- [1] علی‌اکبر حسینی، "طراحی زنجیره تأمین رقابتی تحت شرایط تحریم با در نظر گرفتن استراتژی‌های بازگشت‌پذیر: نمونه‌موردی صنایع تجهیزات پزشکی ایران"، کنفرانس بین‌المللی اقتصاد در شرایط تحریم، بابلسر، ایران، ۳۱ شهریور، دوره ۳، ۱۳۹۴.
- [2] J.P. Ribeiro and A. Barbosa-Povoa, "Supply Chain Resilience: Definitions and Quantitative Modelling Approaches- A Literature Review", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 115, No. 1, January 2018, pp. 109-122.
- [3] M. Abdel-Basset, M. Gunasekaran, M. Mohamed and N.Chilamkurti, "A framework for risk assessment, management and evaluation: Economic tool for quantifying risks in supply chain", *Future Generation Computer Systems*, Vol. 90, No. 1, January 2019, pp. 489-502.
- [4] A. Azadegan, R. Srinivasan, C. Blome and K. Tajeddini, "Learning from near-miss events: An organizational learning perspective on supply chain disruption response", *International Journal of Production Economics*, Vol. 216, No. 11, October 2019, pp. 215-226.

- [5] W. Yu, M. A. Jacobs, R. Chavez and J. Yang "Dynamism, disruption orientation, and resilience in the supply chain and the impacts on financial performance: A dynamic capabilities perspective", *International Journal of Production Economics*, Vol. 218, No. 24, December 2019, pp. 352-362.
- [6] N. Goldbeck, P. Angeloudis, and W. Ochieng, "Optimal supply chain resilience with consideration of failure propagation and repair logistics", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 133, No. 2, January 2020, 101830.
- [7] M. Yuan, H. Zhang, B. Wang, L. Huang, K. Fang and Y. Liang, "Downstream oil supply security in China: Policy implications from quantifying the impact of oil import disruption", *Energy Policy*, Vol. 136, No. 4, January 2020, 111077.
- [۸] وحید نعمتی ابوزر و محمدعلی بهشتی‌نیا، "ترکیب روش‌های فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و تاپسیس فازی برای انتخاب تأمین‌کنندگان (مطالعه‌موردی: شرکت تبلیغاتی)"، نشریه مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۵، شماره ۴۸، بهار ۱۳۹۶، صفحه ۶۸-۸۴.
- [۹] ساموئل یوسفی و مصطفی جهانگشای رضایی، "ارائه مدل ترکیبی برای انتخاب تأمین‌کنندگان کارا در محیط رقابتی و تحت عدم قطعیت تقاضا"، نشریه مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۵، شماره ۵۱، زمستان ۱۳۹۶، صفحه ۲۹۹-۳۱۷.
- [10] C.S.Tang, "Perspectives in supply chain risk management", *International Journal of Production Economics*, Vol. 103, No. 2, October 2006, pp.451-488.
- [11] M. Christopher and H.Lee, "Mitigating supply chain risk through improved confidence", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 34, No. 5, June 2004, pp. 388-396.
- [12] C.S.Tang, "Robust strategies for mitigating supply chain disruptions", *International Journal of Logistic: Research and Applications*, Vol. 9, No. 1, January 2007, pp. 33-45.
- [13] J. B.Rice, F.Caniato, and J.Fleck, "Supply chain response to terrorism Creating resilient and secure supply chains", Report by MIT Center for Transportation and Logistics, April 2003.
- [14] Y.Sheffi and J.Rice, "A supply chain view of the resilient enterprise", *MIT Sloan management review*, October 2005.
- [15] H. L.Lee and S.Whang, "Higher supply chain security with lower cost: Lessons from total quality management", *International Journal of Production Economics*, Vol. 96, No. 3, June 2005, pp. 289-300.
- [16] Y.Sheffi, "Supply chain management under the threat of international terrorism", *International Journal of Logistics Management*, Vol. 12, No. 2, July 2001, pp.1-11.
- [17] G. Li, Y. Lin, S.Wang, and H. Yan, "Enhancing agility by timely sharing of supply information", *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 11, No. 5, September 2006, pp.425-435.
- [18] M. Parlar and D. Berkin, "Future supply uncertainty in EOQ models", *Naval Research Logistics (NRL)*, Vol. 38, No. 1, February 1991, pp. 107-121.
- [19] F.Zeynep Sargut and L. Qi, "Analysis of a two-party supply chain with random disruptions", *Operations Research Letters*, Vol. 40, No. 2, March 2012, pp. 114-122.
- [20] T. Xiao and L. Qi, "Price competition, cost and demand disruptions and coordination of a supply chain with one manufacturer and two competing retailer", *Omega*, Vol. 36, No. 5, October 2008, pp. 741-753.
- [21] B.Keren, "The single-period inventory problem: Extension to random yield from the perspective of the supply chain", *Omega*, Vol. 37, No. 4, August 2009, pp. 801-810.
- [۲۲] زهرا بهرامی، سید حمیدرضا پسندیده و محمد محمدی، "مدل‌سازی و حل یک سیستم مدیریت موجودی توسط فروشنده چندکالایی با محدودیت‌های تصادفی گنجایش انبار و بودجه"، نشریه مطالعات مدیریت صنعتی، دوره ۱۶، شماره ۵۱، زمستان ۱۳۹۷، صفحه ۱-۲۷.
- [23] D.Simchi-Levi, H. Wang, and Y. Wei, "Increasing supply chain robustness through process flexibility and inventory", *Production And Operations Management*, Vol. 27, No. 8, August 2018, pp. 1476-1491.
- [24] Dp. Song, Jx. Dong and J. Xu, "Integrated inventory management and supplier base reduction in a supply chain with multiple uncertainties", *European Journal of operational research*, Vol. 232, No. 3, February 2014, pp. 522-536.

- [25] F. Firouzi, E. Baglieri and M. Jaber, "Two-product inventory management with fixed costs and supply uncertainty", *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 38 ,No. 23, December 2014, pp. 5635-5650.
- [26] T. Sawik, "Two-period vs. multi-period model for supply chain disruption management", *International Journal of Production Research*, Vol. 57, No. 14, August 2018, pp. 4502-4518.
- [27] S. K. Paul, R. Sarker and D. Essam, "Managing disruption in an imperfect production–inventory system", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 84, No. 3, June 2015, pp. 101-112.
- [28] S. K. Paul, R. Sarker and D. Essam, "managing risk and disruption in production-inventory and supply chain systems: a review", *Journal of Industrial & Management Optimization*, Vol. 12, No. 3, July 2015, pp. 1009-1029.
- [29] M. Yao and S. Minner, "Review of multi-supplier inventory models in supply chain management", *An update* 2017.
- [30] X. F. Shao, "Production disruption, compensation, and transshipment policies", *Omega*, Vol. 74, No. 1, Jan 2018, pp. 37-49.
- [31] F. Morales, C. Franco and G. Mendez-Giraldo, "Dynamic inventory routing problem: Policies considering network disruptions", *International Journal of Industrial Engineering Computations*, Vol. 9, No. 4, October 2018, pp. 523-534.
- [32] M. Dada, N. C. Petruzzi, and L. B. Schwarz, "A newsvendor's procurement problem when suppliers are unreliable", *Manufacturing & Service Operations Management*, Vol. 9, No. 9, August 2007, pp. 9-32.
- [33] A. Schmitt, L. Snyder, and Z. J. M. Shen, "Centralization versus Decentralization: Risk Pooling, Risk Diversification, and Supply Chain Disruptions. Risk Diversification, and Supply Chain Disruptions", *Omega*, Vol. 52, April 2015, pp. 201-212.
- [34] B. Tomlin, "Disruption management strategies for short life-cycle products", *Naval Research Logistics (NRL)*, Vol. 56, No. 4, June 2009, pp. 318-347.
- [35] B. Tomlin, "Impact of supply learning when suppliers are unreliable", *Manufacturing & Service Operations Management*, Vol. 11, No. 1, February 2009, pp. 192-209.
- [36] L. Qi, Z. J. M. Shen, and L. V. Snyder, "A Continuous-Review Inventory Model with Disruptions at Both Supplier and Retailer", *Production and Operations Management*, Vol. 18, No. 5, June 2009, pp. 516-532.
- [37] A. J. Schmitt, L. V. Snyder, and Z. J. M. Shen, "Inventory systems with stochastic demand and supply: Properties and approximations", *European Journal of operational research*, Vol. 206, No. 2, Desember 2009, pp. 313-328.
- [38] A. J. Schmitt, "Strategies for customer service level protection under multi-echelon supply chain disruption risk", *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 45, No. 8, September 2011, pp. 1266-1283.
- [39] A. J. Schmitt and L. V. Snyder, "Infinite-horizon models for inventory control under yield uncertainty and disruptions", *Computers & Operations Research*, Vol. 39, No. 4, August 2010, pp. 850-862.
- [40] Y. He and S. Wang, "Analysis of production-inventory system for deteriorating items with demand disruption", *International Journal of Production Research*, Vol. 50, No. 16, August 2012, pp. 4580-4592.
- [41] A. J. Schmitt and M. Singh, "A quantitative analysis of disruption risk in a multi-echelon supply chain", *International Journal of Production Economics*, Vol. 139, No. 1, January 2012, pp. 22-32.
- [42] S. S. Ahiska, S. R. Appaji, R. E. King, and D. P. Warsingjr, "A Markov decision process-based policy characterization approach for a stochastic inventory control problem with unreliable sourcing", *International Journal of Production Economics*, Vol. 144, No. 2, August 2013, pp. 485-496.
- [43] F. Hu, C. C. Lim, and Z. Lu, "Coordination of supply chains with a flexible ordering policy under yield and demand uncertainty", *International Journal of Production Economics*, Vol. 146, No. 2, Desember 2013, pp. 686-693.
