

برنامه‌ریزی تولید - توزیع ادغام‌شده با رویکرد بهینه‌سازی استوار در زنجیره تأمین سه‌سطحی

مقصود امیری*، مجید برزگر**، امیرحسین نیکنام‌فر***

چکیده

در سال‌های اخیر، برنامه‌ریزی تولید-توزیع و بهینه‌سازی آن در مدیریت زنجیره تأمین، اهمیت زیادی در میان پژوهشگران یافته است. دو موضوع مهم مسائل بهینه‌سازی در زنجیره تأمین، برنامه‌ریزی تولید و توزیع هستند. این نوشتار به مطالعه یک مدل برنامه‌ریزی تولید-توزیع یکپارچه‌شده برای یک زنجیره تأمین سه‌سطحی شامل چندین تولیدکننده، چندین توزیع‌کننده و چندین مصرف‌کننده می‌پردازد؛ به طوری که برای توزیع محصولات نهایی در بین سطوح زنجیره، حالت‌های حمل‌ونقل متعددی در نظر گرفته می‌شود. در این پژوهش، تقاضای مصرف‌کنندگان و هزینه‌های حمل‌ونقل در روش‌های مختلف حمل‌ونقل غیرقطعی است و از رویکرد بهینه‌سازی استوار استفاده می‌شود. هدف از بهینه‌سازی استوار به‌دست‌آوردن یک جواب استوار است که بتواند همه سناریوهای تعیین‌شده را در سطح نزدیک به بهینه تضمین کند. هدف از پژوهش حاضر، ارائه یک مدل بهینه‌سازی استوار برای مسئله برنامه‌ریزی تولید-توزیع یکپارچه، است؛ به طوری که کل هزینه‌های زنجیره تأمین کمینه شود؛ از این‌رو ابتدا مدل اولیه مسئله با پارامترهای قطعی، طراحی و سپس هم‌تای استوار آن ارائه می‌شود. در نهایت، برای تحلیل هر دو مدل یادشده، یک مثال عددی همراه با سناریوها و سطوح عدم قطعیت مختلف حل و نتایج آن بررسی می‌شود.

کلیدواژه‌ها: بهینه‌سازی استوار؛ برنامه‌ریزی تولید - توزیع؛ زنجیره تأمین.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۵/۰۴/۰۵، ۱۳۹۵/۸/۳.

* استاد، دانشگاه علامه طباطبائی.

** کارشناس ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین.

*** کارشناس ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، قزوین (نویسنده مسئول).

E-mail: niknamfar@yahoo.com

۱. مقدمه

مدیریت زنجیره تأمین^۱، فرآیند یکپارچه‌سازی تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و خرده‌فروشان برای تولید کالا و توزیع آن به میزان مناسب و در زمان مناسب در میان مصرف‌کنندگان نهایی است [۱]. دو موضوع مهم مسائل بهینه‌سازی در زنجیره تأمین، برنامه‌ریزی تولید و توزیع هستند [۲]. بسیاری از سازمان‌ها تلاش می‌کنند سیستم تولید و توزیع خود را به‌طور جداگانه بهینه کنند؛ اما این دیدگاه، هرگونه امکان افزایش سود یا کاهش هزینه و نیز انعطاف‌پذیری در برابر تغییرات تقاضا و بهبود خدمت‌رسانی به مصرف‌کنندگان در زنجیره تأمین را محدود می‌سازد؛ در صورتی که استفاده از دیدگاه یکپارچه‌شده یا به‌عبارت‌دیگر برنامه‌ریزی تولید-توزیع^۲ به هماهنگی بین سیستم‌های تولید و توزیع منجر می‌شود و در نتیجه کارایی و انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به دیدگاه قبلی خواهد داشت [۳]. یک شبکه تولید-توزیع در زنجیره تأمین، یک سیستم یکپارچه‌شده از نهادهای مختلف است که برای فراهم کردن مواد خام، تبدیل این مواد خام به محصولات نهایی مشخص شده و ارائه این محصولات نهایی به بازارهای مصرف فعالیت می‌کنند [۴]. هدف از برنامه‌ریزی تولید-توزیع، ارائه یک برنامه مسنجم و یکپارچه‌شده تولید و توزیع است؛ به طوری که تعادلی بین هزینه‌های تولید و توزیع و همچنین سطح رضایت مصرف‌کننده برقرار شود [۵].

در محیط‌های صنعتی، این نوع برنامه‌ریزی بر پایه برخی از پارامترها مانند تقاضا، ظرفیت‌ها و هزینه‌ها با مقدار غیرقطعی صورت می‌گیرد. در همین راستا در سال ۲۰۰۴، چهار رویکرد اصلی برای مقابله با این پارامترهای غیرقطعی ارائه شد [۶]. این چهار رویکرد عبارت‌اند از: برنامه‌ریزی احتمالی، برنامه‌ریزی فازی، برنامه‌ریزی پویای احتمالی و بهینه‌سازی استوار. در میان رویکردهای بالا، بهینه‌سازی استوار^۳، تنها رویکردی است که می‌تواند با در نظر گرفتن تعدادی سناریو^۴ ممکن و قابل تحقق، پارامترهای غیرقطعی فاقد تابع توزیع احتمالی را تجزیه و تحلیل کند. هدف از بهینه‌سازی استوار، به دست آوردن یک جواب استوار است که بتواند همه سناریوهای تعیین شده را در سطح نزدیک به بهینه تضمین کند [۷].

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

پژوهش‌های متعددی درباره برنامه‌ریزی تولید با رویکرد بهینه‌سازی استوار صورت گرفته است. برای مثال، در سال ۲۰۰۶، پژوهشگران یک رویکرد شبیه‌سازی برای مسئله برنامه‌ریزی تولید-توزیع اجرا کردند [۸]. در سال ۲۰۰۷ یک مدل بهینه‌سازی استوار برای یک مسئله برنامه‌ریزی

1. Supply Chain Management
2. Production- Distribution Planning
3. Robust Optimization
4. Scenario

تولید تحت عدم قطعیت ارائه شد. در این مدل تقاضا، هزینه‌های تولید، نگهداری، استخدام و هزینه نیروی انسانی غیرقطعی هستند و در سناریوهای متعددی بیان شده‌اند. هدف از این مدل، حداقل کردن کل هزینه‌های برنامه‌ریزی تولید با استفاده از بهینه‌سازی استوار بوده است [۹]. در همین سال پژوهشگران به توسعه یک برنامه‌ریزی زمان‌بندی تولید و توزیع کارا برای سیستم‌های تولید-توزیع پرداختند [۱۰]. در سال ۲۰۰۸، یک مدل دو هدفه برنامه‌ریزی تولید-توزیع برای یک سیستم توزیع به موقع سه سطحی ارائه شد [۱۱]. سلیم و همکاران (۲۰۰۸)، برنامه ریزی آرمانی فازی برای این مسئله را توسعه دادند. در این پژوهش از تابع مطلوبیت فازی برای حل مدل تولید-توزیع یکپارچه‌شده استفاده شد [۱۲]. در سال ۲۰۱۰، یک مسئله برنامه‌ریزی تولید چندمحصولی و چنددوره‌ای برای کارخانه‌های چوب‌بری ارائه شد. در این مسئله به دلیل ناهمگن بودن کیفیت مواد اولیه، نرخ فرآیندهای تولید غیرقطعی بوده و از رویکرد بهینه‌سازی استوار استفاده شده است [۱۳]. آقذف و همکاران (۲۰۱۰)، برنامه‌ریزی تاکتیکی^۱ برای سیستم‌های تولید چندمرحله‌ای را توسعه دادند؛ به طوری که تقاضای دوره‌ای محصولات نهایی، غیرقطعی فرض شدند [۱۴]؛ همچنین به توسعه برنامه‌ریزی استوار برای سیستم‌های تولیدی به منظور تعیین زمان اجرای بهینه فرآیند ماشین‌کاری در شرایطی که از کارافتادگی و خرابی ماشین‌ها در مرحله دوباره‌کاری محصولات به طور تصادفی فرض شده‌اند، پرداخته شد [۱۵]. آقذف و همکاران (۲۰۱۱)، به مطالعه برنامه‌ریزی تولید سلسله‌مراتبی استوار برای یک سیستم تولیدی دومرحله‌ای تحت شرایط عدم قطعیت پرداختند. در مرحله اول، سیستم به تولید محصولات نیمه‌ساخته بر اساس تقاضای سالیانه نسبتاً ثابت می‌پردازد و در مرحله دوم، محصولات نهایی در شرایطی تولید می‌شوند که تقاضای هفتگی غیرقطعی دارند [۱۶]. در همین سال، پیشوایی و همکاران به توسعه یک رویکرد بهینه‌سازی استوار برای یک زنجیره تأمین حلقه بسته در شرایط عدم قطعیت برای تقاضا و هزینه‌ها پرداختند [۱۷]. آنها به توسعه یک مدل بهینه‌سازی استوار چندهدفه برای برنامه‌ریزی تولید ادغامی در زنجیره تأمین پرداختند. هدف از این مدل، کمینه‌کردن هزینه‌های تولید و کمینه‌کردن میزان کمبود مصرف‌کنندگان در شرایطی بود که پارامترهای مدل غیرقطعی هستند [۱۷]. همچنین در سال ۲۰۱۱، وی و همکاران به تعیین یک سیاست بهینه استوار برای یک مسئله برنامه‌ریزی یکپارچه‌شده تولید- موجودی پرداختند. در این مسئله فرآیند تولید محصولات برگشتی با فرآیند ساخت محصولات، یکپارچه است و میزان تقاضا و همچنین میزان محصولات برگشتی غیرقطعی فرض شده‌اند [۱۸]. در جدول ۱، خلاصه‌ای از مرور پیشینه ارائه شده است.

جدول ۱. خلاصه مرور پیشینه

مرجع	سال	روش استفاده شده	چند محصولی	حمل و نقل محصولات	تعداد سطوح زنجیره	کمبود محصولات	چند دوره‌ای	هدف
[۸]	۲۰۰۶	شبیه سازی	✓		۲			کمینه سازی هزینه های تولید
[۹]	۲۰۰۷	بهینه سازی استوار در برنامه ریزی تولید	✓		۳		✓	بهینه سازی استوار
[۱۰]	۲۰۰۷	برنامه ریزی عدد صحیح مختلط	✓	✓	۳	✓		بیشینه سازی سود حاصل
[۱۱]	۲۰۰۸	منطق فازی	✓		۲		✓	کمینه سازی هزینه های تولید
[۱۲]	۲۰۱۰	برنامه ریزی آرمانی فازی	✓		۳	✓	✓	بیشینه سازی سود حاصل
[۱۳]	۲۰۱۰	برنامه ریزی تولید با چندین سناریو تقاضا	✓		۴		✓	کمینه سازی هزینه های تولید
[۱۴]	۲۰۱۰	بهینه سازی استوار در برنامه ریزی تاکتیکی	✓		۲		✓	کمینه سازی هزینه های سیستم تولیدی
[۱۵]	۲۰۱۰	بهینه سازی استوار در زمان اجرای فرآیند ماشین کاری	✓		۳			کمینه سازی از کار افتادگی و خرابی
[۱۶]	۲۰۱۱	برنامه ریزی تولید سلسله مراتبی	✓	✓	۳		✓	کمینه سازی هزینه های تولید
[۱۷]	۲۰۱۲	بهینه سازی استوار در زنجیره تامین حلقه بسته	✓	✓	۳			کمینه سازی کل هزینه های زنجیره
[۱۷]	۲۰۱۳	بهینه سازی استوار برای برنامه ریزی تولید ادغامی	✓		۲	✓	✓	کمینه سازی کل هزینه های تولید و کمبود
[۱۸]	۲۰۱۴	بهینه سازی استوار برای برنامه ریزی تولید - موجودی	✓		۳	✓	✓	کمینه سازی کل هزینه ها و محصولات برگشتی

با بررسی پژوهش‌های ارائه‌شده در مبانی نظری، مشخص می‌شود که در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱، رویکرد بهینه‌سازی استوار در موضوع برنامه‌ریزی تولید روند رو به رشدی داشته است؛ اما در بیشتر مطالعات انجام‌شده پیرامون این موضوع، توجه کمتری به استفاده از رویکرد بهینه‌سازی استوار در رابطه با برنامه‌ریزی یکپارچه‌شده تولید- توزیع، شده است؛ همچنین در رابطه با موضوع برنامه‌ریزی تولید- توزیع جایگاه مسائل مربوط به حالت‌های حمل‌ونقل^۱ بسیار کم‌رنگ است. حمل‌ونقل از موضوع‌های مهم در زنجیره تأمین است که به‌طورکلی به چهار حالت اصلی حمل‌ونقل ریلی، جاده‌ای، هوایی و آبی تقسیم می‌شود. هر یک از این حالت‌ها، خصوصیات و ویژگی‌های متفاوتی نسبت به هم دارند و تأثیر قابل‌توجهی در هزینه‌های برنامه‌ریزی تولید- توزیع و به‌طورکلی در زنجیره تأمین خواهند داشت [۱۹].

در این پژوهش به طراحی مدلی برای یک مسئله برنامه‌ریزی تولید- توزیع یکپارچه در یک زنجیره تأمین سه‌سطحی شامل چندین تولیدکننده، چندین توزیع‌کننده و چندین مصرف‌کننده در سطح تاکتیکی پرداخته می‌شود. در این زنجیره محصولات مختلفی طی یک افق برنامه‌ریزی مشخص تولید می‌شوند؛ همچنین چهار حالت حمل‌ونقل برای توزیع محصولات در بین سطوح زنجیره تأمین در نظر گرفته شده است. تقاضای هر یک از مصرف‌کنندگان و نیز هزینه‌های حمل‌ونقل در هر یک از حالت‌های اصلی حمل‌ونقل ریلی، جاده‌ای، هوایی و آبی، غیرقطعی بوده و دارای تابع توزیع ناشناخته است و رویکرد بهینه‌سازی استوار بر اساس مجموعه‌های عدم‌قطعیت^۲ استفاده می‌شود. دلیل در نظر گرفتن عدم‌قطعیت در هزینه‌های حمل‌ونقل، عدم‌کنترل و شناخت کافی در این نوع هزینه‌ها می‌باشد که تحت تأثیر شرایط اقتصادی حمل‌ونقل در مطالعه موردنظر مطرح است [۱۹]. هدف از این پژوهش، برخلاف پژوهش‌های پیشین، تعیین یک سناریو بهینه استوار برای تولید و توزیع محصولات و همچنین انتخاب یک حالت حمل‌ونقل مناسب در بین سطوح زنجیره تأمین است؛ به‌طوری‌که کل هزینه‌های زنجیره کمینه شود و محدودیت‌های مفروض نیز ارضا شوند. رویکرد بهینه‌سازی استوار به‌کارگرفته‌شده در این پژوهش بر اساس مجموعه‌های غیرقطعی و بر مبنای مطالعه صورت‌گرفته توسط پژوهشگران در سال ۲۰۱۲ است [۱۷]. شایان ذکر است که حسنی و همکاران (۲۰۱۴)، یک الگوریتم ممیتیک برای تحلیل داده‌ها و یافته‌های یک مدل استوار ارائه کردند [۲۴]. در همین راستا می‌توان به تحلیل ریسک در بهینه‌سازی و استوار و کاهش آن در زنجیره تأمین توسط ربیعه و همکاران (۲۰۱۱) اشاره کرد [۲۵]. همچنین ربیعه و همکاران (۲۰۱۵)، برای تحلیل داده و نتایج بهینه‌سازی آن در انتخاب پورتفولیو به توسعه یک الگوریتم تکامل تفاضلی چندهدفه توسط پروژه پرداختند [۲۶].

در این پژوهش در بخش دوم به مبانی نظری و پیشینه و در بخش سوم به روش شناسی

پژوهش پرداخته می‌شود. در بخش چهارم، تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش صورت می‌گیرد. در بخش پنجم نیز نتیجه‌گیری و پیشنهادها ارائه می‌شود.

۳. روش شناسی پژوهش

در این قسمت ابتدا به مدل‌سازی زنجیره تأمین حلقه‌بسته پیشنهادی پرداخته می‌شود؛ سپس روش خطی‌سازی مدل زنجیره تأمین برای مسئله حاضر ارائه می‌گردد و در نهایت به رویکرد برنامه‌ریزی فازی استوار پیشنهادی مبتنی بر مفاهیم میانگین امکانی و انحراف مطلق امکانی پرداخته می‌شود.

تشریح مسئله و مدل‌سازی. با در نظر گرفتن یک زنجیره تأمین سه‌سطحی، شامل چندین تولیدکننده، چندین توزیع‌کننده و چندین مصرف‌کننده به صورت چندمحصولی و چنددوره‌ای، هر تولیدکننده می‌تواند همه توزیع‌کنندگان را پشتیبانی کند و هر توزیع‌کننده می‌تواند همه مصرف‌کنندگان را تأمین کند. نیازهای مصرف‌کنندگان فقط توسط توزیع‌کنندگان تأمین می‌شود؛ همچنین، چهار حالت حمل‌ونقل نشان‌دهنده حالت‌های ریلی، جاده‌ای، آبی و هوایی با ظرفیت توزیع مشخص و محدود برای توزیع محصولات در هر دوره در نظر گرفته شده است. توزیع‌کنندگان، انبار نگهداری محصول ندارند و محصولات فقط برای همان دوره فعلی ذخیره می‌شوند. مفروضات مسئله عبارت‌اند از:

- تقاضای مصرف‌کنندگان و هزینه‌های حمل‌ونقل غیرقطعی است؛
- کمبود و تأخیر در ارسال مجاز نیست؛
- سطح نیروی انسانی ثابت و تولید محصولات فقط در وقت عادی صورت می‌گیرد؛
- زمان تحویل محصولات ناچیز فرض شده است؛
- بین هر تولیدکننده و هر توزیع‌کننده و بین هر توزیع‌کننده و هر مصرف‌کننده در هر دوره باید یکی از حالت‌های حمل‌ونقل انتخاب شود؛
- هزینه‌های حمل‌ونقل در هر حالت، متفاوت است و با در نظر گرفتن مسافت حمل‌ونقل تعیین می‌شود.

هدف از تحلیل مسئله، تعیین میزان محصول تولیدشده توسط تولیدکننده، میزان محصول توزیع‌شده از تولیدکننده به خرده‌فروشان و از خرده‌فروشان به مصرف‌کنندگان در هر دوره و نیز انتخاب حالت حمل‌ونقل مناسب برای توزیع محصولات از تولیدکنندگان و از توزیع‌کنندگان در هر دوره است؛ به طوری که هزینه‌های زنجیره کمینه و محدودیت‌های مدل نیز ارضا شود. با توجه به اینکه تقاضای مصرف‌کنندگان و همچنین هزینه‌های مربوط به حالت‌های حمل‌ونقل،

غیرقطعی است و تابع توزیع احتمالی این پارامترها وجود ندارد، رویکرد بهینه‌سازی استوار برای دستیابی به هدف بالا استفاده می‌شود؛ به همین منظور ابتدا مدل اولیه برنامه‌ریزی تولید- توزیع با پارامترهای قطعی، ارائه و سپس مدل بهینه‌سازی استوار همتای مدل اولیه طراحی می‌شود.

مدل‌سازی اولیه مسئله. در این بخش ابتدا نمادگذاری پارامترها و متغیرهای تصمیم معرفی و سپس مدل اولیه مسئله ارائه می‌شود.

نمادگذاری

اندیس‌ها

تولیدکننده $(i = 1, \dots, I)$ ،

توزیع‌کننده $(j = 1, \dots, J)$

مصرف‌کننده $(k = 1, \dots, K)$

محصول $(p = 1, \dots, P)$

دوره $(t = 1, \dots, T)$ ،

حالت حمل‌ونقل ۱، ۲، ۳، ۴ m

پارامترها

$W_{j\max}$: ظرفیت توزیع‌کننده j برای نگهداری محصولات؛

s_{ijpm} : هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول p از تولیدکننده i به توزیع‌کننده j در حالت m ؛

u_{jkpm} : هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول p از توزیع‌کننده j به مصرف‌کننده k در حالت m

؛

D_{kpt} : تقاضای مصرف‌کننده k برای محصول p در دوره t ؛

S_{i0} : هزینه ثابت آماده‌سازی برای تولیدکننده i در هر دوره؛

h_{jp} : هزینه نگهداری هر واحد محصول p برای توزیع‌کننده j ؛

C_{ip} : هزینه تولید هر واحد محصول p برای تولیدکننده i ؛

r_{kp} : قیمت فروش هر واحد محصول p به مصرف‌کننده k ؛

$V_{i\max}$: ظرفیت تولید محصولات برای تولیدکننده i ؛

A_m : ظرفیت مجاز توزیع محصولات در حالت حمل‌ونقل m ؛

متغیرهای تصمیم

V_{ijpt} : میزان محصول توزیع شده p از تولیدکننده i به توزیع کننده j در دوره t ؛
 W_{jpkt} : میزان محصول توزیع شده p از توزیع کننده j به مصرف کننده k در دوره t ؛
 N_{ipt} : میزان محصول p تولید شده توسط تولیدکننده i در دوره t ؛
 Q_{kpt} : میزان محصول p فروخته شده به مصرف کننده k در دوره t ؛
 W_{jt0} : میزان محصول ذخیره شده p توسط توزیع کننده j در دوره t ؛
 y_{ijpm} : متغیر صفر و یک، اگر برای توزیع محصول p از تولیدکننده i به توزیع کننده j در دوره t ، حالت حمل و نقل m انتخاب شود و در غیر این صورت، صفر؛
 y'_{jkpm} : متغیر صفر و یک، اگر برای توزیع محصول p از توزیع کننده j به مصرف کننده k در دوره t ، حالت حمل و نقل m انتخاب شود و در غیر این صورت، صفر؛
 مدل برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط مسئله تولید- توزیع چندمحصولی برای T دوره برنامه ریزی و در حالت قطعی به صورت زیر است:

$$\begin{aligned}
 \min z = & \sum_{j \in J} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} h_{jp} W_{jpt0} + T \sum_{i \in I} S_{i0} \\
 & + \sum_{i \in I} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} C_{ip} N_{ipt} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} S_{ijpm} V_{ijpt} \\
 & + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} u_{jkpm} W_{jpkt} - \sum_{k \in K} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} r_{kp} Q_{kpt},
 \end{aligned} \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{p \in P} N_{ipt} = \sum_{p \in P} \sum_{j \in J} V_{ijpt}, \quad \forall i, t, \quad (2)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{j \in J} V_{ijpt} \leq V_{i \max}, \quad \forall i, t, \quad (3)$$

$$W_{jpt0} = W_{jp(t-1)0} + \sum_{i \in I} V_{ijpt} - \sum_{k \in K} W_{jpkt}, \quad \forall j, t, p, \quad (4)$$

$$\sum_{p \in P} Q_{kpt} = \sum_{p \in P} \sum_{j \in J} W_{jpkt}, \quad \forall k, t, \quad (5)$$

$$V_{ijpt} \times y_{ijpm} \leq A_m \quad \forall i, j, t, m, p, \quad (6)$$

$$W_{jpkt} \times y'_{jkpm} \leq A_m \quad \forall j, k, t, m, p, \quad (7)$$

$$Q_{kpt} \geq D_{kpt}, \quad \forall k, p, t, \quad (8)$$

$$W_{jpt0} \leq W_{j\max}, \quad \forall j, t, p \quad (9)$$

$$\sum_m y_{ijptm} = 1, \quad \forall i, j, t, p \quad (10)$$

$$\sum_m y'_{jkptm} = 1, \quad \forall j, k, t, p \quad (11)$$

$$V_{ijpt}, N_{ipt}, Q_{kpt}, W_{jkpt}, W_{jpt0} \geq 0, \quad \forall i, j, k, t, p; \quad (12)$$

رابطه ۱، تابع هدف و به‌ترتیب نشان‌دهنده مجموع هزینه‌های ثابت و متغیر تولید محصولات، هزینه‌های نگهداری توزیع‌کنندگان، هزینه‌های حمل‌ونقل و درآمدهای حاصل از فروش محصولات به مصرف‌کنندگان است. رابطه ۲، تضمین می‌کند که تمام محصولات تولیدشده به توزیع‌کنندگان ارسال شود. رابطه ۳، ظرفیت تولید برای تولیدکننده را تضمین می‌کند. رابطه ۴، نشان‌دهنده رابطه تعادلی برای میزان محصولات ذخیره‌شده توسط توزیع‌کنندگان در دوره‌های متوالی است. رابطه ۵، نشان می‌دهد که کل محصولات فروخته‌شده به هر مصرف‌کننده در هر دوره برابر با کل محصولات توزیع‌شده توسط توزیع‌کنندگان است. روابط ۶ و ۷، ظرفیت حمل‌ونقل برای هر حالت حمل‌ونقل را تضمین می‌کنند. رابطه ۸، نمایان‌گر برآورده‌کردن تقاضا و رابطه ۹، تضمین‌کننده حداکثر ظرفیت نگهداری محصولات برای توزیع‌کنندگان است. روابط ۱۰ و ۱۱ به‌ترتیب، نشان می‌دهند که از تولیدکننده به توزیع‌کننده و همچنین از توزیع‌کننده به مصرف‌کننده در هر دوره، فقط یک حالت حمل‌ونقل باید انتخاب شود. رابطه ۱۲، نشان‌دهنده نامنفی بودن متغیرها است.

مدل بهینه‌سازی استوار. در این بخش، ابتدا مدل بهینه‌سازی استوار در حالت تک‌محصولی در نظر گرفته‌شده معرفی و سپس مدل هم‌تای استوار مدل اولیه ارائه می‌شود. ابتدا مدل بهینه‌سازی غیرقطعی زیر را در نظر بگیرد:

$$\begin{aligned} \min \quad & fy + cx \\ \text{s.t.} \quad & Ax \geq d, \\ & Bx \leq Cy, \\ & y \in \{0,1\}, \quad x \in \mathbb{R}^+, \end{aligned} \quad (13)$$

در رابطه ۱۳، بردارهای f ، c و d به‌ترتیب نشان‌دهنده هزینه‌های ثابت، هزینه‌های حمل‌ونقل و تقاضاها است و ماتریس‌های A ، B و C ماتریس ضرایب فنی محدودیت‌ها را

نشان می‌دهند. بردار y نمایان‌گر همه متغیرهای تصمیمی صفر و یک و بردار x نشان‌دهنده همه متغیرهای تصمیمی پیوسته است. پارامترهای تقاضا و هزینه‌های حمل‌ونقل، غیرقطعی هستند و هیچ‌گونه شناختی درباره تابع توزیع احتمال وجود ندارد. رویکرد بهینه‌سازی استوار در این مقاله بر اساس پژوهش بنتال و همکاران (۲۰۰۵) صورت گرفته است [۲۰]. این پژوهش در سال ۲۰۱۱ توسط پژوهشگران توسعه داده شد [۱۷] که بخشی از آن نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. برای ایجاد مدل بهینه‌سازی استوار، فرض شده است که پارامترهای غیرقطعی در یک مجموعه غیرقطعی متغیر هستند که در ادامه توضیح داده می‌شود. برای یک بردار ξ شامل n پارامترهای غیرقطعی می‌توان مجموعه غیرقطعی به صورت زیر تعریف کرد:

$$u_{Box} = \{\xi \in \mathcal{R}^n : |\xi_t - \bar{\xi}_t| \leq \rho G_t, \quad t=1, \dots, n\}, \quad (14)$$

در رابطه ۱۴، $\bar{\xi}_t$ نشان‌دهنده مقدار اسمی پارامتر غیرقطعی ξ_t است؛ همچنین G_t ، عددی مثبت و نمایان‌گر شاخص عدم قطعیت^۱ و $0 \leq \rho \leq 1$ سطح عدم قطعیت^۲ را نشان می‌دهد [۲۱]. با توجه به مطالعه بنتال و همکاران (۲۰۱۱)، شاخص عدم قطعیت نشان‌دهنده مقدار قطعی پیش‌بینی شده برای هر سناریو است [۲۱]. در اینجا میزان فاصله مقدار مطرح شده در سناریو با شاخص عدم قطعیت آن در اصطلاح «سطح عدم قطعیت» نامیده می‌شود. سطح عدم قطعیت می‌تواند هم مثبت باشد و هم منفی که بنا بر مطالعه بنتال و همکاران (۲۰۱۱)، حدود بالا و پایین شناخته می‌شود [۲۱]؛ بنابراین می‌توان مدل بهینه‌سازی استوار را به صورت زیر نشان داد:

$$\min \quad z \quad (15)$$

$$s.t. \quad fy + cx \leq z, \quad \forall c \in u_{Box}^c \quad (16)$$

$$Ax \geq d, \quad \forall d \in u_{Box}^d \quad (17)$$

$$Bx \leq Cy, \quad (18)$$

$$y \in \{0,1\}, \quad x \in \mathcal{R}^+, \quad (19)$$

در رابطه ۱۶، مجموعه غیرقطعی برای هزینه‌های حمل‌ونقل به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$u_{Box}^c = \{c \in \mathcal{R}^{n_c} : |c_t - \bar{c}_t| \leq \rho_c G_t^c, \quad t=1, \dots, n_c\}, \quad (20)$$

1. Uncertainty Scale
2. Uncertainty Level

در رابطه ۱۷، مجموعه غیرقطعی برای تقاضا به صورت زیر است:

$$u_{Box}^d = \{d \in \mathfrak{R}^{n_d} : |d_t - \bar{d}_t| \leq \rho_d G_t^d, \quad t = 1, \dots, n_d\}, \quad (21)$$

رابطه ۱۶ و همچنین مجموعه غیرقطعی ارائه شده در رابطه ۲۰ را در نظر بگیرید.

$$cx \leq z - fy, \quad (22)$$

$$\forall c \in u_{Box}^c \mid u_{Box}^c = \{c \in \mathfrak{R}^{n_c} : |c_t - \bar{c}_t| \leq \rho_c G_t^c, \quad t = 1, \dots, n_c\}.$$

در رابطه ۲۲، عبارت‌های سمت راست به صورت قطعی و عبارت سمت چپ (هزینه‌های حمل‌ونقل)، غیرقطعی هستند. روابط ۲۳ و ۲۴، حدود مجموعه غیرقطعی هزینه‌های حمل‌ونقل را نشان می‌دهند.

$$c_t - \bar{c}_t \leq \rho_t G_t^c, \quad (23)$$

$$c_t - \bar{c}_t \geq -\rho_t G_t^c, \quad (24)$$

با ضرب کردن متغیر x_t در روابط ۲۳ و ۲۴، روابط ۲۵ و ۲۶ حاصل می‌شوند.

$$c_t x_t \leq \bar{c}_t x_t + \rho_t G_t^c x_t, \quad (25)$$

$$c_t x_t \geq \bar{c}_t x_t - \rho_t G_t^c x_t, \quad (26)$$

با استفاده از روابط ۲۵ و ۲۶ می‌توان مجموعه غیرقطعی ارائه شده در رابطه ۲۲ را به صورت رابطه ۲۷ نشان داد. این رابطه توسط پیشوایی و همکاران (۲۰۱۱)، توسعه یافته است [۱۷].

$$\sum_t (\bar{c}_t x_t + \delta_t) \leq z - fy, \quad (27)$$

$$\rho_c G_t^c x_t \leq \delta_t, \quad \forall t \in \{1, \dots, n\},$$

$$-\rho_c G_t^c x_t \leq \delta_t, \quad \forall t \in \{1, \dots, n\},$$

با در نظر گرفتن رابطه ۱۵، با کمینه‌سازی z ، علاوه بر کاهش هزینه‌های ثابت و حمل‌ونقل، مقدار متغیر کمکی δ_t نیز کم می‌شود؛ بنابراین اثر $\rho_c G_t^c x_t$ با توجه به رابطه ۲۷ نیز کاهش

می‌یابد؛ همچنین رابطه ۱۷ و مجموعه غیرقطعی ارائه‌شده در رابطه ۲۱ را به صورت رابطه ۲۸، در نظر بگیرید.

$$a_j x \geq d_j, \quad \forall j \in \{1, \dots, n_d\}, \quad (28)$$

$$\forall d \in u_{Box}^d \mid u_{Box}^d = \{d \in \mathcal{R}^{n_d} : |d_j - \bar{d}_j| \leq \rho_d G_j^d, j = 1, \dots, n_d\}.$$

در آن صورت، حد بالای مجموعه غیرقطعی تقاضا از رابطه ۲۹، به دست می‌آید.

$$d_j \leq \bar{d}_j + \rho_d G_j^d, \quad \forall j \in \{1, \dots, n_d\}. \quad (29)$$

به دلیل اهمیت برآورده کردن تقاضا، فقط حد بالای این مجموعه استفاده شده است [۱۷]. مشابه هزینه‌های حمل‌ونقل، با استفاده از رابطه ۲۹، می‌توان مجموعه غیرقطعی ارائه‌شده در رابطه ۲۸ را به صورت رابطه ۳۰ نشان داد.

$$a_j x \geq \bar{d}_j + \rho_d G_j^d, \quad \forall j \in \{1, \dots, n_d\}, \quad (30)$$

حال با در نظر گرفتن روابط ۲۷ و ۳۰، مدل همتای استوار برای مدل مطرح‌شده در رابطه ۱۳ به صورت زیر است:

$$\min \quad z \quad (31)$$

$$s.t. \quad \sum_t (\bar{c}_t x_t + \delta_t) \leq z - fy,$$

$$\rho_c G_t^c x_t \leq \delta_t, \quad \forall t \in \{1, \dots, n\},$$

$$-\rho_c G_t^c x_t \leq \delta_t, \quad \forall t \in \{1, \dots, n\},$$

$$a_j x \geq \bar{d}_j + \rho_d G_j^d, \quad \forall j \in \{1, \dots, n_d\},$$

$$Bx \leq Cy,$$

$$y \in \{0, 1\}, \quad x, \delta \in \mathcal{R}^+.$$

بنابراین مدل همتای استوار مدل بهینه‌سازی اولیه برای برنامه‌ریزی تولید- توزیع با فرض

غیرقطعی بودن تقاضاها و هزینه‌های حمل‌ونقل به‌صورت زیر است:

$$\min z \quad (۳۲)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{p \in P} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} h_{jp} W_{jpt0} + T \sum_{i \in I} S_{i0} \quad (۳۳) \\ & + \sum_{i \in I} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} C_{ip} N_{ipt} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} \sum_{m \in M} (\bar{s}_{ijpm} V_{ijpt} + \delta_{ijptm}^s) \\ & + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} \sum_{m \in M} (\bar{u}_{jkpm} W_{jkpt} + \delta_{jkptm}^u) - \sum_{k \in K} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} r_{kp} Q_{kpt} \leq z, \end{aligned}$$

s.t.

$$\rho_s G_{ijpm}^s V_{ijpt} \leq \delta_{ijptm}^s, \quad \forall i, j, t, m, p \quad (۳۴)$$

$$-\rho_s G_{ijpm}^s V_{ijpt} \leq \delta_{ijptm}^s, \quad \forall i, j, t, m, p \quad (۳۵)$$

$$\rho_u G_{jkpm}^u W_{jkpt} \leq \delta_{jkptm}^u, \quad \forall j, k, t, m, p \quad (۳۶)$$

$$-\rho_u G_{jkpm}^u W_{jkpt} \leq \delta_{jkptm}^u, \quad \forall j, k, t, m, p \quad (۳۷)$$

$$\sum_{p \in P} N_{ipt} = \sum_{p \in P} \sum_{j \in J} V_{ijt}, \quad \forall i, t, \quad (۳۸)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{j \in J} V_{ijpt} \leq V_{i \max}, \quad \forall i, t, p \quad (۳۹)$$

$$W_{jpt0} = W_{jp(t-1)0} + \sum_{i \in I} V_{ijpt} - \sum_{k \in K} W_{jkpt}, \quad \forall j, t, p \quad (۴۰)$$

$$\sum_{p \in P} Q_{kpt} = \sum_{p \in P} \sum_{j \in J} W_{jkpt}, \quad \forall k, t, p \quad (۴۱)$$

$$V_{ijpt} \times y_{ijptm} \leq A_m \quad \forall i, j, t, m, p, \quad (۴۲)$$

$$W_{jkpt} \times y'_{jkptm} \leq A_m \quad \forall j, k, t, m, p, \quad (۴۳)$$

$$Q_{kpt} \geq \bar{D}_{kpt} + \rho_D G_{kpt}^D, \quad \forall k, p, t, \quad (۴۴)$$

$$W_{jpt0} \leq W_{j \max}, \quad \forall j, t, p \quad (45)$$

$$\sum_m y_{ijptm} = 1, \quad \forall i, j, t, p \quad (46)$$

$$\sum_m y'_{jkptm} = 1, \quad \forall j, k, t, p \quad (47)$$

$$V_{ijpt}, N_{ipt}, Q_{kpt}, W_{jkpt}, W_{jtp0}, \delta_{ijptm}^s, \delta_{jkptm}^u \geq 0, \quad \forall i, j, k, t, m, p; \quad (48)$$

۴. تحلیل داده ها و یافته‌های پژوهش

هدف از این بخش، بررسی عملکرد و صحت مدل‌های قطعی و استوار است. در این پژوهش از ساختار زنجیره تأمین مطالعه‌شده توسط پژوهشگران در سال ۲۰۰۷ استفاده می‌شود [۲۲]. با در نظر گرفتن یک زنجیره تأمین سه‌سطحی شامل دو تولیدکننده، دو توزیع‌کننده و دو مصرف‌کننده، برنامه‌ریزی تولید - توزیع برای دو نوع محصول مختلف طی یک افق برنامه‌ریزی سه‌ماهه در نظر گرفته شده است. مقدار پارامترهای قطعی مسئله در جدول ۲، ارائه شده است. هزینه‌های تولید و نگهداری و همچنین هزینه ثابت آماده‌سازی هر دو محصول یکسان در نظر گرفته شده‌اند.

جدول ۲. مقدار پارامترهای قطعی مسئله

واحد	مقدار	پارامتر
واحد کالا	۷۰۰	ظرفیت تولید تولیدکننده اول
واحد کالا	۷۰۰	ظرفیت تولید تولیدکننده دوم
واحد کالا	۹۰۰	ظرفیت نگهداری توزیع‌کننده اول
واحد کالا	۹۰۰	ظرفیت نگهداری توزیع‌کننده دوم
واحد کالا	۵۰۰	ظرفیت حمل‌ونقل حالت ریلی
واحد کالا	۲۵۰	ظرفیت حمل‌ونقل حالت جاده‌ای
واحد کالا	۳۵۰	ظرفیت حمل‌ونقل حالت هوایی
واحد کالا	۷۰۰	ظرفیت حمل‌ونقل حالت آبی
واحد پولی	۶	هزینه تولید برای تولیدکننده اول
واحد پولی	۱۰	هزینه تولید برای تولیدکننده دوم
واحد پولی	۵	هزینه نگهداری برای توزیع‌کننده اول
واحد پولی	۷	هزینه نگهداری برای توزیع‌کننده اول
واحد پولی	۱۵	هزینه ثابت آماده‌سازی
واحد پولی	۴۰	قیمت فروش محصول اول
واحد پولی	۵۰	قیمت فروش محصول دوم

برای پارامترهای غیرقطعی ابتدا یک مقدار اسمی در نظر گرفته می‌شود و با استفاده از مقادیر اسمی، مجموعه غیرقطعی برای هر یک از پارامترها به دست می‌آید. به دلیل فقدان مدل مشابه برای ارزیابی مدل پیشنهادی، مقادیر اسمی سناریوها برای تقاضای مصرف‌کنندگان و همچنین مقادیر اسمی هزینه‌های حمل‌ونقل هر یک از حالت‌ها، به‌طور تصادفی و با توزیع یکنواخت در فاصله‌های تعیین‌شده در جدول ۳، محاسبه می‌شوند.

جدول ۳. مقدار اسمی پارامترهای غیرقطعی

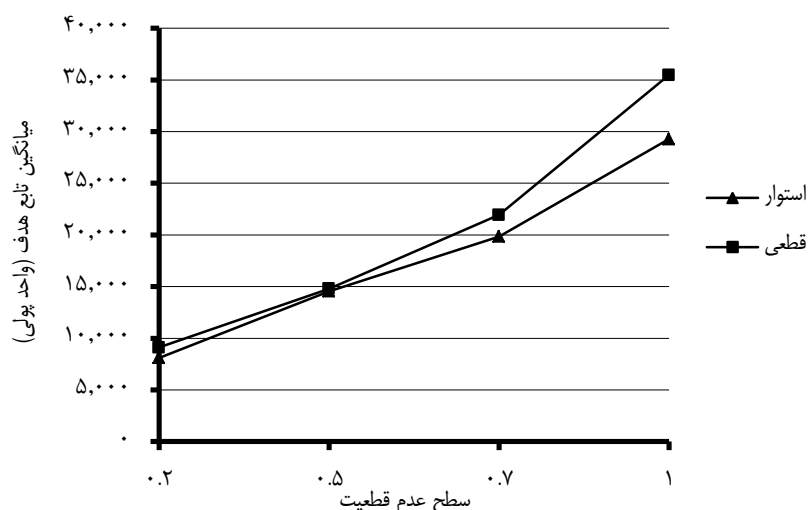
بازه مقدار گیری	پارامتر غیرقطعی
[۲۰، ۲۰۰]	تقاضای هر مصرف‌کننده برای هر محصول در هر دوره (\bar{D}_{kpt})
[۱/۵، ۷/۵]	هزینه حمل‌ونقل از تولیدکننده به توزیع‌کننده (\bar{S}_{ijm})
[۱، ۵/۵]	هزینه حمل‌ونقل از توزیع‌کننده به مصرف‌کننده (\bar{U}_{jkm})

شاخص عدم قطعیت مربوط به تقاضاها و هزینه‌های حمل‌ونقل برابر با مقدار اسمی است و نیز چهار سطح عدم قطعیت برای پارامترهای غیرقطعی ($\rho_D = \rho_s = \rho_u$) برابر ۱، ۰/۷، ۰/۵، ۰/۲ در نظر گرفته شده است. تا اینجا می‌توان با استفاده از مقادیر اسمی، مدل استوار را حل کرد؛ اما برای حل مدل قطعی و ارزیابی نتایج با همتای استوار آن در هر سطح عدم قطعیت، با در نظر گرفتن مجموعه غیرقطعی برای هر یک از پارامترهای غیرقطعی، پنج سناریو به‌طور تصادفی برای مقدار واقعی تقاضاها و مقدار واقعی هزینه‌های حمل‌ونقل طراحی شده است. روابط ۲۳ و ۲۴، نشان‌دهنده فاصله انتخاب سناریوها برای هر یک از هزینه‌های حمل‌ونقل و رابطه ۲۹ برای تقاضاها استفاده شده‌اند. برای تشریح مسئله، چهار سطح عدم قطعیت در نظر گرفته شده است که در هر سطح، پنج سناریو بر اساس جدول ۳، برای پارامترهای غیرقطعی مطرح هستند. ابتدا مدل قطعی و سپس مدل استوار برای هر سطح عدم قطعیت حل می‌شود و میانگین و انحراف استاندارد مقدار تابع هدف به دست آمده هر دو مدل برای پنج سناریو در هر سطح عدم قطعیت مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. هر دو مدل توسط نرم‌افزار بهینه‌سازی GAMS/BARON 12.6 حل و نتایج در جدول ۴، ارائه شده است. در این نرم‌افزار از الگوریتم شاخه-کران و دوگان مسئله مورد نظر استفاده می‌شود [۲۳].

جدول ۴. نتایج حل مدل قطعی و استوار برای پنج سناریو

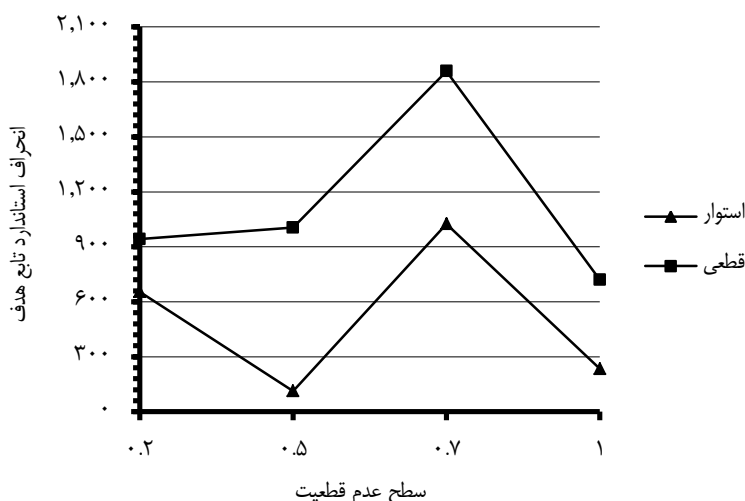
سطح عدم قطعیت (ρ)	میانگین مقادیر تابع هدف سناریوها		انحراف استاندارد مقادیر تابع هدف سناریوها	
	قطعی	استوار	قطعی	استوار
۰/۲	۹۱۱۲	۸۰۹۵	۹۴۱/۷۴	۶۵۴/۳۱
۰/۵	۱۴۸۰۱	۱۴۵۵۰	۱۰۰۵/۱۶	۱۱۲/۶۴
۰/۷	۲۱۹۴۱	۱۹۸۴۴	۱۸۵۸/۳۸	۱۰۲۵/۲
۱	۳۵۴۷۷	۲۹۲۷۵	۷۱۹/۶۴	۲۳۴/۰۱

با بررسی نتایج جدول ۴، مشخص می‌شود که با افزایش سطح عدم قطعیت، میانگین مقادیر تابع هدف هر دو مدل قطعی و استوار افزایش می‌یابد. این روند افزایش در شکل ۱، مشخص است.



شکل ۱. نمودار میانگین مقدار تابع هدف برای مدل قطعی و استوار

طبق شکل ۱، افزایش میانگین مقدار تابع هدف برای مدل قطعی ملموس‌تر است. شکل ۲، تغییرات انحراف استاندارد مقدار تابع هدف هر دو مدل را در هر سطح عدم قطعیت نشان می‌دهد.



شکل ۰۲. نمودار انحراف استاندارد مقدار تابع هدف برای مدل قطعی و استوار.

طبق شکل ۲، با افزایش سطح عدم قطعیت، انحراف استاندارد هر دو مدل روند صعودی یا نزولی دارد؛ اما به‌طور کلی انحراف استاندارد به‌دست‌آمده از تابع هدف مدل استوار در این پنج سناریو کمتر از انحراف استاندارد مدل قطعی است.

در سطح عدم قطعیت $\rho = 0/2$ ، میانگین و انحراف استاندارد مقدار تابع هدف مدل استوار مطلوب‌تر از مدل قطعی است. در سطح عدم قطعیت $\rho = 0/5$ ، با وجود اینکه هر دو مدل نتایج میانگین تقریباً یکسانی را به‌دست آورده‌اند؛ اما انحراف استاندارد مربوط به مدل استوار کمتر از مدل قطعی است. با افزایش سطح عدم قطعیت، میانگین و انحراف استاندارد مقادیر تابع هدف در مدل استوار مطلوب‌تر از مدل قطعی است؛ بنابراین مدل استوار کارایی بهتری نسبت به مدل قطعی داشته و نیز توانسته است انحراف استاندارد کمتری در مقادیر تابع هدف تحت سناریوهای مختلف داشته باشد؛ در نتیجه نتایج حاکی از صحت مدل پیشنهادی است.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، یک مدل برنامه‌ریزی تولید - توزیع ادغامی برای یک زنجیره تأمین سه‌سطحی شامل چندین تولیدکننده، چندین توزیع‌کننده و چندین مصرف‌کننده با در نظر گرفتن حالت‌های حمل‌ونقل متعدد ارائه شد. پارامترهای تقاضا و هزینه‌های حمل‌ونقل، غیرقطعی فرض شده‌اند و هیچ‌گونه تابع توزیع احتمالی در دسترس نیست. هدف از این پژوهش، استفاده از مدل بهینه‌سازی استوار برای مقابله با پارامترهای غیرقطعی است؛ به همین منظور ابتدا مدل برنامه‌ریزی در حالت

قطعی، ارائه و سپس مدل همتای استوار آن طراحی شد. برای ارزیابی هر دو مدل، چهار سطح عدم قطعیت و پنج سناریو به‌طور تصادفی طراحی و نتایج هر دو مدل قطعی و استوار در هر یک از سناریوها بررسی شدند. نتایج نشان داد که با افزایش سطح عدم قطعیت، مدل بهینه‌سازی استوار کارتر از مدل قطعی عمل می‌کند و حاکی از صحت مدل پیشنهادی است. از یافته‌های مدیریتی مدل پیشنهادی می‌توان به کاربرد مدل بهینه‌سازی استوار توسعه داده شده در مدیریت حمل‌ونقل و در نتیجه کاهش ریسک انتخاب حالت حمل‌ونقل در مدیریت زنجیره تأمین اشاره کرد. در نظر گرفتن رویکرد بهینه‌سازی استوار در رابطه با مسئله حمل‌ونقل در برنامه‌ریزی تولید - توزیع، این امکان را برای اعضای زنجیره تأمین فراهم می‌سازد که هزینه‌های تولید، توزیع و نگهداری و مهم‌تر از آن سطح خدمت‌دهی به مصرف‌کننده را بهبود بخشند؛ همچنین بازده عملیات، انبارداری و حمل‌ونقل را برای خریدار و فروشنده برای به دست آوردن بهینه‌سازی جامع در زنجیره تأمین بهبود می‌بخشد؛ در نهایت رضایت مصرف‌کننده نهایی را به دنبال دارد که باعث ارتقای عملکرد اعضا زنجیره در فضای غیرقطعی و رقابتی می‌شود. در نظر گرفتن سایر اهداف مانند افزایش سطح پاسخگویی به مصرف‌کنندگان، توسعه سایر مدل‌های بهینه‌سازی استوار برای مدل پیشنهادی و در نظر گرفتن زمان تحویل محصولات در هر یک از حالت‌های حمل‌ونقل، می‌تواند از پژوهش‌های آتی به‌شمار رود.

منابع

1. Fahimnia, B., Luong, L. H. S. & Marian, R. (2008a). An integrated model for the optimization of a two-echelon supply network. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 31(2), 477–484.
2. Park, B., Choi, H. & Kang, M. (2007). Integration of Production and Distribution Planning Using a Genetic Algorithm in Supply Chain Management”, *Analysis and Design of Intelligent Systems using Soft Computing Techniques, Berlin Heidelberg, Springer*, 416-426.
3. Park, Y. B. (2005). An integrated approach for production and distribution planning in supply chain management. *International Journal of Production Research*, 43(6), 120-135.
4. Beamon, B. M. (1998). Supply chain design and analysis: models and methods”, *International Journal of Production Economics*, 55(3), 281–294.
5. Chen, Z. L. & Vairaktarakis, G. L. (2005). Integrated Scheduling of Production and Distribution Operations. *Management Science*, 51(4), 614-628.
6. Sahinidis, N. V. (2004). Optimization under uncertainty: state-of-the-art and opportunities”, *Computers and Chemical Engineering*, 28(6), 971–983.
7. Al-e-hashem, S. M. J. M., Malekly, H. & Aryanezhad, M. B. (2011). A multi-objective robust optimization model for multi-product multi-site aggregate production planning in a supply chain under uncertainty. *Int. J. Production Economics*, 134(1), 28–42.
8. Lim, S. J., Jeong S. J., Kim K. S., & Park, M. W. (2006). A simulation approach for production–distribution planning with consideration given to replenishment policies. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 27, 593–603.
9. 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 environment. *European Journal of Operational Research*, 181(1), 224–238.
10. Nishi, T., Konishi, M., & Ago, M. (2007). A distributed decision-making system for integrated optimization of production scheduling and distribution for aluminum production line”, *Computers & Chemical Engineering*, 31, 1205–1221.
11. Elahipanah, M., and Farahani R. Z. (2008). A genetic algorithm to optimize the total cost and service level for just-in-time distribution in a supply chain. *International Journal of Production Economics*, 111, 229-43
12. Selim, H., Araz, C., and Ozkarahan, I. (2008). Collaborative production–distribution planning in supply chain: a fuzzy goal programming approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44, 396–419.
13. Zanjani, M. K., Ait-Kadi, D. & Nourelfath, M. (2010). Robust production planning in a manufacturing environment with random yield: A case in sawmill production planning. *European Journal of Operational Research*, 201(3), 882–891.
14. Aghezzaf, E.-H., Sitompul, C. & Najid, N. M. (2010). Models for robust tactical planning in multi-stage production systems with uncertain demands. *Computers & Operations Research*, 37(5), 880-889.
15. Chiu, S. W. (2010). Robust planning in optimization for production system subject to random machine breakdown and failure in rework. *Computers & Operations Research*, 37(5), 899-908.

16. Aghezzaf, E.-H., Sitompul, C. & Broecke, F.V.D. (2011). A robust hierarchical production planning for a capacitated two-stage production system. *Computers & Industrial Engineering*, 60(2), 361-372.
17. Pishvae, M. S., Rabbani, M. & Torabi, S. A. (2011). A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Applied Mathematical Modeling*, 35(2), 637-649.
18. Wei, C., Li, Y. & Cai, X. (2011). Robust optimal policies of production and inventory with uncertain returns and demand. *Int. J. Production Economics*, 134(2), 357-367.
19. Tuzkaya, U. R. & Önüt, S. (2008). A fuzzy analytic network process based approach to transportation-mode selection between Turkey and Germany: A case study", *Information Sciences*, 178(1), 3133-3146.
20. Ben-Tal, A., Golany, B., Nemirovski, A. & Vial, J.-P. (2005). Supplier-Retailer Flexible Commitments Contracts: A Robust Optimization Approach. *Manuf. Service Operation Management*, 7(3), 248-271.
21. Ben-Tal, A., Chung, B. D., Mandala, S. R. & Yao, T. (2011). Robust optimization for emergency logistics planning: Risk mitigation in humanitarian relief supply chains. *Transportation Research Part B*, 45(8), 1177-1189.
22. Aliev, R. A., Fazlollahi, B., Guirimov, B. G. & Aliev, R. R. (2007). Fuzzy-genetic approach to aggregate production-distribution planning in supply chain management. *Information Sciences*, 177, 4241-4255.
23. Tawarmalani, M. & Sahinidis, N. V. (2005). A polyhedral branch-and-cut approach to global optimization. *Mathematical Programming*, 103(2), 225-249.
24. Hasani, A., & Hosseini, S.M.H., (2014). A Comprehensive Robust Bi-objective Model and a Memetic Solution Algorithm for Designing Reverse Supply. *Journal of Industrial Management Perspective*, 16, 31-54 (In Persian).
25. Rabieh, M., Azar, A., Modarres, M., & Fetanat, M., (2011). Mathematical Modeling for Multi Objective Robust Sourcing Problem: An Approach in Reduction of Supply Chain Risk (Case study: IKCO Supply Chain). *Journal of Industrial Management Perspective*, 1, 57-77. (In Persian)
26. Rabieh, M., & Fadaei, A., (2015). Fuzzy Robust Mathematical Model for Project Portfolio Selection and its Solving through Multi Objective Differential Evolutionary Algorithm. *Journal of Industrial Management Perspective*, 19, 65-90 (In Persian).