

توسعه مدل استوار در زنجیره تأمین سه سطحی با پارامترهای غیرقطعی و تصادفی (مطالعه موردی شرکت چینی تقدیس)

فائزه مردانیان شهری^۱، غلامرضا جمالی^{۲*}

۱- کارشناسی ارشد، دانشگاه خلیج فارس، گروه مدیریت صنعتی، بوشهر، ایران

۲- استادیار، دانشگاه خلیج فارس، گروه مدیریت صنعتی، بوشهر، ایران

رسید مقاله: ۱۱ اردیبهشت ۱۳۹۶

پذیرش مقاله: ۱۴ اسفند ۱۳۹۷

چکیده

هدف از مقاله حاضر ارائه یک مدل بهینه‌سازی سه هدفه استوار برای زنجیره‌ی تأمین شرکت چینی تقدیس می‌باشد. مدل با استفاده از روش تکنیک AHP وزن‌دهی و به مساله تک هدفه تبدیل و با استفاده از رویکرد برتسیمس و سیم استوار شده است. با در نظر گرفتن داده‌های شرکت چینی تقدیس شامل دو محصول سرویس ۳۰ پارچه پرنسس و سرویس ۳۰ پارچه فلت در یک دوره معین، سه پارامتر تقاضا، کیفیت و ظرفیت تأمین‌کننده به عنوان منابع استوار شناخته شدند. زنجیره‌ی تأمین شرکت چینی تقدیس سه سطحی در نظر گرفته شد و شامل ۸ تأمین‌کننده، ۶ ماده اولیه (چهار ماده اولیه تک تأمین‌کننده‌ای، یک ماده اولیه دو تأمین‌کننده‌ای و یک ماده اولیه سه تأمین‌کننده‌ای)، یک کارخانه و ۱۳ مشتری می‌گردد. روابط بین متغیرهای مدل، خطی و ماهیت پارامترهای نامطمئن تصادفی بوده و سیاست تولید شرکت مبتنی بر استراتژی ساخت برای سفارش (MTO) می‌باشد. مدل با استفاده از نرم‌افزار LINGO16 حل گردید. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش سطح حفاظت از مقدار ۱ به ۵، مقدار تابع هدف بدتر شده؛ ولی مقدار تولید از هر محصول افزایش می‌یابد؛ بنابراین هر چه عدم اطمینان بیش‌تر شود محصول بیش‌تری برای مواجه با این عدم اطمینان باید تولید گردد.

کلمات کلیدی: برنامه‌ریزی ریاضی، بهینه‌سازی استوار، صنعت چینی‌سازی، مدیریت زنجیره‌ی تأمین.

۱ مقدمه

مدیریت زنجیره‌ی تأمین به علت اهمیت و کاربرد فراوان مورد توجه بسیاری از پژوهشگران و صنعتگران قرار گرفته است. بر اساس تعریف انجمن تخصصی زنجیره‌ی تأمین، مدیریت زنجیره‌ی تأمین شامل برنامه‌ریزی و مدیریت تمام فعالیت‌های دخیل در منبع‌یابی، تدارکات، بازاریابی و فعالیت‌های مدیریت آماده‌سازی می‌باشد [۱]. مدیریت زنجیره‌ی تأمین به‌طور اثربخش به دلیل منابع مختلف، عدم اطمینان و روابط متقابل و پیچیده بین اجزای

* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: gjamali@pgu.ac.ir

مختلف زنجیره‌ی تأمین، بسیار مشکل می‌باشد [۲]. شرایط ناپایدار محیطی از یک سو و رقابت روز افزون از سویی دیگر بر عدم قطعیت موجود در زنجیره‌ی تأمین افزوده است. سطح بالای عدم اطمینان در زنجیره‌ی تأمین توانایی زنجیره را در پیش‌بینی شرایط آینده با مشکل مواجه می‌کند. در حقیقت توجه به بهینه‌سازی در زنجیره‌تأمین در شرایط عدم قطعیت منجر به کاهش هزینه‌ها و بهبود کیفیت و در نتیجه رسیدن به یک مزیت و موقعیت رقابتی خواهد شد [۳]. برای مدیریت عدم اطمینان حاکم بر زنجیره‌تأمین، روش‌های متعددی ارائه شده است؛ اما باید به اعتبار این روش‌ها توجه کرد. می‌توان برای رویارویی با عدم قطعیت به مفهوم استواری در زنجیره‌تأمین پرداخت؛ زیرا برنامه‌ریزی از نوع استوار تضمین‌کننده مدیریت عدم اطمینان حاکم بر زنجیره‌ی تأمین می‌باشد. بدین منظور در این پژوهش از برنامه‌ریزی ریاضی استوار بهره گرفته می‌شود تا پاسخ‌های حاصله از آن به دلیل استواری قابل اتکا باشد. صنعت چینی با توجه به مواد اولیه متنوع و شرایط خاص تولیدی خود با عدم اطمینان‌های بسیار روبه‌رو است. وابستگی به نرخ ارز برای تأمین مواد اولیه، همچنین هزینه‌های متغیر حمل و نقل و تاثیر ناپایداری هوای محیط داخلی کارخانه بر کیفیت چینی از جمله مسائلی هستند که برنامه‌ریزی قطعی را در این صنعت با چالش مواجه می‌کنند. هدف از این پژوهش آن است تا با بهره‌گیری از رویکرد استواری به برنامه‌ریزی ریاضی در زنجیره‌ی تأمین شرکت چینی تقدیس در شرایط عدم اطمینان پردازد. نوآوری پژوهش حاضر در نظر گرفتن سه هدف برای مدل‌سازی استوار زنجیره‌تأمین صنعت چینی می‌باشد. نوآوری دیگر این تحقیق لحاظ کردن کیفیت به عنوان یک هدف برای زنجیره‌تأمین صنعت چینی است.

۲ پیشینه نظری پژوهش

امروزه زنجیره‌ی تأمین بیش‌تر از گذشته توسعه یافته و جهانی شده است. اگر چه این مفهوم موجب کاهش انعطاف‌پذیری و افزایش آسیب‌پذیری گردیده با وجود این می‌تواند هزینه‌های عملیاتی را کاهش دهد [۴]. مدیریت زنجیره‌ی تأمین در اوایل دهه ۱۹۸۰ میلادی توسط وبر و الیور در واکنش به محیط رقابتی کسب و کار معرفی شد [۵]. به گونه‌ای که راس از مدیریت کیفیت زنجیره‌ی تأمین به عنوان آخرین مرحله در حرکت به سوی مدیریت کیفیت جامع یاد می‌کند که عبارتست از: "مشارکت کلیه اعضای یک زنجیره در بهبود مستمر و هم‌زمان کلیه فرآیندهای مرتبط با کیفیت محصولات و خدمات خود که برای ایجاد بهره‌وری، ارزش افزوده و نهاده نمودن کیفیت در سطح زنجیره‌ی تأمین و رضایت هرچه بیش‌تر مشتریان نهایی صورت می‌گیرد" [۶]. از دیدگاه ماریادوس و همکاران مدیریت زنجیره‌تأمین شامل استفاده کارآمد از قابلیت‌های منابع داخلی و خارجی، تکنولوژی و ایجاد یک زنجیره‌تأمین یکپارچه و هماهنگ، در نتیجه انتقال از رقابت بین شرکت‌ها به رقابت بین زنجیره‌های تأمین و در نهایت کارایی شرکت می‌باشد [۷].