- [44] X. Yan and Y. Wang, "Supplier selection problem for a retailer under random yield", *Journal of Industrial and Production Engineering*, Vol. 31, No. 6, July 2014, pp. 339-349.
- [45] T. Sawik, "Joint supplier selection and scheduling of customer orders under disruption risks: Single vs. dual sourcing", *Omega*, Vol. 43, No. 2, March 2014, pp. 83-95.

- [46] T.Sawik, "Optimization of cost and service level in the presence of supply chain disruption risks: Single vs. multiple sourcing", *Computers & Operations Research*, Vol. 51, No. 1, November 2014, pp. 11-20.
- [47] K. K. Movahed and Z. H. Zhang, "Robust design of (s, S) inventory policy parameters in supply chains with demand and lead time uncertainties", *International journal of systems science*, Vol. 46, No. 12, September 2015, pp. 2258-2268.
- [48] V. Gupta, B. He, and S. P. Sethi, "Contingent sourcing under supply disruption and competition", *International Journal of Production Research*, Vol. 53, No. 10, August 2014, pp. 3006-3027.
- [49] T. Sawik, "On the fair optimization of cost and customer service level in a supply chain under disruption risks", *Omega*, Vol. 53, No. 1, June 2015, pp. 58-66.
- [50] N. A.Darom, H. Hishamuddin, R. Ramli, and Z. M. Nopiah, "An inventory model of supply chain disruption recovery with safety stock and carbon emission consideration", *Journal of cleaner production*, Vol. 197, No. 1, October 2018, pp. 1011-1021.
- [51] F. Lucker, S. Chorpa, and R. Seifert, "Disruption risk management in serial multi-echelon supply chains: Where to hold risk mitigation inventory and reserve capacity", *Information and Operations Management*, Vol. 12, No. 2, March 2019, pp. 298-315.
- [52] L. D. Simchi, H. Wang, and Y. Wei, "Increasing supply chain robustness through process flexibility and inventory", *Production and Operations Management*, Vol. 27, No. 8, August 2018, pp. 1476-1491.
- [53] H. Huang, Y. He, and D. Li, "Pricing and inventory decisions in the food supply chain with production disruption and controllable deterioration", *Journal of cleaner production*, Vol. 180, No. 1, April 2018, pp. 280-296.
- [54] O. Sokolinskiy, B. Melamed, and B. Sopranzetti, "Precautionary replenishment in financially-constrained inventory systems subject to credit rollover risk and supply disruption", *Annals of Operations Research*, Vol. 271, No. 2, Desember 2018, pp. 971-997.
- [55] F. Lucker, R. W. Seifert, and I. Bicer, "Roles of inventory and reserve capacity in mitigating supply chain disruption risk", *International Journal of Production Research*, Vol. 57, No. 4, August 2018, pp. 1238-1249.
- [56] C. Saithong, H. T. Luong, "Effect of supply disruption on inventory policy", *European Journal of Industrial Engineering*, Vol. 13, No. 2, March 2019, pp. 178-212.
- [57] J. He, F. Alavifard, D. Ivanov, and H. Jahani, "A real-option approach to mitigate disruption risk in the supply chain", *Omega*, Vol. 88, No. c, October 2019, pp. 133-149.
- [58] H. Gurnani, R. Akella, and J. Lehoczyk, "Supply management in assembly systems with random yield and random demand", *IIE transactions*, Vol. 32, No. 8, August 2000, pp. 701-714.
- [59] W. J. Hopp and Z. Yin, "Protecting supply chain networks against catastrophic failures. not yet published", Working Paper, Evanstone, IL: North Western, 2006.
- [60] A. J. Schmitt and M. Singh, "A quantitative analysis of disruption risk in a multi-echelon supply chain" *International Journal of Production Economics*, Vol. 139, No. 1, January 2012, pp. 22-32.
- [۶۱] علی سلماس نیا، علی زندیه و محمدرضا نامدار، "بهبودسازی هم‌زمان میانگین و واریانس توابع هدف در زنجیره تأمین غیرقطعی"، نشریه مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۶، شماره ۵۳، تابستان ۱۳۹۷، صفحه ۳۳۸-۳۲۵.
- [۶۲] علی‌اکبر حسینی، "برنامهریزی تصادفی دومرحله‌ای مبتنی بر روش تقریب میانگین نمونه و الگوریتم تجزیه بندرز شتاب‌یافته برای طراحی شبکه زنجیره‌تأمین حلقه‌بسته تحت عدم‌قطعیت"، نشریه مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۵، شماره ۴۹، تابستان ۱۳۹۶، صفحه ۲۳۴-۲۱۷.
- [63] N. Aydin and A. Murat, "A swarm intelligence based sample average approximation algorithm for the capacitated reliable facility location problem", *International Journal of Production Economics*, Vol. 145, No. 1, October 2013, pp.173-183.