Archive of SID

نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

IERPS

ISSN: 2345-2269

سال چهارم، شماره هفتم، بهار و تابستان ۱۳۹۵، صفحه ۴۹-۶۷

www.ier.basu.ac.ir

یک مدل برنامه‌ریزی استوار امکانی برای برنامه‌ریزی اصلی زنجیره‌تأمین دارو

محدثه کلانتری[۱]، میرسامان پیشوایی[۲،*]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران.

۲. استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۳/۰۶/۲۹

پذیرش ۱۳۹۴/۱۱/۲۱

کلمات کلیدی:

زنجیره‌تأمین دارو

برنامه‌ریزی اصلی

برنامه‌ریزی امکانی

برنامه‌ریزی امکانی استوار

خلاصه

در فضای رقابتی امروز، تدوین یک برنامه‌ی تاکتیکی مؤثر که قادر به یکپارچه‌سازی برنامه‌های تأمین و توزیع در یک چارچوب کارا شود، امری مهم و ضروری به نظر می‌رسد. در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی اصلی برای زنجیره تأمین دارو شامل چند تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و چند مرکز توزیع پیشنهاد شده است. نخست یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح امکانی چندهدفه به‌منظور کاهش هزینه‌های لجستیک و همچنین افزایش سطح رضایت از انتخاب تأمین‌کنندگان ارائه شده است. سپس به‌واسطه‌ی طبیعت غیرقطعی پارامترهای ورودی چنین مسئله‌ای، یک مدل جدید برنامه‌ریزی امکانی استوار که قدرت تنظیم درجه استواری تصمیمات خروجی در برابر عدم قطعیت پارامترها را دارد، توسعه داده شده است. در پایان از طریق نتایج محاسباتی کارایی مدل پیشنهادی نمایش داده شده و کیفیت بالای عملکرد و کاربردی بودن مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار پیشنهادی نمایش داده شده است.

۱- مقدمه

صنعت داروسازی به‌عنوان یک سیستم متشکل از فرآیندها، عملیات و سازمان‌های درگیر در کشف، توسعه و تولید از مواد مخدر و داروها تعریف شده است. زنجیره‌تأمین دارو به معنای مسیری است که از طریق آن محصولات دارویی با کیفیت مناسب در مکان و زمان مناسب در بین مصرف‌کنندگان نهایی توزیع می‌شوند [۱]. در گذشته شرکت‌های داروسازی مفهوم مدیریت زنجیره‌تأمین دارو را نادیده می‌گرفتند اما در حال حاضر عوامل متعددی شرکت‌های داروسازی را به تغییر روش‌های مرسوم کسب‌وکار خود سوق می‌دهد که یکی از این عوامل زنجیره‌تأمین است که در حال تبدیل شدن به یک مزیت رقابتی است. بیشتر تحقیقاتی که در زمینه‌ی زنجیره‌تأمین دارو صورت گرفته است در حوزه‌ی قوانین مربوط به ایمنی و اثربخشی است. در مسائل زنجیره‌تأمین دارو به‌ندرت به مسئله‌ی برنامه‌ریزی اصلی پرداخته شده است. وظیفه‌ی اصلی "برنامه‌ریزی اصلی" تعیین مقدار تأمین، تولید و توزیع امکانات در رده‌های مختلف زنجیره‌تأمین در یک دوره‌ی میان‌مدت می‌باشد [۲].

به‌دلیل فضای رقابتی زنجیره‌تأمین برای تصمیم‌گیری در بسیاری از مسائل با مشکل کمبود اطلاعات و یا غیردقیق بودن اطلاعات موجود مواجه هستیم؛ بنابراین در مدل‌هایی که برای برنامه‌ریزی آن ارائه می‌شود باید این مسئله را مدنظر داشته داشت. بر این اساس برای واقعی‌تر شدن مدل می‌توان فرض کرد برخی پارامترها (مانند تقاضا و هزینه) دارای عدم قطعیت از نوع فازی (عدم قطعیت شناختی) می‌باشند.

رویکردی که در سال‌های اخیر برای مقابله با عدم قطعیت (که در این مقاله عدم قطعیت شناختی مدنظر است) ارائه شده است، بهینه‌سازی استوار می‌باشد که در آن به بهینه‌سازی به هنگام رخ دادن بدترین موارد پرداخته می‌شود. رویکرد استوار برای حل مسایل بهینه‌سازی با عدم قطعیت داده‌ها در اوایل دهه‌ی ۱۹۷۰ پیشنهاد شد و اخیراً به‌طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته و توسعه یافته است. دو محقق به نام‌های مدل داگلاس و

* نویسنده مسئول: میرسامان پیشوایی

تلفن: ۰۲۱۷۳۲۲۵۰۱۶، پست الکترونیک: pishvaee@iust.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

رینالدوموراربیتو دو دلیل را برای استفاده از بهینه‌سازی استوار ذکر کرده‌اند:

۱. بهینه‌سازی استوار نسبت به رویکرد احتمالی از لحاظ حل مدل دارای سهولت بیشتری است.
۲. دانش واضحی از توزیع احتمالی داده‌های دارای عدم قطعیت نیاز نیست و می‌توان از داده‌های تاریخی و تجربه‌های تصمیم‌گیران در بعضی موارد برای استنتاج بازه‌ی دارای عدم قطعیت استفاده کرد [۳].

بر اساس پژوهش‌های قبلی موجود در ادبیات عدم قطعیت در داده‌ها به دو نوع ذیل تقسیم‌بندی می‌شود [۴]:

- ✓ عدم قطعیت تصادفی: ناشی از ماهیت تصادفی پارامترها می‌باشد (مثل نتیجه پرتاب یک تاس). اگر داده‌های مسئله ۴ شرط زیر را داشته باشند عدم قطعیت داده‌ها از نوع تصادفی مدل می‌شوند. (۱) داده‌ها موجود باشد، (۲) داده‌ها کافی باشد، (۳) داده‌ها قابل‌اعتماد باشد و (۴) رفتارها داده‌ها در آینده از رفتارشان در گذشته پیروی کند. تنها در این حالت است که برای مدل‌سازی عدم قطعیت از برنامه‌ریزی تصادفی استفاده می‌شود.
- ✓ عدم قطعیت شناختی: ناشی از کمبود دانش ما راجع به مقادیر پارامترها است که لزوماً در این حالت داده تاریخی موجود نمی‌باشد. در این حالت برای مدل‌سازی عدم قطعیت از برنامه‌ریزی امکانی استفاده می‌شود. در مسئله‌ی مورد بررسی در این پژوهش به‌دلیل کامل نبودن و در دسترس نبودن اطلاعات با عدم قطعیت در داده‌ها که از نوع عدم قطعیت شناختی می‌باشد مواجه هستیم لذا برای مدل‌سازی مسئله از برنامه‌ریزی امکانی استفاده شده است.

رویکردی که در سال‌های اخیر برای مقابله با عدم قطعیت داده‌ها بسط داده شده است، بهینه‌سازی استوار می‌باشد که در آن به بهینه‌سازی به هنگام رخ دادن بدترین موارد پرداخته می‌شود. رویکرد استوار برای حل مسائل بهینه‌سازی با عدم قطعیت داده‌ها در اوایل دهه‌ی ۱۹۷۰ پیشنهاد شد و اخیراً به‌طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته و توسعه یافته است. با توجه به اینکه مسئله مورد بررسی در این پژوهش دارای عدم قطعیت در داده‌ها که از نوع عدم قطعیت شناختی (به‌دلیل عدم وجود داده‌های تاریخی و واقعی) می‌باشد، از رویکرد بهینه‌سازی امکانی استوار برای برخورد با عدم قطعیت استفاده شده است. برنامه‌ریزی امکانی استوار به دلائل زیر از برنامه‌ریزی امکانی برتر می‌باشد: ۱. در بهینه‌سازی استوار سطح اطمینان ارضای محدودیت‌ها توسط خود مدل تعیین می‌شود و مقدار آن بهینه است، ۲. در بهینه‌سازی استوار جواب نهایی دارای استواری بهینه بودن و استواری شدنی بودن است، ۳. توجه به انحرافات تابع هدف به‌واسطه عدم قطعیت پارامترها موجب جلوگیری از هزینه‌های سنگین و جبران‌ناپذیری برای مدیران و سازمان می‌گردد. در صورتی‌که در برنامه‌ریزی امکانی به موارد مذکور توجه چندانی نمی‌شود.

لازم به ذکر است که دلایل برتری مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار نسبت به مدل برنامه‌ریزی امکانی در بخش ۵ مقاله (روش برنامه‌ریزی امکانی استوار) به‌طور کامل شرح داده شده است.

ادامه‌ی تحقیق به این ترتیب سازمان یافته است. در بخش ۲ مقاله مروری بر ادبیات موضوع خواهد شد. بخش ۳ به تعریف مسئله و بیان مفروضات خواهد پرداخت. در بخش ۴، یک مدل دو هدفه برای مسئله مورد بررسی توسعه داده شده است. در بخش ۵، به توضیح روش برنامه‌ریزی امکانی استوار پرداخته و مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار پیشنهادی ارائه خواهد شد. در بخش ۶، به بررسی و تحلیل نتایج مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار پیشنهادی پرداخته خواهد شد و در نهایت بخش ۷، به نتیجه‌گیری اختصاص یافته است.

۲- مروری بر ادبیات موضوع

سوسا و همکاران [۵]، به بررسی مسئله‌ی تخصیص/ برنامه‌ریزی برای بهینه‌سازی برنامه‌ریزی زنجیره‌تأمین جهانی یک شرکت داروسازی در سطح تولید در مراکز تولیدی اولیه و ثانویه تا توزیع محصولات به بازارهای فروش می‌پردازند. مدل ارائه شده به بررسی و کاوش هزینه‌های تولید و توزیع مختلف و همچنین نرخ‌های مالیاتی در مکان‌های مختلف، به‌منظور حداکثرسازی سود خالص شرکت می‌پردازد. دو الگوریتم تجزیه برای حل مدل ارائه شده است. سوسارلا و همکاران [۶]، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای برنامه‌ریزی زنجیره‌تأمین یکپارچه‌ی صنایع داروسازی چندملیتی ارائه کرده‌اند. این مدل سعی می‌کند برنامه‌ی تدارک، تولید و تأمین یکپارچه را با در نظر گرفتن هزینه‌ی نگهداری، مالیات و میزان عمر مواد اولیه به‌گونه‌ای طراحی کند که سود کل زنجیره‌تأمین بیشینه گردد. مدل‌های سنتی به تنهایی قادر به اعمال دقت و قطعیت منطق ریاضی کلاسیک نیستند. در واقع زمانی‌که نادقیقی[۳] و عدم قطعیت[۴] به‌دلیل ساختار مدل نادیده انگاشته می‌شود، مدل واقعی نخواهد بود. زمانی که شرایط تصمیم‌گیری تحت ریسک باشد در این صورت نمی‌توان نسبت به کمیت برخی از پارامترهای سیستم مانند تقاضا با اطمینان صحبت نمود. این مقادیر به‌صورت احتمالی مطرح می‌شوند. مفاهیم احتمالی نمی‌توانند برخی عدم قطعیت‌ها را به خوبی بیان کنند، از این‌رو نظریه مجموعه‌های فازی برای بیان این عدم قطعیت‌ها از سال ۱۹۸۰ وارد عمل شد.

مفاهیم فازی توانایی تعریف پارامترهای مبهم، نادقیق و ناخوش تعریف که بر اساس باورهای شخصی تعریف می‌شوند را ایجاد می‌کند. با ظهور مجموعه‌های فازی استفاده از این منطق برای دستیابی به یک تصمیم بهینه در مدیریت موجودی بیشتر احساس می‌شود. گیاننوکارو و همکاران [۷]، برای تعیین سیاست مدیریت موجودی در زنجیره تأمین یک متدولوژی ارائه کردند که بر اساس مفاهیم

www.SID.ir

Archive of SID

موجودی رده‌ها و نظریه فازی بنا شده است. به‌طور خاص در این مدل مفهوم موجودی رده‌ها به‌منظور مدیریت یکپارچه موجودی در زنجیره و مفهوم نظریه مجموعه‌های فازی در جهت مدل کردن عدم قطعیت در تقاضای بازار و هزینه‌های موجودی شامل هزینه‌های نگهداری و پس‌افت، استفاده شده است. استراتژی بازپرسازی در این سیستم موجودی به‌صورت مرور دوره‌ای است که در هر دوره سطح موجودی باید به یک مقدار از پیش تعیین شده‌ای برسد. یکی از مزایای این مقاله نسبت به مقاله‌های هم دوره و ماقبل خود این است که مسئله عدم قطعیت در زنجیره تأمین را از طریق نظریه مجموعه-های فازی بیان کرده است. لیانگ [۸]، یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه تعاملی برای حل مسائل حمل‌ونقل چندهدفه‌ی فازی با تابع عضویت خطی ارائه کرده است. مدل ارائه شده دارای اهداف حداقل‌سازی کل هزینه‌های توزیع و کل زمان تحویل می‌باشد. در این مدل تقاضا و حداکثر ظرفیت نگهداری در مراکز توزیع دارای عدم قطعیت می‌باشند. لیانگ [۹]، یک مدل برنامه‌ریزی خطی چند هدفه‌ی فازی برای حل یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی یکپارچه‌ی حمل‌ونقل و تولید در زنجیره تأمین ارائه کرده است. مدل ارائه شده دارای اهداف حداقل‌سازی کل هزینه‌های تولید و توزیع، حداقل‌سازی تعداد اقلام معیوب و حداقل‌سازی کل زمان تحویل با در نظر گرفتن محدودیت بودجه، نیروی کار و ظرفیت می‌باشد. مایتی و همکاران [۱۰]، یک مدل موجودی چندهدفه تحت محدودیت‌های فازی ارائه کردند. قیمت‌ها و مقدار موجودی وابسته به سطح تقاضا در یک محیط فازی (هزینه خرید، میزان سرمایه‌گذاری و ظرفیت انبار مبهم است) توسعه یافته‌اند. سلیم و اوزکاراهان [۱۱]، یک مدل یکپارچه‌ی برنامه‌ریزی فازی چندهدفه برای طراحی شبکه‌ی توزیع زنجیره‌تأمین ارائه کرده‌اند. هندفیلد و همکاران [۱۲]، یک مدل (Q,r) توسعه دادند که در آن از مفاهیم فازی برای نشان دادن منابع عدم قطعیت در یک زنجیره تأمین استفاده شده است. در دهه‌های اخیر مدیران به‌دنبال شناخت راه‌های مدیریت ریسک هستند که نقش مهمی را در مدیریت موفق موجودی‌ها بازی می‌کند. منابع ریسک و عدم قطعیت در این مدل شامل تقاضا، زمان تحویل، دسترسی به تأمین‌کننده و هزینه‌هایی که بابت جریمه پرداخت می‌شود، می‌باشد. طبیعت ابهام موجود در فاکتورهای ریسک در مدیریت موجودی‌ها ایجاب می‌کند که برای نشان دادن آن‌ها از اعداد فازی (مثلثی) استفاده شود. به-علاوه از آنجایی که مجموعه‌های فازی براساس ایده‌های ذهنی افراد تعریف می‌شود، ریسک ناشی از صحت این ایده‌ها نیز در این مقاله مورد توجه واقع شده است. به این منظور سه حالت خوشبینانه، متوسط و بدبینانه در نظر گرفته شده است. در نهایت هزینه‌ی کل در این سیستم موجودی با استفاده از روش مرکز ثقل فازی‌زدایی می‌شود. تانتامی و همکاران [۱۳]، یک سیستم کنترل موجودی فازیِ تک‌محصولی و مرور دائم ارائه کردند. مدل ارائه شده بر اساس سیستم کنترل منطق فازی برای تقاضا و دسترس‌پذیری به منابع به-صورت غیرقطعی بنا شده است. در دهه‌ی اخیر کارهای بسیاری در زمینه‌ی رویکرد استوار انجام شده است. گوبترز و همکاران [۱۴]، یک مسئله‌ی طراحی زنجیره تأمین با رویکرد استوار در نظر گرفتند. آنها به‌دنبال مدل طراحی شبکه‌ای بودند که به ازای سناریوهای مختلف نزدیک به بهینه بماند. لئونگ و همکاران [۱۵]، یک مدل بهینه‌سازی استوار برای برنامه‌ریزی تولید در چند سایت تولیدی مختلف با عدم قطعیت در داده‌ها توسعه دادند. فنگ پن و پاکش ناگی [۱۶]، مدل استوار خود را برای طراحی زنجیره‌ی تأمین تحت عدم قطعیت در تقاضا و تولید ارائه کردند. در این پژوهش بهینه‌سازی یکپارچه‌ای از لجستیک و هزینه‌های تولید با توجه به اعضای زنجبره‌تأمین ارائه شده است. داگلاس خوزه الم و رینالدوموارابیتو [۱۷]، چهار مدل ارایه کردند: مدل اول مدل تحت پیش فرض قطعیت، مدل دوم دارای عدم قطعیت در هزینه به همین ترتیب مدل سوم دارای عدم قطعیت در تقاضا و مدل چهارم مدل ترکیبی عدم قطعیت در تقاضا و هزینه‌ی تولید است. لازم به ذکر است که در این مدل‌ها از رویکرد بنتال و نمیروفسکی استفاده شده است. عادل آذر و همکاران [۱۸]، مدل چندهدفه استوار- فازی را برای انتخاب‌کنندگان قطعات در شرکت ایران خودرو بررسی کردند. آن‌ها در تحقیق خود بیان کردند که برخی از پارامترهای مدل به صورت متغیر تصادفی است که در بازه‌ی متقارن نوسان می‌کند. پیشوایی و همکاران [۱۹]، یک مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار برای طراحی شبکه‌ی زنجیره تأمین با در نظر گرفتن مسئولیت اجتماعی ارائه کردند. آنها یک رویکرد جدید برای برنامه‌ریزی استوار پیشنهاد کردند و مدل خود را تحت رویکردهای مختلف برنامه‌ریزی امکانی استوار اجرا و عملکرد این رویکردها را با یکدیگر مقایسه کردند. زهیری و همکاران [۲۰]، یک مدل جدید برنامه‌ریزی امکانی استوار برای تخصیص و مکان‌یابی مراکز پیوند اعضا تحت عدم قطعیت برخی از داده‌ها ارائه کرده‌اند. آنها از حداقل‌سازی هزینه‌های کل جهت بالا بردن تأثیر طراحی شبکه‌ی مورد نظرشان استفاده کرده‌اند؛ و کارایی مدل خود را براساس زنجیره تأمین پیوند اعضای ایران بررسی کرده‌اند.