یک زنجیره‌ی تأمین شامل مجموعه‌ای از تأمین‌کنندگان، تسهیلات، محصولات، مشتریان و روش‌های اداره کردن خرید، موجودی و توزیع می‌شود که مواد خام توسط تأمین‌کنندگان تهیه می‌شود و محصولات نهایی توسط تأمین‌کننده نهایی مصرف می‌شود [۸]. با توجه به تعاریف، زنجیره‌ی تأمین شامل سه بخش اصلی تأمین‌کننده، کارخانه و توزیع‌کننده می‌باشد. اغلب تأمین‌کنندگان توانایی لازم برای تأمین کافی مواد اولیه را

نداشته درحالی که تولیدکنندگان صنایع گوناگون روابط نزدیک تری با تأمین کنندگان خود دارند [۹]. در تصمیم گیری برای انتخاب تأمین کننده، دو نکته از اهمیت خاصی برخوردار است. نکته اول شاخصی است که مورد استفاده قرار می گیرد و دیگری روش هایی است که می تواند برای مقایسه تأمین کنندگان استفاده شود. در بیش تر صنایع، هزینه موادخام و اجزای تشکیل دهنده محصول، قسمت عمده ای از بهای تمام شده محصول را در بر می گیرد [۱۰]. این هزینه در برخی موارد تا میزان ۷۰ درصد هزینه نهایی را شامل می شود. در شرکت های صاحب فن آوری بالا این میزان تا حد ۸۰ درصد قابل افزایش است. در چنین شرایطی، بخش تدارکات می تواند نقش کلیدی در کارایی و اثربخشی سازمان ایفا کند و تأثیر مستقیمی روی کاهش هزینه ها، سودآوری و انعطاف پذیری یک شرکت داشته باشد [۱۱]. مجموعه مناسب و درست انتخاب شده از تأمین کنندگان به ایجاد تفاوت راهبردی در توانایی سازمان در کاهش هزینه ها و بهبود کیفیت محصولات نهایی منجر خواهد شد [۱۲].

در تصمیم گیری برای انتخاب تأمین کننده، معیاری که مورد استفاده قرار می گیرد از اهمیت خاصی برخوردار است. اولین تحقیق در زمینه انتخاب تأمین کنندگان توسط دیکسون در سال ۱۹۶۶ انجام و منجر به شناسایی ۲۳ معیار شد. در سال ۱۹۹۱ وبر و همکاران در پژوهش بر روی ۷۴ مقاله منتشر شده بین سال های ۱۹۶۶ تا ۱۹۹۱ به دسته بندی معیارهای انتخاب تأمین کننده بر اساس معیارهای دیکسون پرداخته اند [۱۳]. در بین شیوه های انتخاب تأمین کننده، برنامه ریزی ریاضی قابل اتکا تر است. برنامه ریزی ریاضی (MP) به تصمیم گیرنده اجازه می دهد که مساله تصمیم را در قالب یک تابع هدف ریاضی از نوع حداکثر کردن (برای نمونه حداکثر کردن سود) یا از نوع حداقل کردن (برای نمونه حداقل کردن هزینه ها) فرموله کند. در واقع مدل های ریاضی نسبت به مدل های رتبه بندی عینی تر هستند؛ زیرا که تصمیم گیرنده، اجباراً باید تابع هدف را به طور صریح و واضح بیان کند. به عبارتی مدل های ریاضی در اغلب موارد تنها معیارهای کمی را لحاظ می کنند [۱۴]. استواری به معنای توانایی سیستم برای مهیا کردن خروجی مطلوب حتی در حضور اختلالات داخلی و خارجی است. عدم قطعیت ها در نارسایی محیطی و بخشی سیستم باید در نظر گرفته شود تا بتوان یک سیستم را استوار نامید [۴]. هدف شیوه های استواری مقابله با تغییرات و ارایه یک راه حل بهینه یا نزدیک به بهینه تحت طیف گسترده ای از سناریوهای عرضه و تقاضاست [۱۵]. مسایل تصمیم گیری اغلب به دلیل عدم دقت، تغییر پذیری مستمر و ناتوانی در دیدن وقایع آینده با عدم اطمینان هایی مواجه هستند. نویسندگان بسیاری بحث استواری را مورد تحقیق و بررسی قرار داده و نتیجه کار آن ها منجر به حوزه تحقیقاتی وسیعی شده است [۱۶]. بحث استواری مدل از مباحث بسیار مهمی بوده که در مدل سازی و متعاقباً تحقیق در عملیات نیز مطرح می باشد. در حقیقت چنانچه مدل ها استوار باشند، خطر به کارگیری اشتباه یا استفاده غلط آن بسیار کم تر خواهد شد؛ زیرا استواری به این مفهوم است که خروجی مدل نباید خیلی نسبت به مقادیر دقیق پارامترها و ورودی های مدل حساس باشد [۱۷]. به طور کلی در برنامه ریزی ریاضی قطعی فرض می شود که داده های ورودی به طور مشخص و معادل با مقادیر اسمی است. این نگرش تأثیر عدم اطمینان را روی کیفیت و موجه بودن مدل مدنظر قرار نمی دهد. در حقیقت داده هایی که مقادیر متفاوتی را از مقادیر اسمی شان اختیار می کنند، ممکن است منجر به این مساله شوند که تعدادی از محدودیت ها نقض گردند و جواب بهینه ممکن است مدت طولانی بهینه نمانده یا؛

حتی موجه بودن آن از بین برود. این مهم، موضوعی را به ذهن متبادر می سازد که روش های حل به گونه ای طراحی و ارایه شوند که در مقابل عدم اطمینان داده ها ایمنی ایجاد کنند. این روش ها، "استوار" نامیده می شوند [۱۸]. بن تال و نیروفسکی در بیان اهمیت استواری در حوزه های کاربردی واقعی بیان می کنند: "در کاربردهای دنیای واقعی برنامه ریزی خطی نادیده انگاشتن؛ حتی یک عدم اطمینان کوچک در داده ها می تواند به جواب بهینه ای منجر گردد که از دیدگاه عملی کاملاً بیهوده و بی معنی باشد؛ بنابراین باید مدل هایی توسعه یابند که در خصوص عدم اطمینان داده ها حفاظت و ایمنی ایجاد نمایند [۱۹]. رویکردهای مختلف استوار سطوح متفاوتی از محافظه کاری را تأمین می کنند. هرچه سطح محافظه کاری بالاتر باشد مقدار تابع هدف از مقدار بهینه فاصله بیش تری می گیرد. انتخاب از میان این مدل ها باید بر اساس حساسیت کاربرد مورد نظر صورت گیرد. اولین گام و پژوهش در این راستا از سویستر برای تولید جوابی که برای همه داده های متعلق به یک مجموعه محدب موجه است، ارایه شد. مدل جواب هایی ارایه می نماید که در قبال بهینگی مساله اسمی برای اطمینان از استواری به شدت محافظه کارانه (با محافظه کاری بالا) عمل می کند. بدین معنی که در این رویکرد برای اطمینان از استوار بودن جواب، به مقدار زیادی از بهینگی مساله اسمی دور می شود. در این مدل هر داده ورودی می تواند هر مقداری را از یک بازه بگیرد. در این مدل تمامی پارامترهای دارای عدم قطعیت در بدترین مقدار خود ثابت شده اند [۱۸، ۱۹]. برتسیمس و سیم رویکرد متفاوتی را برای کنترل سطح محافظه کاری ارایه کرده اند. این رویکرد از این مزیت برخوردار است که منجر به یک مدل بهینه سازی خطی می شود [۲۰].

علاوه بر پژوهش های مذکور که مبتنی بر نوسان پارامترها در یک بازه است، پژوهش های دیگری نیز در حوزه مدل سازی ریاضی انجام شده است. از جمله این پژوهش ها می توان به تحقیق مالوی و همکاران که مبتنی بر مفهوم سناریو است، اشاره کرد. در سال ۱۹۹۵ مالوی و همکاران، در پژوهشی با عنوان "بهینه سازی استوار: سیستم های با مقیاس بزرگ" به بحث بهینه سازی استوار مسایل برنامه ریزی ریاضی با داده های نوسانی (نامطمئن) می پردازد. این بهینه سازی مرتبط با مسایلی است که جنس داده های آن از نوع سناریو باشد. آنان در این تحقیق بیان می دارند که در کاربردهای تحقیق در عملیات، مدل های برنامه ریزی ریاضی با داده های نوسانی، خطادار و ناکامل مورد استفاده است. مواجهه با این نوع داده ها از طریق تحلیل حساسیت یا فرمول بندی برنامه ریزی احتمالی با مشکلاتی مواجه می باشد. همچنین برای حالتی که مقادیر داده های مساله توسط مجموعه ای از سناریوها توصیف شود (در مقایسه با تخمین های نقطه ای) از برتری های مدل پیشنهادی سخن به میان می آورند. از نظر آنان دو تعریف مهم در حوزه مدل استوار وجود دارد؛ یعنی جواب استوار و مدل استوار که در ذیل به هر یک اشاره می گردد: یک جواب برای مدل بهینه سازی، جوابی استوار نامیده می شود، اگر آن جواب برای همه سناریوهای داده های ورودی مدل "نزدیک" به بهینه باقی بماند و همچنین مدلی استوار است که "تقریباً" برای همه سناریوهای داده های ورودی موجه باشد [۲۱].

۳ پیشینه تجربی پژوهش

جمیلی [۲۲] در پژوهشی با عنوان "الگوریتم ابتکاری و مدل ریاضی استوار برای زمان‌بندی و مسیریابی یکپارچه هواپیما با در نظر گرفتن مساله اختصاص ناوگان" یک مدل ریاضی استوار عدد صحیح مختلط برای زمان‌بندی و مسیریابی یکپارچه هواپیما با در نظر گرفتن مساله اختصاص ناوگان ارائه داده‌است. سپس برای یافتن پاسخ مناسب برای مسایل مقیاس بزرگ در میزان مناسبی از زمان یک الگوریتم ابتکاری مبتنی بر الگوریتم شبیه‌سازی تبرید (SA) معرفی کرده‌است. مدل با داده‌های عددی حل شده‌است. در انتها تاثیر راه‌حل استواری با حالت قطعی مقایسه شده و نتیجه منجر به ارائه الگوریتم ترکیبی‌ای شد که نسبت به الگوریتم تبرید و روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات دارای راه حل موثرتری می‌باشد. مرادی و همکاران [۲۳] در پژوهش خویش یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی، عدد صحیح آمیخته، تخصیص- مکان‌یابی، چند محصولی، چند منبعی، چند مرحله‌ای، چند ظرفیتی ارائه دادند و به مقایسه دو رویکرد استواری یکی با درجه محافظه‌کاری قابل کنترل و دیگری به شدت محافظه‌کارانه در طراحی شبکه زنجیره‌ای تأمین پرداختند. آنان بیان می‌کنند که رویکرد محافظه‌کاری قابل کنترل در ازای سطوح مختلف محافظه‌کاری بیش‌تر، کاهش بیش‌تر تابع هدف را نشان می‌دهد.

شفیعی کیسمی و همکاران [۲۴] در پژوهشی با عنوان "یک مدل زنجیره‌تأمین یکپارچه پیکره‌بندی و مدیریت تدارکات تحت عدم قطعیت: یک رویکرد بهینه‌سازی استوار مبتنی بر مجموعه‌ای" مدلی استوار برای مقابله با دو مساله پیکره‌بندی زنجیره‌تأمین و انتخاب تأمین‌کننده در شرایط عدم اطمینان ارائه می‌کنند. شبکه زنجیره‌تأمین شامل یک جریان رو به جلو از تأمین‌کننده با ارائه تخفیفات قیمتی به مشتری و یک جریان معکوس از مناطق مشتری به مراکز در دسترس و تجهیزات تولید است که جریان رو به عقب شامل جمع‌آوری، جداسازی و مراکز انهدام می‌باشد. تابع هدف مینیمم کردن هزینه کل شبکه زنجیره‌تأمین است. در این پژوهش تقاضا و هزینه به عنوان پارامترهای استوار در نظر گرفته شده‌است. قهطرانی و نجفی [۲۵] در پژوهشی به بررسی مساله انتخاب سبد مالی با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی استوار پرداخته‌اند. این پژوهش اذعان می‌دارد مدل استوار داده شده در عمل در مقابل نوسان‌پذیری داده‌ها استوار بوده و مهم‌تر اینکه انعطاف‌پذیری بیش‌تری در تحلیل مالی برای سرمایه‌گذاری ارائه می‌دهد. یانگ و وو [۲۶] در پژوهشی با عنوان "مقایسه استواری ساختارهای زنجیره‌تأمین دو کاناله و سه کاناله تحت اختلالات تقاضا بیان می‌دارد که ساختار عمودی یکپارچه زنجیره‌ای تأمین بیش‌ترین استواری را دارد. صفایی قادیکلانی، مدهوشی و جمالیان [۲۷] در پژوهشی با عنوان "ارائه مدل مفهومی برای انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار" پس از بررسی زنجیره‌ای تأمین شرکت سایپا به ارائه مدلی پرداخته‌اند که در نتیجه آن انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار به ترتیب اولویت به ابعاد «رفاه اجتماعی»، «اقتصادی» و «زیست محیطی» بستگی دارد.

جدول ۱. برخی از حوزه‌های کاربردی استواری

منبع	حوزه ها
[۲۸]	تولید و سیستم‌های تولیدی
[۴]، [۲۶]، [۲۹]، [۳۰]، [۳۱]	زنجیره‌تأمین
[۳۲]، [۳۳]، [۳۴]، [۳۵]	کوتاه‌ترین مسیر
[۳۶]، [۳۷]، [۳۸]	کنترل موجودی
[۱۳]، [۳۹]	انتخاب تأمین‌کننده
[۴۰]، [۴۱]، [۴۲]	خدمات هواپیمایی
[۴۳]، [۴۴]، [۴۵]	مسایل زمان‌بندی
[۴۶]	مساله تخصیص
[۴۷]	مکان‌یابی
[۴۸]	استراتژی و تصمیم‌های استراتژیک
[۴۹]، [۵۰]	ارزیابی عملکرد

۴ پرسش‌های پژوهش

سوال‌های این پژوهش به شرح زیر می‌باشند:

مؤلفه‌های استوارمندی زنجیره‌تأمین صنعت چینی کدامند؟

ساختار مدل استوار زنجیره‌تأمین صنعت چینی به چه صورت است؟

۵ روش‌شناسی پژوهش

پژوهش فعلی یک تحقیق کاربردی است و نحوه‌ی گردآوری اطلاعات بر اساس مطالعه موردی انتخاب شده است. ابتدا با مرور پیشینه نظری و سپس از طریق مصاحبه با مدیران شرکت چینی تقدیس، اجزای زنجیره‌ی تأمین و ارتباط بین آن‌ها شناسایی شد سپس عوامل متغیر و نامطمئن مجموعه، محدودیت‌های پیش‌رو و شرایط محیطی داخلی و خارجی شناسایی گردید. مدل مربوط بر اساس اطلاعات تدوین شده و داده‌های عددی لازم اخذ گردید. برای تحلیل داده‌ها از برنامه‌ریزی خطی و برای رویارویی با عدم اطمینان از رویکرد بهینه‌سازی استوار برتسیمس و سیم استفاده شد. تابع هدف، یک مدل ریاضی چند هدفه است که از روش وزن‌دهی به مساله یک هدفه تبدیل گردید. مدل ریاضی استوار نهایی با نرم‌افزار لینگو مدل‌سازی و حل گردید.

