فصلنامه علمی ° پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی ° سال دوازدهم، شماره ۳۵، زمستان ۹۳

صفحات ۱۷۸ - ۱۵۱

مکان‌یابی پویای چند تسهیلاتی در یک زنجیره تأمین در شرایط فازی

علیرضا علی نژاد[۱] ، زهرا شهریاری[۲]، سید حبیب اله رحمتی[۳]،کاووس سیمیاری[۴]

(دریافت: ۹۱/۸/۳ پذیرش: ۹۳/۳/۵)

چکیده

در این تحقیق به ارائه رویکردی یکپارچه برای طراحی خاصی از شبکه‌های توزیع در فضای زنجیره تأمین پرداخته شده که در آن تصمیمات مرتبط با مکان‌یابی پویای تسهیلات، برآورده سازی تقاضای مشتریان با رویکردی یکپارچه اتخاذ می‌گردد. در این راستا، یک مدل ریاضی جدید مکان‌یابی پویای چند تسهیلاتی به منظور کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های مرتبط بر مکان یابی اولیه هر یک از تسهیلات در سطح ظرفیتی خاص، مکان‌یابی مجدد تسهیلات و حمل و نقل اقلام از کارخانه به محل مراکز توزیع و سپس به مشتری نهایی، ارائه شده است. همچنین از آنجائیکه در دنیای واقعی برخی از پارامترهای مدل پیشنهادی، همچون هزینه حمل و نقل هر واحد محصول از کارخانه به مرکز توزیع مستقر شده، هزینه استقرار مکان اولیه به مرکز توزیع، هزینه اولیه برای استقرار مجدد به مرکز توزیع و تقاضای تخصیص یافته به مراکز توزیع برای هر یک از محصولات، دارای ماهیت غیر قطعی می‌باشند. لذا پارامترهای مذکور، متغیر فازی در نظرگرفته شده و در این راستا، مدل در شرایط فازی نیز توسعه داده شده است. از جنبه‌های نو آورانه، تحقیق می‌توان به ارائه مدلی جهت مکان یابی پویای چند تسهیلاتی در یک زنجیره تامین، در شرایط قطعی و فازی و ارائه الگوریتمی جدید برمبنای روش خیمنز اشاره کرد. نتایج خروجی، نشان از کارایی الگوریتم توسعه داده شده و صرفه جویی در هزینه های مسأله پیشنهادی در مقایسه با شرایط قطعی دارد.

کلید واژگان: مکان‌یابی پویای چند تسهیلاتی، زنجیره تأمین، برنامه‌ریزی ریاضی، الگوریتم برنامه‌ریزی فازی

۱- استاد یار دانشگاه آزاد اسلامی ، واحد قزوین، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، قزوین، ایران Alinezhad@qiau.ac.ir

۲- فوق لیسانس، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی قزوین، ایران

۳- فوق لیسانس، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی قزوین، ایران

٤- فوق لیسانس، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی قزوین، ایران

مقدمه

در دنیای واقعی دلایل متعددی منجر به بروز عدم قطعیت در تصمیم‌گیری شده که مدیریت زنجیره تأمین نیز از این قاعده مستثنی نمی‌باشد. وجود این عدم قطعیت‌ها منجر به آن می‌شود که تصمیمات اتخاذ شده با گذشت زمان از بهینگی خارج شده و نیازمند بازنگری باشند. استراتژی‌های متعددی برای برخورد با عدم قطعیت و کنترل آن در مدیریت زنجیره تأمین مطرح است که مکان‌یابی مجدد تسهیلات زنجیره تأمین در طول افق زمانی برنامه ریزی، منجر به پویایی این مسأله می‌شود. از طرف دیگر عمده مسائل مکان‌یابی پویا در فضای قطعی بررسی شده، در حالی‌که ماهیت غیر قطعی پارامترهای تاثیرگذار بر واقعی‌تر شدن این تحقیق می‌افزاید. نتایج این تحقیق در ایجاد شبکه‌های خرده فروشی محصولات، انتخاب محل ایجاد انبارهای اصلی توسط تولیدکنندگان و تعیین محل استقرار ایستگاه‌های آتش نشانی توسط تصمیم گیرندگان مسائل شهری کاربرد دارد. از جنبه‌های نوآورانه تحقیق حاضر نیز می‌توان به ارائه مدلی جهت مکان‌یابی پویای چند تسهیلاتی در یک زنجیره تأمین در شرایط فازی و ارائه الگوریتمی جدید برای حل مدل مذکور اشاره کرد.

مدیریت زنجیره تأمین یک تحلیل سیستماتیک است که شامل هماهنگی و همزمان‌سازی جریان منابع در شبکه تأمین‌کنندگان، تسهیلات تولیدی، مراکز توزیع و مشتریان می‌شود. عناصر این شبکه از نقش‌های متفاوت زنجیره تأمین، تشکیل شده که مواد اولیه را از تأمین‌کنندگان دریافت نموده، آنها را در تسهیلات تولیدی به محصولات نهایی تبدیل کرده و محصولات نهایی را از طریق مراکز توزیع بین مشتریان نهایی توزیع می‌کنند. (Lambert,1998) مکان‌یابی تسهیلات، یکی از موضوعات استراتژیک در طراحی زنجیره‌های تأمین می‌باشد. این مسأله در مکان‌یابی تسهیلات عمومی و خصوصی دارای کاربردهای متعددی بوده که از آن جمله می‌توان به ایجاد شبکه‌های خرده فروشی محصولات، انتخاب محل ایجاد انبارهای اصلی توسط تولیدکنندگان و تعیین محل استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی توسط تصمیم‌گیرندگان مسائل شهری اشاره نمود.(Chopra,2007) اوون و دسکین[1] مسائل مکان‌یابی را به سه دسته

1 -Owen and Daskin

تقسیم بندی نموده‌اند که عبارتند از: مسائل مکان‌یابی قطعی و ایستا، مسائل مکان‌یابی پویا و مسائل مکان‌یابی احتمالی(Owen,1998). ماهیت استراتژیک مسائل مکان‌یابی نیازمند آن بوده که برخی از جنبه‌های عدم قطعیت‌های ناشی از گذشت زمان نیز در نظر گرفته شود. از آن جا که مکان‌یابی و مکان‌یابی مجدد تسهیلات، هزینه‌های قابل توجهی را به سیستم تحمیل می‌نماید، لذا منطقی به نظر می‌رسد که تصمیمات اتخاذ شده در این زمینه تا چندین سال مطلوبیت خود را از دست نداده و قابل بکارگیری باشد که تحت عنوان مکان‌یابی پویا در ادبیات موضوع شناخته می‌شود. (Christopher,1998)

مدیریت زنجیره تأمین، فرآیند برنامه‌ریزی و پیاده سازی و کنترل عملیات زنجیره تأمین، یک روش کارآمد (حداقل هزینه) است.(Melo,2009) مدیریت زنجیره تأمین شامل تمام حرکات و انبار مواد خام، موجودی کالای نیمه ساخته و کالای ساخته شده، از نقطه شروع تا نقطه پایان است.(Simchi,2004) بخشی از فرآیندهای برنامه‌ریزی در مدیریت زنجیره تأمین به یافتن بهترین تنظیمات و ترکیبات ممکن در زنجیره تأمین می‌پردازد. علاوه بر مدل عمومی مکان یابی تسهیلات، حوزه‌های دیگری مانند تدارکات، تولید، موجودی‌ها، توزیع و مسیریابی بایستی در نظر گرفته شود (Cordeau,2006). از لحاظ تاریخی، نسبتاً از مدتها پیش محققان روی طراحی سیستم‌های توزیع تمرکز کرده‌اند.(Klose,2005). اما متأسفانه زنجیره تأمین را به صورت کامل ندیده‌اند. در سال‌های اخیر بحث زنجیره تأمین در محیط فازی به کار برده شده است(Wei,2013) و(Zhao,2012). نوآوری این تحقیق، ارائه مدلی جهت مکان‌یابی پویای چند تسهیلاتی در یک زنجیره تامین در شرایط قطعی و فازی و حل مدل برمبنای روش خیمنز می‌باشد.

تعریف مسأله

مسائل مکان یابی پویا به سه دسته کلی، مکان‌یابی پویای تک تسهیلاتی، مکان‌یابی پویای چند تسهیلاتی و رویکردهای پویای جایگزین، تقسیم می‌شوند. در مسائل مکان‌یابی پویا، تلاش بر آن است تا تصمیمات مکان‌یابی تسهیلات در طی یک افق زمانی از پیش تعیین شده اتخاذ

گردد.(Christopher,1998) در این مسائل فرض بر آن است که تمامی پارامترهای ورودی به مدل، قطعی و در دسترس باشند. این در حالی است که در مسائل واقعی، این موضوع کمتر اتفاق افتاده و عدم قطعیت‌های موجود، منجر به تغییرات متعددی در پارامترهای تصمیم گیری شده که بهینگی تصمیمات اتخاذ شده را مخدوش می نماید.

در همین راستا در این تحقیق یک مدل مکان‌یابی پویای چند تسهیلاتی غیر قطعی ارائه خواهد شد که به منظور کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های مترتب بر مکان‌یابی اولیه هر یک از تسهیلات در سطح ظرفیتی خاص، مکان‌یابی مجدد تسهیلات و حمل و نقل اقلام از کارخانه به محل مراکز توزیع و سپس به مشتری نهایی می‌باشد.

از آنجایی‌که مدل ریاضی پیشنهادی، ماهیت غیر قطعی داشته و برخی از پارامترهای مدل ریاضی پیشنهادی، همچون هزینه حمل و نقل هر واحد محصول از کارخانه به مرکز توزیع مستقر شده، هزینه استقرار اولیه مرکز توزیع، هزینه اولیه برای استقرار مجدد مرکز توزیع و تقاضای تخصیص یافته به مراکز توزیع برای هر یک از محصولات دارای تابع عضویت فازی می‌باشند، لذا الگوریتم برنامه‌ریزی ریاضی فازی، برای حل مدل ریاضی توسعه داده می‌شود. از الگوریتم‌های نوین برنامه‌ریزی ریاضی فازی که استفاده خواهد شد، می‌توان به رویکردهای برنامه‌ریزی امکانی ژیمنز[1] که در سال ۲۰۰۷ ارائه شد (Jimenez,2007) و کادناس و وردیگی[2] که در سال ۱۹۹۵ ارائه شد (Candenas,1995) اشاره نمود. از مزایای استفاده از این الگوریتم می‌توان به تصمیم‌گیری تعاملی با تصمیم‌گیرنده از طریق تنظیم پارامتر α اشاره کرد. برای صحه‌گذاری بر الگوریتم پیشنهادی، مسائل متعددی در اندازه‌های مختلف طراحی می‌گردند و کارایی این الگوریتم با الگوریتم‌های شناخته شده برنامه‌ریزی فازی موجود در ادبیات موضوع مورد مقایسه و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

در این پژوهش مسأله مکان‌یابی تخصیص یافته در سطح یک زنجیره تأمین دو رده ای، مورد بررسی قرار می‌گیرد. این زنجیر از یک کارخانه، چندین مرکز توزیع (عمده فروشان) و

1 Jimenez
2 Cadenas and Verdegay

مشتریان زنجیره (خرده فروشان) تشکیل شده است.
در این سناریو شبکه توزیع از ساختاری به شرح ذیل برخوردار می‌باشد:

سطح اول: شامل یک کارخانه یا تأمین‌کننده بوده که تمامی احتیاجات شبکه توزیع را تأمین می‌نماید. محل استقرار کارخانه از قبل معلوم بوده و در طول افق برنامه‌ریزی دچار تغییر نمی‌شود. با این وجود ممکن است که تسهیلات ارتباطی بین کارخانه و انبارها (مراکز توزیع) در طول افق برنامه‌ریزی دچار تغییر شده و در نتیجه هزینه‌های متناظر آن نیز متاثر گردد. در کارخانه هیچگونه موجودی نگهداری نشده و محصولات به محض آماده شدن، به انبارها ارسال می‌گردند، بنابراین در این سطح به جز هزینه‌های حمل و نقل از کارخانه به انبارها، هیچ هزینه دیگری در نظر گرفته نمی‌شود.
سطح دوم: شامل انبارها یا مراکز توزیع بالقوه بوده که بر اساس تصمیمات اتخاذ شده در مدل در هر دوره زمانی، برخی از آنها فعال و برخی دیگر غیرفعال می‌باشند. این انبارها دارای ظرفیت چندگانه بوده و در یکی از سطوح از پیش تعیین شده فعال می‌شوند. این سطوح ظرفیتی دارای هزینه‌های استقرار ثابت و منحصر به فرد بوده که برحسب اینکه برای اولین بار انبار فعال شده و یا دفعات دوم به بعد فعال شده باشد، این هزینه‌ها متغیر می‌باشند. در هر یک از انبارهای فعال، به میزان مقتضی از هر یک از محصولات موجودی، نگهداری شده است به نحوی که پاسخگوی تقاضای مشتریان باشد.

سطح سوم: شامل مشتریان نهایی یا خرده فروشان بوده که دارای الگوی تقاضای مشخص در هر یک از دوره‌های زمانی می‌باشند. این مشتریان با توجه به الگوی تخصیص، تقاضای خود را برای هر یک از محصولات، از یکی از انبارهای ایجاد شده تأمین می‌نمایند.
با توجه به ویژگی‌های که برای هر یک از سطوح سه گانه شبکه زنجیره تأمین مورد بررسی، در نظر گرفته شده است، مسأله مورد بررسی در این سناریو، یک مدل مکان‌یابی تخصیص بوده که در آن وزن‌های مربوط به تقاضای مشتریان در هر یک از دوره‌های مورد بررسی، پارامتری فازی مثلثی می‌باشد. با توجه به این سناریو، در طراحی شبکه توزیع مطلوب،

تصمیماتی به شرح زیر اتخاذ می‌گردد:

تصمیمات مکان‌یابی اولیه: هر یک از مراکز توزیع بالقوه برای اولین بار در چه پریودی و با چه سطح ظرفیتی فعال شده و تا چه زمانی به فعالیت خود ادامه دهند به نحوی که هزینه‌های مربوطه حداقل گردد؟

تصمیمات مکان یابی مجدد: مراکز توزیعی که برای اولین بار غیرفعال می‌شوند در کدام یک از دوره‌های بعدی مجدداً فعال شده (و در چه سطح ظرفیتی) و تا چه زمانی، به فعالیت خود ادامه دهند به نحوی که هزینه‌های مربوطه حداقل گردد؟

تصمیمات تخصیص: مشتریان، هر یک از محصولات مورد نیاز خود را در هر یک از دوره‌ها، از کدام یک از مراکز توزیع فعال (مکان‌یابی اولیه یا مکان‌یابی مجدد) تأمین نموده، به صورتی که منجر به کمینه شدن هزینه‌ها گردد؟ (در این مدل تخصیص تقاضای مشتریان به صورت تک منبع انجام پذیرفته به نحوی که هر مشتری تقاضای خود برای هر یک از محصولات را بصورت یک‌جا از یک انبار تأمین نموده، ولی می‌تواند سایر محصولات مورد نیاز را از مراکز توزیع دیگر و به صورت یک‌جا تأمین نماید.

تصمیمات موجودی: هر یک از انبارهای ایجاد شده در هر یک از دوره‌ها چه میزان موجودی نگهداری نموده تا هزینه‌های مرتبط با کمبود و نگهداری موجودی، حداقل گردد.

مفروضات مسأله

فرضیات مدل طراحی شبکه توزیع مطلوب به شرح ذیل می‌باشد:

- فضای مکان‌یابی: مکان استقرار مراکز توزیع، شامل تعداد مشخصی از نقاط از پیش تعیین شده بوده که در هر یک از این نقاط در هر لحظه، امکان استقرار یک تسهیل وجود دارد.
- ماهیت تقاضا: تقاضای هر یک از مشتریان برای هر یک از محصولات به صورت فازی در هر پریود می‌باشد و فرض می‌شود که تقاضای هر یک از مشتریان نسبت به سایر مشتریان کاملاً مستقل بوده و هیچ ارتباطی میان آنها وجود ندارد.

- تعداد سطوح: زنجیره تأمین مورد بررسی، دو سطحی بوده که شامل کارخانه، مراکز توزیع و مشتریان می‌باشد. محل استقرار مشتریان و کارخانه از قبل معلوم بوده ولی انبارها می-بایستی مکان‌یابی گردند.
- ظرفیت تسهیلات: هر یک از مراکز توزیع دارای چند سطح ظرفیتی محدود و از پیش تعیین شده بوده که در استقرار اولیه و مجدد هر یک از مراکز، این سطح ظرفیتی مشخص می‌گردد. امکان تغییر سطح ظرفیتی هر یک از مراکز توزیع در صورت استقرار مجدد آن، در نظر گرفته شده ولی در طول زمان فعالیت هر یک از مراکز، امکان تغییر آن وجود ندارد.
- مکان‌یابی اولیه: مکان یابی تسهیلات در ابتدای پریود اول و همچنین سایر پریودها امکان پذیر می‌باشد.
- مکان‌یابی مجدد: مکان یابی مجدد تسهیلات در صورتی که تسهیلات یک‌بار قبلاً استقرار یافته و تعطیل شده باشند، امکان پذیر است. بنابراین مکان‌یابی مجدد تسهیلات از پریود دوم به بعد امکان پذیر می‌باشد.
- تعداد محصولات: هر یک از مشتریان (خرده فروشان) متقاضی چندین محصول بوده که می‌توانند تمامی این محصولات را از یک مرکز توزیع و یا هر یک از آنها را از مراکز توزیع مجزا، تأمین نمایند.
- نوع تخصیص: تمامی تقاضای مشتریان برای یک محصول از یک مرکز توزیع، تأمین شده و محدودیت تک منبعی بودن در نظر گرفته شده است.
- کمبود موجودی: امکان برآورده ننمودن بخشی از تقاضای وارد شده به هر یک از تسهیلات و کمبود موجودی در نظر گرفته شده است که در این‌گونه موارد هزینه کمبود نیز اعمال می‌گردد. آن دسته از سفارشاتی که در هر پریود صادر شده ولی امکان دریافت آن تا انتهای دوره فراهم نباشد، صادر نشده و تقاضای تخصیص یافته به آن، بعنوان کمبود در نظر گرفته می‌شود.
- هزینه نگهداری: سفارشات دریافت شده در هر پریود زمانی تا زمان تحویل آنها به مشتریان، مشمول هزینه نگهداری می‌شوند. علاوه بر این آن دسته از موجودی‌هایی که در

انتهای دوره نیز در مراکز توزیع باقی مانده باشند، مشمول هزینه نگهداری مضاعفی بوده که مربوط به انتقال آنها به دوره بعد نیز می‌شوند.

- الگوی سفارش دهی: مقدار هر سفارش برای هر یک از محصولات در هر پریود و در هر یک از مراکز توزیع بر اساس میانگین تقاضای تخصیص یافته به آن مرکز تعیین شده و در طول پریود ثابت باقی می‌ماند. در پریودهای بعدی این مقدار با توجه به تقاضای تخصیص یافته مجدداً تعیین می گردد.
- تعداد پریودهای زمانی، محدود و مشخص بوده و طول تمامی آنها یکسان می‌باشد.

$$r_{jl}^{t} = D_{jl}^{t}\mu_{jl}^{t} + ss_{l}^{t} \qquad (۱)$$

- در فاصله زمانی میان دو سفارش متوالی در هر پریود زمانی، میانگین موجودی فیزیکی هر یک از کالاها در هر انبار عبارت است از:

$$\frac{Q_{jl}^{t}}{2} + ss_{l}^{t} \qquad (۲)$$

- اگر هزینه نگهداری هر واحد از محصول j را در انبار l در طول پریود t با نماد HC_{jl}^{t} نمایش دهیم، در این حالت میانگین هزینه نگهداری در مدت زمان مابین دو سفارش متوالی عبارت است از:

$$HC_{jl}^{t}\left(\frac{Q_{jt}^{l}}{2} + ss_{l}^{t}\right) \qquad (۳)$$

- اگر انبار j برای هر بار سفارش دهی محصول l در پریود t متحمل هزینه ثابتی به میزان OC_{jl}^{t} گردد و هزینه حمل و نقل هر واحد از محصول l از محل کارخانه تا محل انبار j در پریود t برابر TC_{jl}^{t} باشد، در این صورت هزینه مربوط به هر سفارش به همراه هزینه‌های مرتبط حمل ونقل و نگهداری مربوط به آن سفارش خواهد بود:

$$TC_{jl}^{t}Q_{jl}^{t} + OC_{jl}^{t} + HC_{jl}^{t}\left(\frac{Q_{jl}^{t}}{2} + ss_{l}^{t}\right)\left(\frac{Q_{jl}^{t}}{D_{jl}^{t}}\right) \qquad (۴)$$

- در رابطه شماره (۴) با تقسیم آن بر مقدار TC_{jl}^{t}، نرخ هزینه سفارش‌دهی نگهداری حمل و نقل در هر واحد از زمان برابر است با:

$$\left(TC_{jl}^{t}+\frac{OC_{jl}^{t}}{Q_{jl}^{t}}\right)D_{jl}^{t}+HC_{jl}^{t}\left(\frac{Q_{jl}^{t}}{2}+ss_{l}^{t}\right) \qquad (۵)$$

با توجه به توضیحاتی که در بالا به آنها اشاره شد، متغیرها و پارامترهای مورد نیاز برای مدل‌سازی در ادامه معرفی می گردد.

مدل ریاضی مسأله در شرایط قطعی

مدل ریاضی مسأله در حالت قطعی را در قالب اندیس‌ها، پارامترها، و متغیرهای تصمیم، تابع هدف و محدودیت‌ها بیان می‌کنیم.

مجموعه اندیس‌ها

I = مجموعه اندیس‌های مرتبط با خرده فروشان ($i=1,2,\ldots, m$)

J = مجموعه نقاط بالقوه برای استقرار مراکز توزیع ($j=1,2,\ldots, n$)

K = سطوح ظرفیت امکان پذیر برای هریک از انبارها ($k=1,\ldots, p$)

L = مجموعه محصولات ($l=1,\ldots, q$)

T = مجموعه دوره‌های زمانی مشمول برنامه ریزی ($t=1,\ldots, T$)

پارامترهای مسأله

n = تعداد خرده فروشان (مشتریان نهایی)

m = تعداد نقاط بالقوه برای استقرار مراکز توزیع

p = تعداد سطوح ظرفیتی که هر انبار می‌تواند در آن ایجاد گردد.

q = تعداد محصولات قابل توزیع

τ = تعداد پریودهای افق برنامه ریزی

TC_{ijl}^{t}= هزینه انتقال یک واحد از محصول l از مرکز توزیع مستقر شده در محل j به خرده فروشی i در پریود t.

TC_{jl}^{t} = هزینه حمل ونقل یک واحد از محصول l از کارخانه به مرکز توزیع مستقر شده در محل j در پریود t.

LC_{jk}^{t} = هزینه اولیه برای استقرار اولیه مرکز توزیع در محل j با سطح ظرفیت k در پریود t.

HC_{jl}^{t} = هزینه نگهداری هر واحد محصول l در مرکز توزیع j در طول پریود t.

MC_{jl}^{t} = هزینه نگهداری هر واحد محصول l در انبار j در انتهای پریود t تا پریود $t+1$.

OC_{jl}^{t}= هزینه سفارش دهی برای هر سفارش از محصول l توسط مرکز توزیع j در پریود t.

SC_{jl}^{t}= هزینه کمبود هر واحد از محصول l که در انتهای پریود t تأمین نشده و در پریود $t+1$ از همین مرکز توزیع j قابل تأمین باشد.

S_l = فضای مورد نیاز برای نگهداری هر واحد از محصول l در هر یک از انبارها.

K_{jk} = سطح ظرفیت k ام برای استقرار مرکز توزیع در محل بالقوه j.

$\mu_{D,il}^{t}$ = میانگین تقاضای خرده فروش i برای محصول l در پریود t.

$\mu_{L,jl}^{t}$ = میانگین زمان انتظار مرکز توزیع j برای دریافت محصول l در پریود t.

متغیرهای تصمیم‌گیری

$L_{jk}^{t,t'}=1$ ، در صورتیکه در پریود t در محل j مرکز توزیعی در سطح ظرفیت k استقرار یافته و تا پریود t' فعال باقی بماند و ۰، در غیر این‌صورت.

$RL_{jk}^{t,t'}=1$، در صورتی‌که در پریود t در محل j مرکز توزیعی در سطح ظرفیت k بازگشایی شده و تا پریود t' ادامه فعالیت دهد و ۰، در غیر این‌صورت.

$A_{ijl}^{t}=1$، در صورتیکه مرکز توزیع مستقر شده در محل j محصول از نوع l مورد نیاز مشتری i را در پریود t تأمین نماید و ۰، در غیر این‌صورت.

I_{jl}^{t} = مقدار موجودی محصول l که در انتهای پریود t در مرکز توزیع نگهداری شده و به پریود بعدی منتقل می‌گردد.

B_{jl}^{t} = میزان کمبود موجودی محصول l در مرکز توزیع j در انتهای پریود t.

D_{jl}^{t} = میانگین تقاضای تخصیص یافته به مرکز توزیع j برای محصول l در پریود t.

N_{jl}^{t} = تعداد سفارشات برای محصول l که توسط مرکز توزیع j در پریود t صادر می‌شود.

تابع هدف

در رابطه شماره (۴) هزینه‌های سفارش‌دهی هر سفارش ارائه شده توسط هر یک از مراکز توزیع در هر یک از پریودها و به ازای هر یک از محصولات به همراه هزینه‌های مرتبط با نگهداری آنها در طول زمان بین دو سفارش متوالی ارائه گردیده، با بازنویسی این رابطه خواهیم داشت:

$$OC_{jl}^{t}+\left(HC_{jl}^{t}\left(\frac{Q_{jl}^{t}}{2}+ss_{l}^{t}\right)\right)\frac{Q_{jl}^{t}}{D_{jl}^{t}} \qquad (۶)$$

که در آن در مقایسه با رابطه (۴) هزینه‌های مربوط به حمل و نقل در نظر گرفته نشده است. با تقسیم عبارت فوق بر $\frac{Q_{jl}^{t}}{D_{jl}^{t}}$ که میانگین مدت زمان میان دو سفارش متوالی مرکز توزیع j برای محصول l در پریود t می‌باشد، نرخ هزینه نگهداری و سفارش‌دهی واقع شده در هر واحد زمان عبارت است از:

$$\left(\frac{OC_{jl}^{t}}{Q_{jl}^{t}}\right)D_{jl}^{t}+HC_{jl}^{t}\left(\frac{Q_{jl}^{t}}{2}+ss_{l}^{t}\right) \qquad (۷)$$

با فرض اینکه هیچ محدودیت از پیش تعیین شده ای بر روی فضای انبارش وجود نداشته باشد، با مشتق گرفتن از عبارت فوق نسبت به Q_{jl}^{t}، مقدار بهینه سفارش برای محصول l که مرکز توزیع j می تواند در پریود t صادر نماید، به شرح ذیل بدست می‌آید:

$$\frac{HC_{jl}^{t}}{2}-\frac{OC_{jl}^{t}D_{jl}^{t}}{Q_{jl}^{t}}=0\rightarrow Q_{jl}^{t\,*}=\sqrt{\frac{2OC_{jl}^{t}D_{jl}^{t}}{HC_{jl}^{t}}} \qquad (۸)$$

با جایگزینی مقدار بدست آمده از رابطه (۸) در رابطه (۶)، هزینه‌های سفارش دهی و نگهداری مرتبط بر هر یک از سفارشات را به شرح ذیل خواهیم داشت:

$$OC_{jl}^{t}+\left(\sqrt{\frac{HC_{jl}^{t}OC_{jl}^{t}D_{jl}^{t}}{2}}+HC_{jl}^{t}ss_{l}^{t}\right)\sqrt{\frac{2OC_{jl}^{t}}{HC_{jl}^{t}D_{jl}^{t}}} \qquad (۹)$$

فرض کنیم که در هر یک از پریودها تعداد N_{jl}^{t} سفارش توسط انبار jبرای محصول l صادر می‌شود. در این‌صورت هزینه‌های مرتبط بر سفارش‌دهی و نگهداری محصولات در طول هر پریود زمانی و در کل افق برنامه‌ریزی عبارت است از:

$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{n}\sum_{l=1}^{q}N_{jl}^{t}\left(OC_{jl}^{t}+\left(\sqrt{\frac{HC_{jl}^{t}OC_{jl}^{t}D_{jl}^{t}}{2}}+HC_{jl}^{t}ss_{l}^{t}\right)\sqrt{\frac{2OC_{jl}^{t}}{HC_{jl}^{t}\times D_{jl}^{t}}}\right) \qquad (۱۰)$$

همانگونه که قبلاً اشاره شد، در این تحقیق، مکان‌یابی اولیه و مکان‌یابی مجدد تسهیلات مجزای از یکدیگر در نظر گرفته شده است که این موضوع در نتیجه تفاوت میان هزینه‌های مربوط به آن دسته از موجودی‌هایی که تا انتهای هر پریود در محل انبارها باقی مانده و تقاضایی برای تخصیص به آنها وجود نداشته باشد، به صورت جداگانه از هزینه‌های نگهداری که در رابطه (۱۰) ارائه شد، در نظر گرفته شده است. تابع هدف کلی این مسأله در رابطه (۱۱) ارائه شده است:

$$\begin{aligned}\min\ & \sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{p}\sum_{t=1}^{\tau}\sum_{t'=t}^{\tau} LC_{jk}^{t} L_{jk}^{t,t'} \\ & + \sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{p}\sum_{t=2}^{\tau}\sum_{t'=t}^{\tau} RC_{jk}^{t} RL_{jk}^{t,t'} \\ & + \sum_{t=1}^{\tau}\sum_{l=1}^{q}\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m} \left(TC_{ijl}^{t} + TC_{jl}^{t}\right)\mu_{il}^{t} A_{ijl}^{t} \qquad (11) \\ & + \sum_{t=1}^{\tau}\sum_{j=1}^{n}\sum_{l=1}^{q} MC_{jl}^{t} I_{jl}^{t} + \sum_{t=1}^{\tau}\sum_{j=1}^{n}\sum_{l=1}^{q} SC_{jl}^{t} B_{jl}^{t} \\ & + \sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{n}\sum_{l=1}^{q} N_{jl}^{t}\left(OC_{jl}^{t} + \left(\sqrt{\frac{HC_{jl}^{t} OC_{jl}^{t} D_{jl}^{t}}{2}} + HC_{jl}^{t} ss_{l}^{t}\right)\sqrt{\frac{2OC_{jl}^{t}}{HC_{jl}^{t} D_{jl}^{t}}}\right)\end{aligned}$$

جزء اول تابع هدف هزینه‌های مرتبط بر مکان‌یابی هر یک از تسهیلات، جزء دوم تابع هدف، مکان‌یابی مجدد تسهیلات، جزء سوم، هزینه‌های مربوط به حمل و نقل اقلام از کارخانه به محل مراکز توزیع و پس از آن از مراکز توزیع به مشتریان نهایی، جزء چهارم، هزینه‌های مربوط به موجودی‌های نگهداری شده در هر یک از مراکز توزیع در انتهای دوره‌ها، جزء پنجم، هزینه‌های مربوط به کمبود اقلام در هر یک از مراکز توزیع و جزء ششم، هزینه‌های نگهداری اقلام در طول هر پریود و همچنین هزینه‌های سفارش‌دهی می‌باشد.

محدودیت‌های مدل

$$\sum_{j=1}^{n} A_{ijl}^{t} = 1 \ ; \ i = 1\ldots m,\ l = 1\ldots q,\ t = 1\ldots\tau \qquad (۱۲)$$

$$\sum_{k=1}^{p} L_{jk}^{t,t'} \le 1 \ ; \ j = 1\ldots n,\ k = 1\ldots p,\ t = 1\ldots\tau, t' = t\ldots\tau \qquad (۱۳)$$

$$\sum_{k=1}^{p} RL_{jk}^{t,t'} \le 1 \ ; \ j = 1\ldots n,\ k = 1\ldots p,\ t = 1\ldots\tau, t' = t\ldots\tau \qquad (۱۴)$$

$$\sum_{l=1}^{q} D_{jl}^{t} S_{l} \le K_{jk}\left(L_{jk}^{t,t'} + RL_{jk}^{t,t'}\right) \ ; \ j = 1\ldots n,\ k = 1\ldots p,\ t = 1\ldots\tau,\ t' = t\ldots\tau \qquad (۱۵)$$

$$\sum_{i=1}^{m} \mu_{D,il}^{t} A_{ijl}^{t} \ge D_{jl}^{t} \ ; \ j = 1\ldots n,\ l = 1\ldots q,\ t = 1\ldots\tau \qquad (۱۶)$$

$$\sum_{t=1}^{a} D_{jl}^{t} - N^{t}_{jl}\sqrt{\frac{2OC_{jl}^{t}D_{jl}^{t}}{HC_{jl}^{t}}} - I_{jl}^{t} + B_{jl}^{t} = 0 \quad ; \quad j=1\ldots n,\ l=1\ldots q,\ a=1\ldots\tau \tag{۱۷}$$

$$\sum_{t=1}^{a}\sum_{t'=a}^{\tau}\left(L_{jk}^{t,t'} + RL_{jk}^{t,t'}\right) - A_{ijl}^{a} \geq 0 \quad ; \quad k=1\ldots p,\ l=1\ldots q,\ a=1\ldots\tau \tag{۱۸}$$

$$\sum_{t=1}^{a-1}\sum_{t'=t}^{a-1} L_{jk}^{t,t'} - \sum_{t'=a}^{\tau} RL_{jk}^{a,t'} \geq 0 \quad ; \quad j=1\ldots n,\ k=1\ldots p,\ a=1\ldots\tau \tag{۱۹}$$

$$\sum_{t=1}^{\tau}\sum_{t'=t}^{\tau} L_{jk}^{t,t'} \leq 1 \quad ; \quad j=1\ldots n,\ k=1\ldots p \tag{۲۰}$$

$$\sum_{t=1}^{a}\sum_{t'=a}^{\tau}\left(L_{jk}^{t,t'} + RL_{jk}^{t,t'}\right) \leq 1 \quad ; \quad j=1\ldots n,\ k=1\ldots p,\ a=1\ldots\tau \tag{۲۱}$$

$$L_{jk}^{t,t'}, RL_{jk}^{t,t'}, A_{ijl}^{t} \in \{0,1\} \quad ; \quad i=1\ldots m,\ j=1\ldots n,\ k=1\ldots p,\ t=1\ldots\tau,\ t'=t\ldots\tau \tag{۲۲}$$

$$D_{jl}^{t}, I_{jl}^{t}, B_{jl}^{t}, N^{t}_{jl} \geq 0 \quad ; \quad j=1\ldots n,\ l=1\ldots q,\ t=1\ldots\tau \tag{۲۳}$$

در روابط (۱۳) و (۱۴) محدودیت‌های مربوط به تک ظرفیتی انبارها در نظر گرفته شده است. هر انبار از لحظه ایجاد تا پایان آن، چه در مکان‌یابی اولیه و چه در مکان‌یابی مجدد در یک سطح ظرفیتی از پیش تعیین شده ایجاد شده و امکان تغییر آن وجود نخواهد داشت. تغییر سطح ظرفیت از حالت مکان‌یابی اولیه به مکان یابی مجدد وجود داشته و در این محدودیت‌ها، قیدی برای آن در نظر گرفته نشده است.

در رابطه شماره (۱۵) محدودیت ظرفیت انبارها در نظر گرفته شده که این محدودیت از طریق کنترل سطح اشغال شده توسط هر یک از اقلام، اعمال می‌گردد. به عبارت دیگر در این محدودیت تقاضای تخصیص داده شده به هر انبار با توجه به ظرفیت انبار تعیین می‌شود.

در رابطه (۱۶) با توجه به الگوی تخصیص مشتریان به انبارها، میانگین تقاضای انبارها برای هر یک از اقلام تعیین می‌گردد. محدودیت بالانس موجودی‌ها در انتهای هر پریود در تساوی (۱۷)

نشان داده شده است. در این محدودیت با توجه به اقلام دریافتی در طول هر پریود و همچنین تقاضای وارد شده به انبار، میزان موجودی انتهای پریود و یا کمبود موجودی جهت پاسخگویی به سفارشات مشتریان تعیین می‌گردد.

در نامساوی شماره (۱۸) تخصیص مشتریان تنها به انبارهایی مجاز می‌شود که فعال بوده و قبلاً مکان‌یابی اولیه یا مکان‌یابی مجدد شده باشند. محدودیت‌های (۱۹) الی (۲۱) مشخص کننده ارتباطات میان مکان یابی اولیه و مکان یابی مجدد انبارها می‌باشد.

نامساوی (۱۹) بیان می‌کند که هر انبار در صورتی می‌تواند در پریود t مجدداً فعال شده باشد که در پریودهای قبلی آن برای بار اول مکان‌یابی شده و حداکثر تا پریود $t-1$ غیرفعال شده باشند. با توجه به اینکه مکان یابی اولیه فقط یک بار در طول افق برنامه ریزی امکان پذیر بوده و مراحل بعدی آن شامل مکان یابی مجدد می‌گردد، لذا هر انبار در طول افق برنامه ریزی صفر یا یکبار مکان یابی اولیه شده که این موضوع در نامساوی (۲۰) نشان داده شده است.

نامساوی (۲۱) نیز در برگیرنده یکی دیگر از محدودیت‌های منطقی مسأله بوده که بیان می‌دارد در هر لحظه در هر یک از نقاط بالقوه یا هیچ انباری مستقر نشده است، یا انباری برای اولین بار مستقر شده و یا برای دفعات بعدی فعال شده است و لذا این محدودیت امکان مکان یابی اولیه و مجدد یک انبار را در یک پریود واحد غیرمجاز می‌نماید.

محدودیت (۲۲) معرفی کننده متغیرهای صفر و یک و محدودیت (۲۳) نشان دهنده متغیرهای نامنفی مسأله می‌باشد.

توسعه مدل در شرایط فازی

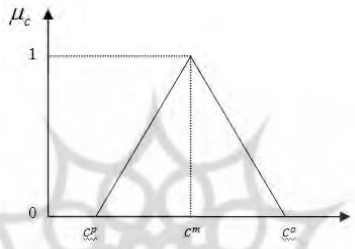
در مدل ریاضی مورد بحث بمنظور برای نزدیکتر شدن به واقعیت و در نظر گرفتن نوعی عدم قطعیت، برخی پارامترها که به صورت مستقیم با مشتریان یا همان خرده فروشان در ارتباط هستند به صورت پارامترهای فازی مثلثی در نظر گرفته می‌شوند، این پارامترها عبارتند از:

$\tilde{TC}_{ijl}^{t}$ = هزینه انتقال یک واحد از محصول l از مرکز توزیع مستقر شده در محل j به خرده فروشی i در پریود t.

$\tilde{TC}_{jl}^{t}$ = هزینه حمل ونقل یک واحد از محصول l از کارخانه به مرکز توزیع مستقر شده در محل jدر پریود t.

$\tilde{\mu}_{D,il}^{t}$ = میانگین تقاضای خرده فروش i برای محصول l در پریود t.

این پارامترها هر یک دارای سه جزء تعریف کننده هستند: جزء نخست نقطه بدبینانه، جزء دوم نقطه میانی و جزء سوم نقطه خوش‌بینانه می‌باشد. شکل زیر تابع عضویت پارامترهای فازی مورد بحث را نشان می‌دهد.



شکل ۱: توزیع مثلثی تابع عضویت متغیر فرضی فازی C

با این توضیح به منظور تبدیل مدل فازی مورد بحث به حالت استحکام یافته، در این پایان نامه از رویکرد استحکام‌سازی ژیمنز[1] استفاده می‌شود، به طور خلاصه کلیات روش ژیمنز به صورت زیر است.

ژیمنز و همکارانش در سال ۲۰۰۷ روشی موثرتر برای حل مسائل برنامه‌ریزی خطی که در آن برخی ضرایب، به طور کلی اعداد فازی در نظر گرفته می‌شوند، ارائه دادند. در این روش آنها از مشارکت متقابل تصمیم گیرنده در تمام مراحل فرآیند تصمیم گیری بهره می‌برند.

با این توضیح مسأله فازی زیر را در نظر بگیرید.

1 -Jimenez

(۲۴)

$$\begin{aligned}&\min\ Z=\tilde{c}^t x\\&\text{s.t.}\\&\quad x\in N\left(\tilde{A},\tilde{b}\right)=\left\{x\in R^n \mid \tilde{a}_i x\ge \tilde{b}_i, i=1,...,m, x\ge 0\right\}\end{aligned}$$

جایی‌که $x=(x_1,x_2,..,x_n)$ بیانگر بردار متغیرهای تصمیم استحکام یافته و $\tilde{c}=\left(\tilde{c}_1,\tilde{c}_2,...,\tilde{c}_n\right)$، $\tilde{A}=\left[\tilde{a}_{ij}\right]_{m\times n}$ و $\tilde{b}=\left(\tilde{b}_1,\tilde{b}_2,...,\tilde{b}_n\right)^t$ بیانگر پارامترهای فازی در تابع هدف و محدودیت‌ها هستند.

با استفاده از روش شرح داده شده توسط ژیمنز و همکارانش، مسأله (۲۴) به شکل مسأله برنامه ریزی خطی پارامتریک استحکام یافته، مطابق رابطه زیر تبدیل می‌شود.

در این رابطه α درجه‌ای از ارضاء محدودیت‌های مورد بحث است. به عبارت دیگر α درجه ممکن بودن بردار تصمیم x است.

(۲۵)

$$\begin{aligned}&\min\ EV\left(\tilde{c}\right)x\\&\text{s.t.}\\&\quad\left[(1-\alpha)E_2^{a_i}+\alpha E_1^{a_i}\right]x\ge \alpha E_2^{b_i}+(1-\alpha)E_1^{b_i},\\&\quad i=1,...,m\ ,x\ge 0\ ,\alpha\in[0,1]\end{aligned}$$

در این رابطه ارزش مورد انتظار عدد فازی که با $EV\ (\tilde{c})$ نشان داده شده و نقطه وسط فاصله مورد انتظار است.

(۲۶)

$$EV\left(\tilde{c}\right)=\frac{E_1^c+E_2^c}{2}$$

و اگر عدد فازی $\tilde{c}$ مثلثی باشد، فاصله مورد انتظار به راحتی با عبارت زیر نشان داده می‌شود.

(۲۷)

$$EI\left(\tilde{c}\right)=\left[E_1^c,E_2^c\right]=\left[\frac{c^p+c^m}{2},\frac{c^m+c^o}{2}\right]$$

اگر رابطه دارای محدودیت‌های کوچکتر و مساوی باشد می‌توان مدل استحکام یافته آن را به صورت زیر ارائه نمود.

$$\left[(1-\alpha)E_1^{a_i}+\alpha E_2^{a_i}\right]x \le \alpha E_1^{b_i}+(1-\alpha)E_2^{b_i}, \quad i=1,...,m\ , x\ge 0,\ \alpha\in[0,1] \tag{۲۸}$$

و اگر معادله (۲۴) دارای محدودیت‌هایی از نوع مساوی باشد می‌توان مدل استحکام یافته آن را به صورت زیر ارائه نمود.

$$\left[\left(1-\frac{\alpha}{2}\right)E_1^{a_i}+\frac{\alpha}{2}E_2^{a_i}\right]x \le \frac{\alpha}{2}E_1^{b_i}+\left(1-\frac{\alpha}{2}\right)E_2^{b_i}\ ; \quad i=1,...,m\ , x\ge 0\ , \alpha\in[0,1] \tag{۲۹}$$

$$\left[\left(1-\frac{\alpha}{2}\right)E_2^{a_i}+\frac{\alpha}{2}E_1^{a_i}\right]x \ge \frac{\alpha}{2}E_2^{b_i}+\left(1-\frac{\alpha}{2}\right)E_1^{b_i}\ ; \quad i=1,...,m\ , x\ge 0\ , \alpha\in[0,1] \tag{۳۰}$$

با این توضیح مدل ریاضی برنامه ریزی عدد صحیح مختلط مورد نظر را میتوان به صورت زیر ارائه نمود:

تعریف اندیس‌های جدید مدل توسعه یافته فازی

F= مجموعه نقاط بدبینانه، میانی و خوش بینانه برای استقرار متغیرهای فازی $(f=1,\ldots,F)$

پارامترهای جدید مدل توسعه یافته فازی

TC_{ijl}^{tf}= هزینه انتقال یک واحد از محصول l از مرکز توزیع مستقر شده در محل j به خرده فروشی i در پریود t، در جزء f ام تابع عضویت پارامتر فازی.

TC_{jl}^{tf} = هزینه حمل و نقل یک واحد از محصول l از کارخانه به مرکز توزیع مستقر شده در محل j در پریود t در جزء f ام تابع عضویت پارامتر فازی.

$\mu_{D,il}^{tf}$ = میانگین تقاضای خرده فروش i برای محصول l در پریود t در جزء f ام تابع عضویت پارامتر فازی.

تابع هدف مدل توسعه یافته فازی

$$\min \sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{p}\sum_{t=1}^{\tau}\sum_{t'=t}^{\tau} LC_{jk}^{t} L_{jk}^{t,t'} + \sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{p}\sum_{t=2}^{\tau}\sum_{t'=t}^{\tau} RC_{jk}^{t} RL_{jk}^{t,t'}$$
$$+\sum_{t=1}^{\tau}\sum_{l=1}^{q}\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}$$
$$\left(\frac{(TC_{ijl}^{t1}+2TC_{ijl}^{t2}+TC_{ijl}^{t3})}{4}+\frac{(TC_{jl}^{t1}+2TC_{jl}^{t2}+TC_{jl}^{t3})}{4}\right)\times$$
$$\frac{(\mu d_{il}^{t1}+2\mu d_{il}^{t2}+\mu d_{il}^{t3})}{4}\times A_{ijl}^{t}$$
$$+\sum_{t=1}^{\tau}\sum_{j=1}^{n}\sum_{l=1}^{q} MC_{jl}^{t} I_{jl}^{t} + \sum_{t=1}^{\tau}\sum_{j=1}^{n}\sum_{l=1}^{q} SC_{jl}^{t} B_{jl}^{t}$$
$$+\sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{n}\sum_{l=1}^{q} N_{jl}^{t}\left(OC_{jl}^{t}+\left(\sqrt{\frac{HC_{jl}^{t} OC_{jl}^{t} D_{jl}^{t}}{2}}+HC_{jl}^{t} ss_{l}^{t}\right)\times\sqrt{\frac{2OC_{jl}^{t}}{HC_{jl}^{t} D_{jl}^{t}}}\right)$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^{m}\left(\frac{\alpha(\mu_{D,il}^{t2}+\mu_{D,il}^{t3})}{2}+\frac{(1-\alpha)(\mu_{D,il}^{t2}+\mu_{D,il}^{t3})}{2}\right)\times A_{ijl}^{t} \geq D_{jl}^{t} \quad ;$$
$$\text{i} = 1...\text{m}\,,\ j=1\ldots n,\ l=1\ldots q,\ t=1\ldots\tau$$

محدودیت‌های (۱۲)-(۲۳)

نتایج محاسباتی

به منظور حل مدل ریاضی مورد بحث، در دو حالت عادی و توسعه یافته در شرایط فازی تعدادی مسأله نمونه در اندازه‌های کوچک، متوسط و بزرگ در نظر گرفته می‌شود. مشخصات مسائل نمونه انتخاب شده در جدول۱ نشان داده شده است.

همچنین به منظور تولید پارامترهای مدل مورد نظر از تابع توزیع یکنواخت با کران‌های داده شده در جدول ۲ استفاده شده که به صورت تصادفی تولید شده‌اند.

جدول ۱: مشخصات مسائل نمونه

مسأله نمونه	تعداد مشتریان	تعداد محصولات	تعداد انبارها	سطوح ظرفیت	تعداد دوره‌ها
۱	۵	۲	۲	۲	۳
۲	۵	۲	۲	۲	۴
۳	۵	۲	۲	۲	۵
۴	۷	۳	۳	۲	۳

جدول ۲: مشخصات پارامترهای مدل مورد نظر

پارامتر	دوره ۱	دوره ۲	دوره ۳	دوره ٤	دوره ٥
TC_{ijlt}	U[0,200]	U[20,240]	U[0,140]	U[40,270]	U[30,220]
TC_{jlt}	U[0,200]	U[20,240]	U[0,140]	U[40,270]	U[30,220]
LC_{jlt}	U[24E,65]	U[30E,70E	U[20E,65E	U[35E,75E	U[24E,80E
RC_{jkt}	----------	U[20E,65E	U[24E,65E	U[30E,70E	U[35E,75E
HC_{jlt}	U[250,500	U[200,400	U[300,600	U[270,550	U[188,375
MC_{jlt}	U[700,860	U[770,946	U[805,989	U[840,103	U[840,103
OC_{jlt}	U[3000,50	U[3300,55	U[3450,57	U[3600,60	U[3600,60
SC_{jlt}	U[900,105	U[990,115	U[1035,12	U[1080,12	U[1098,12
μd_{ilt}	U[0.01,0.1	U[0.02,0.2	U[0.08,0.1	U[0.05,0.2	U[0.01,0.1
μl_{jlt}	U[20,40]	U[10,25]	U[25,45]	U[15,50]	U[30,55]

نرم افزار مورد استفاده برای حل دو مدل ریاضی مورد نظر (قطعی و فازی) نرافزار لینگو ۸ می‌باشد و در شرایطی که نرم افزار لینگو ۸ قادر به پاسخگویی برای مسائلی با ابعاد متوسط و بزرگ نبوده از نرم افزار سی پلکس کمک گرفته شده است. همچنین به منظور تولید اعداد فازی با تابع عضویت مثلثی از نرم افزار مایکروسافت اکسل کمک گرفته شده است. بدین ترتیب که ابتدا داده بدبینانه به صورت تصادفی در کران‌های تعیین شده مشخص گردیده، پس از آن عدد میانی با توجه به عدد پیشین که در شرایط فعلی کران پایین، عدد میانی است و کران بالای تعیین شده تولید می‌گردد. در نهایت داده خوش بینانه با توجه به عدد میانی که در شرایط فعلی کران پایین، عدد خوش‌بینانه است تولید می‌گردد. بدین ترتیب اعداد فازی مورد نظر در کران‌های تعیین شده تهیه می‌گردند. جهت مشاهده نتایج محاسباتی مربوط به مسائل با اندازه کوچک به پیوست ۱ (جدول ۳) و جهت مشاهده نتایج محاسباتی مربوط به مسائل با اندازه متوسط به پیوست ۲ (جدول ۴) مراجعه نمایید.

با این توضیح نتایج محاسباتی در جداول ۳ و۴ نشان داده شده است. در این جدول با در نظر گرفتن آلفا ۰,۸و ۰,۹ برای مسأله نمونه اول و آلفا ۰,۱و ۰,۲و ۰,۳ برای مسأله نمونه دوم و آلفا ۰,۹ برای مسأله نمونه سوم و آلفا ۰,۵ برای مسأله نمونه چهارم، جواب‌هایی به مراتب بهتر از سایر جواب‌ها حاصل می‌گردد. نتایج محاسباتی موجود در جدول ۵، نشان از صرفه‌جویی هزینه‌ها در مقایسه مدل در شرایط فازی با مدل ریاضی پیشنهادی در شرایط قطعی دارد. همانطور که ملاحظه میشود بیشترین میزان صرفه‌جویی در هزینه‌ها بر مبنای رویکرد پیشنهادی ما، ۴۵ درصد و کمترین صرفه جویی، ۵ درصد است که میزان قابل توجهی است و کارایی الگوریتم بکارگرفته شده ما را در شرایط فازی نشان می‌دهد.

پرتال جامع علوم انسانی

جدول ۳: میزان صرفه جویی در هزینه در مقایسه مدل فازی با قطعی

مسأله نمونه	تابع هدف در شرایط قطعی	تابع هدف در شرایط فازی	صرفه جویی در هزینه (درصد)
۱	۱۵۳۳۲۰	۸۴۴۱۷	۴۰
۲	۱۷۴۸۱۰	۹۶۰۱۷	۴۵
۳	۱۰۷۹۲۵	۱۰۳۰۰۸	۵
۴	۱۲۲۰۶۶	۱۰۹۱۶۹	۱۰

نتیجه گیری

در این پایان‌نامه به طراحی و بررسی یک مدل پویا برای اتخاذ بخشی از تصمیمات استراتژیک زنجیره تأمین که ناظر بر مکان‌یابی تسهیلات و تعیین الگوی تخصیص مشتریان به تسهیلات می‌باشد، پرداخته شده است. این الگو در قالب یک شبکه توزیع پویا برای برآورده سازی تقاضای مشتریان در افق زمانی چند پریودی ارائه شده است. در مدل ارائه شده علاوه بر آن که کمینه سازی هزینه‌های مرتبط با تصمیمات مکان یابی و تخصیص در نظر گرفته شده است، برقراری موازنه میان هزینه‌های مرتبط بر این تصمیمات با هزینه‌های مربوط به برخی از تصمیمات تاکتیکی نیز در نظر گرفته شده است که شامل هزینه‌های مربوط به تأمین و نگهداری موجودی‌ها در طول افق زمانی برنامه ریزی می باشد. با حل مدل ارائه شده، بصورت یکپارچه تصمیمات مربوط به مکان یابی، تخصیص و موجودی اتخاذ می‌گردد. این تصمیمات در این تحقیق در برگیرنده موارد زیر است:

تصمیمات مکان‌یابی اولیه: هر یک از مراکز توزیع بالقوه‌ای که برای اولین بار در چه پریودی و با چه سطح ظرفیتی فعال شده و تا چه زمانی به فعالیت خود ادامه دهند به نحوی که هزینه-های مربوطه حداقل گردد.

تصمیمات مکان‌یابی مجدد: مراکز توزیعی که برای اولین بار غیرفعال می‌شوند، در کدام یک از دوره‌های بعدی مجدداً فعال شده (و در چه سطح ظرفیتی) و تا چه زمانی به فعالیت خود ادامه دهند به نحوی که هزینه‌های مربوطه حداقل گردد.

تصمیمات تخصیص: مشتریان، هریک از محصولات مورد نیاز خود را در هر یک از دوره ها از کدام یک از مراکز توزیع فعال (مکان‌یابی اولیه یا مکان یابی مجدد) تأمین نموده، به صورتی که منجر به کمینه شدن هزینه‌ها گردد و تصمیمات موجودی هریک از انبارهای ایجاد شده در هر یک از دوره‌ها به چه میزان موجودی نگهداری نموده تا هزینه‌های مرتبط با کمبود و نگهداری موجودی حداقل گردد.

وجود عدم قطعیت در مدیریت زنجیره تأمین، یکی از مهمترین پارامترهایی است که تاثیر بسزایی بر روی تصمیمات مرتبط با آن دارد که عمدتاً در بررسی عملکرد زنجیره‌های تأمین مورد نظر قرار نمی‌گیرد. در این راستا، با در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترهای مدل پیشنهادی همچون هزینه انتقال یک واحد از هر محصول از مرکز توزیع مستقر شده در هر محل به هر خرده فروشی در هر پریود، هزینه حمل و نقل یک واحد از هر محصول از هر کارخانه، به مرکز توزیع مستقر شده در هر محل در هر پریود و میانگین تقاضای مشتریان که به صورت مستقیم با مشتریان یا همان خرده فروشان در ارتباط هستند، مدل در شرایط فازی توسعه داده شده است. همچنین از یک الگوریتم برنامه‌ریزی فازی که مبتنی بر روش ژیمنز می‌باشد برای حل مدل در شرایط فازی کمک گرفته شده است. نتایج خروجی بر روی مسائل نمونه طراحی شده در این تحقیق، نشان از کارایی الگوریتم ارائه شده و میزان صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای بین ۵ تا ۴۵ درصد در هزینه‌های شبکه زنجیره تأمین دارد.

پرتال جامع علوم انسانی

مراجع:

Lambert, D. M., Cooper, M. C., & Pagh, J. D. (1998), *"Supply chain management: implementation issues and research opportunities"*, International journal of logistics management, 9(2), 1˚20.

Chopra, S., and Meindl, P., (2007)," *Supply chain management, Strategy, planning and operation"*, Das Summa Summarum des Management, 265˚275.

Owen, S. H., and Daskin, M. S., (1998)," *Strategic facility location: A review."* European Journal of Operational Research, 111(3), 423˚447.

Christopher, M.G., (1998), *"Logistics and Supply Chain Management: Strategies for Reducing Costs and Improvement Services* , Pitman Publishing, London.

Melo, M. T., Nickel, S., and Saldanha-Da-Gama, F. (2009), *"Facility location and supply chain management-A review."* European Journal of Operational Research, 196(2), 401˚412.

Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., and Simchi-Levi, E. (2004), *"Managing the supply chain: the definitive guide for the business professiona"l,* McGraw-Hill Companies.

Cordeau, J. F., Pasin, F., and Solomon, M. M., (2006), *"An integrated model for logistics network design,"* annals of operations research, 144(1), 59˚82.

Klose, A., and Drexl, A. (2005), *"Facility location models for distribution system design"*, European Journal of Operational Research, 162(1), 4˚29.

Jim¸nez, M., Arenas, M., Bilbao, A., and RodrI guez, M. (2007), *"Linear programming with fuzzy parameters: an interactive method resolution"*. European Journal of Operational Research, 177(3), 1599˚1609.

Cadenas, J. M., and Verdegay, J. L. (1995), PROBO*:" an interactive system in fuzzy linear programming* "1. Fuzzy sets and systems, 76(3), 319˚332.

J.Wei and J.Zhao. (2013*),: "Reverse channel decisions for a fuzzy closed-loop supply chain"* , Applied Mathematical Modelling , 37(3), 1502˚1513.

J.Zhao , W.Liu , J.Wei (2012): *"Pricing and Remanufacturing Decision of Decentralized Fuzzy Supply Chain"* **,** Hindawi publishing, Article ID 986704

پیوست ۱ (جدول ۳)

نرم افزار بکارگرفته شده جهت کدنویسی					LINGO 8			
	تابع هدف				زمان حل (ثانیه)	وضعیت		مساله نمونه
	۱۵۳۳۲۰				۱۰	قطعی		
وضعیت بهینه	اجزا تابع هدف			تابع هدف				
	خوش بینانه	متوسط	بدبینانه					
آلفا ۰٫۸ و ۰٫۹					غیرممکن	۰	آلفا	فازی	۱
	۱۶۷۴۷۵	۱۶۷۲۶۹	۱۶۷۲۶۴	۱۶۷۳۷۱	۱۹	۰٫۱			
	۱۶۷۴۷۵	۱۶۷۲۶۹	۱۶۷۲۶۴	۱۶۷۳۷۱	۲۰	۰٫۲			
	۱۲۲۳۸۹	۱۲۲۳۶۴	۱۲۲۷۴۸	۱۲۲۴۷۳	۳۰	۰٫۳			
	۸۷۱۴۹	۸۷۰۲۷	۸۷۴۴۶	۸۷۱۹۳	۳۴	۰٫۴			
	۱۲۲۳۹۰	۱۲۲۳۶۵	۱۲۲۷۴۸	۱۲۲۴۷۳	۴۰	۰٫۵			
	۱۱۹۶۶۴	۱۱۹۴۲۱	۱۱۹۳۰۸	۱۱۹۵۱۴	۲۵	۰٫۶			
	۱۰۷۸۵۹	۱۰۷۶۱۶	۱۰۷۵۰۳	۱۰۷۷۰۹	۷۴	۰٫۷			
	۸۴۴۹۴	۸۴۳۹۱	۸۴۲۹۰	۸۴۴۱۷	۲۳	۰٫۸			
	۸۴۴۹۴	۸۴۳۹۱	۸۴۲۹۰	۸۴۴۱۷	۱۴۱	۰٫۹			
					غیر ممکن	۱			

	نرم افزار بکارگرفته شده جهت کدنویسی				LINGO 8			
وضعیت بهینه	تابع هدف				زمان حل (ثانیه)	وضعیت		
	۱۷۴۸۱۰				۱۲	قطعی		
	اجزا تابع هدف			تابع هدف				
	خوش بینانه	متوسط	بدبینانه					
آلفا ۰٫۱و ۰٫۲و ۰٫۳					غیر ممکن	۰	آلفا	فازی
	۹۶۳۳۴	۹۵۹۱۸	۹۵۸۹۶	۹۶۰۱۷	۲۲	۰٫۱		
	۹۶۳۳۴	۹۵۹۱۸	۹۵۸۹۷	۹۶۰۱۷	۱۲	۰٫۲		
	۹۶۳۳۴	۹۵۹۱۸	۹۵۸۹۷	۹۶۰۱۷	۲۴	۰٫۳		
	۱۳۴۳۶۴	۱۳۴۲۷۵	۱۳۴۲۹۲	۱۳۴۳۰۲	۲۵	۰٫۴		
	۱۴۱۶۰۳	۱۴۱۶۱۰	۱۴۱۶۴۹	۱۴۱۶۱۸	۷۸	۰٫۵		
	۲۳۸۲۱۱	۲۳۸۱۴۴	۲۳۸۱۲۵	۲۳۸۱۵۶	۳۵	۰٫۶		
	۱۲۶۹۲۵	۱۲۶۹۴۳	۱۲۶۹۵۲	۱۲۶۹۴۱	۱۴	۰٫۷		
	۱۱۳۷۹۴	۱۱۳۶۴۰	۱۱۳۶۲۵	۱۱۳۶۷۵	۲۱	۰٫۸		
	۱۲۶۹۲۵	۱۲۶۹۴۳	۱۲۶۹۵۱	۱۲۶۹۴۱	۲۳	۰٫۹		
	۱۸۱۲۲۷	۱۸۱۴۶۳	۱۸۱۳۰۴	۱۸۱۳۶۴	۲۷	۱		

۲

پرتال جامع علوم انسانی

نرم افزار بکارگرفته شده جهت کدنویسی						CPLEX		
	تابع هدف					زمان حل (ثانیه)	وضعیت	مساله نمونه
	۱۰۷۹۲۵					۰,۰۵	قطعی	۳
وضعیت بهینه	اجزا تابع هدف			تابع هدف				
	خوش بینانه	متوسط	بدبینانه					
آلفا ۰,۹	۱۲۷۳۲۴	۱۲۷۱۱۴	۱۲۷۰۷۰	۱۲۷۱۹۷	۰,۱۶	۰	آلفا	فازی
	۱۱۰۶۰۸	۱۱۰۶۲	۱۱۰۳۸۷	۱۱۰۴۹۷	۰,۰۵	۰,۱		
	۱۵۳۳۷۵	۱۵۳۳۰۲	۱۵۳۰۶۹	۱۵۳۲۲۲	۰,۰۹	۰,۲		
	۱۰۹۵۷۱	۱۰۹۴۵۳	۱۰۹۳۵۲	۱۰۹۴۶۱	۰,۰۵	۰,۳		
	۱۰۹۵۷۱	۱۰۹۳۷۴	۱۰۹۳۵۲	۱۰۹۴۶۱	۰,۰۵	۰,۴		
	۱۴۱۳۶۲	۱۴۱۲۳۷	۱۴۱۰۸۰	۱۴۱۲۲۱	۰,۰۶	۰,۵		
	۱۱۴۰۷۶	۱۱۴۰۵۶	۱۱۳۸۴۸	۱۱۳۹۶۲	۰,۰۵	۰,۶		
	۱۲۰۶۸۱	۱۲۰۴۵۰	۱۲۰۴۳۹	۱۲۰۵۶۰	۰,۱۷	۰,۷		
	۱۰۹۳۸۲	۱۰۹۳۴۳	۱۰۹۱۶۴	۱۰۹۲۷۳	۰,۰۵	۰,۸		
	۱۰۳۱۱۱	۱۰۳۰۲۱	۱۰۲۹۰۵	۱۰۳۰۰۸	۰,۰۵	۰,۹		
	۱۱۴۲۴۳	۱۱۴۱۴۱	۱۱۴۰۱۵	۱۱۴۱۲۹	۰,۰۶	۱		

نرم افزار بکارگرفته شده جهت کدنویسی						CPLEX		
وضعیت بهینه	تابع هدف				زمان حل (ثانیه)	وضعیت		
	۱۲۲۰۶۶				۰,۳۴	قطعی		
	اجزا تابع هدف			تابع هدف				
	خوش بینانه	متوسط	بدبینانه					
آلفا ۰,۵	۱۱۵۲۹۲	۱۱۵۰۹۸	۱۱۵۰۶۲	۱۱۵۱۷۷	۰,۳۴	۰	آلفا	فازی
	۱۲۰۳۱۸	۱۲۰۲۶۱	۱۲۰۰۷۸	۱۲۰۱۹۸	۰,۳۶	۰,۱		
	۱۱۶۳۷۳	۱۱۶۱۸۱	۱۱۶۱۴۱	۱۱۶۲۵۷	۰,۰۶	۰,۲		
	۱۱۵۵۴۵	۱۱۵۴۶۱	۱۱۵۳۱۵	۱۱۵۴۳۰	۰,۰۹	۰,۳		
	۱۱۳۹۳۸	۱۱۳۷۴۷	۱۱۳۷۱۰	۱۱۳۸۲۴	۰,۰۹	۰,۴		
	۱۰۹۲۷۸	۱۰۹۱۸۳	۱۰۹۰۶۰	۱۰۹۱۶۹	۰,۳	۰,۵		
	۹۱۵۸۹۱	۹۱۵۷۴۵	۹۱۴۰۶۱	۹۱۴۹۷۶	۰,۳۹	۰,۶		
	۱۲۰۲۰۶	۱۲۲۰۴۲	۱۲۱۸۲۰	۱۲۱۹۴۱	۰,۳۱	۰,۷		
	۱۲۰۸۵۵	۱۲۰۷۸۱	۱۲۰۶۱۳	۱۲۰۷۳۴	۰,۰۸	۰,۸		
	۱۱۱۳۷۴	۱۱۱۲۳۲	۱۱۱۱۵۲	۱۱۱۲۶۳	۰,۰۶	۰,۹		
	۱۳۵۴۸۲	۱۳۵۳۴۵	۱۳۵۲۱۲	۱۳۵۳۴۷	۰,۳۳	۱		
۴								