چشم‌انداز مدیریت صنعتی
شماره ۱۴ ـ تابستان ۱۳۹۳
ص‌ص ۱۳۷ ° ۱۱۷

طراحی شبکه زنجیره تأمین چنددوره‌ای و چندمحصولی با استفاده از رویکرد ترکیبی برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه و تحلیل پوششی داده‌ها

عباس شول*، مقصود امیری، لعیا الفت***، کاوه خلیلی دامغانی*****

چکیده

در این مقاله، برای افزایش کارایی شبکه زنجیره تأمین پیشنهادی، مدل چنددوره‌ای و چندمحصولی را با اهداف چندگانه به‌طور هم‌زمان درنظر گرفته‌ایم. برای طراحی شبکه، از مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه عدد صحیح مختلط استفاده کردیم و اهداف مسئله شامل حداقل کردن هزینه تولید، کاهش زمان ارسال محصولات و افزایش قابلیت اطمینان زنجیره تأمین است. برای حل مدل و ارائه جواب‌های نامغلوب، از روش اپسیلون محدودیت استفاده کردیم و برای این کار، کد مدل را در نرم‌افزار لینگو نوشتیم. با توجه به تعدد جواب‌های پارتو، برای جلوگیری از سردرگمی تصمیم‌گیرنده، از تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی جواب‌های نامغلوب استفاده کردیم. برای حل مدل تحلیل پوششی داده‌ها، نرم‌افزار گمز را به‌کار بردیم. خروجی‌های این مسئله شامل تعداد بهینه تسهیلات در هریک از سطوح زنجیره تأمین و مقدار بهینه ارسال کالا از هر سطح به سطح دیگر است.

کلیدواژه‌ها: اپسیلون محدودیت؛ تحلیل پوششی داده‌ها؛ شبکه زنجیره تأمین؛ قابلیت اطمینان.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۳/۲۰، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۶/۱۵.

* دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشگاه علامه طباطبایی (نویسنده مسئول).
E-mail: abbas.shoul@gmail.com

** دانشیار، دانشگاه علامه طباطبایی.

*** دانشیار، دانشگاه علامه طباطبایی.

**** استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب.

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر، مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین، به‌دلیل رقابت به‌وجود آمده در بازار جهانی، اهمیت بیشتری پیدا کرده است. ارتباط نزدیکی بین طراحی و مدیریت جریان‌های زنجیره تأمین (مواد، اطلاعات، مالی) و موفقیت زنجیره وجود دارد؛ به‌طوری که بیشتر شکست‌های تجارت الکترونیک را می‌توانیم به مشکلات ناشی از طراحی و مدیریت جریان‌های زنجیره‌تأمین نسبت دهیم [۹] در سال‌های اخیر، انگیزه تحقیق درزمینه مدیریت زنجیره تأمین بسیار افزایش یافته است. در این تحقیقات، اهمیت مواردی که باعث رضایتمندی مشتری و کسب مزیت رقابتی می‌شوند، بسیار برجسته شده است [۱۷]؛ زیرا اساسی‌ترین و حیاتی‌ترین تصمیمات در زنجیره تأمین، تصمیمات بلندمدت استراتژیکی هستند که بیشترین تأثیر را بر کل زنجیره دارند. مهم‌ترین و اصلی‌ترین تصمیم استراتژیکی نیز به پیکربندی[1] و مکان‌یابی تسهیلات و تجهیزات مربوط است. داشتن پیکربندی مناسب و طراحی بهینه شبکه لجستیک برای باقی ماندن شرکت‌ها در بازار رقابت و پیشی گرفتن از رقبا و نیز برآورده کردن نیاز مشتریان به بهترین نحو، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. همچنین، به‌دلیل پویا و متغیر بودن اجزای زنجیره - تأمین، طراحی شبکه یکی از سخت‌ترین و دقیق‌ترین عملیات در مدیریت زنجیره تأمین است [۲۱].

همه تصمیمات طراحی شبکه اثر متقابل بر یکدیگر دارند و به همین دلیل باید تصمیم‌گیری درمورد آن‌ها به‌صورت یکپارچه انجام شود [۹]؛ درحالی که بسیاری از مدل‌های ریاضی بر طراحی شبکه به‌صورت اجزای جداگانه تأکید کرده‌اند [۴].

امروزه، مدیریت زنجیره تأمین بیشتر بر کاهش هزینه تأکید دارد؛ اما باید توجه کنیم که عملکرد آن در دنیای واقعی ابعاد و مشخصات گوناگونی دارد [۱]. همان‌گونه که مدل انجمن مدیریت زنجیره تأمین تشریح می‌کند، عملکرد زنجیره با معیارهایی همچون قابلیت اطمینان[2]، نرخ پاسخگویی[3]، انعطاف‌پذیری[4]، هزینه[5] و دارایی[6] ارزیابی می‌شود [۲]؛ بنابراین طراحی زنجیره تأمین چندهدفه برای مسائلی با اهداف متعارض و متفاوت، به‌منظور درنظر گرفتن هم‌زمان آن‌ها به‌کار می‌رود و یک توازن میان معیارهای متفاوت برقرار می‌کند [۱۲].

در این پژوهش درصدد ارائه مدلی هستیم که طراحی شبکه زنجیره تأمین را با توجه به معیارهای متفاوت اثرگذار بر عملکرد زنجیره انجام دهد. به این ترتیب، علاوه‌بر عامل هزینه،

1. Configuration
2. Reliability
3. Responsiveness
4. Flexibility
5. Cost
6. Asset

معیارهای زمان و قابلیت اطمینان نیز در طراحی شبکه زنجیره تأمین مورد توجه قرار می‌گیرد (مدل چندهدفه)؛ زیرا تنها معیار مهم مشتریان و مدیران برای انتخاب تأمین‌کننده و تولیدکننده هزینه نیست و عوامل دیگری مثل زمان، کیفیت و قابلیت اطمینان نیز اهمیت دارند.

در این پژوهش، مدلی برای درنظر گرفتن سایر معیارهای اثرگذار ارائه می‌کنیم. استفاده از مدل‌های چندهدفه این امکان را به تحلیلگر می‌دهد که با تولید جواب‌های نامغلوب[1] (جواب‌های پارتو[2]) و ارائه آن به تصمیم‌گیران زنجیره تأمین، اطلاعات بیشتری پیرامون گزینه‌های طراحی به دست آورد. با توجه به تعدد جواب‌های پارتو، برای جلوگیری از سردرگمی تصمیم‌گیرنده[3]، از تحلیل پوششی داده‌ها[4] برای ارزیابی جواب‌ها استفاده می‌کنیم.

همچنین، در این تحقیق به‌منظور افزایش کارایی زنجیره تأمین پیشنهادی، مدل چندمحصولی و چنددوره‌ای را بررسی می‌کنیم. به‌طور کلی، این تحقیق چارچوبی مشخص و انعطاف‌پذیر برای طراحی شبکه زنجیره تأمین ارائه می‌دهد که درمقایسه با رویکردهای مرسوم که درپی بیشینه‌سازی مطلوبیت بخشی از شبکه تأمین است، کل شبکه زنجیره تأمین (تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، مراکز توزیع و خرده‌فروشان) را دربر می‌گیرد.

علاوه‌بر موارد ذکرشده، نوآوری پژوهش حاضر را می‌توانیم استفاده از رویکرد طراحی پایایی (قابلیت اطمینان) سیستم‌های سری- موازی[5] برای طراحی شبکه زنجیره تأمین بدانیم. برای این منظور، برای هریک از تسهیلات موجود در زنجیره تأمین یک شاخص قابلیت اطمینان درنظر می‌گیریم که هدف، انتخاب تسهیلاتی است که قابلیت اطمینان کل زنجیره را حداکثر کند. درادامه، به‌ترتیب به مبانی نظری و پیشینه پژوهش، تعریف مسئله، مدلسازی مسئله، متدولوژی تحقیق، حل چند مثال عددی و نتیجه‌گیری می‌پردازیم.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در این بخش، ابتدا زنجیره تأمین، مدیریت زنجیره تأمین و طراحی شبکه زنجیره تأمین را معرفی و سپس پژوهش‌های مرتبط را بررسی می‌کنیم.

زنجیره تأمین. زنجیره تأمین شبکه‌ای از تسهیلات و امکانات است که امور خرید مواد خام، تبدیل مواد خام به محصولات واسطه‌ای یا نهایی و توزیع محصولات نهایی به خرده‌فروشان یا مستقیماً به مشتریان را شامل می‌شود. این تسهیلات که معمولاً به شرکت‌های مختلف متعلق

1. Non Dominated Solution
2. Pareto Solution
3. Decision Maker
4. Data Envelopment Analysis
5. Series-Parallel Systems

هستند و شامل کارخانجات تولیدی، مراکز توزیع و انبارهای محصول نهایی می‌شوند، به طریقی با هم مرتبط و یکپارچه شده‌اند که تغییر در هریک می‌تواند روی عملکرد دیگری تأثیر بگذارد [۱۹].

مدیریت زنجیره تأمین. مدیریت زنجیره تأمین، کنترل و مدیریت مجموعه‌ای از عملیات تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبار، مراکز توزیع و خرده‌فروشان است که محصولات را به‌طور یکپارچه تولید و توزیع می‌کند و هدفش رساندن محصول مورد نظر مشتری به مقدار مناسب، در زمان مناسب و در مکان مناسب با کمترین هزینه ممکن و برآورده کردن رضایت مشتری نهایی زنجیره است. تفکر شرکت‌ها امروزه بر یکپارچه‌سازی کل زنجیره تأمین و کاهش هزینه‌های کل زنجیره (به‌ویژه هزینه‌های لجستیکی، شامل هزینه‌های انبارش موجودی و حمل‌ونقل) همراه با افزایش سطح خدمت به مشتری است. این مورد از طریق مدیریت مالی، مواد در جریان یا خدمات و اطلاعات در زنجیره ممکن است. برای رسیدن به هدف مدیریت زنجیره تأمین، تمامی‌تسهیلات از تأمین‌کننده و تولیدکننده تا انبارها و خرده‌فروشان باید درنظر گرفته شوند. در بعد هزینه، همه هزینه‌ها شامل حمل‌ونقل، انبارش محصولات نیمه‌ساخته، هزینه ساخت و تأمین باید درنظر گرفته شوند [۲۱].

مدیریت یک زنجیره تأمین کامل، عامل اساسی در موفقیت کسب‌وکار است. سازمان‌های موجود در کلاس جهانی دریافته‌اند که فرآیندهای تولید غیریکپارچه، فرآیندهای توزیع غیریکپارچه و روابط ضعیف میان تأمین‌کنندگان و مشتریان برای موفقیتشان کافی نیست [۸].

طراحی شبکه زنجیره تأمین. طراحی شبکه زنجیره‌تأمین عبارت از تعیین مکان، تعداد و ظرفیت تسهیلات موجود در شبکه، موجودی هر تسهیل و کمیت جریان بین آن‌ها است. هدف از طراحی زنجیره تأمین علاوه‌بر مکان‌یابی تسهیلات، حداقل کردن هزینه‌هایی مانند خرید، تولید، حمل‌ونقل و ... است؛ یعنی با حداقل هزینه، محصول مورد نظر مشتری به مقدار مناسب، در زمان مناسب و در مکان مناسب به مشتری نهایی زنجیره برسد و سطح رضایت را افزایش دهد [۹].

پژوهش‌های مرتبط. اسکیگان و همکاران (۲۰۰۵) برای زنجیره تأمین دوسطحی (تولید-توزیع) مدلی ارائه دادند که بر کمینه‌سازی هزینه‌های ثابت مکان تسهیلات و هزینه‌های حمل‌ونقل متمرکز است. مدل آن‌ها به‌دنبال تعیین نوع وسیله حمل‌ونقل و زمان انتظار و مکان تسهیلات توزیع است. لی و وومر (۲۰۰۸) یک مسئله پیکربندی زنجیره تأمین را با محدودیت منابع درنظر گرفتند و یک چارچوب مدلسازی جدید را برپایه مسئله برنامه‌ریزی پروژه با ظرفیت

منابع چندحالته برای پیکربندی زنجیره تأمین با توجه به محدودیت‌های کیفیت ارائه دادند. مدل پیشنهادی آن‌ها بین برنامه‌ریزی پروژه و طراحی شبکه زنجیره تأمین ارتباط برقرار می‌کند. مدل پیشنهادی در یک مثال واقعی پیاده‌سازی و برای حل آن از برنامه‌ریزی محدود[1] استفاد شد.

ناگورنی (۲۰۱۰) یک چارچوب برای طراحی زنجیره تأمین و طراحی مجدد آن به‌منظور تعیین سطوح بهینه ظرفیت و جریان محصول بین تولید، انبار و توزیع (سه‌سطحی) ارائه داد. مدل او به‌دنبال کمینه‌سازی هزینه است. در این مدل، محدودیت ارضای تقاضا قطعی درنظر گرفته شده است. بیلگن (۲۰۱۰) یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی یکپارچه، برنامه‌ریزی تولید- توزیع، در یک زنجیره تأمین چندسطحی با چند خط تولید، چند کارخانه و چند مرکز توزیع مطرح کرد. مدل او به‌طور هم‌زمان تخصیص محصولات به خطوط تولید، مقدار محصول حمل‌شده و تعداد وسایل نقلیه در مسیرهای ازپیش تعریف‌شده را فرموله می‌کند. همچنین، این مدل تصمیمات مربوط به تخصیص محصولات به خطوط تولید و تصمیمات تاکتیکی مربوط به مسیریابی توزیع را یکپارچه می‌نماید. پاکسوی و چنگ (۲۰۱۰) یک مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین چنددوره‌ای شامل مباحث موجودی را با برنامه‌ریزی خطی مختلط عدد صحیح مدلسازی و یک مثال صنعتی واقعی را با استفاده از آن حل کردند. در مسئله مذکور، مکان‌هایی برای احداث انتخاب و شبکه توزیع برای برآورده کردن تقاضای مشتریان طراحی شده است. مدل شامل سه تابع هدف، کمینه‌سازی هزینه‌های حمل‌ونقل، کمینه‌سازی هزینه‌های احداث مراکز فروش، کمینه‌سازی هزینه‌های موجودی و کمبود است. برای حل مدل چندهدفه، روش برنامه‌ریزی آرمانی اصلاح‌شده به‌کار رفته است.

محمدی بیدهندی و همکاران (۲۰۱۱) یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط و الگوریتم حل برای طراحی شبکه زنجیره تأمین قطعی، تک‌دوره‌ای و چندکالایی پیشنهاد داده‌اند. ترکیب هم‌زمان تصمیمات استراتژیک و تاکتیکی و درنظر گرفتن ظرفیت تسهیلات به‌عنوان متغیر تصمیم از کارهای اصلی پژوهش آن‌ها است.

شی و همکاران (۲۰۱۲) یک روش لاگرانژین را براساس الگوریتم حل برای مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین پیشنهاد داده‌اند. در این مسئله، مکان مراکز توزیع و اینکه کدام‌یک به تولیدکنندگان یا خرده‌فروشان تخصیص یابد، تعیین شده‌اند. برای اولین‌بار، تقاضا براساس زمان تحویل در مسائل طراحی شبکه زنجیره تأمین مطرح شده است. تقاضا به زمان تحویل وابسته است و بین زمان تحویل و هزینه‌های لجستیک رابطه وجود دارد. برخلاف بیشتر مطالعات قبلی که بر حداقل کردن هزینه‌های لجستیک تمرکز دارند، در این پژوهش یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح صفر و یک برای حداکثر کردن سود معرفی شده است. از آنجا که به‌دست آوردن جواب

1. Constraint Programming (CP)

بهینه دقیق سخت است، برای یافتن جواب نزدیک بهینه یک روش لاگرانژین به‌کار رفته است. نتایج محاسباتی که روی ۲۰ مثال کوچک و ۵۰ مثال بزرگ انجام شد، نشان داد که روش لاگرانژین پیشنهادی جواب‌های خوبی در زمان کوتاه ارائه می‌کند.

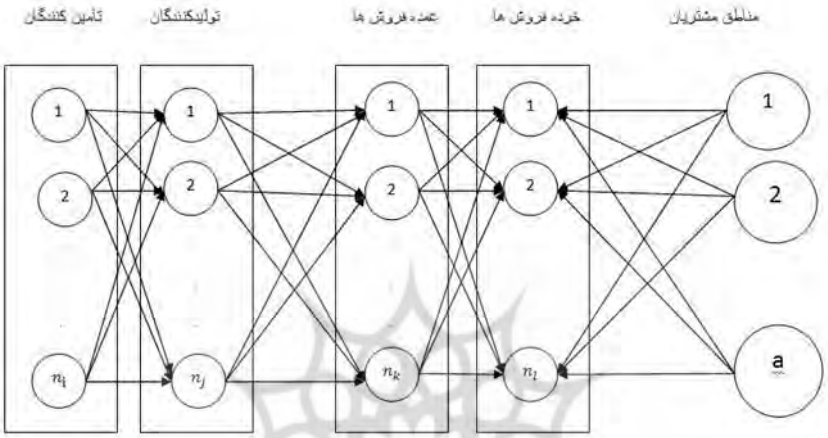
تسائو و لو (۲۰۱۲) در مقاله‌ای، مکان‌یابی تسهیلات و مسئله تخصیص موجودی را با درنظر گرفتن تخفیفات حمل‌ونقل بررسی کرده‌اند. دو نوع تخفیف ارائه شده است که عبارت‌اند از: تخفیف مقدار برای هزینه حمل‌ونقل داخلی و تخفیف مسافت برای هزینه حمل‌ونقل خارجی. پژوهش مذکور، از یک روش تحقیقی برای ساده‌سازی محاسبات فاصله مراکز توزیع استفاده کرده و همچنین یک الگوریتم را برای حل مسائل مدیریت زنجیره تأمین با استفاده از روش‌های بهینه-سازی غیرخطی به‌کار برده است. با انجام مثال‌های عددی، روش‌های حل و اثرات پارامترهای مدل بر تصمیمات مدیریت زنجیره تأمین و هزینه کل نشان داده شده است. هدف این مقاله ارائه طرح‌های شبکه لجستیک با جوابی با کیفیت بالا برای مکان‌یابی تسهیلات و تخصیص موجودی با درنظر گرفتن تخفیف برای هزینه‌های حمل‌ونقل است.

بشیری و همکاران (۲۰۱۲) یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای برنامه‌های تاکتیکی و استراتژیکی در یک شبکه تولید و توزیع چنددوره‌ای ارائه داده‌اند. خروجی مسئله شامل تصمیمات انتخاب تأمین‌کننده، مکان‌یابی تسهیلات، تعیین مقدار مواد اولیه خریداری‌شده و تعیین مقدار مواد تولیدشده و ارسالی به مشتریان است. برای نشان دادن کارایی مدل پیشنهادی، چند مثال عددی فرضی با استفاده از سیپلکس حل شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که در مثال‌های کوچک و متوسط جواب‌های با کیفیت بالا به‌دست آمده است؛ اما برای حل مثال های بزرگ‌تر، الگوریتم‌های ابتکاری لازم است تا زمان حل کاهش یابد.

تعریف مسئله. شبکه زنجیره تأمین مورد بررسی، دارای چهار مرحله یا زیرسیستم است که شامل تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، عمده‌فروشان (مراکز توزیع) و خرده‌فروشان می‌شود. شکل ۱، شبکه زنجیره تأمین مورد بررسی تحقیق حاضر را نشان می‌دهد. مواد اولیه از تأمین‌کنندگان به تولیدکنندگان (کارخانه) ارسال می‌شود و در کارخانه‌ها، پس از پردازش‌های لازم به محصول نهایی تبدیل می‌شود. محصولات نهایی از تولیدکنندگان به مراکز توزیع و از آنجا به خرده‌فروشان ارسال می‌شود و تقاضای بازار از طریق خرده‌فروش‌ها برآورده می‌شود؛ بنابراین؛ هدف تعیین تعداد بهینه تسهیلات در هر مرحله (زیرسیستم)، مقدار بهینه ارسال مواد اولیه از تأمین‌کنندگان به تولیدکنندگان و مقدار بهینه ارسال محصول نهایی از تولیدکنندگان به مراکز توزیع و از آنجا به خرده‌فروشان و از خرده‌فروشان به منطقه مشتریان است؛ به‌طوری که ضمن رعایت محدودیت‌ها،

اهداف چندگانه مسئله را که شامل کمینه کردن هزینه، کمینه کردن زمان تحویل و بیشینه کردن قابلیت اطمینان زنجیره است، برآورده کند.

در این مقاله، از طراحی قابلیت اطمینان (پایایی) در سیستم‌های سری- موازی برای طراحی شبکه زنجیره تأمین الگوبرداری کرده‌ایم. هریک از سطوح زنجیره تأمین به‌عنوان یک زیرسیستم و هریک از تسهیلات درون هر سطح به‌عنوان یک جزء از اجزای آن زیرسیستم قلمداد می‌شود؛ بنابراین، برای هریک از تسهیلات زیرسیستم‌های زنجیره تأمین، یک قابلیت اطمینان درنظر گرفته‌ایم.



شکل ۱. شبکه زنجیره تأمین مورد بررسی پژوهش

قابلیت اطمینان در زیرسیستم‌های تأمین و تولید به عواملی چون انعطاف‌پذیری خطوط تولید، توان طراحی و میزان سرمایه‌گذاری وابستگی زیادی دارد؛ به عبارت دیگر، قابلیت اطمینان تأمین‌کننده و تولیدکننده‌هایی که خطوط تولید انعطاف‌پذیرتر دارند، بالاتر خواهد بود. همچنین، قابلیت اطمینان مراکز توزیع و خرده‌فروشان به سیستم‌های حمل‌ونقل و انبارش آن‌ها بستگی زیادی دارد و هرچه سرعت پاسخگویی آن‌ها و تأمین محصولات بدون عیب آن‌ها به مراحل پایین‌دست خود بیشتر باشد، از قابلیت اطمینان بیشتری برخوردار هستند [۳].

مدلسازی مسئله. به‌طور کلی، هر تحقیقی براساس یک‌سری مفروضات انجام می‌شود و نتایج آن، قابل تعمیم به موارد عملی است که دارای ویژگی‌های مطابق با مسئله تحقیق مذکور باشد. مفروضات پژوهش حاضر عبارت‌اند از:

۱. مدل زنجیره تأمین مورد بررسی چهار سطحی است (تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده، خرده‌فروش)؛
۲. مکان ثابت مشتریان به چند ناحیه مختلف تقسیم شده است؛
۳. تقاضای مشتریان از طریق خرده‌فروش‌ها تأمین می‌شود؛
۴. مدل چنددوره‌ای است؛
۵. مدل چندمحصولی است؛
۶. کمبود مجاز است؛ به عبارت دیگر، این امکان وجود دارد که بخشی از تقاضای مشتریان برآورده نشود؛
۷. امکان نگهداری موجودی برای تولیدکننده وجود دارد؛
۸. امکان نگهداری موجودی برای توزیع‌کننده وجود دارد؛
۹. امکان نگهداری موجودی برای خرده‌فروش وجود دارد؛
۱۰. موجودی اول دوره برابر با صفر درنظر گرفته می‌شود؛
۱۱. همه تسهیلات بالقوه هستند؛
۱۲. هر تولیدکننده امکان تولید انواع محصولات را دارد؛
۱۳. هر تأمین‌کننده امکان تأمین انواع مواد اولیه را دارد؛
۱۴. هر ناحیه از بازار به انواع محصولات نیاز دارد؛
۱۵. حجم محصولات تولیدی یکسان فرض شده است.

نمادها شامل مجموعه اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم برای مدلسازی مسئله به‌شرح زیر هستند:

اندیس‌ها و مجموعه‌ها:

I: مجموعه تمام تأمین‌کنندگان؛
i: اندیس برای تأمین‌کنندگان؛
J: مجموعه تمام تولیدکنندگان؛
j : اندیس برای تولیدکنندگان؛
K: مجموعه تمام توزیع‌کنندگان؛
k: اندیس برای توزیع‌کنندگان؛
L: مجموعه تمام خرده‌فروشان؛
l: اندیس برای خرده‌فروشان؛

A: مجموعه تمام مناطق مشتریان؛
a: اندیس برای منطقه مشتریان؛
M: مجموعه تمام مواد خام؛
m: اندیس برای مواد خام؛
P: مجموعه تمام محصولات؛
p: اندیس برای محصولات؛
T: مجموعه تمام دوره‌ها؛
t: اندیس برای دوره‌ها.

پارامترها:

$cap1_{imt}$: ظرفیت تأمین‌کننده iام از ماده خام mام در دوره tام
$cap2_{jt}$: ظرفیت انبار تولیدکننده jام در دوره tام
$prodcap_{jpt}$: ظرفیت تولید برای تولیدکننده jام از محصول pام در دوره tام
$cap3_{kt}$: ظرفیت توزیع‌کننده kام در دوره tام
$cap4_{lt}$: ظرفیت خرده‌فروش lام در دوره tام
D_{apt}: تقاضای منطقه aام در دوره tام برای محصول p ام
$c1_{ijmpt}$: هزینه تأمین و ارسال مواد خام mام برای تولید محصول pام از تأمین‌کننده iام به تولیدکننده jام در دوره tام
$c2_{jkpt}$: هزینه تولید و ارسال محصول pام از تولیدکننده jام به توزیع‌کننده kام در دوره tام
$c3_{klpt}$: هزینه ارسال محصول pام از توزیع‌کننده kام به خرده‌فروش lام در دوره tام
$c4_{lapt}$: هزینه ارسال محصول pام از خرده‌فروش lام به ناحیه aام در دوره tام
$in\cos t1_{jpt}$: هزینه نگهداری محصول pام توسط تولیدکننده jام در دوره tام
$in\cos t2_{kpt}$: هزینه نگهداری محصول pام توسط توزیع‌کننده kام در دوره tام
$in\cos t3_{lpt}$: هزینه نگهداری محصول pام توسط خرده‌فروش lام در دوره tام
$sh\cos t_{apt}$: هزینه کمبود محصول pام در ناحیه aام (برآورده نشدن تقاضای بازار) در دوره tام
$d1_{ijmpt}$: زمان تأمین و ارسال ماده خام mام مورد نیاز برای تولید محصول pام از تأمین‌کننده iام به تولیدکننده jام در دوره tام
$d2_{jkpt}$: زمان تولید و ارسال محصول pام از تولیدکننده jام به توزیع‌کننده kام در دوره tام
$d3_{klpt}$: زمان ارسال محصول pام از توزیع‌کننده kام به خرده‌فروش lام در دوره tام

$d4_{lapt}$: زمان ارسال محصول pام از خرده‌فروش lام به ناحیه aام در دوره tام

rs_i: قابلیت اطمینان تأمین‌کننده iام

rm_j: قابلیت اطمینان تولیدکننده jام

rw_k: قابلیت اطمینان توزیع کننده kام

rr_l: قابلیت اطمینان خرده‌فروش lام

α_{mp} : میزان (نرخ) مصرف ماده خام mام برای تولید محصول pام

متغیرها:

x_{ijmpt}: میزان ارسال ماده خام mام برای تولید محصول pام از تأمین‌کننده iام به تولیدکننده j ام در دوره tام

y_{jkpt} : میزان ارسال محصول pام از تولیدکننده jام به توزیع‌کننده kام در دوره tام

z_{klpt}: میزان ارسال محصول pام از توزیع‌کننده kام به خرده‌فروش lام در دوره tام

w_{lapt}: میزان ارسال محصول pام از خرده فروش lام به ناحیه aام در دوره tام

$in1_{jpt}$: موجودی محصول pام در انبار تولیدکننده jام در دوره tام

$in2_{kpt}$: موجودی محصول pام در توزیع‌کننده kام در دوره tام

$in3_{lpt}$: موجودی محصول pام در خرده‌فروش lام در دوره tام

sh_{apt}: مقدار کمبود محصول pام در ناحیه aام در دوره tام

R_S: قابلیت اطمینان کل مسیرهای زنجیره تأمین

ux_{ijmpt}: متغیر صفر و یک

uy_{jkpt}: متغیر صفر و یک

uz_{klpt}: متغیر صفر و یک

uw_{lapt}: متغیر صفر و یک

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مدل مسئله:

$$\min \sum_i \sum_j \sum_m \sum_p \sum_t c1_{ijmpt} x_{ijmpt} + \sum_j \sum_k \sum_p \sum_t c2_{jkpt} y_{jkpt} \quad (۱)$$
$$\sum_k \sum_l \sum_p \sum_t c3_{klpt} z_{klpt} + \sum_l \sum_a \sum_p \sum_t c4_{lapt} w_{lapt}$$
$$\sum_j \sum_p \sum_t in\cos t1_{jpt}\, in1_{jpt} + \sum_k \sum_p \sum_t in\cos t2_{kpt}\, in2_{kpt}$$
$$\sum_l \sum_p \sum_t in\cos t3_{lpt}\, in3_{lpt} + \sum_a \sum_p \sum_t sh\cos t_{apt}\, sh_{apt}$$

$$\min \sum_i \sum_j \sum_m \sum_p \sum_t d1_{ijmpt} ux_{ijmpt} + \sum_j \sum_k \sum_p \sum_t d2_{jkpt} uy_{jkpt} + \quad (۲)$$
$$\sum_k \sum_l \sum_p \sum_t d3_{klpt} uz_{klpt} + \sum_l \sum_a \sum_p \sum_t d4_{lapt} uw_{lapt}$$

$$\max R_S = \left[1 - \prod_i \left(1 - rs_i, vx_i\right)\right] \times \left[1 - \prod_j \left(1 - rm_j, vy_j\right)\right] \times \quad (۳)$$
$$\left[1 - \prod_k \left(1 - rw_k, vz_k\right)\right] \times \left[1 - \prod_l \left(1 - rr_l, vw_l\right)\right]$$

$$s.t.$$

$$\sum_j \sum_p x_{ijmpt} \le cap1_{imt} \;\forall i, \forall m, \forall t$$
$$f_{jpt} \le prodcap_{jpt} \;\forall j, \forall p, \forall t \quad (۴)$$
(۵)
$$\sum_p f_{jpt} + \sum_p in1_{jpt-1} - \sum_p \sum_k y_{jkpt} \le cap2_{jt} \;\forall j, \forall t \quad (۶)$$
$$\sum_p \sum_j y_{jkpt} + \sum_p in2_{kpt-1} - \sum_p \sum_l z_{klpt} \le cap3_{kt} \;\forall k, \forall t \quad (۷)$$
$$\sum_p \sum_k z_{klpt} + \sum_p in3_{lpt-1} - \sum_p \sum_a w_{lapt} \le cap4_{lt} \;\forall l, \forall t \quad (۸)$$
$$\sum_l w_{lapt} + sh_{apt} = D_{apt} \;\forall a, \forall t, \forall p \quad (۹)$$
$$f_{jpt} + in1_{jpt-1} = \sum_k y_{jkpt} + in1_{jpt} \;\forall j, \forall p, \forall t \quad (۱۰)$$

$$\sum_j y_{jkpt} + in2_{kpt-1} = \sum_l z_{klpt} + in2_{kpt} \quad \forall k, \forall p, \forall t \qquad ۱۱$$

$$\sum_k z_{klpt} + in3_{lpt-1} = \sum_a w_{lapt} + in3_{lpt} \quad \forall p, \forall t, \forall l \qquad ۱۲$$

$$f_{jpt} \leq \frac{\sum_i x_{ijmpt}}{\alpha_{mp}} \quad \forall m, \forall j, \forall p, \forall t \qquad ۱۳$$

$$x_{ijmpt} \leq M_1 ux_{ijmpt}$$

$$ux_{ijmpt} \leq M_2 x_{ijmpt}$$

$$y_{jkpt} \leq M_1 uy_{jkpt}$$

$$uy_{jkpt} \leq M_2 y_{jkpt}$$

$$z_{klpt} \leq M_1 uz_{klpt}$$

$$uz_{klpt} \leq M_2 z_{klpt}$$

$$w_{lapt} \leq M_1 uw_{lapt}$$

$$uw_{lapt} \leq M_2 w_{lapt} \qquad ۱۴$$

$$\sum_m \sum_p \sum_j x_{ijmpt} \leq M_1 vx_i \quad \forall i, \forall t$$

$$M_1 \sum_m \sum_p \sum_j x_{ijmpt} \geq vx_i \quad \forall i, \forall t$$

$$\sum_k \sum_p y_{jkpt} \leq M_1 vy_j \quad \forall j, \forall t$$

$$M_1 \sum_k \sum_p y_{jkpt} \geq vy_j \quad \forall j, \forall t$$

$$\sum_l \sum_p z_{klpt} \leq M_1 vz_k \quad \forall k, \forall t$$

$$M_1 \sum_l \sum_p z_{klpt} \geq vz_k \quad \forall k, \forall t$$

$$\sum_a \sum_p w_{lapt} \leq M_1 vw_l \quad \forall l, \forall t$$

$$M_1 \sum_a \sum_p w_{lapt} \geq vw_l \quad \forall l, \forall t \qquad ۱۵$$

$$vx_i, vy_j, vz_k, vw_l \in \{0,1\} \qquad ۱۶$$

$$ux_{ijmpt}, uy_{jkpt}, uz_{klpt}, uw_{lapt} \in \{0,1\} \qquad ۱۷$$

$$x_{ijmpt}, y_{jkpt}, z_{klpt}, w_{lapt}, in1_{jpt}, in2_{kpt}, in3_{lpt}, sh_{lpt} \geq 0 \qquad ۱۸$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

در مدل بالا، رابطه ۱ تابع هدف اول مدل را نشان می‌دهد که حداقل‌سازی بهای تمام‌شده محصولات است و شامل هزینه تأمین، تولید و ارسال محصول بین مراحل مختلف زنجیره تأمین، هزینه نگهداری موجودی در هر مرحله و نیز هزینه کمبود محصول در نواحی مختلف بازار است. رابطه ۲ تابع هدف دوم، حداقل‌سازی زمان ارسال مواد خام و محصولات بین مراحل مختلف زنجیره تأمین است و رابطه ۳ حداکثرسازی قابلیت اطمینان زنجیره تأمین را نشان می‌دهد. رابطه ۴ محدودیت مربوط به ظرفیت تأمین مواد اولیه توسط تأمین‌کنندگان را نشان می‌دهد. رابطه ۵ محدودیت مربوط به ظرفیت تولید هریک از تولیدکنندگان در هر دوره و براساس هر محصول را نشان می‌دهد. سمت چپ این محدودیت، ماکزیمم مقدار تولید محصول p ام توسط تولیدکننده jام در دوره tام را نشان می‌دهد. از آنجا که هر محصول از ترکیب M ماده خام حاصل می‌شود و α_{mp} مقدار مورد نیاز ماده خام mام برای تولید محصول p ام را نشان می‌دهد، حداکثر مقدار تولید محصول p ام تحت تأثیر کل ماده خام mام ارسال‌شده از کل تأمین‌کننده‌ها است؛ بنابراین، ماکزیمم مقدار ممکن تولید محصول p ام با استفاده از ماده خام mام برابر با $\left\{\frac{\sum_i x_{ijmpt}}{\alpha_{mp}}\right\}$ است که $\sum_i x_{ijmpt}$ نشان‌دهنده مجموع کل ماده خام mام ارسال‌شده از تأمین‌کننده‌ها به تولیدکننده j ام است. ازطرفی، تولید هر محصول به مواد خام مختلف (M ماده خام) وابسته است؛ بنابراین $\min_{1\le m\le M}\left\{\frac{\sum_i x_{ijmpt}}{\alpha_{mp}}\right\}$ حداکثر تولید محصول p ام با استفاده از مواد خام را نشان می‌دهد. از آنجا که عبارت بالا ساختار خطی ندارد، با جایگزینی متغیر f_{jpt} به‌ازای $(j=1,2,..,J.\ p=1,2,\ldots,P.t=1,2,\ldots,T)$، به‌جای عبارت $\min_{1\le m\le M}\left\{\frac{\sum_i x_{ijmpt}}{\alpha_{mp}}\right\}$ و با اضافه کردن محدودیت‌های ۱۳:

$$\forall m \quad f_{jpt} \le \frac{\sum_i x_{ijmpt}}{\alpha_{mp}}$$

به مدل تحقیق، رابطه مزبور خطی می‌شود.

رابطه ۶ نشان‌دهنده محدودیت ظرفیت انبار تولیدکنندگان است؛ به این شرح که ماکزیمم مقدار محصولاتی که تولیدکننده jام در دوره tام تولید می‌کند به‌علاوه موجودی که از دوره قبل در انبار تولیدکننده jام باقی مانده است، منهای محصولاتی که از تولیدکننده jام به سایر توزیع-کنندگان ارسال می‌شود، نباید از ظرفیت انبار تولیدکننده jام بیشتر باشد. روابط ۷ و ۸ به‌ترتیب

محدودیت مربوط به ظرفیت انبار مراکز توزیع و خرده‌فروشان را نشان می‌دهند. رابطه ۹ محدودیت مربوط به تقاضای بازار را نشان می‌دهد. رابطه ۱۰ نشان‌دهنده محدودیت بالانس تولیدکننده است؛ با این توضیح که میزان محصولاتی که تولیدکننده jام از مواد خام دریافتی از تأمین‌کنندگان تولید می‌کند، به‌علاوه موجودی محصولاتی که از دوره قبل در انبار تولیدکننده jام باقی مانده است، باید برابر با میزان ارسال محصول از تولیدکننده jام به سایر توزیع‌کننده‌ها و موجودی دوره جاری تولیدکننده jام باشد. روابط ۱۱ و ۱۲ نیز محدودیت بالانس برای مراکز توزیع و خرده‌فروشان است. مجموعه روابط ۱۴ و ۱۵ نشان می‌دهند که اگر ارسال مواد یا محصول در یک مسیر صورت گیرد، متغیر صفر و یک متناظر مقدار یک اختیار می‌کند و در غیر این صورت مقدار صفر اختیار کند. رابطه ۱۶ متغیرهای صفر و یک هستند که اگر ارسالی از تسهیل مورد نظر صورت گیرد، مقدار یک به خود می‌گیرد و مقدار قابلیت اطمینان تسهیل مورد نظر در تابع هدف دوم منظور می‌شود و اگر ارسالی صورت نگیرد، مقدار صفر اختیار می‌کند و قابلیت اطمینان آن در تابع هدف منظور نمی‌شود. رابطه ۱۷ متغیرهای صفر و یک را نشان می‌دهد. این متغیرها هنگامی مقدار یک اختیار می‌کنند که مواد خام یا محصول از تسهیل مورد نظر به سایر تسهیلات ارسال شود و در غیر این صورت مقدار صفر اختیار می‌کنند؛ به عبارت دیگر، این متغیرها برای کنترل کردن تعداد تسهیلات هر مرحله (زیرسیستم) در طراحی شبکه زنجیره تأمین به‌کار می‌روند. چنانچه این متغیرها مقدار یک اختیار کنند، به‌منزله این است که تسهیل مورد نظر باید در طراحی شبکه وجود داشته باشد و اگر مقدار صفر به خود بگیرد به‌منزله آن است که تسهیل مورد نظر نباید در طراحی شبکه وجود داشته باشد؛ برای نمونه، اگر متغیر دودویی ux_{ijmpt} مقدار یک به خود گیرد، یعنی اینکه باید در دوره tام، ماده خام mام، برای تولید محصول pام از تأمینکننده iام به تولیدکننده jام ارسال شود؛ به عبارت دیگر، در دوره tام باید تأمین‌کننده iام در طراحی شبکه لحاظ شود. به این ترتیب، اگر ارسالی از یک مسیر صورت گیرد، متغیر صفر و یک متناظر با آن مسیر مقدار یک اختیار می‌کند و زمان ارسال آن مسیر در تابع هدف دوم درنظر گرفته می‌شود. رابطه ۱۸ محدودیت‌های علامت را نشان می‌دهد.

۳. روش‌شناسی پژوهش

در این تحقیق، به‌دلیل مزیت‌هایی که روش اپسیلون محدودیت نسبت به روش وزن‌دهی دارد، روش اپسیلون محدودیت برای حل مدل چندهدفه استفاده می‌شود. روش اپسیلون محدودیت ناحیه موجه اصلی[1] را دگرگون (تغییر) می‌کند و جواب‌های کارای غیرغایی[2] نیز ارائه

1. Original Feasible Region
2. Non-Extreme Efficient Solution

می‌کند. اگر روش وزن‌دهی منتج به یک جواب گوشه (جواب غایی) شود، یعنی فقط جواب‌های غایی کارا را ارائه می‌کند. روش اپسیلون محدودیت برخلاف روش وزن‌دهی در مسائل برنامه-ریزی چندهدفه عدد صحیح و عدد صحیح آمیخته کاربرد دارد. در روش وزن‌دهی، توابع هدف باید هم مقیاس باشند؛ درحالی که در روش اپسیلون، محدودیت مقیاس توابع هدف تأثیر زیادی بر نتایج ندارد. با روش اپسیلون محدودیت می‌توانیم با تنظیم درست نقاط شبکه در هریک از دامنه‌های تابع هدف، جواب‌های کارای تولیدشده را کنترل کنیم؛ درحالی که این کار با روش وزن‌دهی آسان نیست [۱۳]. به‌طور کلی، گام‌های روش اپسیلون محدودیت به صورت زیر است [۱۳]:

گام ۱. یکی از توابع هدف را به‌عنوان تابع هدف اصلی انتخاب کنید.

گام ۲. هربار با توجه به یکی از توابع هدف، مسئله را حل کنید و مقادیر بهینه هر تابع هدف را به‌دست آورید.

گام ۳. بازه بین دو مقدار بهینه توابع هدف فرعی را به تعداد ازقبل مشخص‌شده تقسیم کنید و یک جدول برای $\varepsilon_2,\ldots,\varepsilon_P$ به‌دست آورید.

گام ۴. هربار مسئله را با تابع هدف اصلی با هریک از مقادیر $\varepsilon_2,\ldots,\varepsilon_P$ حل کنید.

گام ۵. جواب‌های پارتو یافت‌شده را گزارش کنید.

با توجه به تعدد جواب‌های پارتو که در روش اپسیلون حاصل می‌شود، برای جلوگیری از سردرگمی تصمیم‌گیرنده[1]، از تحلیل پوششی داده‌ها[2] برای ارزیابی جواب‌ها استفاده خواهد شد.

تحلیل پوششی داده‌ها یک روش توانمند در محاسبه کارایی واحدهای تصمیم‌گیری است که در سال ۱۹۸۷ توسط چارنز، کوپر و رودز ارائه شد. در این روش، کارایی واحدهای تصمیم‌گیری با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی محاسبه می‌شود؛ به این ترتیب که برای مجموعه واحدهای تصمیم‌گیری موجود، چند ورودی و چند خروجی تعریف و مقادیر آن‌ها برای هر واحد تصمیم‌گیری محاسبه می‌شود و سپس مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها با ایجاد یک فضای مقایسه‌ای بین واحدهای تصمیم‌گیری مرز کارا را تشکیل می‌دهند. هر واحد تصمیم‌گیری که روی مرز قرار داشته باشد، به‌عنوان واحد تصمیم‌گیری کارا شناخته می‌شود و هریک که زیر مرز قرار داشته باشد، واحد ناکارا است و میزان ناکارایی آن براساس فاصله تا مرز محاسبه می‌شود [۱۸].

دو جهت‌گیری کلی در DEA وجود دارد: تمرکز بر ورودی‌ها در مدل‌های ورودی‌محور و تمرکز بر خروجی‌ها در مدل‌های خروجی‌محور. در مدل‌های خروجی‌محور، با ثابت نگه داشتن سطح ورودی‌ها سعی می‌کنیم خروجی‌ها را افزایش دهیم و در مدل‌های ورودی‌محور، با ثابت

1. Decision Maker
2. Data Envelopment Analysis

نگه داشتن خروجی‌ها می‌کوشیم ورودی‌ها را کاهش دهیم. مدل‌های ورودی‌محور میزان خروجی ها را در سطح داده‌شده حفظ می‌کنند و به‌طور متناسب و درحد امکان، به کاهش میزان ورودی‌ها می‌پردازند؛ اما مدل‌های خروجی‌محور با حفظ میزان ورودی، به‌طور متناسب خروجی‌ها را افزایش می‌دهند[۵].در این مقاله، برای ارزیابی جواب‌های نامغلوب از مدل CCR اپسیلون‌دار استفاده می‌کنیم. این مدل از کارا شدن واحدهای تصمیم‌گیری ناکارا جلوگیری می‌کند؛ زیرا در مدل مضربی و پوششی، محدودیتی برای تعیین ضرایب وجود ندارند. در این مدل‌ها، ممکن است برای خروجی‌های کم، ضریب صفر یا کم و برای ورودی‌های زیاد، ضریب صفر یا کم درنظر گرفته - شود؛ اما در مدل اپسیلون‌دار، یک حداقل برای خروجی‌های کم و ورودی‌های زیاد درنظر گرفته می‌شود. در این روش، ابتدا مقدار ε از مدل ۱۹ به‌دست می‌آید:

$$
\begin{aligned}
\max \quad & \varepsilon \\
s.t. \quad & \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \le 1, \quad j = 1,\ldots,n \\
& \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \le 0, \quad j = 1,\ldots,n \\
& v_i \ge \varepsilon, \quad i = 1,\ldots,m \\
& u_r \ge \varepsilon, \quad r = 1,\ldots,s.
\end{aligned}
\qquad (۱۹)
$$

سپس، جواب بهینه حاصل از مدل ۱۹ به‌عنوان کران پایین برای متغیرهای v_i و u_r در فرم مضربی مدل CCR قرار داده می‌شود (مدل ۲۰):

$$
\begin{aligned}
\max \quad & z_o = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro} \\
s.t. \quad & \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io} = 1 \\
& \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \le 0, \quad j = 1,\ldots,n \\
& v_i \ge \varepsilon^*, \quad i = 1,\ldots,m \\
& u_r \ge \varepsilon^*, \quad r = 1,\ldots,s.
\end{aligned}
\qquad (۲۰)
$$

x_{ij} =مقدار ورودی iام از واحد j ام؛

v_i =وزن ورودی iام؛

y_{rj} = مقدار خروجی r ام از واحد j ام؛
u_r = وزن خروجی r ام.
طبق مدل ۱۹، مقدار تابع هدف کارایی واحد تصمیم‌گیرنده موردنظر را نشان می‌دهد.

٤. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

در این قسمت، جهت تحلیل داده ها از سه مثال عددی به شرح ذیل استفاده می کنیم:

مثال عددی. در این بخش، ۳ مثال عددی با ابعاد مختلف طراحی کرده‌ایم. مثال اول شامل ۳ تأمین‌کننده، ۳ تولیدکننده، ۳ مرکز توزیع، ۳ خرده‌فروش و ۳ منطقه مشتریان است، مثال دوم شامل ۵ تأمین‌کننده، ۵ تولیدکننده، ۵ مرکز توزیع، ۵ خرده‌فروش و ۵ منطقه مشتریان است و مثال سوم شامل ۱۰ تأمین‌کننده، ۱۰ تولیدکننده، ۱۰ مرکز توزیع، ۱۰ خرده‌فروش و ۱۰ منطقه مشتریان است. در این مقاله، همه پارامترهای مدل (هزینه‌های سیستم، زمان‌های ارسال، ظرفیت و قابلیت اطمینان تسهیلات و نرخ مصرف مواد خام) را قطعی درنظر گرفتیم و داده‌های مثال عددی را از بازه‌های یکنواخت (جدول ۱) به‌طور تصادفی انتخاب کردیم.

جدول ۱. مقادیر پارامترها

پارامتر	توزیع پارامتر	پارامتر	توزیع پارامتر	پارامتر	توزیع پارامتر
$c1_{ijmpt}$	$u(10,30)$	$d2_{jkpt}$	$u(4,8)$	$sh\cos t_{apt}$	$u(500,560)$
$c2_{jkpt}$	$u(35,60)$	$d3_{klpt}$	$u(2,8)$	α_{mp}	$u(1,3)$
$c3_{klpt}$	$u(5,12)$	$d4_{lapt}$	$u(1,4)$	$cap1_{imt}$	$u(1000,1200)$
$c4_{lapt}$	$u(10,17)$	D_{apt}	$u(40,220)$	$cap2_{jt}$	$u(300,800)$
$in\cos t1_{jpt}$	$u(5,10)$	rs_i	$u(0.5,0.8)$	$prodcap_{jpt}$	$u(300,700)$
$in\cos t2_{kpt}$	$u(8,12)$	rm_j	$u(0.5,0.8)$	$cap3_{kt}$	$u(500,1000)$
$in\cos t3_{lpt}$	$u(10,18)$	rw_k	$u(0.5,0.8)$	$cap4_{lt}$	$u(150,250)$
$d1_{ijmpt}$	$u(5,10)$	rr_l	$u(0.5,0.8)$		

مثال‌های عددی طراحی‌شده با رویکرد اپسیلون محدودیت را با نرم‌افزار لینگو ۱۱ و الگوریتم شاخه و کران حل کردیم. از آنجا که با روش اپسیلون محدودیت جواب‌های نامغلوب حاصل می‌شود، برای اینکه تصمیم‌گیرنده دچار سردرگمی نشود، از مدل CCR اپسیلون‌دار تحلیل

پوششی داده‌ها برای ارزیابی کارایی جواب‌های نامغلوب استفاده کردیم. برای این کار کد مدل تحلیل پوششی داده‌ها را در نرم‌افزار گمز نوشتیم و کارایی هریک از جواب‌های نامغلوب را به‌دست آوردیم. جدول‌های ۲، ۳ و۴ به‌ترتیب به خروجی‌های مثال‌های عددی ۱، ۲ و ۳ مربوط هستند.

جدول ۲. مقادیر توابع هدف و زمان حل و کارایی جواب‌ها برای مثال عددی اول

شماره جواب	هزینه	زمان	قابلیت اطمینان	زمان حل (ثانیه)	کارایی
۱	۲۲۹۵۴۷	۳۱۰	۰/۹۲۷	۲۱	۱
۲	۲۳۰۱۵۲	۲۷۰	۰/۹۲۷	۶	۱
۳	۴۲۱۶۸۴	۲۱۰	۰/۸۹۲	۳۰	۰/۵۲
۴	۳۳۳۷۸۱	۲۱۵	۰/۹۰۶	۱۹	۰/۷۹
۵	۲۳۸۰۷۸	۲۱۵	۰/۸۵۴	۱۲	۱
۶	۳۳۹۹۴۰	۲۱۳	۰/۹۰۴	۲۲	۰/۷۷
۷	۳۱۷۵۳۰	۲۱۹	۰/۹۰۵۹	۲۵	۰/۸۳
۸	۲۳۱۸۱۵	۲۵۷	۰/۷۹۱	۱۷	۰/۸۷

جدول ۳. مقادیر توابع هدف و زمان حل و کارایی جواب‌ها برای مثال عددی دوم

شماره جواب	هزینه	زمان	قابلیت اطمینان	زمان حل (ثانیه)	کارایی
۱	۲۹۹۰۵۸	۴۴۸	۰/۹۷۸	۹۱۱	۰/۵۹
۲	۲۹۵۰۷۹	۵۶۰	۰/۹۷۸	۱۲۱۵	۱
۳	۴۳۸۹۸۰	۴۲۷	۰/۹۵۶	۸۴۶	۰/۸۷
۴	۳۸۵۷۸۰	۴۰۹	۰/۹۳۴	۷۹۵	۰/۹۲

جدول ۴: مقادیر توابع هدف و زمان حل و کارایی جواب‌ها برای مثال عددی سوم

شماره جواب	هزینه	زمان	قابلیت اطمینان	زمان حل (ثانیه)	کارایی
۱	۶۷۳۸۴۰	۹۴۰	۰/۹۹۹۸۴	۲۹۵۲	۰/۸۳
۲	۶۹۰۰۹۱	۸۹۳	۰/۹۹۹۸۱	۲۶۲۳	۰/۸۱
۳	۵۵۲۳۵۴	۱۰۲۳	۰/۹۹۲۳	۳۱۲۶	۱
۴	۵۸۹۴۹۲	۱۰۱۲/۵	۰/۹۹۵۶	۲۴۵۲	۰/۹۵

در این تحقیق، برای اعتبارسنجی مدل، رفتار مدل را درقبال تغییرات پارامترهای مدل بررسی کردیم تا مشخص کنیم که آیا مدل می‌تواند به‌صورت موفقیت‌آمیز تغییرات را دنبال کند یا نه؛ برای نمونه، در مثال عددی اول، هزینه تأمین و ارسال ماده خام اول از تأمین‌کننده اول به تولیدکننده اول در دوره اول، ۱۶/۶۷ واحد پولی بوده است که پس از حل مدل متغیر تصمیم

مربوطه مقدار صفر به خود گرفته است. چنانچه هزینه ارسال مسیر مربوطه را به صفر کاهش دهیم، انتظار می‌رود که متغیر تصمیم مربوطه مقدار بگیرد که پس از اعمال تغییرات، مقدار متغیر مزبور برابر با ۶۱۶/۵ است.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله، به مسئله مدلسازی شبکه زنجیره تأمین چهارسطحی، چنددوره‌ای و چندمحصولی با اهداف کمینه‌سازی هزینه، کمینه‌سازی زمان ارسال و بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان زنجیره تأمین پرداختیم. مدل چندهدفه مسئله را به روش اپسیلون محدودیت توسط نرم‌افزار لینگو حل کردیم و جواب‌های نامغلوب به‌دست آوردیم. برای اینکه تصمیم‌گیرنده در مواجهه با جواب‌های پارتو متعدد دچار سردرگمی نشود، کارایی جواب‌ها را با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها ارزیابی کردیم و کارایی هریک از جواب‌ها را محاسبه کردیم. همان‌طور که در مثال‌های عددی دیدیم، با بزرگ‌تر شدن ابعاد مسئله، زمان حل به‌صورت تصاعدی افزایش می‌یابد؛ بنابراین، برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌کنیم که برای حل مسائل با ابعاد بزرگ، از الگوریتم‌های فراابتکاری و برای انطباق بیشتر مدل با واقعیت، از داده‌های غیرقطعی- مانند داده‌های فازی- استفاده شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

۱. تیموری، ابراهیم و اشکان حافظالکتب. (۱۳۸۷). طراحی شبکه تأمین چندمحصولی با استفاده از برنامه‌ریزی غیرخطی دوهدفه و به‌کارگیری روش AHP: مطالعه موردی شبکه لجستیک خودرو. *فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی*. ش ۴۷. صص ۱۶۹- ۲۰۴.

۲. جیمز ب. ایرس. (۱۳۸۶). ترجمه ابراهیم تیموری و اشکان حافظالکتب. (۱۳۸۶). *کتاب راهنمای مدیریت زنجیره تأمین*. تهران: مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران. صص ۴- ۶.

۳. شکرانه، حسین و محمد رستمی‌مهر. (۱۳۸۶). *مدیریت ریسک زنجیره‌های تأمین برپایه قابلیت اطمینان*. نخستین کنگره بین‌المللی مدیریت ریسک. تهران.

۴. غضنفری، حسین و سید محمد سید حسینی. (۱۳۸۷). توسعه مدل بهینه هزینه کل توزیع لجستیک در شرایط یک تولیدکننده و چند انبار توزیع در مدیریت زنجیره تأمین (SCM). *نشریه بین‌المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران*. ش ۱. ج ۱۹. صص ۱۱۷- ۱۲۲,

۵. کوپر، ویلیام؛ سیفورد، لورنس و کوارتن. (۱۳۹۲). *تحلیل پوششی داده‌ها؛ مدل‌ها و کاربردها*. ترجمه سید علی میرحسینی. چ ۴. تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران).

6. Bashiri.M, Badri. H.Talebi, J. (2012) A new approach to tactical and strategic planning in production˚distribution networks. *Applied Mathematical Modelling, (36)*, 1703-1717.

7. Bilgen, B. (2010). Application of fuzzy mathematical programing approach to the production allocation and distribution supply chain network problem. *Expert system with application, 37*, 4488-4495.

8. Chang, Y., Makatsoris, H. (2001). Supply chain modelling using simulation. *International Journal of Simulation: Systems, Science, and Technology, 2(1)*, 24-30

9. Chopra, S. Meindle, P. (2007). Supply Chain Management (strategy, planning, and operation). *Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey*, 07458. (Third ed.).

10. Eskigun, E., Uzsoy, R., Preckel, P.V, Beaujon, G., Krishnan, S., Tew, J.D. (2005). Outbound Supply Chain Network Design with Mode Selection, Lead Times, and Capacitated Vehicle Distribution Centers. *European Journal of Operational Research, 165*, 182-206.

11. Li. H, and Womer, K. (2008). Modeling the supply chain configuration problem with resource constraints. *International Journal of Project Management*, vol. 26, pp. 646-654.

12. Liang, T. F. Chen, H. W. (2008). Application f fuzzy sets to manufacturing/distribution planning decision with multi-product and multi-time period in supply chains. *Expert Systems with Applications, 36*, 3367-3377.

13. Mavrotas, G. (2009). Effective implementation of ε -constraint method in Multi-Objective Mathematical Programming problems". *Applied Mathematics and Computation, 213*, 455-465.

14. Mohammadi Bidhandi.H., Mohammad Yusuff, R (2011). Integrated supply chain planning under uncertainty using an improved stochastic approach. *Applied Mathematical Modelling*, 35, 2618-2630.

15. Nagurney, A. (2010). Optimal supply chain network design and redesign at minimal total cost and with demand satisfaction. *International Journalof Production Economics, 128*, 200-208.

16. Paksoy, T., Chang. C., (2010). Revised multi-choice goal programming for multi-period, multi-stage inventory controlled supply chain model with popup stores in Guerrilla marketing. Appl. *Math. Model, 34(11),* 3586-3598.

17. Paksoy, T., Pehlivan, N. Y., Ozceylan, E. (2012). Application of fuzzy optimization to a supply chain network design: A case study of an edible vegetable oils manufacturer. *Applied Mathematical Modelling, 36*, 2762-2776.

18. Rassafi, A. A., Vaziri, M., (2007). Assessment of Model Transportation Sustainability: Application of Data Envelopment and Concordance Analyses. *Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Enginering, 31*, 179-193.

19. Sabri, H., Benita, M., (2000). A multiobjective approach to simultaneous sterategic and operational planning in supply chain design. *Omega, 28*, 581-598.

20. Shi , *J.*, Zhang, G., Sha, J., (2012). A Lagrangian based solution algorithm for a build-to-order supply chain network design problem. *Advances in Engineering Software,* 49, 21-28.

21. Simchi, D., Levi, *D.*, (2004). *Managing the supply chain: the definitive guide for the business professional*: McGraw-Hill Companies.

22. Tsao, Y, C., Lu,J,C.(2012). A supply chain network design considering transportation cost discounts. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 48,* 401-414.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی