چشم‌انداز مدیریت صنعتی
شماره ۲۳ ـ پاییز ۱۳۹۵
ص‌ص ۲۸ ° ۹

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؛ به‌طوری‌که 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؛ به‌طوری‌که کل هزینه‌های زنجیره تأمین کمینه شود؛ ازاین‌رو ابتدا مدل اولیه مسئله با پارامترهای قطعی، طراحی و سپس همتای استوار آن ارائه می‌شود. درنهایت، برای تحلیل هر دو مدل یادشده، یک مثال عددی همراه با سناریوها و سطوح عدم‌قطعیت مختلف حل و نتایج آن بررسی می‌شود.

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

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

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

* استاد، دانشگاه علامه طباطبایی.
** 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[1]، 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؛ درصورتی‌که استفاده از دیدگاه یکپارچه‌شده یا به‌عبارت‌دیگر برنامه‌ریزی تولید- توزیع[2] به هماهنگی بین سیستم‌های تولید و توزیع منجر می‌شود و درنتیجه 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 فراهم‌کردن مواد خام، تبدیل این مواد خام به محصولات نهایی مشخص‌شده 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؛ به‌طوری‌که 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[3]، تنها رویکردی است که می‌تواند با درنظرگرفتن تعدادی سناریو[4] ممکن و قابل‌تحقق، پارامترهای غیرقطعی فاقد تابع توزیع احتمالی را تجزیه‌وتحلیل کند. هدف از بهینه‌سازی استوار، به‌دست‌آوردن یک جواب استوار است که بتواند همه سناریوهای تعیین‌شده 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 عدم‌قطعیت 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، حداقل‌کردن 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 به‌موقع سه‌سطحی 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 به‌دلیل ناهمگن‌بودن کیفیت مواد اولیه، نرخ فرآیندهای تولید غیرقطعی بوده و از رویکرد بهینه‌سازی استوار استفاده شده است [۱۳]. آقذف و همکاران (۲۰۱۰)، برنامه‌ریزی تاکتیکی[1] برای سیستم‌های تولید چندمرحله‌ای را توسعه دادند؛ به‌طوری‌که تقاضای دوره‌ای محصولات نهایی، غیرقطعی فرض شدند [۱۴]؛ همچنین به توسعه برنامه‌ریزی استوار برای سیستم‌های تولیدی به‌منظور تعیین زمان اجرای بهینه فرآیند ماشین‌کاری در شرایطی که ازکارافتادگی و خرابی ماشین‌ها در مرحله دوباره‌کاری محصولات به‌طور تصادفی فرض شده‌اند، پرداخته شد [۱۵]. آقذف و همکاران (۲۰۱۱)، به مطالعه برنامه‌ریزی تولید سلسله‌مراتبی استوار برای یک سیستم تولیدی دومرحله‌ای تحت شرایط عدم‌قطعیت 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 بسته‌در شرایط عدم‌قطعیت 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.

1. Tactical planning

جدول ۱. خلاصه مرور پیشینه

هدف	چنددوره‌ای	کمبود محصولات	تعداد سطوح زنجیره	حمل‌ونقل محصولات	چندمحصولی	روش استفاده‌شده	سال	مرجع
کمینه‌سازی هزینه‌های تولید			۲		✓	شبیه‌سازی	۲۰۰۶	[۸]
بهینه‌سازی استوار	✓		۳		✓	بهینه‌سازی استوار در برنامه‌ریزی تولید	۲۰۰۷	[۹]
بیشینه‌سازی سود حاصل		✓	۳	✓	✓	برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط	۲۰۰۷	[۱۰]
کمینه‌سازی هزینه‌های تولید	✓		۳		✓	منطق فازی	۲۰۰۸	[۱۱]
بیشینه‌سازی سود حاصل	✓	✓	۳			برنامه‌ریزی آرمانی فازی	۲۰۱۰	[۱۲]
کمینه‌سازی هزینه‌های تولید	✓		۴		✓	برنامه‌ریزی تولید با چندین سناریو تقاضا	۲۰۱۰	[۱۳]
کمینه‌سازی هزینه‌های سیستم تولیدی	✓		۲		✓	بهینه‌سازی استوار در برنامه‌ریزی تاکتیکی	۲۰۱۰	[۱۴]
کمینه‌سازی ازکارافتادگی و خرابی			۳		✓	بهینه‌سازی استوار در زمان اجرای فرآیند ماشین‌کاری	۲۰۱۰	[۱۵]
کمینه‌سازی هزینه‌های تولید	✓		۳	✓	✓	برنامه‌ریزی تولید سلسله‌مراتبی	۲۰۱۱	[۱۶]
کمینه‌سازی کل هزینه‌های زنجیره			۳	✓		بهینه‌سازی استوار در زنجیره تأمین حلقه‌بسته	۲۰۱۲	[۱۷]
کمینه‌سازی کل هزینه‌های تولید و کمبود	✓	✓	۲		✓	بهینه‌سازی استوار برای برنامه‌ریزی تولید ادغامی	۲۰۱۳	[۷]
کمینه‌سازی کل هزینه‌ها و محصولات برگشتی	✓	✓	۳		✓	بهینه‌سازی استوار برای برنامه‌ریزی تولید- موجودی	۲۰۱۴	[۱۸]

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[1] 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[2] استفاده می‌شود. دلیل درنظرگرفتن عدم‌قطعیت در هزینه‌های حمل‌ونقل، عدم‌کنترل و شناخت کافی در این نوع هزینه‌ها می‌باشد که تحت‌تأثیر 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 ممتیک 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

1. Transportation Modes
2. Uncertainty Sets

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 می شود؛ 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 می شود.

تشریح مسئله و مدل‌سازی. با درنظرگرفتن یک زنجیره تأمین سه‌سطحی، شامل چندین تولیدکننده، چندین توزیع‌کننده و چندین مصرف‌کننده به‌صورت 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:

ـ تقاضای مصرف‌کنندگان و هزینه‌های حمل‌ونقل غیرقطعی است؛

ـ کمبود و تأخیر در ارسال مجاز نیست؛

ـ سطح نیروی انسانی ثابت و تولید محصولات فقط در وقت عادی صورت می‌گیرد؛

ـ زمان تحویل محصولات ناچیز فرض شده است؛

ـ بین هر تولیدکننده و هر توزیع‌کننده و بین هر توزیع‌کننده و هر مصرف‌کننده در هر دوره باید یکی از حالت‌های حمل‌ونقل انتخاب شود؛

ـ هزینه‌های حمل‌ونقل در هر حالت، متفاوت است و با درنظرگرفتن 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؛ به‌طوری‌که 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 $(i=1,...,I)$،

توزیع‌کننده $(j=1,...,J)$

مصرف‌کننده $(k=1,...,K)$

محصول $(p=1,...,P)$

دوره $(t=1,...,T)$،

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 توزیع‌شده p از تولیدکننده i به توزیع‌کننده j در دوره t؛

W_{jpkt}: میزان محصول توزیع‌شده p از توزیع‌کننده j به مصرف‌کننده k در دوره t؛

N_{ipt}: میزان محصول p تولیدشده توسط تولیدکننده i در دوره t؛

Q_{kpt}: میزان محصول p فروخته‌شده به مصرف‌کننده k در دوره t؛

W_{jt0}: میزان محصول ذخیره‌شده p توسط توزیع‌کننده j در دوره t؛

y_{ijptm}: متغیر صفر و یک، اگر برای توزیع محصول p از تولیدکننده i به توزیع‌کننده j در دوره t، حالت حمل‌ونقل m انتخاب شود و در غیر این صورت، صفر؛

y'_{jkptm}: متغیر صفر و یک، اگر برای توزیع محصول p از توزیع‌کننده j به مصرف‌کننده k در دوره t، حالت حمل‌ونقل m انتخاب شود و در غیر این صورت، صفر؛

مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط مسئله تولید- توزیع چندمحصولی برای T دوره برنامه‌ریزی و در حالت قطعی به‌صورت زیر است:

$$\min z = \sum_{j\in J}\sum_{p\in P}\sum_{t\in T} h_{jp} W_{jpt0} + T\sum_{i\in I} S_{i0} + \sum_{i\in I}\sum_{p\in P}\sum_{t\in T} C_{ip} N_{ipt} + \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{t\in T}\sum_{p\in P}\sum_{m\in M} s_{ijpm} V_{ijpt} + \sum_{j\in J}\sum_{k\in K}\sum_{t\in T}\sum_{p\in P}\sum_{m\in M} u_{jkpm} W_{jkpt} - \sum_{k\in K}\sum_{p\in P}\sum_{t\in T} r_{kp} Q_{kpt}, \quad (۱)$$

s.t.

$$\sum_{p\in P} N_{ipt} = \sum_{p\in P}\sum_{j\in J} V_{ijt}, \qquad \forall i,t, \quad (۲)$$

$$\sum_{p\in P}\sum_{j\in J} V_{ijpt} \le V_{i\max}, \qquad \forall i,t, \quad (۳)$$

$$W_{jpt0} = W_{jp(t-1)0} + \sum_{i\in I} V_{ijpt} - \sum_{k\in K} W_{jkpt}, \qquad \forall j,t,p \quad (۴)$$

$$\sum_{p\in P} Q_{kpt} = \sum_{p\in P}\sum_{j\in J} W_{jpkt}, \qquad \forall k,t, \quad (۵)$$

$$V_{ijpt} \times y_{ijptm} \le A_m \qquad \forall i,j,t,m,p \quad (۶)$$

$$W_{jkpt} \times y'_{jkptm} \le A_m \qquad \forall j,k,t,m,p \quad (۷)$$

$$Q_{kpt} \ge D_{kpt}, \qquad \forall k,p,t, \quad (۸)$$

$$W_{jpt0} \le W_{j\max}, \qquad \forall j,t,p \tag{۹}$$

$$\sum_m y_{ijptm} = 1, \qquad \forall i,j,t,p \tag{۱۰}$$

$$\sum_m y'_{jkptm} = 1, \qquad \forall j,k,t,p \tag{۱۱}$$

$$V_{ijpt}, N_{ipt}, Q_{kpt}, W_{jkpt}, W_{jpt0} \ge 0, \qquad \forall i,j,k,t,p; \tag{۱۲}$$

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 نامنفی‌بودن متغیرها است.

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

$$\begin{aligned} \min \quad & fy + cx \\ s.t \quad & Ax \ge d, \\ & Bx \le Cy, \\ & y \in \{0,1\}, \quad x \in \Re^+, \end{aligned} \tag{۱۳}$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

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 تصمیم صفر و یک و بردار x نشان‌دهنده همه متغیرهای تصمیم 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 موردمطالعه 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 به‌صورت زیر تعریف کرد:

$$u_{Box} = \{\xi \in \Re^n : \left|\xi_t - \overline{\xi_t}\right| \le \rho G_t, \quad t = 1,...,n\}, \tag{۱۴}$$

در رابطه ۱۴، $\overline{\xi_t}$ نشان‌دهنده مقدار اسمی پارامتر غیرقطعی ξ_t است؛ همچنین G_t، عددی مثبت و نمایان‌گر شاخص عدم‌قطعیت[1] و $0 \le \rho \le 1$ سطح عدم قطعیت[2] را نشان می‌دهد [۲۱].

با توجه به مطالعه بنتال و همکاران (۲۰۱۱)، شاخص عدم‌قطعیت نشان‌هنده مقدار قطعی پیش‌بینی‌شده برای هر سناریو است [۲۱]. در اینجا میزان فاصله مقدار مطرح‌شده در سناریو با شاخص عدم‌قطعیت آن در اصطلاح «سطح عدم قطعیت» نامیده می‌شود. سطح عدم‌قطعیت 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 به‌صورت زیر نشان داد:

$$\min \quad z \tag{۱۵}$$

$$s.t. \quad fy + cx \le z, \qquad \forall c \in u^c_{Box} \tag{۱۶}$$

$$Ax \ge d, \qquad \forall d \in u^d_{Box} \tag{۱۷}$$

$$Bx \le Cy, \tag{۱۸}$$

$$y \in \{0,1\}, \quad x \in \Re^+, \tag{۱۹}$$

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

$$u^c_{Box} = \{c \in \Re^{n_c} : \left|c_t - \overline{c}_t\right| \le \rho_c G^c_t, \quad t = 1,...,n_c\}, \tag{۲۰}$$