بیشتر تحقیقات صورت گرفته در زمینه برنامه‌ریزی زنجیره تأمین دارو متمرکز بر هدف بیشینه‌سازی سود و یا کمینه‌سازی هزینه‌ی کل زنجیره بوده‌اند در حالی‌که در صنعت داروسازی علاوه بر اهداف مذکور هدف رضایت از انتخاب تأمین‌کنندگان نیز بسیار مهم می‌باشد لذا در این مسئله ما یک مدل دو هدفه ارائه داده‌ایم که علاوه بر حداقل‌سازی هزینه‌ی کل زنجیره‌تأمین، حداکثرسازی رضایت از انتخاب تأمین‌کنندگان (با در نظر گرفتن معیارهای کمی و کیفی) را نیز مد نظر دارد.

هیچ‌یک از پژوهش‌هایی که در زمینه‌ی برنامه‌ریزی تاکتیکی زنجیره تأمین در شرایط عدم قطعیت شناختی (در مقابل عدم‌قطعیت تصادفی) صورت گرفته‌اند از رویکرد برنامه‌ریزی استوار برای برخورد با این موضوع استفاده نکرده‌اند، این در حالی است که استفاده از این

www.SID.ir

Archive of SID

رویکرد موجب می‌شود که پاسخ‌های مدل طوری تعیین شوند که استوار شدنی بودن و استوار بهینگی نیز تضمین شوند و در نتیجه هزینه اجرای تصمیم در دنیای واقعی کاهش یابد.

تقریباً در هیچ‌یک از پژوهش‌هایی که در زمینه‌ی انتخاب تأمین‌کننده در زنجیره‌تأمین دارو صورت گرفته‌اند، معیارهای اجتماعی مانند میزان مواد مخدر استفاده شده در تولید مواد اولیه دارو و میزان استفاده از گیاهان دارویی در تولید مواد اولیه را در نظر نگرفته‌اند، این در حالی است که استفاده بیش از حد از مواد مخدر در تولید داروها موجب عوارض بسیاری برای سلامتی بیماران می‌شود و همچنین استفاده از گیاهان دارویی در ساخت دارو موجب کاهش چشمگیر عوارض دارویی می‌گردد [۲۱ و ۲۲]. لذا در نظر گرفتن این معیارها در انتخاب تأمین‌کننده بسیار مهم می‌باشد.

هیچ‌یک از پژوهش‌های مورد مطالعه در این تحقیق، به مسئله‌ی برنامه‌ریزی اصلی و انتخاب تأمین‌کننده‌ی سبز در یک زنجیره‌ی تأمین چند سطحی یکپارچه نپرداخته‌اند. به‌طور کلی، در ادبیات زنجیره تأمین، اهمیت و تأثیر عدم اطمینان، به‌طور وسیعی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است [۲۳]. با توجه به این مهم، منابع عدم اطمینان در زنجیره تأمین باید به‌گونه‌ای اثربخش مدیریت شوند. لذا برای مدیریت عدم اطمینان حاکم بر زنجیره تأمین و داشتن اعتماد کافی به نتایج، برنامه‌ریزی قابل‌اتکا و استوار باید انجام شود تا مدیران بتوانند به نتایج آن اطمینان داشته باشند و ریسک تصمیم‌گیری آنها کاهش یابد. یکی از رویکردهای جدید و قابل‌اتکا، برنامه‌ریزی استوار می‌باشد. در این تحقیق، برای کاهش ریسک در تصمیم‌گیری، از برنامه‌ریزی امکانی استوار استفاده می‌شود. استفاده از رویکرد یکپارچه برای انتخاب تأمین‌کننده‌ی سبز و برنامه‌ریزی اصلی در زنجیره‌تأمین موجب حداقل کردن هزینه‌ی کل زنجیره‌تأمین می‌شود و همچنین استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی استوار موجب دست‌یابی به جواب‌های استوار شدنی و بهینه می‌شود؛ بنابراین در این پژوهش از دو رویکرد ذکر شده جهت برنامه‌ریزی یکپارچه زنجیره‌تأمین دارو استفاده می‌شود.

۳- تعریف مسئله

در این بخش نخست به معرفی زنجیره‌تأمین دارو می‌پردازیم. ساختار زنجیره تأمین مورد بررسی بر اساس شرکت‌های دارویی تولیدکننده مواد اولیه دارو در نظر گرفته شده‌اند. به‌طور خاص در ایران شرکت‌هایی مانند آترا از این زمره قرار دارند. در چنین مواردی نخست، مراکز تولیدی اولیه مواد خام را از تأمین‌کنندگان مختلف دریافت می‌کنند و آنها را به عناصر دارویی فعال یا پودر سفید تبدیل می‌کنند. پودرهای سفید عناصر اصلی در ساخت دارویی با خاصیت‌های شفابخش هستند و برای تشخیص، درمان، مراقبت و پیشگیری از بیماری‌ها مفید می‌باشند. این پودرهای سفید سپس به‌وسیله‌ی تولیدکننده‌های ثانویه مواد دارویی همراه با مواد رقیق‌کننده داروها برای ساختاردهی داروها در یک شکل خاص از جمله قرص، ژلاتین و مواد نیروزا مورد استفاده قرار می‌گیرند. رقیق‌کننده‌ها مواد ساکن دارویی هستند که به‌عنوان حامل برای پودرهای سفید هستند. داروهای نهایی به مراکز توزیع در مقادیر حجمی برای بسته‌بندی و برچسب زدن برحسب ناحیه‌ی بازار نهایی‌شان فرستاده می‌شوند. سرانجام، داروهای بسته‌بندی‌شده به مصرف‌کنندگانشان در بازارهای مختلف فرستاده می‌شوند.

زنجیره تأمین دارویی مورد بحث در این پژوهش شامل کارخانه‌های اولیه (در نقش تأمین‌کننده)، کارخانه‌های ثانویه (در نقش تولیدکننده)، مراکز توزیع و مشتریان (مراکز درمانی و بیمارستان‌ها) می‌باشد. داروسازی صنعتی است که به‌طور مستقیم با سلامت افراد ارتباط دارد و برای اطمینان از ایمنی و اثربخشی تولیداتش به شدت توسط نهادهای دولت تحت کنترل و نظارت قرار دارد، لذا دقت در انتخاب تأمین‌کننده مواد اولیه یک مسئله بسیار مهم در زنجیره تأمین دارو می‌باشد. از این رو در این پژوهش مدلی ارائه شده است که علاوه بر اتخاذ بهترین تصمیمات برای برنامه‌ریزی تاکتیکی زنجیره تأمین دارو سعی در انتخاب بهترین تأمین‌کننده مواد اولیه با توجه به معیارهای اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی متناسب با زنجیره تأمین دارو را دارد. مدل پیشنهادی در این پژوهش قابل‌استفاده برای تولیدکننده‌هایی دارویی همچون شرکت تولید دارو، شرکت داروسازی ابوریحان و ...که تولیدکننده ثانویه دارو محسوب می‌شوند، می‌باشد. همچنین علاوه بر شرکت‌های داروسازی این مدل می‌تواند در سایر صنایع که دارای زنجیره تأمین مشابه این صنعت هستند نیز استفاده گردد.

یک تولیدکننده دارو، داروهای مختلفی را با استفاده از مواد اولیه‌ی مختلف که به‌وسیله‌ی مجموعه‌ای از تأمین‌کنندگان فراهم می‌شوند، تولید می‌کند. محصولات نهایی بر اساس میزان تقاضای پویای توزیع‌کنندگان مختلف، به آنان تحویل داده می‌شوند. این مسئله در واقع شامل سه زیر مسئله می‌باشد:

۱) انتخاب تأمین‌کننده با در نظر گرفتن معیارهای اقتصادی، محیط زیستی، سلامت اجتماعی و کیفیتی و تعیین اندازه‌ی سفارش در سطح اول
۲) برنامه‌ریزی تولید در کارخانه در سطح دوم
۳) برنامه‌ریزی توزیع در سطح آخر زنجیره تأمین

هدف این پژوهش، تعیین بهترین برنامه میان‌مدت چند دوره‌ای (با در نظر گرفتن اهداف محیط زیستی و سلامت اجتماعی) به شیوه‌ی مشترک و یکپارچه برای مسائل زیر است:

- برنامه‌ی تأمین: مقدار خرید هر ماده‌ی اولیه از هر تأمین‌کننده در هر دوره‌ی برنامه‌ریزی
- برنامه‌ی تولید: مقدار تولید هر داروی نهایی در هر دوره‌ی برنامه‌ریزی
- برنامه‌ی توزیع: تعداد هر داروی نهایی که باید در هر مرکز توزیع در هر دوره تحویل داده شود.

www.SID.ir

Archive of SID

دو تابع هدف در نظر گرفته‌شده است، حداقل سازی کل هزینه‌ی زنجیره تأمین و حداکثرسازی کل سطح رضایت‌مندی از انتخاب تأمین‌کنندگان. در مسئله‌ی SCMP مورد بررسی در این پژوهش از جمله پارامترهایی که به‌دلیل کامل نبودن و یا در دسترس نبودن اطلاعات در افق میان‌مدت دارای ماهیت غیرقطعی هستند عبارت‌اند از: پارامترهای ظرفیت تولید، ظرفیت تولید رزرو شده تأمین‌کننده، مقدار ذخیره اطمینان تولیدکننده، هزینه‌های حمل، تولید و نگهداری.

۳-۱ مفروضات مسئله

مفروضات استفاده شده در مدل‌سازی مسئله به‌صورت زیر می‌باشند:

- محصولات نهایی در هر مرکز توزیع در افق برنامه‌ریزی (بین ۳ تا ۶ ماه) دارای تقاضای پویای قطعی هستند.
- سیستم تولید در کارخانه و هر تأمین‌کننده به‌صورت یک سیستم توانمند تک‌مرحله‌ای است.
- ظرفیت‌های تولید در تولیدکننده و تأمین‌کننده‌ها با استفاده از تخمین سخت پیشامدهای احتمالی مختلف (مانند زمان راه‌اندازی و خرابی ماشین) و امکان گسترش ظرفیت (اضافه‌کاری و یا برون‌سپاری)، تخمین زده شده است.
- کمبود در هیچ سطحی مجاز نیست.
- زمان تدارک و توزیع ناچیز فرض شده است (در مقابل طول هر دوره‌ی برنامه‌ریزی).
- با توجه به محیط رقابتی در مناقصه، کمی انعطاف در طرح بازپرسازی هر تأمین‌کننده وجود دارد. آن‌ها زمان تحویل را وابسته به رزرو ظرفیت و مقدار تخفیف در برنامه‌ی تخفیفشان با در نظر گرفتن امکان گسترش ظرفیت در دوره‌های بعد پیشنهاد می‌کنند.
- هزینه‌ی نگهداری موجودی خطی و غیرکاهشی است.
- با توجه به کامل نبودن و یا در دسترس نبودن اطلاعات مورد نیاز در افق برنامه‌ریزی میان‌مدت، پارامترهای بحرانی (مانند تقاضای بازار و سطوح ظرفیت) فازی فرض شده‌اند. پارامترهای فازی از توزیع امکانی مثلثی پیروی می‌کنند.
- هر تأمین‌کننده ممکن است یک حداقل ظرفیت قابل‌استفاده‌ی قابل قبولی را در هر دوره بر اساس یک حداقل نرخ استفاده‌ی قابل‌قبول ظرفیت رزرو شده‌اش تعیین کند؛ یعنی هر تأمین‌کننده فقط سفارش‌هایی را قبول می‌کند که ظرفیت استفاده شده‌شان (ظرفیت مورد نیاز آنها) بزرگتر یا مساوی مقدار اقتصادی تعریف شده باشد. در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت در مدل می‌تواند استراتژی برد – برد را بین شرکای زنجیره‌تأمین توسعه دهد و تولیدکننده را مجبور کند که در هر دوره تعداد تأمین‌کننده‌ی کمی را انتخاب کند.
- عوامل زیست‌محیطی که تولیدکننده به آنها اهمیت می‌دهد مشخص هستند و میزان اهمیت هر تأمین‌کننده به هر یک از عوامل زیست‌محیطی از توزیع امکانی مثلثی پیروی می‌کنند.
- ماده اولیه خریداری شده از تأمین‌کننده دارای یک عمر قفسه‌ای مشخص است و عمر قفسه‌ای آن از زمان رسیدن به مرکز تولید محاسبه می‌شود.
- کالای نهایی تولید شده در مرکز تولید دارای یک عمر قفسه‌ای مشخص است.
- مدت انقضاء مضرب صحیحی از طول دوره‌ها می‌باشد.
- برنامه‌ریزی باید به‌گونه‌ای صورت بگیرد که از بین رفتن کالا در سیستم وجود نداشته باشد.
- زمان حمل‌ونقل بین تولیدکننده و توزیع‌کننده ناچیز می‌باشد.
- زمان حمل‌ونقل بین توزیع‌کننده و مشتری ناچیز می‌باشد.
- سیستم ارسال کالا FIFO می‌باشد.

مدل کلامی مسئله به‌صورت زیر می‌باشد:

تابع هدف (۱): حداقل سازی کل هزینه زنجیره‌تامین

تابع هدف (۲): حداکثرسازی کل ارزش انتخاب تأمین‌کنندگان

به‌طوری که:

- محدودیت توازن جریان و موجودی
- محدودیت ظرفیت تولید
- محدودیت ظرفیت فضای انبار
- محدودیت منطقی

۴- مدل‌سازی مسئله

در این مدل برخی از پارامترها در تابع هدف، ضرایب فنی و مقادیر سمت راست برخی از محدودیت‌ها، در واقعیت دارای ابهام می‌باشند. مدل فازی ارائه شده در این بخش یک مدل برنامه‌ریزی امکانی می‌باشد. اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای استفاده شده در ساخت مدل ریاضی مسئله در زیر توضیح داده شده‌اند. از بالانویس‌های ۱، ۲ و ۳ برای نشان دادن سطوح مختلف زنجیره‌تأمین استفاده شده است که این اعداد به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی سطح تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان می‌باشند.

اندیس‌ها:

i اندیس مواد $i = 1, \dots, I$

j اندیس تأمین‌کنندگان $j = 1, \dots, J$

k اندیس محصولات نهایی $k = 1, \dots, K$

l اندیس مراکز توزیع $l = 1, \dots, L$

t اندیس دوره‌های زمانی $t = 1, \dots, T$

www.SID.ir

Archive of SID

r اندیس بازه‌های تخفیف (که به تأمین‌کننده وابسته است).

m اندیس عوامل زیست‌محیطی $m = 1, \dots, M$

پارامترها:

$\tilde{d}_{klt}$ تقاضای داروی نهایی k در مرکز توزیع l در دوره t

s^i مجموعه تأمین‌کنندگان واجد شرایط پیشنهاددهنده‌ی ماده‌ی i $(s^i \subset \{1, \dots, J\})$

p^j مجموعه مواد پیشنهاد شده به وسیله تأمین‌کننده $(P^i \subset \{1, \dots, I\})$

DI_j تعداد بازه‌های تخفیف پیشنهاد شده به وسیله تأمین‌کننده j $(DI_j \leq T)$

SD_{jr} $\{L_{jr}, \dots, U_{jr}\}$؛ زیربازه‌های دو به دو ناسازگار از $\{1, \dots, T\}$ که نشان‌دهنده r امین بازه تخفیف پیشنهادی به وسیله تأمین‌کننده j. L_{jr} و U_{jr} به ترتیب نشان‌دهنده کوتاه ترین و بلندترین دوره‌ها در داخل این بازه هستند.

$\widetilde{ur}_{jr}$ حداقل نرخ استفاده ظرفیت قابل قبول برای تأمین‌کننده j در هر دوره‌ی r امین بازه‌ی تخفیف $(\widetilde{ur}_{jr} = \widetilde{ur}_{jt}, \forall t \in S\tilde{D}_{jr})$

$\widetilde{\text{cap}}^1{}_{\text{jr}}$ ظرفیت تولید رزرو شده تأمین‌کننده J در هر دوره از r امین بازه تخفیف $\left(\widetilde{cap}^1{}_{jr} = \widetilde{cap}^1{}_{jt}, \forall t \in S\tilde{D}_{jr}\right)$

$\tilde{a}^1{}_{ij}$ تعداد ظرفیت مورد نیاز تأمین‌کننده j برای ماده‌ی i

$\tilde{\alpha}_{mj}$ میزان اهمیت تأمین‌کننده j به عامل زیست‌محیطی m

β_m درصد اهمیت تولیدکننده به عامل زیست‌محیطی m

$\tilde{E}_j$ میزان اهمیت تأمین‌کننده به عوامل زیست‌محیطی

$\widetilde{cap}^2{}_t$ ظرفیت تولید تولیدکننده در دوره t

$\tilde{a}^2{}_k$ تعداد ظرفیت مورد نیاز تولیدکننده برای داروی نهایی k

b_{ik} مقدار ماده‌ی i مورد نیاز برای تولید هر واحد از داروی نهایی k

u_{ri} مقدار حجم مورد نیاز برای ذخیره ماده‌ی i

w_r^2 ظرفیت ذخیره‌سازی (بر حسب حجم) انبار دریافتی تولیدکننده

uf_k مقدار حجم مورد نیاز برای ذخیره داروی نهایی k

w_f^2 ظرفیت ذخیره‌سازی (برحسب حجم) انبار کالاهای ارسالی

w_l^3 ظرفیت ذخیره‌سازی (برحسب حجم) در مرکز توزیع

$\widetilde{TCO}$ هزینه کل مالکیت (به‌عنوان مثال کل هزینه‌های خرید)

$\widetilde{TCP}$ کل هزینه‌های تولید

$\widetilde{TCD}$ کل هزینه‌های توزیع

$\widetilde{TC}$ کل هزینه‌های سیستم لجستیک

$\widetilde{sl}$ کل هزینه‌های سطح تأمین‌کننده در طول افق برنامه-ریزی

$\widetilde{slc}_j$ کل هزینه‌های مربوط به تأمین‌کننده j در افق برنامه‌ریزی

$\widetilde{olc}$ کل هزینه‌های سطح سفارش در طول افق برنامه‌ریزی

$\widetilde{olc}_{jt}$ کل هزینه‌های ایجادشده ناشی از دادن یک سفارش به تأمین‌کننده j در دوره t (مانند هزینه‌های دریافت، حمل‌ونقل و سفارش دهی برای هر سفارش)

$\widetilde{ulc}$ کل هزینه‌های سطح یک در طول افق برنامه‌ریزی

c_{ijr} قیمت واحد ماده i هزینه شده توسط تأمین‌کننده j در هر دوره از r امین بازه برنامه تخفیف تأمین‌کننده (به‌عنوان مثال $c_{ijt} = c_{ijr}, \forall\ S\tilde{D}_{jr}$)

$\widetilde{aulc}_{ij}$ هزینه‌های اضافه‌شده به سطح اولیه قیمت ماده i خریده شده از تأمین‌کننده j در دوره t

$\widetilde{ulc}_{ijt}$ کل هزینه‌های سطح یک ماده i خریده شده از تأمین‌کننده‌ی j در دوره‌ی t

$\widetilde{pc}_{kt}$ هزینه‌ی تولید متغیر هر واحد از داروی نهایی k در دوره‌ی t

$\widetilde{tc}_{klt}$ هزینه‌ی حمل هر واحد داروی نهایی k به مرکز توزیع l در دوره‌ی t

$\widetilde{hr^2}_{it}$ هزینه‌ی نگهداری ماده i در دوره‌ی t (بر اساس قیمت میانگین در دوره‌ی t)

$\widetilde{hf^2}_{kt}$ هزینه‌ی نگهداری هر واحد از داروی نهایی k در کارخانه در دوره‌ی t

$\widetilde{hf^3}_{klt}$ هزینه‌ی نگهداری هر واحد از داروی نهایی k در مرکز توزیع l در دوره‌ی t

$\widetilde{ss}_{klt}$ موجودی اطمینان داروی نهایی kدر مرکز توزیع lدر دوره‌ی t

$\tilde{q}_{ij}$ میانگین نرخ سالم بودن ماده‌ی i تأمین‌شده توسط تأمین‌کننده‌ی j

$\widetilde{sl}_j$ میانگین سطح خدمت‌دهی تأمین‌کننده‌ی j (درصد تحویل‌های به‌موقع)

ubx_{ijt} حد بالای مقدار x_{ijt}

λ_1 وزن کل امتیاز تحویل به‌موقع در تابع هدف انتخاب تأمین‌کننده

λ_2 وزن کل امتیاز عمل به دستورات محیط زیستی در تابع هدف انتخاب تأمین‌کننده

$\widetilde{TVS}$ کل ارزش انتخاب تأمین‌کنندگان سبز

Ex_i دوره مصرف (عمر قفسه‌ای) ماده اولیه i

Ep_k دوره مصرف (عمر قفسه‌ای) کالای نهایی k

u_k مقدار زمان باقی‌مانده تا انتهای دوره عمر کالای k که باید کالا به مرکز توزیع منتقل شود

λ_3 وزن مقدار کل مواد فاسد در تابع هدف انتخاب تأمین‌کننده

متغیرهای تصمیم

x_{ijt} مقدار ماده‌ی i خریداری‌شده از تأمین‌کننده‌ی j در دوره‌ی t

p_{kt} مقدار تولید داروی نهایی k در دوره‌ی t

www.SID.ir

Archive of SID

s_{klt} مقدار داروی نهاییk حمل شده به مرکز توزیع l در دوره‌ی t

Ir_{it}^2 سطح نهایی موجودی ماده‌ی i در کارخانه در دوره‌ی t

If_{kt}^2 سطح نهایی موجودی داروی نهایی k در کارخانه در دوره‌ی t

If_{klt}^3 سطح نهایی موجودی داروی نهاییk در مرکز توزیع lدر دوره‌ی t

y_{jt} ۱، اگر به تأمین‌کننده‌ی j در دوره‌ی tسفارشی داده شود،0 در غیر این صورت

z_j ۱، اگر به تأمین‌کننده‌ی j در طول افق برنامه‌ریزی سفارشی داده شود.0، در غیر این

لازم به ذکر است که وابستگی زمان تحویل به مقدار ظرفیت رزرو شده و مقدار تخفیف پیشنهاد شده به وسیله‌ی تأمین‌کننده نشان دهنده‌ی این است که:

$$c_{ij.r+1} < c_{ijr}$$
$$\widetilde{cap}_{j.r}^1 < \widetilde{cap}_{j.r+1}^1$$

۴-۱- توابع هدف

دو تابع هدف مهم برای مسئله‌ی SCMP مورد نظر، درنظرگرفته شده است: هزینه‌ی کل لجستیک ($\widetilde{TC}$) و کل ارزش انتخاب تأمین‌کننده‌ی سبز ($\widetilde{TVS}$).

۴-۱-۱- هدف ۱: کمینه کردن هزینه‌ی کل لجستیک

هزینه‌های کل لجستیک شامل هزینه‌های کل خرید، تولید و توزیع است و از طریق فرمول زیر به‌دست می‌آید:

$$\text{Min } \widetilde{TC} = \widetilde{TCO} + \widetilde{TCP} + \widetilde{TCD}.$$

در این پژوهش از مفاهیم هزینه‌یابی مبتنی بر فعالیت (ABC) و هزینه‌ی کل مالکیت (TCO) استفاده شده است.ABC یک وسیله‌ی هزینه‌یابی مؤثر است، که به‌طور قابل‌توجهی در صنایع مختلف استفاده شده است [۲۴]. ABC به تحلیل‌کننده‌ی هزینه‌ها کمک می‌کند تا همه‌ی فعالیت‌ها و هزینه‌های مربوط به یک فرایند خاص را بر اساس ساختار سلسله مراتبیشان دسته‌بندی و تجزیه‌وتحلیل کند [۲۵].

از طرف دیگر TCO به شرکت‌ها کمک می‌کند تا هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم مربوط به خرید هرگونه سرمایه (شامل قیمت خرید اولیه، تعمیر، نگهداری و آموزش پرسنل) را بررسی کنند.

با استفاده از مفاهیم ABC و TCO، هزینه‌ی کل خرید شامل هزینه‌های کل سطح تأمین‌کننده، هزینه‌های کل سطح سفارش و هزینه‌های کل سطح اولیه است که می‌توان آن را با استفاده از رابطه‌ی زیر تخمین زد.

$$\widetilde{TCO} = \widetilde{slc} + \widetilde{olc} + \widetilde{ulc}$$

به‌طوری‌که:

$$\widetilde{slc} = \sum_{j=1}^{J} \widetilde{slc}_j \,.\, z_j \,,\ \widetilde{olc} = \sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{J} \widetilde{olc}_{jt}.\, y_{jt},$$

$$\widetilde{ulc} = \sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{J}\sum_{i\in p^j} \left(c_{ijt} + \widetilde{aulc}_{ijt}\right).x_{ijt} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I} \widetilde{hr}^2{}_{it}\ .Ir_{it}^2.$$

فرض شده است که قیمت‌های تعیین‌شده از سوی تأمین‌کنندگان قطعی هستند، بنابراین هزینه‌های کل سطح اولیه‌ی ماده‌ی i خریده شده از تأمین‌کننده‌ی j در دوره‌ی t از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\widetilde{ulc}_{ijt} = c_{ijt} + \widetilde{aulc}_{ijt}.$$

هزینه‌ی کل تولید برابر مجموع هزینه‌های متغیر تولید (به جز هزینه‌های مواد) و هزینه‌های نگهداری موجودی داروهای نهایی در کارخانه است:

$$\widetilde{TCP} = \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K} \left(\widetilde{pc}_{kt}.p_{kt} + \widetilde{hf}^2{}_{kt}.If_{kt}^2\right).$$

هزینه‌ی کل توزیع برابر با مجموع هزینه‌های حمل‌ونقل و هزینه‌های نگهداری موجودی داروهای نهایی در مراکز توزیع است:

$$\widetilde{TCD} = \sum_{t=1}^{T}\sum_{l=}^{L}\sum_{k=1}^{K} \left(\widetilde{tc}_{klt}.s_{klt} + \widetilde{hf}^3{}_{klt}.If_{klt}^3\right).$$

بنابراین تابع هدف کمینه کردن هزینه‌ی کل لجستیک به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$\text{Min } \widetilde{TC} = \sum_{j=1}^{J} \widetilde{slc}_j \,.\, z_j + \sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{J} \widetilde{olc}_{jt}.\, y_{jt} \qquad (۱)$$
$$+ \sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{J}\sum_{i\in p^j} \left(c_{ijt} + \widetilde{aulc}_{ijt}\right).x_{ijt}$$
$$+ \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I} \widetilde{hr}^2{}_{it}\ .Ir_{it}^2.$$
$$+ \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K} \left(\widetilde{pc}_{kt}.p_{kt} + \widetilde{hf}^2{}_{kt}.If_{kt}^2\right)$$
$$+ \sum_{t=1}^{T}\sum_{l=}^{L}\sum_{k=1}^{K} \left(\widetilde{tc}_{klt}.s_{klt} + \widetilde{hf}^3{}_{klt}.If_{klt}^3\right)$$

۴-۱-۲-تابع هدف ۲: بیشینه کردن ارزش انتخاب تأمین‌کنندگان

کل ارزش انتخاب تأمین‌کنندگان شامل تحویل به‌موقع، عمل به قوانین محیط‌زیستی و سالم بودن مواد خریداری‌شده از تأمین‌کنندگان است.

تحویل به‌موقع، از جمله شاخص‌هایی است که در ادبیات انتخاب تأمین‌کننده و در نزد خبرگان صنعت مورد مطالعه بسیار مورد تأکید قرار گرفته است. مدلسازی تابع هدف این شاخص به این شکل انجام می‌شود که به تأمین‌کننده‌ای که دارای ضریب بالاتری در این شاخص است تخصیص بیشتری صورت می‌گیرد و لذا داریم:

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}\left(\widetilde{sl}_j.x_{ijt}\right)$$

ارزش عمل به قوانین محیط زیستی، از جمله شاخص‌های مهم در تخصیص سفارش می باشد. امروزه به‌دلیل اهمیت بسیار زیادی موضوع آلودگی محیط‌زیست و خطری که سلامت تمام موجودات را

www.SID.ir

Archive of SID

به خطر می‌اندازد این شاخص بیش از پیش از سوی مدیران و تصمیم‌گیران صنعت مورد مطالعه، مورد توجه قرارگرفته است. مدل‌سازی تابع این هدف به صورتی است که به تأمین‌کننده‌ی که دارای ضریب بالاتری در این شاخص است، تخصیص بیشتری صورت می‌گیرد و لذا داریم:

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}(\tilde{E}_j.x_{ijt})$$

به طوری‌که:

$$\tilde{E}_j=\sum_{m=1}^{M}\tilde{\alpha}_{mj}.\beta_m \qquad \forall j$$

از طرفی داریم:

$$\sum_{m=1}^{M}\beta_m=1$$

سالم بودن مواد اولیه، از جمله شاخص‌های مهم در ارزیابی و تخصیص سفارش است. به‌طور خلاصه، اهمیت این شاخص تنها در لحاظ کردن مقدار مواد سالم نیست بلکه نکته اصلی آن است که این شاخص مقدار سالم بودن مواد را نسبت به حجم محموله ارسالی توسط تأمین‌کننده محاسبه می‌کند. لذا تأمین‌کننده‌ای که درصد مواد سالم بیشتری دارد میزان بیشتری از خرید محصول را به خود تخصیص می‌دهد. لذا مدل‌سازی این بحث عبارتست از:

کل مواد سالم خریداری‌شده از تأمین‌کنندگان از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}\tilde{q}_{ij}.x_{ijt}$$

پس تابع هدف بیشینه کردن کل ارزش انتخاب تأمین‌کنندگان از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

$$\begin{aligned}\text{Max } \widetilde{TVS}=\lambda_1(\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}(\tilde{sl}_j.x_{ijt}))+\\ \lambda_2(\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}(\tilde{E}_j.x_{ijt}))\\ +\lambda_3(\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}\tilde{q}_{ij}.x_{ijt})\end{aligned} \qquad (۲)$$

۴-۲- محدودیت‌های مدل

۴-۲-۱- محدودیت‌های سطح موجودی

همه‌ی محدودیت‌های تعدیل سطح موجودی در کارخانه و مراکز توزیع به‌صورت زیر خلاصه شده‌اند:

$$Ir^2_{i.t-1}+\sum_{j\in s^i}x_{ijt}-Ir^2_{it}=\sum_k b_{ik}.p_{kt} \quad \forall i.t \qquad (۳)$$

$$If^2_{k.t-1}+p_{kt}-If^2_{kt}=\sum_l s_{klt} \qquad \forall k.t \qquad (۴)$$

$$If^3_{kl.t-1}+s_{klt}-If^3_{klt}=\tilde{d}_{klt} \qquad \forall k.l.t \qquad (۵)$$

$$If^3_{klt}\geq \widetilde{ss}_{klt} \qquad \forall k.l.t \qquad (۶)$$

محدودیت (۳) و (۴) معادله‌ی تعدیل موجودی داروهای نهایی در انبارهای تولیدکننده هستند. محدودیت شماره (۳) ترکیب مواد اولیه سازنده هر یک از محصولات را تعیین می‌کند. b_{ik} مقدار مواد اولیه نوع i در تولید هر کیلوگرم از محصول k ، p_{kt} مقدار داروی نهایی نوع k تولید شده در دوره t می‌باشد. سمت راست محدودیت (۳) مقدار کل ماده‌ی اولیه‌ی نوع i مورد نیاز برای تولید داروهای نهایی در دوره t را تعیین می‌کند و سمت چپ محدودیت (۳) مقدار کل ماده‌ی اولیه نوع i که در دوره t مصرف شده است را تعیین می‌کند. این محدودیت تضمین می‌کند که کل مواد اولیه مورد نیاز برای تولید داروی نهایی در دسترس باشد و با کمبود مواجه نشویم و همچنین تضمین می‌کند که مواد اولیه دور ریز نداشته باشند. محدودیت (۵) و (۶) فرمول موجودی داروهای نهایی و سطح موجودی اطمینان در مراکز توزیع را نشان می‌دهند. همچنین، $\widetilde{ss}_{klt}=\sigma_k\tilde{d}_{kl.t+1}$، که σ_k فاکتور موجودی رو به جلو برای داروی k است [۲۶]. لازم به ذکر است که سطح موجودی اطمینان آخرین دوره‌ی T بر اساس تقاضای اولین دوره محاسبه می‌شود.

۴-۲-۲-محدودیت‌های فسادپذیری مواد

مواد اولیه خریداری شده از تأمین‌کنندگان باید در دوره عمر خود تبدیل به کالای نهایی شوند. در واقع سیستم باید به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی کند که دورریز و از بین رفتن کالا وجود نداشته باشد.

$$\sum_{t=1}^{\min(t+Ex_i,T)}\sum_k b_{ik}.p_{kt}-\sum_{t=1}^{t}\sum_j x_{ijt}\geq 0 \qquad \forall i,t\neq T \qquad (۷)$$

کالای نهایی تولید شده باید حداکثر تا u_k دوره قبل از اتمام دوره مصرف خود، به مراکز توزیع منتقل شوند تا امکان انتقال آن در زمان مناسب به مشتری وجود داشته باشد.

$$\sum_{t=1}^{\min(t+Ep_k-u_k,T)}\sum_l s_{klt}-\sum_{t=1}^{t}p_{kt}\geq 0 \quad \forall l,t\neq T,u_k>1 \qquad (۸)$$

کالای نهایی منتقل شده به مرکز توزیع باید تا حداکثر یک دوره قبل از رسیدن به انتهای دوره عمر خود، به دست مشتری برسد تا امکان استفاده آن در زمان مناسب وجود داشته باشد.

$$\sum_{t=1}^{\min(t+Ep_k-1,T)}\tilde{d}_{klt}-\sum_{t=1}^{t}s_{klt}\geq 0 \qquad \forall k,l,t\neq T \qquad (۹)$$

با گذاشتن محدودیت‌های بالا سیستم برنامه‌ریزی را به‌گونه‌ای انجام می‌دهد که مواد اولیه و محصول تولید شده از بین نروند.

۴-۲-۳- محدودیت‌های ظرفیت

محدودیت‌های زیر نشان‌دهنده‌ی سطوح ظرفیت تولید در کارخانه و تأمین‌کنندگان هستند:

$$\sum_{i\in p^j}\tilde{a}^1{}_{ij}.x_{ijt}\leq \widetilde{cap}^1{}_{jt} \qquad \forall j.t \qquad (۱۰)$$

$$\sum_{i\in p^j}\tilde{a}^1{}_{ij}.x_{ijt}\geq \widetilde{ur}_{jt}.\widetilde{cap}^1{}_{jt}.y_{jt} \quad \forall j.t \qquad (۱۱)$$

$$\sum_k\tilde{a}^2{}_k.p_{kt}\leq \widetilde{cap}^2{}_t \qquad \forall t \qquad (۱۲)$$

محدودیت‌های (۱۰) و (۱۱) بیشترین و کمترین سطح ظرفیت‌های استفاده شده‌ی تأمین‌کنندگان در هر دوره را نشان می‌دهند. محدودیت (۱۱) تضمین می‌کند که تولیدکننده حداقل ظرفیت قابل استفاده‌ی مورد قبول تأمین‌کنندگان را در نظر می‌گیرد. این محدودیت باید زمانی فعال شود که تأمین‌کننده‌ی j در دوره‌ی t انتخاب شده باشد. محدودیت (۱۲) ظرفیت تولید تولیدکننده در هر

www.SID.ir

Archive of SID

دوره را نشان می‌دهد. علاوه بر این‌ها محدودیت فضای انبار در کارخانه و مراکز توزیع به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\sum_i vr_i . Ir_{it}^2 \le w_r^2 \qquad \forall t \qquad (۱۳)$$

$$\sum_k vf_k . If_{kt}^2 \le w_f^2 \qquad \forall t \qquad (۱۴)$$

$$\sum_k vf_k . If_{klt}^3 \le w_l^3 \qquad \forall l.t \qquad (۱۵)$$

محدودیت‌های (۱۳) و (۱۴) محدودیت فضای انبارهای دریافت و ارسال در کارخانه را نشان می‌دهند. محدودیت (۱۵) ظرفیت انبارهای مراکز توزیع را نشان می‌دهد.

۴-۲-۴- محدودیت متغیرها

$$x_{ijt} \le ubx_{ijt} . y_{jt} \qquad \forall i.j \in s^i \qquad (۱۶)$$

$$p_{kt} \le ubp_{kt} \qquad \forall k,t \qquad (۱۷)$$

$$z_j \le \sum_t y_{jt} \qquad \forall j \qquad (۱۸)$$

$$y_{jt} \le z_j \qquad \forall j.t \qquad (۱۹)$$

$$y_{jt} . z_j \in \{0.1\} \qquad \forall j.t \qquad (۲۰)$$

$$x_{ijt} . p_{kt} . s_{klt} . If_{klt}^3 . If_{kt}^2 . Ir_{it}^2 \ge 0 \quad \forall i.j \in s^i.k \qquad (۲۱)$$

محدودیت (۱۶) تضمین می‌کند که اگر در دوره‌ی t به تأمین‌کننده‌ی j سفارشی داده شود (یعنی $y_{jt} = 1$)، مقدار سفارش هر ماده‌ی i، (x_{ijt}) به‌وسیله‌ی حد بالایش محدود خواهد شد که از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

$$ub_{ijt}^1 = min\left(\frac{cap_{jt}^{1u}}{a_{ij}^{1l}} . \sum_{h=t}^{T}\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L} b_{ik} d_{klh}^u\right) \quad \forall i.j \in s^i.t. \qquad (۲۲)$$

محدودیت (۱۷) مقدار تولید داروی نهایی k در دوره‌ی t را به حد بالایش که از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید، محدود می‌کند.

$$ub_{kt}^2 = \min\left(\frac{cap_t^{2u}}{a_k^{2l}}, \sum_{h=t}^{T}\sum_{l=1}^{l} d_{klh}^u\right) \qquad \forall k,t \qquad (۲۳)$$

۴-۳- تعیین امتیاز تأمین‌کنندگان در عمل به قوانین محیط زیستی

عملکرد تأمین‌کنندگان با در نظر گرفتن معیارهای اقتصادی و همچنین معیارهای اجتماعی و محیط زیستی مرتبط با صنعت داروسازی، مانند میزان مواد مخدر و میزان داروهای گیاهی مورد استفاده در تولید مواد اولیه دارویی مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای تعیین امتیاز تأمین‌کنندگان در عمل به قوانین محیط زیستی، از تکنیک AHP استفاده می‌شود. بدین منظور، به کمک پرسشنامه AHP، از مدیران و کارشناسان شرکت نظرخواهی می‌شود. سپس داده‌های مندرج در پرسشنامه‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای Excel و Expert Choice تجزیه‌وتحلیل می‌شوند که در نتیجه، یک نرخ ناسازگاری به‌دست می‌آید. اگر نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشد، اوزان به‌دست آمده قابل‌اعتماد هستند [۲۷] (پیوست را ببینید).

۵- روش برنامه‌ریزی امکانی استوار

استواری مدل، یکی از مباحث بسیار مهمی است که در اخلاق، مدل‌سازی و تحقیق در عملیات مطرح می‌باشد. در حقیقت، اگر مدل‌ها استوار باشند، خطر به‌کارگیری اشتباه یا استفاده غلط از آنها بسیار کمتر خواهد شد. استواری به این معنی است که خروجی مدل نباید حساسیت بالا به مقادیر دقیق پارامترها و ورودی‌های مدل داشته باشد[۲۸]. بهینه‌سازی استوار به مدل‌سازی مسائل مربوط به بهینه‌سازی در شرایطی اطلاق می‌گردد که عدم اطمینان داده‌ها مطرح باشد و به جوابی برسیم که در مورد همه یا اکثر پارامترهای نامطمئن، خوب باشد. بهینه‌سازی استوار می‌تواند به‌عنوان یک گزینه مکمل برای تحلیل حساسیت و برنامه‌ریزی احتمالی مطرح باشد. روش مذکور در این بخش شرح داده می‌شود.

به‌طور کلی عدم قطعیت به دو دسته قابل طبقه‌بندی می‌باشد. اولین دسته مرتبط با تغییرپذیری و انعطاف موجود در مقدار تابع هدف و محدودیت‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر، حدود تابع هدف و محدودیت‌ها در این خالت غیرقطعی و مبهم می‌باشند. رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی انعطاف‌پذیر که از مجموعه‌های فازی مبتنی بر ترجیح استفاده می‌کند، برای مقابله با این نوع از عدم قطعیت مورد استفاده قرار می‌گیرد. نوع دوم عدم قطعیت مرتبط با فقدان داده و یا دانش در مورد مقدار دقیق پارامترهای ورودی مساله می‌باشد. از این رو، رویکردهای برنامه‌ریزی امکانی استفاده گردیده‌اند تا با این نوع از عدم قطعیت مواجهه گردند. لازم به ذکر است که پارامترهای غیرقطعی توسط توابع امکانی مقتضی مانند تابع امکانی مثلثی و یا ذوزنقه‌ای، بر اساس داده‌های ناکافی موجود و یا دانش و تجربه تصمیم‌گیرندگان قابل مدل‌سازی می‌باشند. از آنجایی که مساله‌ی برنامه‌ریزی اصلی زنجیره‌تأمین داروی یکپارچه پارامترها حالت مبهم و غیرقطعی دارند، مدل ارائه شده به دسته برنامه‌ریزی امکانی تعلق دارد. به‌واسطه‌ی طبیعت پویای چیره بر صنایع، عدم ثبات روندها و عدم وجود داده‌ی کافی در مورد پارامترهای مدل، مشخص نمودن مقدار دقیق پارامترها امری بسیار دشوار و در بعضی از موارد غیرممکن می‌باشد. بر طبق این امر، اهمیت این موضوع بسیاری از محققین را به تمرکز بر توسعه‌ی رویکردهای برنامه‌ریزی امکانی کارا برای غلبه بر مشکل مطروحه سوق داده است. برنامه‌ریزی امکانی و بهینه‌سازی استوار دو رویکرد برخورد با عدم قطعیت می‌باشند و برنامه‌ریزی امکانی استوار یک رویکرد ترکیبی برخورد با عدم قطعیت می‌باشد. دلیل ترکیب رویکردهای برنامه‌ریزی امکانی و بهینه‌سازی استوار این می‌باشد که:

۱. در برنامه‌ریزی امکانی سطح اطمینان ارضای محدودیت‌ها به‌صورت یک پارامتر می‌باشد و توسط تصمیم‌گیر تعیین می‌شود و این موجب می‌شود سطح اطمینان تعیین‌شده بهینه نباشد، ولی در مدل استوار به‌دلیل اینکه سطح اطمینان توسط خود مدل تعیین می‌شود، مقدار آن بهینه است.

www.SID.ir

Archive of SID

۲. در مدل برنامه‌ریزی امکانی توجه چندانی به استواری شدنی بودن و استواری بهینگی بودن نمی‌شود ولی در بهینه‌سازی استوار جواب نهایی دارای استواری بهینه بودن و استواری شدنی بودن است.
۳. عدم توجه به انحرافات تابع هدف به واسطه عدم قطعیت پارامترها می‌تواند سبب هزینه‌های سنگین و جبران‌ناپذیری برای مدیران و سازمان گردد. در صورتی که در برنامه‌ریزی امکانی به این امر توجه چندانی نمی‌شود.

از این‌رو از یک مدل برنامه‌ریزی امکانی جدید استفاده شده است که بهینگی سطوح اطمینان انتخاب شده برای پارامترها در شرایط عدم قطعیت را تضمین نماید.

در این پژوهش نیز از روش برنامه‌ریزی امکانی توسعه داده شده توسط پیشوایی و ترابی[۲۹]، در توسعه‌ی برنامه‌ریزی امکانی استوار بهره گرفته شده است. قابل ذکر است که نتایج و تصمیمات خروجی روش برنامه‌ریزی امکانی همواره قابل اطمینان نیستند[۱۹]. علت این امر نیز این است که انحرافات محتمل از مقدار متوسط تابع هدف و همچنین، تجاوز از حدود محدودیت‌ها و در نتیجه نشدنی شدن محدودیت‌هایی که در برگیرنده پارامترهای غیرقطعی هستند، می‌تواند منجر به ضررهای بزرگی برای سازمان گردد که عامل آن تصمیمات نامناسب اتخاذ شده می‌باشد. علاوه بر این با توجه به اینکه سطح اطمینان محدودیت‌های دربرگیرنده پارامترهای غیرقطعی، توسط تصمیم‌گیرندگان به‌صورت فعل و انفعالی مشخص می‌گردد، هیچ‌گونه تضمینی وجود ندارد که مقدار سطح اطمینان بهینه توسط تصمیم‌گیرندگان انتخاب شده است. از سوی دیگر افزایش چنین محدودیت‌هایی نیازمند اجرای تعداد زیادی آزمایش زمان‌بر به‌صورت فعل و انفعالی می‌باشد تا مقدار مناسب سطوح اطمینان مشخص گردد. روش برنامه‌ریزی امکانی استوار که به دنبال ایجاد روش‌های ریسک‌گریز برای مقابله با عدم قطعیت‌ها در مسائل بهینه‌سازی هستند، می‌توانند ایرادات موجود در روش برنامه‌ریزی امکانی مطروحه را رفع نمایند. حل این مشکل با استفاده از دو عامل استواری شدنی بودن و استواری بهینگی امکان‌پذیر می‌گردد. استواری شدنی بودن بدین معناست که جواب یک مساله بهینه‌سازی باید برای اغلب تمامی مقادیر پارامترهای غیرقطعی شدنی باقی بماند. استواری بهینگی نیز بدین معناست که مقدار تابع هدف برای جواب باید اغلب برای تمامی پارامترهای غیرقطعی نزدیک به مقدار بهینه‌ی تابع هدف باقی بماند. با توجه به موارد ذکرشده در این پژوهش، یک مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار با به‌کارگیری روش برنامه‌ریزی امکانی پیشوایی و همکاران[۱۹]، و روش رتبه‌بندی اعداد فازی خیمنز و همکاران[۳۰]، توسعه داده شده است. لازم به ذکر است که مدل استوار پیشنهادی در این پژوهش بر اساس یک رویکرد جدید از مدل‌های استوار، تحت عنوان مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار می‌باشد که در سال ۲۰۱۲ توسط پیشوایی،رزمی و ترابی ارائه شده است. این رویکرد متفاوت از روش‌های بن‌تال، سویستر و سایر رویکردهای بهینه‌سازی استوار می‌باشد.

همچنین لازم به ذکر می‌باشد که پیشوایی و همکاران [۱۹] از رویکرد برنامه‌ریزی امکانی استوار برای طراحی شبکه زنجیره‌تأمین با در نظر گرفتن مسئولیت اجتماعی استفاده نموده‌اند در حالی که مدل پیشنهادی در این پژوهش یک مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار می‌باشد که تصمیمات تاکتیکی و انتخاب تأمین‌کننده را به‌صورت یکپارچه و هماهنگ در زنجیره تأمین دارو اتخاذ می‌کند. در واقع نوآوری این تحقیق ارائه یک مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار دو هدفه برای اتخاذ تصمیمات برنامه‌ریزی تاکتیکی و انتخاب تأمین‌کننده (با در نظر گرفتن معیارهای اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی) در زنجیره تأمین دارو می‌باشد.

۵-۱-فرموله‌سازی مدل برنامه‌ریزی امکانی

به‌منظور سهولت در فرموله نمودن مدل برنامه‌ریزی امکانی و برنامه‌ریزی امکانی استوار، فرم فشرده شده‌ی مدل برنامه‌ریزی اصلی زنجیره‌تأمین داروی یکپارچه به صورت زیر ارائه می‌گردد.

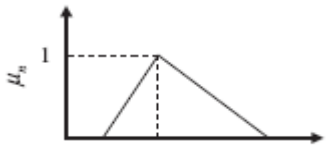
(۲۴)

$$
\begin{aligned}
&Min\ z1 = cx + fy\\
&Max\ z2 = tx\\
&s.b.\\
&Ax + Rir2 = Bp\\
&Ux \le cap1\\
&Ep \le cap2\\
&x \le p\\
&p \le s\\
&s \le d\\
&p - if2 = s\\
&s - if3 = d\\
&V1ir2 \le w1\\
&V2if2 \le w2\\
&V2if3 \le w3\\
&y \le z\\
&y, z[\in \{0,1\}, x, ir2, if2, if3, s, p \ge 0
\end{aligned}
$$

در مدل فشرده شده، بردار f مرتبط با هزینه ثابت سفارش‌دهی می‌باشد. بردار c مربوط به هزینه‌ی متغیر تولید، هزینه‌ی خرید مواد اولیه، هزینه‌ی خرید داروی نهایی و هزینه‌ی نگهداری در سطوح مختلف زنجیره تأمین می‌باشد. بردارهای $cap1, cap2, w1, w2, w3, d$ و p به ترتیب نمایش‌دهنده‌ی ظرفیت انبار مراکز توزیع، ظرفیت انبار داروهای نهایی تولیدکننده، ظرفیت انبار مواد اولیه‌ی تولیدکننده، ظرفیت تولید تولیدکننده، ظرفیت تولید تأمین‌کننده، تقاضای مشتریان و مقدار تولید هر نوع دارو در هر دوره می‌باشند. $A, R, U, E, V1, V2$ ماتریس‌های ضرایب محدودیت‌ها می‌باشند. در انتها لازم به ذکر است که بردارهای z و y نمایش‌دهنده‌ی متغیرهای صفر و یک می‌باشند. بردارهای c و f پارامترهای غیرقطعی به کار گرفته شده در تابع هدف می‌باشند. بردارهای $cap1, cap2$ و d پارامترهای غیرقطعی در محدودیت‌های مدل فشرده هستند. A, R, U لازم به یادآوری است که به‌منظور مدل نمودن پارامترهای غیرقطعی از تابع امکانی مثلثی بهره گرفته شده است (شکل۱ را ببینید).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۱): تابع امکانی مثلثی پارامتر غیرقطعی $\tilde{N}$

شکل فشرده شده‌ی مدل برنامه‌ریزی امکانی (BPCCP) [۸] به‌صورت زیر قابل نمایش می‌باشد.

$$
\begin{aligned}
&Min\ E(z1) = E(\tilde{c})x + E(\tilde{f})y \\
&MaxE(z2) = E(\tilde{t})x \\
&s.b. \\
&Ax + Rir2 = Bp \\
&Nec\{Ux \le cap1\} \ge \alpha_1 \\
&Nec\{Ux \ge cap1.ur.y\} \ge \alpha_2 \\
&Nec\{Ep \le cap2\} \ge \alpha_3 \qquad (۲۵) \\
&p - if2 = s \\
&Nec\{s - if3 = d\} \ge \alpha_4 \\
&Nec\{d \ge s\} \ge \alpha_5 \\
&V1ir2 \le w1 \\
&V2if2 \le w2 \\
&V2if3 \le w3 \\
&y \le z \\
&y, z \in \{0,1\}, x, ir2, if2, if3, s, p \ge 0
\end{aligned}
$$

با توجه به روش رتبه‌بندی اعداد فازی خیمنز و همکاران [۳۰]، اگر g یک عدد حقیقی و $\tilde{r} = (r_1, r_2, r_3)$ یک عدد فازی مثلثی باشد، آنگاه خواهیم داشت:

$$Nec\{\tilde{r} \le g\} \ge \alpha \leftrightarrow g \ge (1-\alpha)r_2 + \alpha r_3 \qquad (۲۶)$$

$$Nec\{\tilde{r} \ge g\} \ge \alpha \leftrightarrow g \le \alpha r_1 + (1-\alpha)r_2 \qquad (۲۷)$$

$$Nec\{\tilde{r} = g\} \ge \alpha \leftrightarrow \begin{cases} g \le \frac{\alpha}{2} r_2 + \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) r_3 \\ g \ge \frac{\alpha}{2} r_2 + \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) r_1 \end{cases} \qquad (۲۸)$$

با توجه به روابط ذکر شده در (۲۶)، (۲۷) و (۲۸) محدودیت‌های فازی مدل (۲۵) به حالت قطعی تبدیل می‌شوند و مدل برنامه‌ریزی امکانی پیشنهادی به صورت زیر ارائه می‌گردد:

$$
\begin{aligned}
&Min\ E(z1) = \left(\tfrac{c_l + 2c_m + c_u}{4}\right)x + \left(\tfrac{f_l + 2f_m + f_u}{4}\right)y \qquad (۲۹) \\
&Max\ E(z2) = \left(\tfrac{t_l + 2t_m + t_u}{4}\right)x \\
&s.t. \\
&Ax + Rir2 = Bp \\
&(\alpha_1.u_u + (1-\alpha_1).u_m)x \le \alpha_1.cap1_l + (1-\alpha_1).cap1_m \\
&(\alpha_2.u_u + (1-\alpha_2).u_m)x \\
&\qquad \ge (\alpha_2.cap1_u + (1-\alpha_2).cap1_m).ur.y \\
&(\alpha_3.E_u + (1-\alpha_3).E_m)p \\
&\qquad \le \alpha_3.cap2_l + (1-\alpha_3).cap2_m \\
&s \le \alpha d_l + (1-\alpha)d_m \\
&x \le p \\
&p \le s \\
&p - if2 = s \\
&s - if3 \le \left(1 - \tfrac{\alpha_4}{2}\right).d_u + \tfrac{\alpha_4}{2}.d_m \\
&s - if3 \ge \left(1 - \tfrac{\alpha_4}{2}\right).d_l + \tfrac{\alpha_4}{2}.d_m \\
&if3 \ge (1-\alpha_5).ss_l + \alpha_5.ss_m \\
&V1ir2 \le w1 \\
&V2if2 \le w2 \\
&V2if3 \le w3 \\
&y \le z \\
&y, z \in \{0,1\}, x, ir2, if2, if3, s, p \ge 0
\end{aligned}
$$

سه ایراد اساسی در این رویکرد وجود دارد. اولاً افزایش تعداد محدودیت‌هایی که در برگیرنده پارامترهای غیرقطعی هستند سبب افزایش قابل توجه تعداد آزمایش‌های مورد نیاز برای دستیابی به سطوح اطمینان مناسب توسط تصمیم‌گیرندگان می‌گردد. از این رو، این امر سبب افزایش زمان صرف شده برای یافتن مقدار مطلوب سطوح اطمینان می‌گردد. همچنین به‌عنوان دومین نقص نیز این عامل مطرح است که هیچ‌گونه تضمینی وجود ندارد که سطوح اطمینان نهایی انتخاب شده بهینه باشند. نکته سوم نیز انحرافات محتمل در محدودیت‌هایی که در برگیرنده پارامترهای غیرقطعی هستند می‌باشد و نتیجه این عامل این است که می‌تواند سبب نشدنی شدن محدودیت‌ها گردد که یک مساله مهم می‌باشد و در این روش در نظر گرفته نشده است که می‌تواند منجر به ضررهای بزرگی برای سازمان در نتیجه تصمیمات نادرست گردد. برای رفع ایرادات مذکور، در بخش بعد، یک مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار توسعه داده شده است.

۵-۲- مدل برنامه ریزی امکانی استوار پیشنهادی

اگر یک مدل برنامه‌ریزی امکانی به‌صورت زیر داشته باشیم:

$$
\begin{aligned}
\min\ & E[z] = \left(\frac{f_1 + 2f_2 + f_3}{4}\right)y \\
& \quad + \left(\frac{c_1 + 2c_2 + c_3}{4}\right)x \\
\text{s.t.}\quad & Ax \ge (1-\alpha)d_3 + \alpha d_4, \qquad (۳۰) \\
& Bx = 0, \\
& Sx \le [(1-\beta)N_2 + \beta N_1]y, \\
& Tx \le 1, \\
& y \in \{0,1\},\ x \ge 0.
\end{aligned}
$$

برای تبدیل این مدل به مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار خواهیم داشت [۱۹]:

$$
\begin{aligned}
&\min E[z] + \gamma(z_{max} - E[z]) \\
&\qquad + \delta[d_4 - (1-\alpha)d_3 + \alpha d_4] \\
&+\pi[\beta N_1 + (1-\beta)N_2 - N_1]y \\
&\text{s.t. .}\quad Ax \ge (1-\alpha)d_3 + \alpha d_4, \qquad (۳۱) \\
&\quad Bx = 0 \\
&\quad Sx \le [(1-\beta)N_2 + \beta N_1]y \\
&\quad Tx \le 1 \\
&\quad y \in \{0,1\},\ x \ge 0,\quad 0.5 \le \alpha, \beta \le 1
\end{aligned}
$$

z_{max} به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$z_{max} = f_4 y + c_4 x \qquad (۳۲)$$

مدل (۳۱) یک مدل غیرخطی می‌باشد. برای تبدیل این مدل به مدل خطی متغیر کمکی V به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$v = \beta.y \qquad (۳۳)$$

سپس مدل غیرخطی ارائه شده به صورت زیر به حالت خطی تبدیل می‌شود [۱۹]:

$$
\begin{aligned}
&\min E[z] + \gamma(z_{max} - E[z]) \\
&\qquad + \delta[d_4 - (1-\alpha)d_3 + \alpha d_4] \\
&+\pi[vN_1 + (y-v)N_2 - N_1 y] \qquad (۳۴) \\
&\text{s.t. .}\quad Ax \ge (1-\alpha)d_3 + \alpha d_4
\end{aligned}
$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$Bx = 0$$
$$Sx \le [(y - v)N_2 + vN_1]$$
$$v \le My$$
$$v \ge M(y-1) + \beta$$
$$v \le \beta$$
$$Tx \le 1$$
$$y \in \{0,1\},\ x, v \ge 0,\quad 0.5 \le \alpha, \beta \le 1$$

با توجه به توضیحات داده شده و با بهره‌گیری از مدل (۳۴) مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار برنامه‌ریزی اصلی زنجیره‌تأمین دارو به صورت زیر قابل ارائه می‌باشد.

$$\min E[z1] + \gamma(z1_{max} - E[z1]) +$$
$$\delta_1\left[\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{T}\left(\left(1-\frac{\alpha_1}{2}\right)d_{klt}^{u} + \frac{\alpha_1}{2}d_{klt}^{m} - d_{klt}^{l}\right)\right] +$$
$$\delta_1\left[\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{T}\left(d_{klt}^{u} - \left(1-\frac{\alpha_1}{2}\right)d_{klt}^{l} - \frac{\alpha_1}{2}d_{klt}^{m}\right)\right] +$$
$$\delta_1\left[\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{T}\left(d_{klt}^{u} - \left(1-\frac{\alpha_1}{2}\right)d_{klt}^{l} - \frac{\alpha_1}{2}d_{klt}^{m}\right)\right]$$
$$+\delta_2\left[\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{T}(ss_{klt}^{u} - (1-\alpha_2)ss_{klt}^{m} - \alpha_2 ss_{klt}^{u})\right]$$
$$+\delta_3\left[\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}\left((1-\alpha_3)cap_{jt}^{1m} + \alpha_3 cap_{jt}^{1l} - cap_{jt}^{1l}\right)\right]$$
$$+\delta_3\left[\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}(a_{ij}^{1u} - (1-\alpha_3)a_{ij}^{1m} - \alpha_3 a_{ij}^{1u})x_{ijt}\right]$$
$$+\delta_4\left[\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}\left(cap_{jt}^{1u} - (1-\alpha_4)cap_{jt}^{1m} - \alpha_4 cap_{jt}^{1u}\right)ur_{jt}y_{jt}\right]$$
$$+\delta_4\left[\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}\left((1-\alpha_4)a_{ij}^{1m} + \alpha_4 a_{ij}^{1l} - a_{ij}^{1l}\right)x_{ijt}\right]$$
$$+\delta_5\left[\sum_{t=1}^{T}\left((1-\alpha_5)cap_{t}^{2m} + \alpha_5 cap_{t}^{2l} - cap_{t}^{2l}\right)\right]$$
$$+\delta_5\left[\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}(a_{k}^{2u} - (1-\alpha_5)a_{k}^{2m} - \alpha_5 a_{k}^{2u})\,p_{kt}\right]$$
$$+\delta_6\left[\sum_{k}^{K}\sum_{l}^{L}\sum_{t}^{T}(d_{klt}^{l} - \alpha d_{klt}^{l} - (1-\alpha)d_{klt}^{m})\right]$$
$$max E[z2] - \varphi(E[z2] - z2_{min})$$
$$s.t.$$
$$if_{kl,t-1}^{3} + s_{klt} - if_{klt}^{3} \le \left(1-\frac{\alpha_1}{2}\right)d_{klt}^{u} + \frac{\alpha_1}{2}d_{klt}^{m} \quad \forall\, k,l,t \qquad (۳۵)$$
$$if_{kl,t-1}^{3} + s_{klt} - if_{klt}^{3} \ge \left(1-\frac{\alpha_1}{2}\right)d_{klt}^{l} + \frac{\alpha_1}{2}d_{klt}^{m} \quad \forall\, k,l,t \qquad (۳۶)$$
$$if_{klt}^{3} \ge (1-\alpha_2)ss_{klt}^{m} + \alpha_2 ss_{klt}^{u} \quad \forall\, k,l,t \qquad (۳۷)$$
$$\sum_{i=1}^{I}\left((1-\alpha_3)a_{ij}^{1m} + \alpha_3 a_{ij}^{1u}\right)x_{ijt} \le \left((1-\alpha_3)cap_{jt}^{1m} + \alpha_3 cap_{jt}^{1l}\right) \quad \forall\, j,t \qquad (۳۸)$$
$$\sum_{i=1}^{I}\left((1-\alpha_4)a_{ij}^{1m} + \alpha_4 a_{ij}^{1l}\right)x_{ijt} \ge \left((1-\alpha_4)cap_{jt}^{1m} + \alpha_4 cap_{jt}^{1u}\right)ur_{jt}y_{jt} \quad \forall\, j,t \qquad (۳۹)$$
$$\sum_{k=1}^{K}\left((1-\alpha_5)a_{k}^{2m} + \alpha_5 a_{k}^{2u}\right)p_{kt} \le \left((1-\alpha_5)cap_{t}^{2m} + \alpha_5 cap_{t}^{2l}\right) \quad \forall\, t \qquad (۴۰)$$
$$\sum_{t=1}^{\min(t+Ep_k-1,T)}(\alpha d_{klt}^{l} - (1-\alpha)d_{klt}^{m}) \ge \sum_{t=1}^{t} s_{klt} \quad \forall k,l,t \ne T \qquad (۴۱)$$
$$0.5 \le \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5 \le 1 \qquad (۴۲)$$

محدودیت (۳) ، (۴)، (۷)، (۸) و محدودیت‌های (۲۱) - (۱۳) مدل اولیه‌ی برنامه‌ریزی اصلی زنجیره‌تأمین دارو بدون تغییر در مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار این مسئله نیز تکرار می‌شوند.

$z1_{max}$ از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید.

$$z1_{max} = \sum_{j=1}^{J} slc_j^u.z_j + \sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{J} olc_{jt}^u.y_{jt} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{J}\sum_{i\in p^j}^{I}(c_{ijt} + aulc_{ijt}^u).x_{ijt} + \sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} hr_{it}^{2u}.Ir_{it}^2 + \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K}(pc_{kt}^l.p_{kt} + hf_{kt}^{2l}.If_{kt}^2) + \sum_{t=1}^{T}\sum_{l=1}^{L}\sum_{k=1}^{K}(tc_{klt}^u.s_{klt} + hf_{klt}^{3u}) \qquad (43)$$

$E[z1]$ از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید.

$$E[z1] = \sum_{j=1}^{J}\left(\frac{slc_j^l + 2slc_j^m + slc_j^u}{4}\right)z_j + \sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{J}\left(\frac{olc_{jt}^l + 2olc_{jt}^m + olc_{jt}^u}{4}\right)y_{jt} + \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}\left(c_{ijt} + \left(\frac{aulc_{ijt}^l + 2aulc_{ijt}^m + aulc_{ijt}^u}{4}\right)\right)x_{ijt} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I}\left(\frac{hr_{it}^{2l} + 2hr_{it}^{2m} + hr_{it}^{2u}}{4}\right)Ir_{it}^2 + \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K}\left(\left(\frac{pc_{kt}^l + 2pc_{kt}^m + pc_{kt}^u}{4}\right)p_{kt} + \left(\frac{hf_{kt}^{2l} + 2hf_{kt}^{2m} + hf_{kt}^{2u}}{4}\right)If_{kt}^2\right) \qquad (۴۴)$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$+\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{T}\left(\left(\frac{tc_{klt}^{l}+2tc_{klt}^{m}+tc_{klt}^{u}}{4}\right)s_{klt}+\left(\frac{hf_{klt}^{3l}+2hf_{klt}^{3m}+hf_{klt}^{3u}}{4}\right)If_{klt}^{3}\right)$$

$E[z2]$ از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید.

$$E[z2]=\lambda_1\left(\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}\left(\frac{sl_j^l+2sl_j^m+sl_j^u}{4}\right)x_{ijt}\right)+\lambda_2\left(\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}\left(\frac{E_j^l+2E_j^m+E_j^u}{4}\right)x_{ijt}\right)+\lambda_3\left(\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}\left(\frac{q_j^l+2q_j^m+q_j^u}{4}\right)x_{ijt}\right) \quad (۴۵)$$

$z2_{min}$ از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید.

$$z2_{min}=\lambda_1\left(\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}(sl_j^l)\,x_{ijt}\right)+\lambda_2\left(\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}(E_j^l)\,x_{ijt}\right)+\lambda_3\left(\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}(q_j^l)\,x_{ijt}\right)$$

$$z2_{min}=\lambda_1\left(\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}(sl_j^l)\,x_{ijt}\right)+\lambda_2\left(\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}(E_j^l)\,x_{ijt}\right)+\lambda_3\left(\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}(q_j^l)\,x_{ijt}\right) \quad (۴۶)$$

مشابه مدل برنامه‌ریزی امکانی، اولین عبارت تابع هدف متمرکز بر کمینه‌سازی میانگین کل هزینه‌ی لجستیک می‌باشد. عبارت دوم مرتبط با استواری بهینگی می‌باشد که فاصله‌ی بین حداکثر مقدار ممکن $z1$ (تابع هدف اول) و میانگین آن را کمینه می‌نماید. به عبارت دیگر، عبارت دوم برکم کردن انحرافات بالای مقدار میانگین تابع هدف اول متمرکز است که چیرگی آن نسبت به سایر عبارات تابع هدف توسط پارامتر γ که در مدل به‌کار گرفته شده است، مشخص می‌گردد. لازم به ذکر است که در مسئله‌ی مورد بحث انحرافات پایین مقدار متوسط $z1$ در نظر گرفته نشده است. علت این امر این است که انحرافات زیر مقدار تابع هدف سبب کاهش هزینه‌ها می‌گردد و برای تصمیم‌گیران مطلوب می‌باشد و نیازی به مطرح نمودن آن در تابع هدف نمی‌باشد. سایر عبارات باقیمانده مرتبط با استواری شدنی بودن می‌باشد. در عبارات باقیمانده، با توجه به مقدار محتمل تجاوز در محدودیت‌هایی که در برگیرنده‌ی پارامترهای غیرقطعی هستند، مقدار جریمه مرتبط با آنها محاسبه شده است. این عبارت به مدل کمک می‌کند تا مقدار سطح اطمینان محدودیت‌ها بهینه گردد و نیاز به آزمایش‌های متعدد و وقت‌گیر برای تعیین سطوح اطمینان که در مدل‌های قدیمی برنامه‌ریزی امکانی وجود داشت، از بین برود. همچنین در این روش با توجه به عبارات ذکر شده، بهینگی سطوح اطمینان تضمین می‌گردد.

۵-۳- خطی‌سازی

علاوه‌بر تمامی موارد ذکر شده، ذکر این نکته ضروری است که مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار پیشنهادی غیرخطی می‌باشد. چرا که ضریب متغیرها در محدودیت‌های (۳۸)، (۳۹) و (۴۰) منجر به غیرخطی شدن مدل گردیده است و البته پیچیدگی مدل را نیز افزایش داده است. گرچه با استفاده از متغیرهای کمکی و با به‌کارگیری تعدادی محدودیت اضافی، مدل مستخرج می‌تواند به مدل خطی تبدیل گردد.

۵-۳-۱- ضرب یک متغیر صفر و یک در یک متغیر پیوسته

اگر یک متغیر پیوسته‌ی a و یک متغیر صفر و یکی y داشته باشیم برای خطی‌سازی حاصل ضرب این دو متغیر یک متغیر کمکی v به‌گونه‌ای تعریف می‌کنیم که داشته باشیم:

$$v=y.a \quad (۴۷)$$

برای خطی‌سازی مدل به ازای هر محدودیت غیرخطی سه محدودیت به‌صورت زیر به مدل اضافه می‌گردد [۳۱].

$$\mathrm{v}\le \mathrm{My} \quad (۴۸)$$

$$\mathrm{v}\le \mathrm{a} \quad (۴۹)$$

$$\mathrm{v}\ge \mathrm{a}-\mathrm{M}(1-y) \quad (۵۰)$$

سه محدودیت اضافه‌شده به مدل تضمین می‌کنند که اگر y صفر باشد، متغیر کمکی v مساوی صفر خواهد بود. در غیر این صورت، اگر y مساوی یک باشد، متغیر کمکی v مساوی a خواهد بود. قابل ذکر است که پارامتر M یک عدد بزرگ مناسب می‌باشد.

۵-۳-۲- ضرب یک متغیر عدد صحیح در یک متغیر پیوسته

اگر یک متغیر پیوسته‌ی x $(o\le x\le a)$ و یک متغیر عدد صحیح y $(0\le y\le b)$ داشته باشیم برای خطی سازی حاصل‌ضرب این دو متغیر یک متغیر کمکی w به‌گونه‌ای تعریف می‌کنیم که داشته باشیم:

$$w=x.y \quad (۵۱)$$

برای خطی‌سازی مدل به ازای هر محدودیت غیرخطی سه محدودیت به‌صورت زیر به مدل اضافه می‌گردد[۳۱].

$$w\le bx \quad (۵۲)$$

$$w\le ay \quad (۵۳)$$

$$w\ge bx+ay-ab \quad (۵۴)$$

سه محدودیت اضافه شده به مدل تضمین می‌کند که اگر x و y دارای بیشترین مقدار خود باشند، آنگاه w مساوی ab خواهد بود. اگر یکی از دو متغیر x یا y دارای بیشترین مقدار خود باشد، آنگاه متغیر کمکی w برابر ay یا bx خواهد بود. در غیر این صورت مقدار متغیر کمکی w، بین صفر و ab خواهد بود.

۵-۳-۳- مدل خطی برنامه‌ریزی امکانی استوار پیشنهادی

با توجه به نکات ذکر شده، طرف راست محدودیت (۳۹) با استفاده از روش پیشوایی و همکاران [۱۹]، و سایر عبارات غیرخطی با استفاده از روش گاپتی و همکاران [۳۱]، خطی‌سازی شده‌اند. از این

www.SID.ir

Archive of SID

رو متغیرهای کمکی $w_{ijt}^1, w_{jt}^2, w_{ijt}^3, w_{kt}^4$ به‌صورت زیر تعریف شده‌اند.

$$w_{ijt}^1 = \alpha_3 x_{ijt} \quad (۵۵)$$

$$w_{jt}^2 = \alpha_4 y_{jt} \quad (۵۶)$$

$$w_{ijt}^3 = \alpha_4 x_{ijt} \quad (۵۷)$$

$$w_{kt}^4 = \alpha_5 p_{kt} \quad (۵۸)$$

براساس موارد ذکر شده، مدل خطی برنامه‌ریزی امکانی استوار به صورت زیر ارائه می‌گردد.

$$\begin{aligned}
&\min E[z1] + \gamma(z1_{max} - E[z1]) + \\
&+\delta_1\left[\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{T}\left(\left(1-\frac{\alpha_1}{2}\right)d_{klt}^u + \frac{\alpha_1}{2}d_{klt}^m - d_{klt}^l\right)\right] \\
&+ \\
&\delta_1\left[\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{T}\left(d_{klt}^u - \left(1-\frac{\alpha_1}{2}\right)d_{klt}^l - \frac{\alpha_1}{2}d_{klt}^m\right)\right] \\
&+\delta_1\left[\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{T}\left(d_{klt}^u - \left(1-\frac{\alpha_1}{2}\right)d_{klt}^l - \frac{\alpha_1}{2}d_{klt}^m\right)\right] \\
&+\delta_2\left[\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{T}(ss_{klt}^u - (1-\alpha_2)ss_{klt}^m - \alpha_2 ss_{klt}^u)\right] \\
&+\delta_3\left[\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}\left((1-\alpha_3)cap_{jt}^{1m} + \alpha_3 cap_{jt}^{1l} - cap_{jt}^{1l}\right)\right] \\
&+\delta_3\left[\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{K}\left((a_{ij}^{1u} - a_{ij}^{1m})x_{ijt}\right.\right. \\
&\qquad\left.\left.+ w_{ijt}^1(a_{ij}^{1m} - a_{ij}^{1u})\right)\right] \\
&+\delta_4\left[\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}\left(y_{jt}(cap_{jt}^{1u} - cap_{jt}^{1m})\right.\right. \\
&\qquad\left.\left.+ w_{jt}^2(cap_{jt}^{1m} - cap_{jt}^{1u})\right)ur_{jt}\right] \\
&+\delta_4\left[\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{K}\left((a_{ij}^{1m} - a_{ij}^{1l})x_{ijt}\right.\right. \\
&\qquad\left.\left.+ w_{ijt}^3(a_{ij}^{1l} - a_{ij}^{1m})\right)\right] \\
&+\delta_5\left[\sum_{t=1}^{T}\left((1-\alpha_5)cap_t^{2m} + \alpha_5 cap_t^{2l} - cap_t^{2l}\right)\right] + \\
&\delta_5\left[\sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K}\left(p_{kt}(a_k^{2u} - a_k^{2m}) + w_{kt}^4(a_k^{2m} - a_k^{2u})\right)\right]
\end{aligned} \quad (۵۹)$$

$$\begin{aligned}
&\sum_{i=1}^{I}\left(x_{ijt} + w_{ijt}^1(a_{ij}^{1u} - a_{ij}^{1m})\right) \\
&\qquad \le cap_{jt}^{1m}(1-\alpha_3) \\
&\qquad + \alpha_3 cap_{jt}^{1l} \quad \forall j,t
\end{aligned} \quad (۶۰)$$

$$\begin{aligned}
&\sum_{i=1}^{I}\left((a_{ij}^{1l} - a_{ij}^{1m})w_{ijt}^3 + a_{ij}^{1m}x_{ijt}\right) \\
&\qquad \ge ur_{jt}\left(y_{jt}cap_{jt}^{1m}\right. \\
&\qquad \left. + w_{jt}^2(cap_{jt}^{1u} - cap_{jt}^{1m})\right) \quad \forall j,t
\end{aligned} \quad (۶۱)$$

$$\begin{aligned}
&\sum_{k=1}^{K}\left(p_{kt}a_k^{2m} + w_{kt}^4(a_k^{2u} - a_k^{2m})\right) \\
&\qquad \le (1-\alpha_5)cap_t^{2m} \\
&\qquad + \alpha_5 cap_t^{2l} \quad \forall t
\end{aligned} \quad (۶۲)$$

$$\sum_{t=1}^{\min(t+Ep_k-1,T)}(\alpha d_{klt}^l - (1-\alpha)d_{klt}^m) \ge \sum_{t=1}^{t} s_{klt} \quad \forall k,l,t \ne T \quad (۶۳)$$

$$w_{jt}^2 \le My_{jt} \quad \forall j,t \quad (۶۴)$$

$$w_{jt}^2 \ge \alpha_4 - M(1-y_{jt}) \quad \forall j,t \quad (۶۵)$$

$$w_{jt}^2 \le \alpha_4 \quad \forall j,t \quad (۶۶)$$

$$w_{ijt}^1 \le x_{ijt} \quad \forall i,j,t \quad (۶۷)$$

$$w_{ijt}^1 \le ub_{ijt}^1\alpha_3 \quad \forall i,j,t \quad (۶۸)$$

$$w_{ijt}^1 \ge x_{ijt} + ub_{ijt}^1\alpha_3 - ub_{ijt}^1 \quad \forall i,j,t \quad (۶۹)$$

$$w_{kt}^4 \le p_{kt} \quad \forall k,t \quad (۷۰)$$

$$w_{kt}^4 \le ub_{kt}^2\alpha_5 \quad \forall k,t \quad (۷۱)$$

$$w_{kt}^4 \ge p_{kt} + ub_{kt}^2\alpha_5 - ub_{kt}^2 \quad \forall k,t \quad (۷۲)$$

$$w_{ijt}^3 \le x_{ijt} \quad \forall i,j,t \quad (۷۳)$$

$$w_{ijt}^3 \le ub_{ijt}^1\alpha_4 \quad \forall i,j,t \quad (۷۴)$$

$$w_{ijt}^3 \ge x_{ijt} + ub_{ijt}^1\alpha_4 - ub_{ijt}^1 \quad \forall i,j,t \quad (۷۵)$$

$$w_{ijt}^1, w_{jt}^2, w_{ijt}^3, w_{kt}^4 \ge 0 \quad \forall i,j,k,t \quad (۷۶)$$

لازم به ذکر است که محدودیت (۵۹)، اجازه نمی‌دهد که تابع هدف دوم از مقدار بهینه‌ی خود کمتر شود. محدودیت‌های (۴۳)، (۳) ، (۴)، (۷)، (۸)، (۲۱) - (۱۳) و (۳۷)- (۳۵) بدون تغییر در مدل بالا تکرار می‌شوند.

۶- تحلیل نتایج مدل پیشنهادی

در این بخش به‌منظور بررسی کارایی مدل پیشنهادی یک مثال عددی ارائه شده است و نتایج مدل‌های برنامه‌ریزی امکانی و برنامه‌ریزی امکانی استوار با هم مقایسه شده‌اند. نخست مثال عددی را با مدل برنامه‌ریزی امکانی حل نموده‌ایم در این مثال یک تولیدکننده‌ی دارو یک نوع دارو که از دو نوع ماده تشکیل می‌شود را تولید می‌کند. دو تأمین‌کننده‌ی بالقوه جهت تأمین مواد اولیه‌ی موردنظر در نظر گرفته شده است. دارو پس از ساخت به دو مرکز توزیع‌کننده‌ی دارو ارسال می‌شود.

فرموله‌سازی زنجیره تشریح شده تعداد زیادی پارامتر قطعی و غیرقطعی را شامل می‌گردد. بنابراین نمایش تمامی پارامترها به‌واسطه‌ی محدودیت فضا امکان‌پذیر نمی‌باشد. در نتیجه، بعضی از پارامترهای غیرقطعی مهم مانند تقاضای مشتریان، ظرفیت مرکز تولید و هزینه‌ی ثابت باز کردن مراکز تأمین و ظرفیت هر یک از مراکز تأمین به‌ترتیب در جداول (۱)،(۲) و (۳) ارائه گردیده است.

جدول (۱): تقاضای مشتریان مراکز توزیع

مرکز توزیع	تقاضا(دوره اول)	تقاضا(دوره دوم)
(۱)	(۹۰،۹۹۵،۱۹۰۰)	(۱۴۰،۹۷۰،۱۸۰۰)
(۲)	(۴۰،۹۴۵،۱۸۵۰)	(۹۰،۹۲۰،۱۷۵۰)

www.SID.ir

Archive of SID

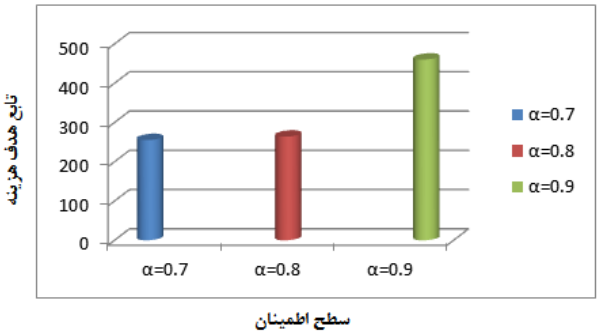
جدول (۲): ظرفیت مرکز تولید

ظرفیت(دوره دوم)	ظرفیت(دوره اول)
(۱۰۰۰،۱۱۰۰،۱۲۰۰)	(۱۸۱۰،۲۸۰۰،۳۷۹۰)

جدول (۳): هزینه‌ی ثابت و ظرفیت مراکز تأمین بالقوه

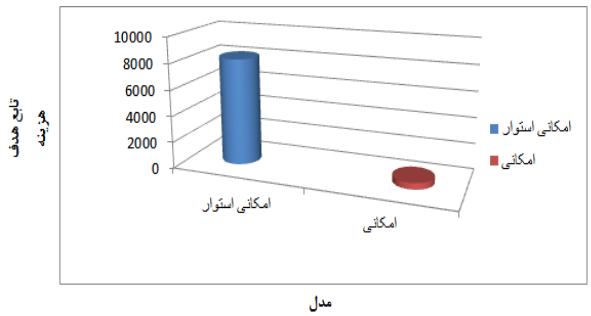
مراکز تأمین بالقوه	هزینه ثابت	ظرفیت(دوره اول)	ظرفیت (دوره دوم)
(۱)	(۹۹۰،۱۰۰۰،۱۱۰۰)	(۲۷۸۱،۲۸۳۱،۲۹۸۱)	(۲۷۸۱،۲۸۳۱،۲۹۸۱)
(۲)	(۱۱۹۰،۱۲۰۰،۱۲۱۰)	(۲۳۷۵،۲۴۲۵،۲۴۷۵)	(۲۷۵۸،۲۸۰۸،۲۸۵۸)

در این بخش، به‌منظور اثبات مناسب بودن مدل پیشنهادی مربوط به برنامه‌ریزی اصلی زنجیره‌تأمین دارو و همچنین، برای بررسی عملکرد مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار پیشنهادی، دو مدل در ابتدا تحت داده‌های اسمی حل شده‌اند. لازم به ذکر است که برای حل مدل دو هدفه برنامه‌ریزی امکانی پیشنهادی نخست با استفاده از روش لکزیکوگرافی مدل با در نظر گرفتن یکی از اهداف حل شده و مقدار بهینه برای آن تابع هدف به‌دست آمده سپس این تابع هدف را در محدودیت قرار داده و مقدار بهینه به‌دست آمده برای آن را به‌عنوان یک حد پایین برایش قرار دادیم (چون هدف ماکسیمم‌سازی این هدف بود)، و مدل را با در نظر گرفتن تابع هدف دوم (مینیمم سازی هزینه‌ی کل زنجیره) حل نمودیم. مدل اولیه‌ی برنامه‌ریزی امکانی با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از سطح اطمینان مختلف بهینه‌سازی شده است (به‌عبارتی ۰,۷، ۰,۸ و ۰,۹). مقدار تابع هدف مدل برنامه‌ریزی امکانی تحت سطوح مختلف اطمینان در شکل (۲) نمایش داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش حداقل درجه‌ی شدنی بودن، منجر به افزایش هزینه‌ها به‌واسطه‌ی مصرف مقدار بیشتری از منابع گردیده است.



شکل (۲): نمایش گرافیکی مقدار تابع هدف مدل قطعی تحت سطوح اطمینان مختلف

تابع هدف دو مدل در شکل (۳) نمایش داده شده است. همانگونه که قابل مشاهده است. تابع هدف مدل برنامه‌ریزی امکانی تحت سطح اطمینان ۰,۹ از مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار تحت جریمه‌ی $\boldsymbol{\delta} = \mathbf{1}$ کمتر می‌باشد. یعنی مقدار تابع هدف مدل برنامه‌ریزی امکانی تحت بیشترین سطح اطمینان از مقدار تابع هدف مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار تحت کمترین سطح جریمه، کمتر می‌باشد.



شکل (۳): نمایش گرافیکی تابع هدف دو مدل

جدول (۴): جریمه‌های مدل

جریمه	۱	۲	۳	۴	۵	۶
δ_1	۱۰	۱۰۰	۱۶۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰
δ_2	۱۰	۱۰۰	۱۶۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰
δ_3	۱۰	۱۰۰	۱۶۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰
δ_4	۱۰	۱۰۰	۱۶۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰
δ_5	۱۰	۱۰۰	۱۶۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰
δ_6	۱۰	۱۰۰	۱۶۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰

به‌منظور تحلیل عملکرد مدل پیشنهادی برنامه‌ریزی امکانی استوار (تحت مجموعه‌های مختلف از جریمه‌ها که در جدول (۴) نمایش داده شده است)، در ابتدا هشت شبیه‌سازی (واقع‌گرایی) به‌صورت تصادفی بر روی پارامترهای غیرقطعی انجام گرفته است. برای هر شبیه‌سازی، برای هر پارامتر غیرقطعی که دارای تابع امکانی مثلثی می‌باشد (برای مثال $\tilde{n} = (n^l, n^m, n^u)$)، یک عدد تصادفی باید به‌صورت یکنواخت بین نقاط ابتدایی و انتهایی تابع امکانی پارامتر تولید گردد (برای مثال $n_{real} = [n^l, n^u]$). سپس به بررسی مطلوبیت خروجی‌های مدل برنامه‌ریزی امکانی (تحت سطح اطمینان ۰,۷) و برنامه‌ریزی امکانی استوار و مقایسه‌ی نتایج آنها، پارامترهای تولید شده تحت هر شبیه‌سازی و مقدار بهینه‌ی متغیرها که توسط مدل‌های برنامه‌ریزی امکانی و برنامه‌ریزی امکانی استوار تحت داده‌های اسمی مشخص گردیده‌اند، باید در مدل (۷۷) قرار داده شوند.

مدل برنامه‌ریزی خطی ارائه‌شده شامل متغیرهای $er6_t, er5_{jt}, er4_{jt}, er3_{klt}, er2_{klt}, er1_{klt}$ می‌گردد که هر یک از این متغیرها، مقدار تجاوز محدودیت متناظرشان را تحت هر شبیه‌سازی مشخص می‌نمایند.

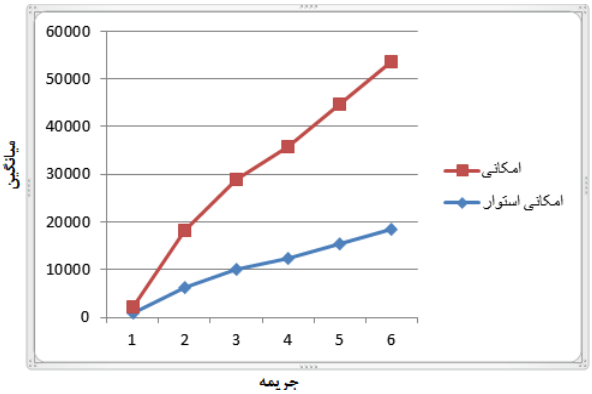
$$
\begin{aligned}
&Min\ E(z1) = c_{real}.x^* + f_{real}.y^* + \delta_1.\mathrm{er1} \\
&\qquad + \delta_2.\mathrm{er2} \\
&+\delta_4.\mathrm{er4} + \delta_5.\mathrm{er5} + \delta_6.\mathrm{er6} + +\delta_3.\mathrm{er3} \\
&s.b. \\
&E(z2) \geq t_{real}.x^* \\
&A.x^* + R.ir2^* = B.p^* \\
&(u_{real}).x^* \leq cap1_{real} + er1 \\
&(u_{real}).x^* + \mathrm{er2} \geq (cap1_{real}).ur.y^* \\
&(E_{real}).p^* \leq cap2_{real} + er3 \\
&p^* - if2^* = s^* \\
&s^* - if3^* \leq d_{real} + er4 \\
&s^* - if3^* + er5 \geq d_{real} \\
&if3^* + er6 \geq ss_{real}
\end{aligned}
\qquad (۷۷)
$$

www.SID.ir

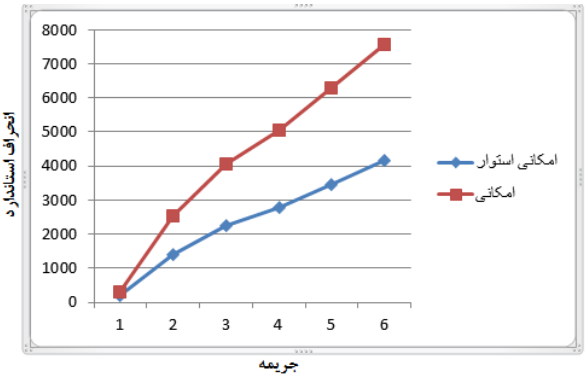
Archive of SID

$$V1.ir2^* \le w1$$
$$V2.if2^* \le w2$$
$$V2.if3^* \le w3$$
$$y^* \le z^*$$
$$er1, er2, er3, er4, er5, er6 \ge 0$$

هر دو مدل دو هدفه خطی برنامه‌ریزی امکانی و برنامه‌ریزی امکانی استوار با کد نویسی در نرم‌افزار GAMS و با استفاده از حل‌کننده CPLEX حل شده‌اند. زمان حل مدل‌های برنامه‌ریزی امکانی و برنامه‌ریزی امکانی استوار در شرایط ۲ تأمین‌کننده، ۱تولیدکننده،۲ مرکز توزیع و دو دوره زمانی به‌ترتیب برابر ۰,۲۰۷ و ۰,۳۸۶ ثانیه می‌باشد.لازم به ذکر است که تمامی آزمایشات موردنیاز بر روی یک کامپیوتر پنج هسته‌ای با ۴ گیگابایت رم اجرا گردیده‌اند. در نهایت، پس از انجام قدم‌های ذکر شده و دستیابی به مقدار بهینه‌ی تابع هدف مدل (۷۷) تحت جریمه‌های مختلف (جدول (۴) را ببینید)، میانگین و انحراف استاندارد نتایج مدل برنامه‌ریزی امکانی و مدل برنامه‌ریزی استوار تحت هشت شبیه‌سازی محاسبه گردیده‌اند و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج مربوطه در شکل (۴) و (۵) نمایش داده شده‌اند.



شکل (۴): نمایش گرافیکی میانگین هزینه‌های مدل‌ها تحت شبیه‌سازی



شکل (۵): نمایش گرافیکی انحراف استاندارد هزینه‌های مدل‌ها تحت شبیه‌سازی

نکته کاملاً مشخصی که در شکل (۵) نمایش داده شده است این امر می‌باشد که انحراف استاندارد مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار همواره از مدل برنامه‌ریزی امکانی بهتر می‌باشد. همچنین، افزایش جریمه‌ها سبب افزایش انحراف استانداردها گردیده است اما چیرگی و برتری مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار همواره حفظ گردیده است. بنابراین در این شرایط عامل تعیین‌کننده‌ای که می‌تواند کارایی مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار را تصدیق نماید، میانگین تابع هدف مدل‌ها می‌باشد. همان‌گونه که از شکل (۴) قابل مشاهده است، میانگین برنامه‌ریزی امکانی استوار نسبت به مدل برنامه‌ریزی امکانی عملکرد بهتری را نشان می‌دهد. افزایش مقدار جریمه‌ها، استفاده از مدل‌های ریسک‌گریز مانند مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار پیشنهادی را معقول‌تر می‌نماید. به واسطه‌ی سطح ریسک‌گریزی ایجاد شده توسط مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار، خروجی‌های این مدل با ریسک و تجاوزات کمتری نسبت به مدل‌های برنامه‌ریزی امکانی تحت مقادیر بالای جریمه‌ها، مواجه می‌گردد.

۷- نتیجه‌گیری

در فضای رقابتی امروز، طراحی یک برنامه‌ی تولید مؤثر که موجب یکپارچه‌سازی برنامه‌های تأمین و توزیع در یک چارچوب متحد شود، امری مهم و ضروری می‌باشد. در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی اصلی زنجیره تأمین دارو شامل چند تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و چند مرکز توزیع ارائه شده است. در طول دهه‌های اخیر وقوع اختلالات ناگهانی و موضوع مقابله با اثرات نامطلوب آنها به یک چالش بزرگ برای مدیران سازمان‌ها تبدیل شده است. بر این اساس توجه به این امر در برنامه‌ریزی اصلی زنجیره‌تأمین می‌تواند به واسطه‌ی تصمیمات اتخاذ شده، منجر به اثرات مثبتی گردد. به‌منظور مواجهه با مشکل فوق‌الذکر، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح در این تحقیق به‌منظور کاهش هزینه‌های لجستیک و همچنین افزایش سطح رضایت از انتخاب تأمین‌کنندگان ارائه گردیده است. به‌واسطه‌ی طبیعت غیرقطعی پارامترهای ورودی چنین مسئله‌ای، یک مدل جدید برنامه‌ریزی امکانی استوار توسعه داده شده است تا با عدم قطعیت پارامترها و کیفیت پایین تصمیمات به‌واسطه‌ی این عامل مقابله گردد. در ادامه یک مثال عددی ارائه شده است تا کارایی مدل پیشنهادی نمایش داده شود و همچنین کیفیت بالای عملکرد و کاربردی بودن مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار پیشنهاد شده، نمایش داده شود. نتایج نشان می‌دهد میانگین عملکرد مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار نسبت به مدل برنامه‌ریزی امکانی در نمونه‌های تست شده بهتر می‌باشد. افزایش مقدار جریمه‌ها، استفاده از مدل‌های ریسک‌گریز مانند مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار پیشنهادی را معقول‌تر می‌نماید.

در نهایت ذکر این نکته ضروری است که با توجه به خروجی‌های مدل این امر کاملاً واضح است که تعیین مقدار دقیق جریمه‌ها در مدل برنامه‌ریزی امکانی امری بسیار مهم می‌باشد، چرا که عامل

www.SID.ir

Archive of SID

اصلی در عملکرد مدل و تعیین سطوح اطمینان پارامترهای غیرقطعی، جریمه‌ها می‌باشند.

در تحقیقات آتی می‌توان از سایر رویکردهای بهینه‌سازی استوار نیز استفاده نمود. همچنین می‌توان موارد زیر را به‌عنوان مسیرهای پیشنهادی جهت تحقیقات آینده ارائه نمود.

- بهره‌گیری از نظرات کارشناسان مختلف برای افزایش اعتبار توصیف پارامترهایی که حساسیت زیادی روی آنها داریم.
- توجه به ارزش زمانی پول، نرخ تورم، و نرخ بهره در محاسبات هزینه‌ها
- مدل‌سازی زنجیره تأمین دارو با در نظر گرفتن فسادپذیر بودن مواد اولیه و داروها و در نظر گرفتن عمر قفسه‌ای آنها
- در نظر گرفتن بازخوانی داروها از بازار در مدل‌سازی زنجیره تأمین دارو
- به کاربردن مدل ارائه شده برای مسائل بزرگ مقیاس و استفاده از روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری برای حل آنها

پیوست

پرسشنامه ۱. زیر معیارهای محیط زیستی مربوط به انتخاب تأمین‌کننده سبز

زیر معیار		آیا شرکت شما به این زیرمعیار در انتخاب تأمین‌کننده اهمیت می‌دهد؟
مصرف انرژی	بله □	خیر □
مقدار اتلاف آب	بله □	خیر □
آلودگی هوا	بله □	خیر □
زباله‌های جامد	بله □	خیر □
بازیافت	بله □	خیر □
استفاده از مواد اولیه‌ی دوستدار محیط‌زیست در بسته‌بندی محصولات	بله □	خیر □
استفاده از مواد مخدر در تولید مواد اولیه	بله □	خیر □
استفاده از داروهای گیاهی در تولید مواد اولیه	بله □	خیر □
قوانین محیط زیستی	بله □	خیر □
لجستیک معکوس	بله □	خیر □

پرسشنامه۲. اندازه‌گیری عملکرد تأمین‌کنندگان از نظر سازش با معیارهای محیط زیستی

زیر معیار تأمین‌کنندگان	عملکرد تأمین‌کنندگان				
	عالی	خوب	متوسط	ضعیف	خیلی ضعیف
عملکرد تأمین‌کنندگان از نظر سازش با زیر معیار۱					
عملکرد تأمین‌کنندگان از نظر سازش زیرمعیار۲					
عملکرد تأمین‌کنندگان از نظر سازش با زیر معیارm					

مراجع

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

[2] Torabi, S.A., Hassini,E., (2008), "An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning", Fuzzy Sets Syst. 159: 193-214.

[3] Mula, J., Poler, R., Garcia, J.P., (2006), "MRP with flexible constraints: a fuzzy mathematical programming approach", Fuzzy Sets and Systems 157: 74-97.

[4] Alem, D. J., Morabito, R., (2012), "Production planning in furniture settings via robust optimization", Computers & Operations Research 39 (2):139-150.

[5] Sousa, R., shah. N., Papageorgiou, L., (2005), "Global Supply Chain Network Optimisation for Pharmaceuticals", European Symposium on Computer Aided Process Engineering 20: 1189-1194.

[6] Susarla, N., Karimi, I.A., (2012), "Integrated supply chain planning for multinational pharmaceutical enterprises", Computers and Chemical Engineering 42: 168– 177.

[7] Kao, C., Hsu, W., (2002), "A Single-Period Inventory Model with Fuzzy Demand", Computers and Mathematics with Applications 43: 841-848.

[8] Liang, T.F., (2006), "Distribution planning decisions using interactive fuzzy multi-objective linear programming", Fuzzy Sets and Systems 157: 1303-1316.

[9] Liang, T.F., (2006), "Integrating production–transportation planning decision with fuzzy multiple goals in supply chains", International Journal of Production Research 46(6): 1477-1494.

[10] Maitya, K., Maitib, M., (2008), "A numerical approach to a multi-objective optimal inventory control problem for deteriorating multi-items under fuzzy inflation and discounting", Computers and Mathematics with Applications 55: 1794-1807.

[11] Selim, H., Ozkarahan, I., (2008), "A supply chain distribution network design model: an interactive fuzzy goal programming-based solution approach", Internet. J. Adv. Manuf. Technol 36(3): 401-418.

[12] Handfield, R., Warsing, D., (2009), "(Q, R) Inventory policies in a fuzzy uncertain supply chain environment", European Journal of Operational Research 197(2): 609-619.

[13] Tanthatemee T., Phruksaphanrat B., Member, IAENG., (2012), "Fuzzy Inventory Control System for Uncertain Demand and Supply", proceeding of the International Multi Conference of Engineers and Computer scientisits, March 14-16, Hong kong.

[14] Gutierrez, G., Kouvelis, P., Kurawala, A., (1996), "A robustness approach to uncapacitated network design problems", European Journal of Ope1995 rational Research 94: 362-76.

[15] Leung, S. C. H., Tsang, S. O. S., Ng, W. L., Wu, Y., (2007), "A robust optimization model for multi-site production planning problem in an uncertain

www.SID.ir

Archive of SID

environment", European Journal of Operational Research 181: 224-238.

[16] Pan, F., Nagi, R., (2010), "Robust supply chain design under uncertain demand in agile manufacturing", Computers & Operations Research, 37: 668-683.

[17] Alem, D. J., Morabi, R., (2012), "Production planning in furniture settings via robust optimization", Computers & Operations Research 39(2): 139-150.

[18] Azar, A., Rabieh, M., Modarres yazdi, M., Fetanat fard haghighi, M., (2010), "A Mathematical Model for Fuzzy-Robust multi objective supply selection: An Approach in management of risk of Iran Khodro Chain", management operations in Iran 15(1): 51-76.

[19] Pishvaee, M.S., Razmi, J., and Torabi, S., (2012), "Robust possibilistic programming for socially responsible supply chain network design: A new approach", Fuzzy sets and systems 206: 1-20

[20] Zahiri, B., Tavakkoli-Moghaddam,R., Pishvaee, M.S., (2014), "A robust possibilistic programming approach to multi-period location-allocation of organ transplant centers under uncertainty", Computers & Industrial Engineering 74: 139-148.

[21] Hatami Varzaneh, M., (2002), Secret health with herbs. Fahmideh Shahid Publishing: 254.

[۲۲]. رشیدی، شمس‌اله. فرجی، هوشنگ. جهانبین، داریوش، میرفردی، اصغر (۱۳۹۰). ارزیابی میزان آگاهی، اعتقاد و عملکرد مردم شهر یاسوج، نسبت به گیاهان دارویی، فصلنامه گیاهان دارویی ۱(۸).

[23] Van Landeghem., H., Vanmaele, H., (2002), "Robust planning:a new paradigm for demand chain planning", Journal of Operations Management 20: 769-783.

[24] Rezaie, K., Ostadi, B., Torabi, S.A., (2008), "Activity-based costing in flexible manufacturing systems with a case study in a forging industry", International Journal of Production Research 46(4): 1047-1069.

[25] Degraeve, Z., Roodhooft, F., Van Doveren, B., (2005), "The Use of Total Cost of Ownership for Strategic Procurement: A Company-Wide" Management Information System, J. Oper. Res. Soc. 56: 51-59.

[26] Kanyalkar, A.P., Adil, G.K., (2007), "Aggregate and detailed production planning integrating procurement and distribution plans in a multi-site environment", Internat. J. Prod. Res 45(22): 5329-5355.

[27] Agha Mohammad Ali Kermani, M., Malaei, A., Nasiri, M., (2011), "Presenting a mathematical programming model for green supplier selection", Proceedings of the 41st International Conference on Computers & Industrial Engineering, USA: 648-653.

[28] Kleijnen J.P.C., (2011), "Ethical issues in modeling: Some reflections", E. J. of Operational Research. 130: 223-230.

[29] Pishvaee, M.S., Torabi S.A., (2010), "A possibilistic programming approach for closed loop supply chain network design under uncertainty", Fuzzy Sets and Systems 161: 2668-2683.

[30] Jimenez, M., Arenas, M., Bilbao, A., Rodriguez, M.V., (2007), "Linear programming with fuzzy parameters: an interactive method resolution", European Journal of Operational Research 177: 1599-1609.

[31] Gupte, A., Ahmmed, S., Cheon,M.S., Dey, S., (2013), "Solving Mixed Integer Bilinear Problems Using MILP Formulation", SIMA Journal on optimization, 23(2): 721-744.

www.SID.ir

Archive of SID

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2269

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Spring and Summer 2016 Volume 4. No.7. pp. 49-67
www.ier.basu.ac.ir

A Robust Possibilistic Programming Approach to Drug Supply Chain Master Planning

M. Kalantari[1], M. S. Pishvaee[1,*]

[1] Department of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

***Article history*:**

Received 19 September 2014
Accepted 09 February 2016

***Keywords*:**

Drug supply chain
Master planning
Possibilistic programming
Robust possibilistic programming

ABSTRACT

The provision of an efficient master plan which is able to integrate the procurement, production and distribution plans is a critical need in the way of achieving the competitive advantage in today's marketplace. In this paper, a supply chain master planning problem of a drug supply chain is taken into account. The considered drug supply chain includes multiple suppliers, one manufacturer and multiple distribution centers.

In this paper, a multi-objective possibilistic mixed integer linear programming model (MOPMILP) which minimizes the total logistics cost and maximizes the total value of supplier selection aggregate function is developed. It should be noted that both economic and environmental criteria are considered in the supplier selection objective function to support the green and sustainable purchasing approach. Then to cope with the input parameters tainted with high degree of uncertainty, a new effectual robust possibilistic programming (RPP) model is elaborated. The proposed robust possibilistic programming model is able to appropriately adjust the degree of feasibility and optimality robustness of output decisions against business-as-usual uncertainty. Also the proposed robust optimization model can be appropriately applied in the cases in which reliable and sufficient historical data is not available for imprecise parameters (i.e., most of the real-life problems). To show the usefulness and effectiveness of the proposed robust possibilistic programming model numerical and comparative experiments are provided. The numerical results endorse the validity and practicability of the rendered model as well as presenting the efficiency and felicity of the developed approach.

[*] Corresponding author. Mir Saman Pishvaee
Tel.: 021-73225016; E-mail address: pishvaee@iust.ac.ir

www.SID.ir