۶ تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

گام‌های صورت گرفته در این بخش به شرح زیر می‌باشد:

- توسعه مدل استوارمندی زنجیره‌تأمین شرکت چینی تقدیس
- تبدیل مدل چندهدفه به یک هدفه و محاسبه اوزان اهداف
- پیاده‌سازی و حل عددی مدل

الف) توسعه مدل استوارمندی زنجیره تامین شرکت چینی تقدیس

در این بخش مفروضات به صورت کلی آورده می شوند سپس به صورت موردی بر روی شرکت چینی تقدیس پیاده سازی می گردند. زنجیره تامین چینی، سه سطحی و شامل تأمین کننده خارجی و داخلی، تولید کننده و مشتری است. پیش فرض های این پژوهش بدین شرح می باشد:

۱. کلیه مواد اولیه سالم است و میزان مواد اولیه معیوب صفر می باشد.
 ۲. میزان موجودی نهایی صفر است.
 ۳. سیاست تولید مبتنی بر استراتژی ساخت برای سفارش (MTO) است.
 ۴. انبار کالای ساخته شده وجود ندارد.
 ۵. کمبود قطعه و نگهداری ذخیره احتیاطی لازم در انبار مجاز نیست.
 ۶. روابط بین متغیرهای مدل خطی است.
 ۷. ماهیت پارامترهای نامطمئن تصادفی است.
 ۸. نوسان داده های نامطمئن از توزیع متقارن پیروی می کند.
- اندیس های مدل به شرح زیر است:

- i : محصول (سرویس چینی)
- j : مشتری
- k : کارخانه
- m : مواد اولیه
- n : تأمین کننده
- t : دوره زمانی
- s : سطح محافظه کاری
- g : تابع هدف (آرمان)

پارامترهای مدل با توجه به اینکه مدل سازی در فضای عدم اطمینان با تاکید بر استواری انجام می پذیرد، به سه دسته تفکیک می شوند: پارامترهای قطعی، غیر قطعی و پارامترهای استواری. توزیع داده های غیر قطعی در یک بازه با توزیع متقارن تعریف شده است. هر پارامتر بازه ای شامل دو پارامتر عدد وسط بازه و عدد نیم طول بازه است. با این تعاریف پارامترهای مدل در چهار دسته طبقه بندی می شوند:

- ۱- پارامترهای قطعی
- ۲- پارامترهای استواری
- ۳- عدد اسمی پارامترهای غیر قطعی
- ۴- نیم طول بازه پارامترهای غیر قطعی

جدول ۲. پارامترهای مدل

پارامتر	نماد	شرح
پارامترهای قطعی	Pc_{mn}	هزینه خرید ماده اولیه
	Ch_{mn}	هزینه نگهداری ماده اولیه
	Cr_{im}	ضریب مصرف ماده اولیه m در محصول i ام
	Cap_k	ظرفیت خط تولید کارخانه k ام
	Tc_{mnk}	هزینه حمل و نقل ماده اولیه m از تأمین کننده n تا کارخانه k
	O_g	مقدار آرمان g ام
	W_g	وزن آرمان g ام
پارامترهای استواری	Γqu_s	ضریب سطح محافظه کاری پارامتر کیفیت مدل استوار در حالت s ام
	ΓCap_s	ضریب سطح محافظه کاری پارامتر ظرفیت مدل استوار در حالت s ام
	Γdem_s	ضریب سطح محافظه کاری پارامتر تقاضا مدل استوار در حالت s ام
عدد اسمی پارامترهای غیر قطعی	$\overline{D}_{ijt}$	عدد اسمی تقاضای محصول i ام در دوره t ام توسط مشتری j ام
	$\overline{qu}_{ik}$	عدد اسمی سطح نامطلوب کیفیت محصول i ام در کارخانه k ام
	$\overline{C}_{mn}$	عدد اسمی ظرفیت تأمین کننده m ام برای تأمین ماده اولیه m ام
نیم طول بازه پارامترهای غیر قطعی	D_{ijt}	نیم طول بازه نوسانی تقاضای محصول i ام در دوره t ام توسط مشتری j ام
	qu_{ik}	نیم طول بازه نوسانی سطح نامطلوب کیفیت محصول i ام در کارخانه k ام
	C_{mn}	نیم طول بازه ای که عدد اسمی ظرفیت تأمین کننده در آن نوسان می کند

متغیرهای مدل به دو نوع استواری و اصلی تقسیم بندی می شوند. متغیرهای استواری عبارتند از: Zqu ، $Zdem_{ijt}$ ، $Pdem_{ijt}$ ، $Pcap_{mn}$ ، Pqu_{ik} ، $Zcap_{mn}$ و متغیرهای اصلی نیز در جدول شماره ۳ نشان داده شده اند.

جدول ۳. متغیرهای مدل

متغیر	نماد	شرح
متغیرهای اصلی	X_{ikt}	میزان تولید محصول i ام در کارخانه k ام در دوره t ام
	X_{ikjt}	میزان تولید محصول i ام در کارخانه k ام در دوره t ام و تخصیص یافته به مشتری j ام
	S_{mnkt}	میزان تأمین ماده اولیه m ام از تأمین کننده n ام در دوره t ام برای کارخانه k ام
	I_{mnkt}	میزان موجودی ماده اولیه m ام از تأمین کننده n ام در دوره t ام و در کارخانه k ام
	P_g	متغیر انحراف مثبت از هدف
	ne_g	متغیر انحراف منفی از هدف

مدل ارایه شده برای زنجیره تأمین چینی دارای سه هدف حداکثر کردن تولید و توزیع، کمینه کردن سطح نامطلوب کیفیت (حداکثر کردن کیفیت) محصولات و کمینه کردن هزینه کل تأمین مواد اولیه می باشد. این اهداف عبارتند از:

$$\text{Max} \sum_i \sum_t \sum_k X_{ikt} + \sum_i \sum_k \sum_j \sum_t X_{ikjt} \quad (1)$$

$$\text{Min} \sum_i \sum_t \sum_k qu_{ik} X_{ikt} \quad (2)$$

$$\text{Min} \sum_{m=1}^M \sum_n \sum_t \sum_k Pc_{mn} S_{mnkt} + \sum_m \sum_n \sum_t \sum_k Tc_{mnk} S_{mnkt} + \sum_m \sum_n \sum_t \sum_k Ch_{mn} I_{mntk} \quad (3)$$

رابطه (۱) بیانگر هدف حداکثر کردن تولید و سفارش است. رابطه (۲) بیانگر هدف کمینه کردن مقدار عدد منفی کیفیت در تولیدات کارخانه می باشد و رابطه (۳) بیانگر حداقل کردن مجموع هزینه های خرید مواد اولیه، حمل مواد اولیه از تأمین کننده تا کارخانه و هزینه نگهداری ماده اولیه می باشد. محدودیت های مدل شامل محدودیت توازن تولید و توزیع، محدودیت ظرفیت هر تأمین کننده، محدودیت ظرفیت تولید کارخانه، محدودیت تقاضای ماده اولیه و محدودیت تقاضای هر مشتری می باشد.

$$\sum_n S_{mntk} = \sum_i Cr_{im} X_{ikt} - \sum_n I_{mnkt-1} + \sum_n I_{mnkt} \quad \forall k, m, t \quad (4)$$

$$\sum_k S_{mntk} \leq C_{mn} \quad \forall m, n, t \quad (5)$$

$$\sum_i X_{ikt} \leq Cap_k \quad \forall k, t \quad (6)$$

$$X_{ikt} = \sum_j X_{ikjt} \quad \forall i, k, t \quad (7)$$

$$\sum_k X_{ikjt} \geq \bar{D}_{ijt} \quad \forall i, t, j \quad (8)$$

$$\sum_k X_{ikjt} \leq \bar{D}_{ijt} + D_{ijt} \quad \forall i, t, j \quad (9)$$

$$X_{ikt}, X_{ikjt}, I_{mnkt}, S_{mntk} \geq 0 \quad \forall m, n, k, t$$

رابطه (۴) بیانگر محدودیت برابری میزان تقاضا ماده اولیه m ام از تأمین کننده n ام در دوره t ام با میزان مصرف ماده اولیه در هر محصول منهای موجودی اول دوره ماده اولیه بعلاوه موجودی پایان دوره ماده اولیه است. رابطه (۵) نشان دهنده این است که میزان ماده اولیه درخواستی از تأمین کننده باید از ظرفیت تولید آن تأمین کننده کم تر باشد. رابطه (۶) می گوید میزان محصول تولیدی باید از ظرفیت تولید کارخانه کم تر باشد. رابطه (۷) بیانگر توازن تولید و توزیع است. رابطه های (۸) و (۹) نشانگر این است که میزان محصولی که برای مشتری فرستاده می شود نباید از تقاضای مشتری کم تر باشد که موجب کمبود شود و از طرفی نباید باعث تخصیص بیش از حد به مشتری شود.

لازم به ذکر است که درمباحث بهینه سازی استوار به ازای هر مساله اسمی یک مدل استوار ارایه می گردد که همتای استوار نامیده می شود، که عبارتست از: مدل ریاضی معادل با مدل اسمی یک مساله که بحث استوارسازی روی آن اعمال شده (مدل اسمی تغییر یافته) و در صورت حل، جواب های حاصله از آن همان

جواب‌های استوار مساله است. به عبارتی با حل مدل همتای استوار جواب‌های استوار برای مساله اصلی ارایه می‌گردد. همتای استوار مساله اسمی بالا به شرح زیر می‌باشد:

$$\text{Max} \sum_i^I \sum_t^T \sum_k^K X_{ikt} + \sum_i^I \sum_k^K \sum_j^J \sum_t^T X_{ikjt} \quad (10)$$

$$\text{Min} \sum_i^I \sum_t^T \sum_k^K \overline{qu}_{ik} X_{ikt} + \sum_i^I \sum_k^K \sum_t^T Pqu_{ikt} + Zqu \times \Gamma qu_s \quad (11)$$

$$\text{Min} \sum_m^M \sum_n^N \sum_t^T \sum_k^K Pc_{mn} S_{mnkt} + \sum_m^M \sum_n^N \sum_t^T \sum_k^K Tc_{mnk} S_{mnkt} + \sum_m^M \sum_n^N \sum_t^T \sum_k^K Ch_{mn} I_{mnkt} \quad (12)$$

s.t.

$$\sum_n^N S_{mnkt} = \sum_i^I Cr_{im} X_{ikt} - \sum_n^N I_{mnkt-1} + \sum_n^N I_{mnkt} \quad \forall k, m, t \quad (13)$$

$$\sum_k^K S_{mnkt} + ZCap_{mn} \Gamma Cap_s + PCap_{mn} \leq \overline{C}_{mn} \quad \forall m, n, t \quad (14)$$

$$\sum_i^I X_{ikt} \leq Cap_k \quad \forall k, t \quad (15)$$

$$X_{ikt} = \sum_j^J X_{ikjt} \quad \forall i, k, t \quad (16)$$

$$\sum_k^K X_{ikjt} - Pd_{ij} \Gamma dem_s \geq \overline{D}_{ijt} \quad \forall i, t, j \quad (17)$$

$$\sum_k^K X_{ikjt} \leq \overline{D}_{ijt} + D_{ijt} \quad \forall i, t, j \quad (18)$$

$$ZCap_{mn} + PCap_{mn} \geq C_{mn} \quad \forall m, n \quad (19)$$

$$Zdem_{ijt} + Pd_{ij} \geq D_{ijt} \quad \forall i, j, t \quad (20)$$

$$Pqu_{ikt} + Zqu \geq qu_{ikt} \quad \forall i, k, t \quad (21)$$

$$X_{ikt}, X_{ikjt}, I_{mnkt}, S_{mnkt} \geq 0 \quad \forall m, n, k, t \quad (22)$$

$$Pqu_{ikt}, Zqu, PCap_{mn}, ZCap_{mn}, Pd_{ij}, Zdem_{ijt} \geq 0 \quad \forall m, n, k, t \quad (23)$$

رابطه‌های (۱۹)، (۲۰) و (۲۱) محدودیت‌های استواری هستند که حین تبدیل مدل به همتای استوار به مدل اضافه شده‌اند.

ب) تبدیل مدل چند هدفه به یک هدفه

مدل ارایه شده یک مدل چندهدفه است که باید به یک مساله با یک تابع هدف تبدیل شود. با استفاده از روش وزن‌دهی که رویکردی معمول برای حل مدل‌های چندهدفه می‌باشد، مدل را به یک مساله تک‌هدفه تبدیل نموده و از آنجایی که تمامی توابع هدف هم‌مقیاس نیستند آن‌ها را به‌نجار می‌کنیم. برای وزن‌دهی به اهداف تکنیک AHP استفاده گردید. بدین منظور پرسشنامه مقایسات زوجی تدوین و با نظر ۹ نفر از مدیران و کارشناسان شرکت چینی تکمیل شد. نرخ سازگاری (CR) برابر ۰/۰۸۷ محاسبه گردید که با توجه به اینکه این مقدار از ۰/۱

کم تر می باشد؛ لذا می توان گفت که اوزان به دست آمده قابل اتکا بوده است [۵۱]. جدول زیر وزن های به دست آمده را برای هر کدام از اهداف نشان می دهد.

جدول ۴. وزن اهداف

هدف	پارامتر	مقدار
کمینه کردن سطح نامطلوب کیفیت	W_1	۰/۴۵
حداکثر کردن تولید و توزیع	W_2	۰/۱۹
کمینه کردن هزینه	W_3	۰/۳۶

ج) پیاده سازی و حل عددی مدل

برای نشان دادن کاربردی بودن، مدل با استفاده از داده های شرکت چینی تقدیس حل گردید. زنجیره ی تأمین شرکت چینی سه سطحی و شامل ۸ تأمین کننده ، ۶ ماده اولیه، یک کارخانه و ۱۳ مشتری است. ۴ ماده اولیه تک تأمین کننده ای، ۱ ماده اولیه ۲ تأمین کننده ای و یک ماده اولیه سه تأمین کننده ای می باشد. دو محصول سرویس ۳۰ پارچه پرنسس و سرویس ۳۰ پارچه فلت در یک دوره مورد بررسی قرار گرفت.

مقدار پارامتر آرمان g ام

این پارامتر به ازای هر بار حل مدل بدون در نظر گرفتن عدم اطمینان پارامترها برای هر آرمان به دست می آید.

جدول ۵. مقدار هر آرمان

آرمان	مقدار آرمان
O_1	۹۱۱/۷۷۶۵
O_2	۹۰/۹۴۸۳۴
O_3	۱۹/۹۴۵۶۲

پارامتر Γ تنظیم کننده میزان محافظه کاری است. در این پژوهش ۵ حالت در نظر گرفته شده به طوری که در هر حالت سه سطح محافظه کاری مرتبط با سه منبع نامطمئن وجود دارد. این حالت ها از کاملاً خوشبینانه به سمت حالت کاملاً بدبینانه میل می کند.

جدول ۶. سطوح محافظه کاری پارامترهای استواری مدل

حالت های سطوح حفاظت	۱	۲	۳	۴	۵
Γqu_s	۰	۶	۱۲	۱۸	۲۴
Γcap_s	۰	۰/۲۵	۰/۵	۰/۷۵	۱
Γdem_s	۰	۰/۲۵	۰/۵	۰/۷۵	۱

۷ تحلیل یافته‌های پژوهش

مدل نهایی استوار با استفاده از داده‌های واقعی استخراج شده از شرکت چینی تقدیس حل گردید. با توجه به اینکه ۵ سطح حفاظت در نظر گرفته شده است؛ لذا به ازای هر حالت یک مدل حل می‌گردد. نتایج به دست آمده برای مقادیر تابع هدف و میزان تولید از هر محصول در جدول ۷ آورده شده است.

جدول ۷. مقادیر تابع هدف و X_{ikt}

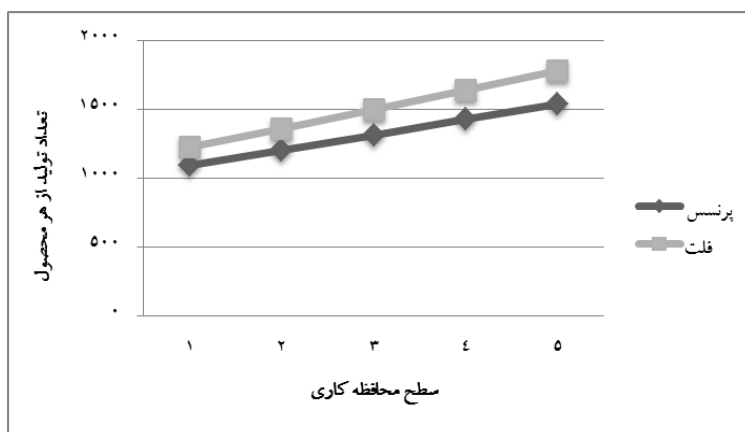
حالت‌های سطوح حفاظت (S)	تابع هدف	میزان تولید	
		محصول پرنسس	محصول فلت
۱	۰/۰۵۷۷۷	۱۰۹۶	۱۲۲۶
۲	۰/۱۳۱۸۷۶۸	۱۲۰۶	۱۳۶۴
۳	۰/۲۰۵۹۸۲	۱۳۱۸	۱۵۰۶
۴	۰/۲۸۰۰۸۶۸	۱۴۳۰	۱۶۴۶
۵	۰/۳۵۴۱۹۱۸	۱۵۴۰	۱۷۸۵

همان‌طور که در جدول ۷ ملاحظه می‌شود با افزایش سطح حفاظت از ۱ به ۵ مقدار تابع هدف بدتر شده و میزان تولید نیز افزایش می‌یابد. که این با مفهوم استواری مدل سازگار است. به معنای دیگر هر چه عدم اطمینان بیش‌تر شود محصول بیش‌تری برای مواجهه با این عدم اطمینان باید تولید گردد. جدول ۸ مقدار انحراف از هر هدف را در سطوح مختلف حفاظت نشان می‌دهد.

جدول ۸. مقادیر انحراف از اهداف در حالت‌های مختلف سطوح حفاظت

حالت‌های سطوح محافظه کاری (S)	مقدار انحراف از هدف اول	مقدار انحراف از هدف دوم	مقدار انحراف از هدف سوم
	p_1	ne_p	p_r
۱	۰/۰۰۰۰۳۲۵	۲۷/۶۵	۰/۰۰۰۰۰۴۵۸۳۳۷۵
۲	۹۹/۷۳	۲۰/۷۴	۲/۱۷۸۶۳۳
۳	۱۹۹/۴۸	۱۳/۸۳	۴/۳۵۷۲۶
۴	۲۹۹/۲۲	۶/۹۱	۶/۵۳۵۸۹۰
۵	۳۹۸/۹۵	۰	۸/۷۱۴۵۱۸

با توجه به جدول ۸ می‌توان گفت که مقدار انحراف از هدف اول و سوم با افزایش سطح حفاظت افزایش می‌یابد؛ اما مقدار انحراف از هدف دوم با افزایش سطح حفاظت بهتر می‌شود. شکل ۱ نیز نشان دهنده میزان تولید در هر سطح حفاظت است که با افزایش سطوح حفاظت مقادیر تولید افزایش می‌یابد.



شکل ۱. میزان تولید از هر محصول به ازای هر سطح حفاظت

نمودار فوق بیانگر سه نکته مهم به شرح زیر می باشد:

۱. با افزایش سطوح حفاظت مقادیر تولید نیز افزایش می یابد. این رفتار مبین این است که هرچه عدم اطمینان بیش تر شود باید محصول بیش تری برای مواجه با آن (عدم اطمینان) تولید گردد.
۲. مقادیر تولید دو محصول پرئس و فلت در سطح محافظه کاری اول کم ترین و در سطح محافظه کاری پنجم بیش ترین اختلاف را دارند.
۳. مقدار تولید محصول فلت در همه سطوح محافظه کاری، بیش تر از مقدار تولید پرئس بوده است. توجیه این وضعیت می توان گفت که کیفیت محصول فلت بیش تر از کیفیت محصول پرئس بوده است. کوچک تر بودن عدد اسمی سطح نامطلوب کیفیت محصول فلت نسبت به محصول پرئس در تابع هدف دوم نیز مصداق این امر می باشد.

۸ نتیجه گیری و پیشنهادها

مقاله حاضر با هدف توسعه یک مدل ریاضی استوار سه هدفه در زنجیره تأمین شرکت چینی تقدیس انجام گرفت. رویکرد مزبور روش متفاوتی را برای کنترل سطح محافظه کاری ارایه نموده است. این رویکرد از این مزیت برخوردار است که منجر به یک مدل بهینه سازی خطی خواهد گردید. رویکردهای مختلف استوار سطوح متفاوتی از محافظه کاری را در نظر می گیرند. مدل توسعه داده شده در این پژوهش با استفاده از تکنیک فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وزندهی و به مساله تک هدفه تبدیل و سپس با استفاده از رویکرد برتسیمس و سیم [۱۸] استوار گردید. سه منبع تقاضا، کیفیت و ظرفیت تأمین کننده به عنوان منابع استوار شناخته شدند. زنجیره تأمین شرکت چینی تقدیس سه سطحی در نظر گرفته شد که شامل هشت تأمین کننده، شش ماده اولیه (چهار ماده اولیه تک تأمین کننده ای، یک ماده اولیه دو تأمین کننده ای و یک ماده اولیه سه تأمین کننده ای)، یک کارخانه و سیزده مشتری می گردد. همچنین روابط بین متغیرهای مدل، خطی و ماهیت پارامترهای نامطمئن تصادفی بوده و سیاست تولید شرکت مبتنی بر استراتژی ساخت برای سفارش (MTO) بوده است. مدل با استفاده

از نرم‌افزار LINGO16 حل گردید. نتایج نشان داد که هرچه سطح محافظه‌کاری بالاتر باشد مقدار تابع هدف از مقدار بهینه فاصله بیش‌تری می‌گیرد. به عبارت دیگر با افزایش سطح حفاظت از مقدار ۱ به ۵، مقدار تابع هدف بدتر می‌گردد. با این حال مقدار تولید از هر محصول افزایش می‌یابد؛ زیرا هر چه عدم اطمینان بیش‌تر شود محصول بیش‌تری برای مواجهه با این عدم اطمینان باید تولید گردد. مقدار انحراف از هدف اول و سوم با افزایش سطح حفاظت افزایش یافته؛ اما مقدار انحراف از هدف دوم با افزایش سطح حفاظت بهتر گردید. نتایج مبین این بود که مقادیر تولید دو محصول پرنسس و فلت در سطح محافظه‌کاری اول کم‌ترین و در سطح محافظه‌کاری پنجم بیش‌ترین اختلاف را داشته و مقدار تولید محصول فلت در همه سطوح محافظه‌کاری، بیش‌تر از مقدار تولید پرنسس بوده است. این مهم و همچنین کوچک‌تر بودن عدد اسمی سطح نامطلوب کیفیت محصول فلت نسبت به محصول پرنسس در تابع هدف دوم تاییدی بر بالاتر بودن کیفیت محصول فلت از کیفیت محصول پرنسس می‌باشد؛ بنابراین می‌توان انتظار داشت که مدیران شرکت در شرایط عدم اطمینان بالا رویکرد و سیاستگذاری تولید خود را بر روی محصول فلت معطوف نمایند.

نتایج این پژوهش می‌تواند به عنوان یک نقشه راه برای تصمیم‌گیری مدیران و خبرگان صنعت چینی با توجه به رقابت شدید در این صنعت از یکسو و ناپایداری محیط داخلی شرکت‌ها از سوی دیگر، به کار آید. آنچه این گونه شرکت‌ها به دنبال آن هستند تثبیت جایگاه خویش در بازار رقابتی بوده که نیازمند نگاهی عمیق‌تر به زنجیره‌ی تأمین خود می‌باشد. از دیگر مزایای این پژوهش قابلیت پیش‌بینی متغیرهای زنجیره‌ی تأمین شرکت‌های تولیدی چینی مطروفاً می‌باشد. امروزه اهمیت توجه به زنجیره‌ی تأمین بر هیچ مدیر و صنعتی پوشیده نیست؛ اما آنچه تأثیر بسیاری بر این زنجیره می‌گذارد ناپایداری‌هایی است که به نظر غیر قابل کنترل بوده؛ اما توانسته است تأثیر ژرفی بر زنجیره‌ی تأمین بگذارد. این عدم اطمینان هرچه که باشد در قالب مفهوم استواری کم‌ترین تأثیر را بر زنجیره‌ی تأمین می‌گذارد.

از آنجایی که در مدل مورد مطالعه پژوهش حاضر سه هدف در نظر گرفته شده است؛ لذا پیشنهاد می‌گردد پژوهشگران در مطالعات بعدی اهداف دیگری را در نظر گیرند و وارد مدل نمایند. همچنین با توجه به ماهیت شرکت مورد بررسی و شرایط محیطی سه پارامتر کیفیت، تقاضا و ظرفیت تأمین‌کننده به عنوان منابع عدم اطمینان شناخته شدند؛ لذا می‌توان در پژوهش‌های بعد منابع دیگری مانند هزینه را به عنوان منبع استواری لحاظ نمود. این پژوهش بر مبنای رویکرد برتسیمس و سیم انجام شده است. پژوهشگران می‌توانند سایر رویکردهای بهینه‌سازی استوار را سرلوحه کار خویش قرار دهند. همچنین پژوهشگران می‌توانند پژوهش حاضر را با رویکرد فازی و یا خاکستری انجام دهند و نتایج را با هم مقایسه کنند. پیاده‌سازی مدل استوار در زنجیره‌تأمین حلقه بسته پیشنهاد دیگر این پژوهش به سایر محققان می‌باشد.

منابع

- [۳] آذر، ع.، موسوی، س. (۱۳۹۳). طراحی مدل احتمالی و استوار یکپارچه سه مرحله‌ای برای انتخاب تأمین‌کننده با رویکرد عدم قطعیت. مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، ۱۱(۱)، ۱-۱۸.

- [۶] صفری، ح.، محبی منش، ا. (۱۳۹۰). ارایه مدل مفهومی مدیریت کیفیت زنجیره تأمین (SCQM) و بررسی وضعیت آن در صنعت خودروی ایران (مطالعه ی موردی: پروژه تندر ۹۰ شرکت ایران خودرو). مدیریت صنعتی، ۷(۳)، ۷۷-۹۸.
- [۱۲] هوشمندی ماهر، م.، امیری، م.، الفت، ل. (۱۳۹۳). مدل ریاضی انتخاب تأمین کننده و تخصیص سفارش در زنجیره تأمین با لحاظ عدم اطمینان در متغیرهای طراحی. مدیریت صنعتی، ۱۶(۱)، ۱۵۱-۱۸۰.
- [۱۳] ربیع، م.، آذر، ع.، مدرس یزدی، م.، فطانت فرد حقیقی، م. (۱۳۹۰). طراحی مدل ریاضی منبع یابی استوار چند هدفه: رویکردی در کاهش ریسک زنجیره تأمین (مورد مطالعه: زنجیره تأمین ایران خودرو). چشم انداز مدیریت صنعتی (۱)، ۵۷-۷۷.
- [۲۰] آذر، ع.، نجفی، ا.، نجفی، س. (۱۳۹۰). مدل سازی ریاضی استوار، رویکردی نوین در بودجه ریزی عمومی ایران. پژوهش های مدیریت در ایران- مدرس علوم انسانی، ۱۵(۲)، ۱-۱۹.
- [۲۳] مرادی، م.، صلاحی، م.، بردسیری، م.، جمالیان، ع. (۱۳۹۳). یک مدل جدید استوار در طراحی شبکه زنجیره تأمین تحت عدم قطعیت. مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، ۹-۲۶.
- [۲۵] قهطرانی، ع.، نجفی، ا. (۱۳۹۳). بهینه سازی استوار سبد مالی با استفاده از رویکرد ارزش در معرض خطر شرطی موزون. مهندسی صنایع و مدیریت شریف، ۳۰-۱(۲)، ۳-۱۰.
- [۲۷] صفایی قادیکلانی، ع.، مدهوشی، م.، جمالیان، ا. (۱۳۹۴). ارائه مدل مفهومی برای انتخاب تأمین کنندگان پایدار (مطالعه موردی: شرکت سایپا). مدیریت صنعتی، ۷(۴)، ۷۶۷-۷۸۴.
- [۳۹] ربیع، م.، آذر، ع.، مدرس یزدی، م.، فطانت فرد حقیقی، م. (۱۳۹۰). مدل ریاضی منبع یابی چند هدفه استوار - فازی: رویکردی در مدیریت ریسک زنجیره تأمین ایران خودرو. پژوهش های مدیریت در ایران- مدرس علوم انسانی، ۱۵(۱)، ۵۱-۷۶.
- [۴۹] پیکانی، پ.، روغنیان، ع. (۱۳۹۴). به کارگیری تحلیل پوششی داده ها و بهینه سازی استوار در مساله ی انتخاب سبد سرمایه. مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، ۱۲(۱)، ۶۱-۷۸.
- [۵۰] صلاحی، م.، ترابی، ن.، جمالیان، ع. (۱۳۹۳). استوارسازی مدل تحلیل پوششی داده های بازده به مقیاس ثابت. مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، ۱۱(۳)، ۱-۱۱.
- [۵۱] مومنی، م. (۱۳۸۹). مباحث نوین تحقیق در عملیات. تهران: مولف.
- [1] Zhao, S. T., Wu, K., Yuan, X. M., (2016). Optimal Production-Inventory Policy for an Integrated Multi-Stage Supply Chain with Time-Varying Demand. *European Journal of Operational Research*, 255(2), 364-379.
- [2] Wang, J., Shu, Y. F., (2005). Fuzzy decision modeling for supply chain management. *Fuzzy Sets and Systems*, 150(1), 107-127.
- [4] Egri, P., Kadar, B., Vancza, J., (2016). Towards coordination in robust supply networks. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 41-46.
- [5] Fattahi, M., Govindan, K., (2016). Investigating risk and robustness measures for supply chain network design under demand uncertainty: A case study of glass supply chain. *International Journal of Production Economic*.
- [7] Mariadoss, B. J., Chi, T., Tasuhaj, P., Pomirleanu, N., (2016). Influences of Firm Orientations on Sustainable Supply Chain Management. *Journal of Business Research*, 69 (9), 3406-3414.
- [8] Altıparmak, F., Gen, M., Lin, L. , Paksoy, T., (2006). A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks. *Computers Industrial Engineering*, 51(1), 169-215.
- [9] Proch, M., Worthmann, K., Schluchterman, J., (2017). A negotiation-based algorithm to coordinate supplier development in decentralized supply chains. *European Journal of Operational Research*, 256, 412-429.
- [10] Ghodsypour, S., O'Brien, C., (1998). A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming. *International Journal of Production Economics*, 56-7(20), 199-212.

- [11] Ghodsypour, S., O'Brien, C., (2001). The total cost of logistics in supplier selection, under conditions of multiple sourcing, multiple criteria and capacity. *International Journal of Production Economics*, 73(1), 15-27.
- [14] Boer, L., Labro, E., Morlacchi, P., (2001). A review of methods supporting supplier selection. *European Journal of Purchasing Supply Management*, 7(2), 75-89.
- [15] Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., Sheu, J.-B. (2015). An Enhanced Robustness approach for managing supply and demand uncertainties. *International Journal of Production Economics*.
- [16] Hites, R., De Smet, Y., Risse, N., Salazar-Neumann, M., Vincke, P., (2006). About the applicability of MCDA to some robustness problems. *European Journal of Operational Research*, 174(1), 322-332.
- [17] Kleijnen, J., (2001). Ethical issues in modeling: Some reflections. *European Journal of Operational Research*, 130(1), 223-230.
- [18] Bertsimas, D., Sim, M., (2004). The Price of Robustness. *Operations Research*, 52(1), 35-53.
- [19] Ben-Tal, A., Nemirovski, A., (2000). Robust solutions of Linear Programming problems contaminated with uncertain data. *Math Program*, 88(3), 411-424.
- [21] Mulvey, J. M., Ruszczyński, A., (1995). A new scenario decomposition method for large-scale Stochastic Optimization. *Operations Research*, 43 (3), 477-490.
- [22] Jamili, A., (2016). A robust mathematical model and heuristic algorithms for integrated aircraft routing and scheduling, with consideration of fleet assignment problem. *Journal of Air Transport Management*, 58, 21-30.
- [24] Shafiei Kisomi, M., Solimanpur, M., Doniavi, A., (2016). An integrated supply chain configuration model and procurement management under uncertainty: a set-based robust optimization methodology. *Applied Mathematical Modelling*, 40(17-18), 8928-7947.
- [26] Yang, T., Wu, B., (2015). Robustness Comparison of Three Dual-channel Supply Chain Structures under Demand Disruptions. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 2233-2237.
- [28] Sakhaei, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Bagheri, M., Vatani, B., (2016). A robust optimization approach for an integrated dynamic cellular manufacturing system and production planning with unreliable machines. *Applied Mathematical Modelling*, 191-169.
- [29] Aalaei, A., Davoudpour, H., (2017). A robust optimization model for cellular manufacturing system into supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 183: 667-679.
- [30] Keyvanshokoo, E., Ryan, S. M., Kabir, E., (2016). Hybrid robust and stochastic optimization for closed-loop supply chain network design using accelerated Benders decomposition. *European Journal of Operational Research*, 249(1), 76-92.
- [31] Tang, L., Jing, K., He, J., Stanley, H., (2016). Complex interdependent supply chain networks: Cascading failure and robustness. *failure and robustness*, 443, 58-69.
- [32] Montemanni, R., Gambardella, L., Donati, A., (2004). A branch and bound algorithm for the robust shortest path problem with interval data. *Operations Research Letters*, 32(3), 225-232.
- [33] Catanzaro, D., Labbé, M., Salazar-Neumann, M., (2011). Reduction approaches for robust shortest path problems. *Computers Operations Research*, 38(11), 1610-1619.
- [34] Cheng, J., Leung, J., Lissner, A., (2016). New reformulations of distributionally robust shortest path problem. *Computers Operations Research*, 74, 196-204.
- [35] Hasuike, T., (2013). Robust shortest path problem based on a confidence interval in fuzzy bicriteria decision making. *Journal of Information Sciences*, 221, 520-533.
- [36] Andrzej, A., Paweł, W., (2014). Robust control of the inventory level in warehouses systems. *Logistyka*, 1(6), 1379-1389.
- [37] Adida, E., Perakis, G., (2010). Dynamic Pricing and Inventory Control: Uncertainty and Competition. *Operations Research*, 181(1), 125-157.
- [38] Adida, E., Perakis, G., (2006). A Robust Optimization Approach to Dynamic Pricing and Inventory Control with no Backorders. *Mathematical Programming*, 107(1), 97-129.
- [40] Chang, Y. H., Yeh, C. H., (2002). A survey analysis of service quality for domestic airlines. *European Journal of Operational Research*, 139(1), 166-177.
- [41] Jiang, H., Barnhart, C., (2013). Robust airline schedule design in a dynamic scheduling environment. *Journal of Computers Operations Research*, 40(3), 831-840.
- [42] Cadarso, L., Marín, Á., (2011). Integrated Robust Airline Schedule Development. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 20, 1041-1050.

- [43] Aloulou, M ., Artigues, C., (2007). Worst-case evaluation of flexible solutions in disjunctive .The 2007 International Conference on Computational Science and its applications (ICCSA):(1027-1036). Kuala Lumpur: Springer Berlin Heidelberg.
- [44] Jia, Z ., Ierapetritou, M. G., (2007). Generate Pareto optimal solutions of scheduling problems using normal boundary intersection technique .Journal of Computers Chemical Engineering, 31, 268-280.
- [45] Aloulou, M ., Della Croce, F., (2008). On the complexity of single machine scheduling problems under scenario-based uncertainty .Operations Research Letters, 36(3), 338-342.
- [46] Deinel, V. G., Woeginger, G. J., (2006). On the robust assignment problem under a fixed number of cost scenarios .Operations Research Letters, 34(2), 175-179 .
- [47] Snyder, L. V., Daskin, M. S.(2006). Stochastic p-robust location problem .IIE Transactions, 38(11), 971-985.
- [48] Lempert, R. J., Groves, D. G., Popper, S. W., Bankes, S. C., (2006). A general, analytic method for generating robust strategies and narrative scenarios .Management Science, 52(4), 514-528.