1. Uncertainty Scale
2. Uncertainty Level

در رابطه ۱۷، مجموعه غیرقطعی برای تقاضا به‌صورت زیر است:

$$u_{Box}^{d} = \{d \in \Re^{n_d} : \left|d_t - \bar{d}_t\right| \le \rho_d G_t^d, \quad t = 1,\ldots,n_d\}, \tag{۲۱}$$

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

$$\begin{aligned} & cx \le z - fy, \\ & \forall c \in u_{Box}^{c} \left| u_{Box}^{c} = \{c \in \Re^{n_c} : \left|c_t - \bar{c}_t\right| \le \rho_c G_t^c, \quad t = 1,\ldots,n_c\}. \right. \end{aligned} \tag{۲۲}$$

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

$$c_t - \bar{c}_t \le \rho_t G_t^c, \tag{۲۳}$$

$$c_t - \bar{c}_t \ge -\rho_t G_t^c, \tag{۲۴}$$

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

$$c_t x_t \le \bar{c}_t x_x + \rho_t G_t^c x_t, \tag{۲۵}$$

$$c_t x_t \ge \bar{c}_t x_t - \rho_t G_t^c x_t, \tag{۲۶}$$

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

$$\begin{aligned} & \sum_t (\bar{c}_t x_t + \delta_t) \le z - fy, \\ & \rho_c G_t^c x_t \le \delta_t, \qquad \forall t \in \{1,\ldots,n\}, \\ & -\rho_c G_t^c x_t \le \delta_t, \qquad \forall t \in \{1,\ldots,n\}, \end{aligned} \tag{۲۷}$$

با درنظرگرفتن 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 به‌صورت رابطه ۲۸، در نظر بگیرید.

$$a_j x \geq d_j, \quad \forall j \in \{1,...,n_d\}, \tag{۲۸}$$
$$\forall d \in u^d_{Box} \left| u^d_{Box} = \{d \in \Re^{n_d} : \left| d_j - \bar{d}_j \right| \leq \rho_d G^d_j, j = 1,...,n_j\}.\right.$$

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

$$d_j \leq \bar{d}_j + \rho_d G^d_j, \quad \forall j \in \{1,...,n_d\}. \tag{۲۹}$$

به‌دلیل اهمیت برآورده‌کردن 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 به‌صورت رابطه ۳۰ نشان داد.

$$a_j x \geq \bar{d}_j + \rho_d G^d_j, \quad \forall j \in \{1,...,n_d\}, \tag{۳۰}$$

حال با درنظرگرفتن روابط ۲۷ و ۳۰، مدل همتای استوار برای مدل مطرح‌شده در رابطه ۱۳ به‌صورت زیر است:

$$\min \quad z \tag{۳۱}$$
$$s.t. \quad \sum_t (\bar{c}_t x_t + \delta_t) \leq z - fy,$$
$$\rho_c G^c_t x_t \leq \delta_t, \quad \forall t \in \{1,...,n\},$$
$$-\rho_c G^c_t x_t \leq \delta_t, \quad \forall t \in \{1,...,n\},$$
$$a_j x \geq \bar{d}_j + \rho_d G^d_j, \quad \forall j \in \{1,...,n_d\},$$
$$Bx \leq Cy,$$
$$y \in \{0,1\}, \quad x, \delta \in \Re^+.$$

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

غیرقطعی‌بودن تقاضاها و هزینه‌های حمل‌ونقل به‌صورت زیر است:

$$\min \quad z \tag{۳۲}$$

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

s.t.

$$\rho_s G^{s}_{ijpm}V_{ijpt} \le \delta^{s}_{ijptm}, \qquad \forall i, j, t, m, p \tag{۳۴}$$

$$-\rho_s G^{s}_{ijpm}V_{ijpt} \le \delta^{s}_{ijptm}, \qquad \forall i, j, t, m, p \tag{۳۵}$$

$$\rho_u G^{u}_{jkpm}W_{jkpt} \le \delta^{u}_{jkptm}, \qquad \forall j, k, t, m, p \tag{۳۶}$$

$$-\rho_u G^{u}_{jkpm}W_{jkpt} \le \delta^{u}_{jkptm}, \qquad \forall j, k, t, m, p \tag{۳۷}$$

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

$$\sum_{p\in P}\sum_{j\in J} V_{ijpt} \le V_{i\max}, \qquad \forall i, t, p \tag{۳۹}$$

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

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

$$V_{ijpt} \times y_{ijptm} \le A_m \qquad \forall i, j, t, m, p, \tag{۴۲}$$

$$W_{jkpt} \times y'_{jkptm} \le A_m \qquad \forall j, k, t, m, p, \tag{۴۳}$$

$$Q_{kpt} \ge \bar{D}_{kpt} + \rho_D G^{D}_{kpt}, \qquad \forall k, p, t, \tag{۴۴}$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

$$W_{jpt0} \le W_{j\max}, \qquad \forall j,t,p \tag{۴۵}$$

$$\sum_m y_{ijptm} = 1, \qquad \forall i,j,t,p \tag{۴۶}$$

$$\sum_m y'_{jkptm} = 1, \qquad \forall j,k,t,p \tag{۴۷}$$

$$V_{ijpt}, N_{ipt}, Q_{kpt}, W_{jkpt}, W_{jtp0}, \delta^s_{ijptm}, \delta^u_{jkptm} \ge 0, \qquad \forall i,j,k,t,m,p; \tag{۴۸}$$

٤. 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 درنظرگرفتن 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

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

برای پارامترهای غیرقطعی ابتدا یک مقدار اسمی در نظر گرفته می‌شود و با استفاده از مقادیر اسمی، مجموعه غیرقطعی برای هر یک از پارامترها به‌دست می‌آید. به‌دلیل 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

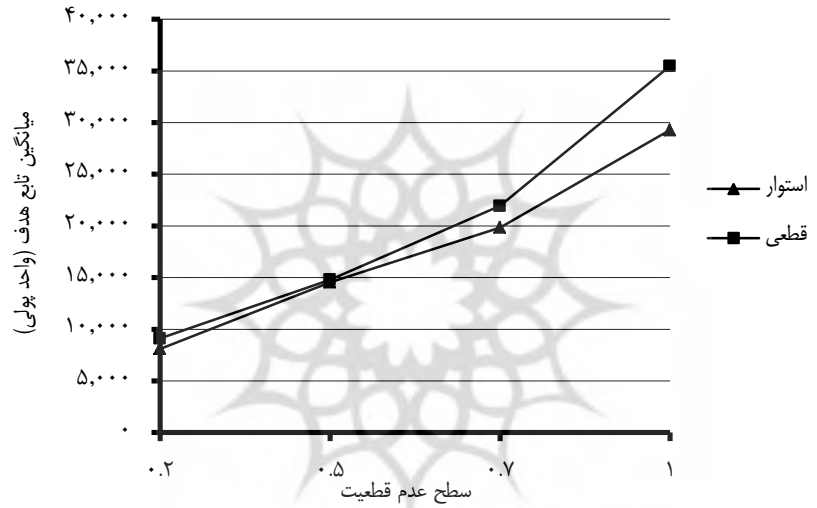
پارامتر غیرقطعی	بازه مقدار گیری
تقاضای هر مصرف‌کننده برای هر محصول در هر دوره $(\bar{D}_{kpt})$	[۲۰، ۲۰۰]
هزینه حمل‌ونقل از تولیدکننده به توزیع‌کننده $(\bar{s}_{ijm})$	[۱/۵ ،۷/۵]
هزینه حمل‌ونقل از توزیع‌کننده به مصرف‌کننده $(\bar{u}_{jkm})$	[۱ ،۵/۵]

شاخص عدم‌قطعیت مربوط به تقاضاها و هزینه‌های حمل‌ونقل برابر با مقدار اسمی است و نیز چهار سطح عدم‌قطعیت برای پارامترهای غیرقطعی $(\rho_D = \rho_s = \rho_u)$ برابر ۱، ۰/۷، ۰/۵، ۰/۲ $= \rho$ 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 عدم‌قطعیت، با درنظرگرفتن 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 عدم‌قطعیت 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 عدم‌قطعیت حل می‌شود و میانگین و انحراف استاندارد مقدار تابع هدف به‌دست‌آمده هر دو مدل برای پنج سناریو در هر سطح عدم‌قطعیت موردارزیابی 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 موردنظر استفاده می‌شود [۲۳].

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

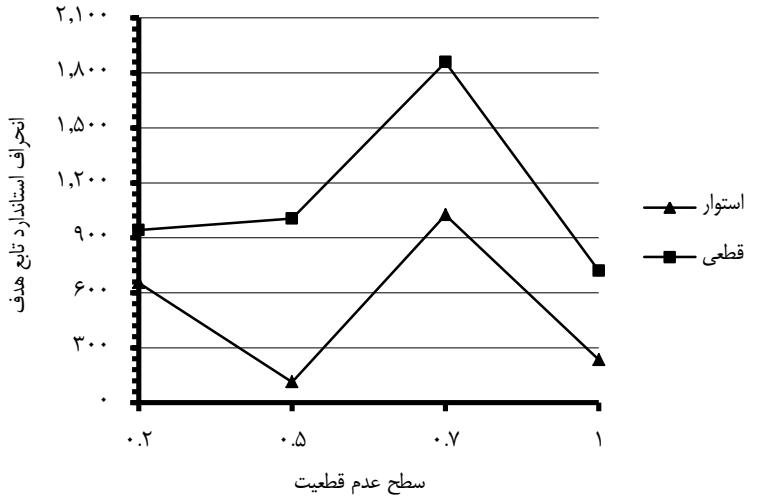
سطح عدم قطعیت (ρ)	میانگین مقادیر تابع هدف سناریوها		انحراف استاندارد مقادیر تابع هدف سناریوها	
	قطعی	استوار	قطعی	استوار
۰/۲	۹۱۱۲	۸۰۹۵	۹۴۱/۷۴	۶۵۴/۳۱
۰/۵	۱۴۸۰۱	۱۴۵۵۰	۱۰۰۵/۱۶	۱۱۲/۶۴
۰/۷	۲۱۹۴۱	۱۹۸۴۴	۱۸۵۸/۳۸	۱۰۲۵/۲
۱	۳۵۴۷۷	۲۹۲۷۵	۷۱۹/۶۴	۲۳۴/۰۱

با بررسی نتایج جدول ۴، مشخص می‌شود که با افزایش سطح عدم‌قطعیت، 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 عدم‌قطعیت نشان می‌دهد.



شکل ۲. نمودار انحراف استاندارد مقدار تابع هدف برای مدل قطعی و استوار.

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

در سطح عدم‌قطعیت $\rho = ۰/۲$، میانگین و انحراف استاندارد مقدار تابع هدف مدل استوار مطلوب‌تر از مدل قطعی است. در سطح عدم‌قطعیت $\rho = ۰/۵$، باوجود 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 عدم‌قطعیت، 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؛ درنتیجه 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 درنظرگرفتن حالت‌های حمل‌ونقل متعدد ارائه شد. پارامترهای تقاضا و هزینه‌های حمل‌ونقل، غیرقطعی فرض شده‌اند و هیچ‌گونه تابع توزیع احتمالی دردسترس 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 عدم‌قطعیت 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 عدم‌قطعیت، 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 توسعه‌داده‌شده در مدیریت حمل‌ونقل و درنتیجه کاهش ریسک انتخاب حالت حمل‌ونقل در مدیریت زنجیره تأمین اشاره کرد. درنظرگرفتن 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 به‌دست‌آوردن بهینه‌سازی جامع در زنجیره تأمین بهبود می‌بخشد؛ درنهایت رضایت مصرف‌کننده نهایی را به‌دنبال دارد که باعث ارتقای عملکرد اعضا زنجیره در فضای غیرقطعی و رقابتی می‌شود. درنظرگرفتن سایر اهداف مانند افزایش سطح پاسخگویی به مصرف‌کنندگان، توسعه سایر مدل‌های بهینه‌سازی استوار برای مدل پیشنهادی و درنظرگرفتن زمان تحویل محصولات در هر یک از حالت‌های حمل‌ونقل، می‌تواند از پژوهش‌های آتی به‌شمار رود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

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. Pishvaee, 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 Indusrial Mangement 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 Indusrial Mangement 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 Indusrial Mangement Perspective, 19,* 65-90 (In Persian).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی