

ارائه یک مدل یکپارچه مکانیابی-تولید-توزیع در زنجیره تامین سبز با در نظر گرفتن سطح سرویس دهی

سعید موسی خانی*، علی بزرگی امیری**، محمدصادق سنگری***

تاریخ دریافت: ۹۶/۳/۱۴

تاریخ پذیرش: ۹۷/۷/۲۱

چکیده:

یکی از موضوعات اصلی در مدیریت زنجیره تامین، برنامه‌ریزی یکپارچه تولید-توزیع است که نقش مهمی را در کاهش هزینه‌های زنجیره بر عهده دارد. علاوه بر این، انتخاب محل بهینه مراکز توزیع می‌تواند دستیابی به این هدف را تسهیل کند. از سوی دیگر، قوانین و مقررات زیست محیطی که توسط دولت‌ها مصوب شده است، محدودیت‌هایی را برای فعالیت‌های تولید و توزیع ایجاد کرده و اتخاذ رویکرد زنجیره تامین سبز را بیش از پیش ضروری ساخته است. در این مقاله، یک مدل جدید برای مسئله مکانیابی - تولید - توزیع یکپارچه در یک زنجیره تامین سبز سه سطحی شامل کارخانه‌های تولیدی، مراکز توزیع و مشتریان برای چند نوع محصول و در طی چندین دوره زمانی ارائه شده است. تابع هدف شامل کمینه‌سازی کل هزینه‌های زنجیره و همچنین کمینه‌سازی میزان انتشار گاز دی اکسید کربن در طول زنجیره می‌باشد. همچنین مقادیر تقاضا و سطح سرویس مشتریان در مدل پیشنهادی به صورت اعداد فازی Z بیان شده تا قابلیت اطمینان اعداد تصمیم‌گیری نیز در کنار آنها از کارشناسان اخذ شود. از طریق ارائه یک مطالعه موردی، کاربردپذیری و کارایی مدل پیشنهادی با در نظر گرفتن دو شاخص سطح سرویس مشتریان و رویکرد سبز در تولید و توزیع، مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است. همچنین به منظور حل مدل پیشنهادی، از نرم افزار تجاری گمز استفاده شده است. نتایج بدست آمده بیانگر عملکرد مطلوب مدل پیشنهادی در کاهش هزینه‌ها در زنجیره تامین سبز می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی تولید-توزیع، مکانیابی، زنجیره تامین سبز، سطح سرویس مشتریان، عدد فازی Z

* کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

** دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران، (نویسنده مسئول)

alibozorgi@ut.ac.ir

*** استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی فومن، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران

مقدمه

یک زنجیره تامین بصورت فرآیند یکپارچه‌ای که در آن تعدادی از فعالان تجاری و اقتصادی مختلف مانند تامین کنندگان، تولید کنندگان، توزیع کنندگان و خرده فروشان به منظور تهیه مواد اولیه، تبدیل آن به یک محصول نهایی مشخص و تحویل به خرده فروشان و نهایتاً مصرف کنندگان، تعریف شده است (Ballou, ۲۰۰۷). زنجیره تامین از دو بخش اساسی تشکیل می‌شود (۱) برنامه ریزی تولید و فرآیند کنترل موجودی و (۲) توزیع و فرآیندهای لجستیکی. بنابراین، شرکت‌ها و کارخانجات نیازمند یکپارچه سازی و منعطف کردن همه فعالیت‌های تولیدی از تهیه مواد اولیه تا تحویل کالای نهایی به مصرف کننده، در فرآیند عرضه و پخش محصولات خود هستند (Chandra & Fisher, ۱۹۹۴).

سیستم‌های تولید و توزیع بخشی از فرآیند زنجیره تامین‌اند، به طوری که مواد اولیه برای تولید محصولات از نقطه شروع تا نقطه مصرف به منظور برآورده کردن نیازمندی‌های مشتری را برنامه ریزی، اجرا و کنترل می‌کنند (Kazemi, Zarandi, & Azizmohammadi, ۲۰۱۷). تولید و توزیع یکپارچه محصولات در یک زنجیره تامین نقش مهمی را در کاهش هزینه‌های زنجیره بر عهده دارد. مسئله برنامه ریزی تولید در زنجیره تامین دربرگیرنده تصمیماتی است که سازنده جهت تولید کالای سفارش شده در زمان مقرر و تعداد مورد نظر به منظور برآورده کردن نیاز مشتری اتخاذ می‌کند (Chopra & Meindl, ۲۰۰۷). مسئله برنامه ریزی توزیع در زنجیره تامین نیز دربرگیرنده تصمیماتی برای پیدا کردن کانالی جهت تحویل کالا از یک سازنده به یک توزیع کننده یا به یک مشتری است. این مسائل وابستگی متقابلی به یکدیگر دارند. از اینرو بایستی آن‌ها را به طور همزمان در یک چارچوب یکپارچه به کاربرد تا هزینه‌ها (یا سود) حاصل از آن در زنجیره کمینه (یا بیشینه) شود (Kleindorfer & Saad, ۲۰۰۵).

از سوی دیگر، یکی از اولین و اساسی‌ترین مراحل در برنامه ریزی جهت ارائه خدمت یا محصول به متقاضیان، مکانیابی مناسب کارخانه‌ها، مراکز توزیع و یا انبارها و پیدا کردن مقدار بهینه تولید به منظور کمینه‌سازی هزینه‌های کل زنجیره تامین می‌باشد. نگاه همزمان به هر دو مقوله تولید و جایابی می‌تواند جواب بهینه‌ای را برای هر دو مسئله ارائه نماید

(McCann, 1993). لذا، از مهم‌ترین اهداف مدیریت زنجیره‌تأمین، یکپارچه‌سازی تصمیمات در بخش‌های مختلف سیستم شامل مکانیابی، برنامه‌ریزی تولید و مدیریت توزیع است که تمرکز روی این عوامل باعث بهینه‌سازی کل هزینه‌های زنجیره می‌شود. این هزینه‌ها شامل هزینه‌های احداث مراکز تولید، توزیع و یا انبارها، هزینه تولید محصولات و هزینه‌های نگهداری موجودی در انبارها و همچنین هزینه حمل و نقل بین مراکز می‌باشد (Bhutta et al., 2003). یکپارچه‌سازی حلقه‌های مکانیابی-تولید-توزیع، از جمله مهم‌ترین مسئله‌های بهینه‌سازی در شبکه زنجیره‌تأمین است (Khalifehzadeh, Seifbarghy, & Naderi, 2011).

از طرفی، جهان امروز با مسائلی چون گرم شدن زمین، انواع آلودگی‌ها، افزایش مقدار گازهای گلخانه‌ای و غیره مواجه است که این مسائل به طور بالقوه می‌تواند منجر به انقراض نوع بشر شود. بنابراین حفظ محیط زیست و استراتژی‌های مربوط به آن در سال‌های اخیر در اولویت برنامه‌ها، به عنوان یک نوآوری مهم سازمانی قرار گرفته است (Seman et al., 2012). سازمان‌ها از یک طرف باید به سوددهی و مزیت رقابتی و از طرف دیگر به از بین بردن یا به حداقل رساندن ضایعات (انرژی)، تولید گازهای گلخانه‌ای، شیمیایی/خطرناک، مواد زائد جامد) توجه کنند.

موضوع دیگری که امروزه مورد توجه بسیاری از سازمان‌های تولیدی و خدماتی قرار گرفته است، در نظر گرفتن سطح سرویس‌دهی مشتریان است. سطح سرویس‌دهی مشتریان، یکی از این شاخص‌ها است که برای ایجاد انگیزه در میان مشتریان و حفظ آنان مدنظر قرار گرفته است. سازمان با مشخص کردن سطح سرویس‌دهی به هر مشتری، میزان سطح خدمتی که باید ارائه دهد را مشخص می‌کند. بر این اساس، مشتریان با اولویت بالاتر برای سازمان دارای سطح سرویس‌دهی بالاتری نیز خواهند بود.

همچنین، یکی از موضوعات چالش برانگیز در مدل‌سازی مسائل زنجیره‌تأمین، برآورد مقادیر پارامترها است. چرا که عوامل غیر قابل اندازه‌گیری نظیر تقاضا، هزینه‌های حمل‌ونقل و غیره بر فرآیندهای زنجیره‌تأمین تاثیرگذار است. تعیین مقادیر عوامل غیر قابل اندازه‌گیری توسط افراد متخصص صورت می‌گیرد و از آنجا که افراد متخصص بیشتر تمایل دارند که

نظرات خود را به صورت نسبی و یا متغیرهای زبانی مطرح کنند، این موضوع سبب بکارگیری تئوری مجموعه‌های فازی در مدل کردن فرآیندهای زنجیره تامین در دنیای واقعی شده است. این مقاله با هدف تبیین بخشی از عوامل مطرح شده و موثر بر عملکرد زنجیره تامین در قالب یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح در یک زنجیره تامین سه سطحی شامل مراکز تولید، توزیع و مشتریان ارائه شده است. پژوهش حاضر با در نظر گرفتن سطح سرویس‌دهی مشتریان و تقاضا به صورت عدد فازی Z به دنبال بهینه‌سازی مقادیر تولید و توزیع در دوره‌های مختلف به منظور افزایش سودآوری و در عین حال، جلوگیری از آلودگی محیط زیست است. آنچه که تحقیق حاضر را از مطالعات پیشین متمایز می‌سازد به صورت خلاصه شامل موارد زیر است:

✓ ارائه مدل یکپارچه‌ی مکانیابی - تولید - توزیع در زنجیره تامین با تولید

چندمحصولی

✓ بکارگیری رویکرد سبز برای زنجیره تامین

✓ در نظر گرفتن ویژگی‌های چند دوره‌ای، چند محصولی، سطح سرویس‌دهی

مشتریان

✓ در نظر گرفتن قابلیت اطمینان اعداد تصمیم‌گیری و عدم قطعیت در پارامترهای

تقاضا و سطح سرویس مشتریان

✓ ارائه یک مطالعه موردی برای اعتبارسنجی مدل و روش حل

در ادامه مقاله در بخش دوم، مطالعات قبلی در زمینه مساله مکانیابی- تولید- توزیع در زنجیره‌تأمین مورد بررسی قرار گرفته است. بخش سوم به معرفی اعداد فازی Z می‌پردازد. در بخش چهارم، مدل پیشنهادی تحقیق ارائه شده است. در بخش پنجم، روش تک هدفه کردن مدل پیشنهادی بیان می‌شود. ارائه مطالعه موردی و تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از آن در بخش ششم صورت می‌گیرد و نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی نیز در بخش هفتم مقاله ارائه شده است.

مرور ادبیات

در طول دهه ۱۹۹۰، بسیاری از تولیدکنندگان و بنگاه‌های خدماتی در صدد هماهنگی بیشتر با تامین‌کنندگان خود افتادند تا بتوانند وضعیت خریده‌ها و عملیات مربوط به آن را از یک کار صرفاً دفتری به یک بخش یکپارچه که با نام طراحی زنجیره‌تامین می‌شناسیم، تبدیل و بهبود بخشند. عمده‌فروشان و خرده‌فروشان نیز عملیات مربوط به توزیع و لجستیک خود را به نوعی از حمل و نقل و لجستیک مورد نظر در طراحی زنجیره‌تامین یکپارچه کردند تا قدرت و مزایای رقابتی بیشتری ایجاد نمایند (Chopra & Meindl, ۲۰۰۷). چاندر^۱ و فیشر^۲ مدل تولید و توزیعی شامل هزینه‌های راه‌اندازی، تولید، حمل و نقل محصولات تولیدی به خرده‌فروشان و هزینه‌های موجودی‌ها ارائه کردند که به دنبال کمینه‌سازی هزینه کل زنجیره می‌باشد (Chandra & Fisher, ۱۹۹۴). کوهن^۳ و مون^۴ با ارائه یک مدل مختلط صفر و یک سعی در بهینه نمودن جریان مواد، محصولات و ترکیب تولید محصولات در یک شبکه زنجیره عرضه با ساختار ثابت نمودند (Cohen & Moon, ۱۹۹۱). لی^۵ و کیم^۶ نیز با در نظر گرفتن محدودیت‌های منابع مختلف، ساختار یک سیستم تولید و توزیع چندکارخانه‌ای، چندمحصولی و چنددوره‌ای را ارائه نمودند (Lee & Kim, ۲۰۰۲). لوی^۷ و همکاران نیز یک مسئله برنامه‌ریزی استراتژیک را برای یک شبکه تولید - توزیع سه مرحله‌ای ارائه کردند. این مسئله یک کالا، چند تأمین‌کننده، چند تولیدکننده و چند توزیع‌کننده را در یک شبکه تولید - توزیع با تقاضای قطعی در نظر گرفته که هدف آن کمینه کردن هزینه‌های تولید، حمل و نقل و موجودی است (Levi et al., ۲۰۰۰).

-
1. Chandra
 2. Fisher
 3. Cohen
 4. Moon
 5. Lee
 6. Kim
 7. Levi

لیو^۱ و پاپاجیورجیو^۲ مدل تولید و توزیع چند هدفه‌ای ارائه دادند که در آن پاسخگویی و سرویس‌دهی به مشتریان در نظر گرفته شده و برای حل آن روش محدودیت آپسیلون بکار رفته است (Liu & Papageorgiou, ۲۰۱۳). فهیم‌نیا و همکاران مدل تولید و توزیعی با در نظر گرفتن مواردی همچون چنددوره‌ای، چندمحصولی و چندتسهیلی بودن ارائه دادند که با استفاده از الگوریتم ژنتیک به دنبال برنامه‌ریزی همزمان تولید و توزیع در زنجیره‌تأمین است (Fahimnia et al., ۲۰۱۲). جعفری و همکاران (Jafari et al., ۲۰۱۳) مسئله طراحی یکپارچه سیستم‌های تولید و توزیع با توجه به سطوح تصمیم‌گیری استراتژیک در زنجیره‌تأمین را توسعه دادند. هدف از اجرای این مدل مینیمم‌سازی تمام هزینه‌ها شامل تولید، مکانیابی، حمل و نقل و نگهداری موجودی است. فریو^۳ و واسیک^۴ (Ferrio & Wassick, ۲۰۰۸) شبکه‌ی عرضه مواد شیمیایی چندمحصولی شامل مراکز تولید، توزیع و مشتریان را در نظر گرفتند. این مسئله به عنوان یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای طراحی مجدد و بهینه‌سازی شبکه فرمول بندی شده و با استفاده از نرم‌افزار گمز^۵ حل شده است. تازکایا^۶ و اونوت^۷ (Tuzkaya & Önüt, ۲۰۰۹) مدل یکپارچه‌ای به منظور تعیین بهترین استراتژی توزیع محصولات بین تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و انبارها ارائه دادند. هدف از این مدل کمینه‌سازی هزینه‌های کل موجودی انبارها و تولیدکنندگان و همچنین هزینه‌ی جریمه تأمین‌کنندگان، انبارها و تولیدکنندگان می‌باشد.

سبری^۸ و بیمن^۹ با در نظر گرفتن ویژگی‌هایی همچون چندمحصولی، چندهدفه با تقاضای غیرقطعی و شامل چند ماده اولیه، به بررسی یک شبکه زنجیره تأمین شامل تأمین‌کنندگان،

-
1. Liu
 2. Papageorgiou
 3. Ferrio
 4. Wassick
 5. GAMS
 6. Tuzkaya
 7. Önüt
 8. Sabri
 9. Beamon

کارخانجات، مراکز توزیع و نواحی تقاضا پرداخته‌اند (Sabri & Beamon, ۲۰۰۰). پترسون^۱ و آمان^۲ یک مدل یکپارچه تولید - توزیع از نوع احتمالی ارائه دادند که تابع هدف آن هزینه‌های ناشی از تولید و توزیع را حداقل می‌نماید و محدودیت‌ها نیز مربوط به تقاضا و ظرفیت مراکز است (Patterson & Amann, ۲۰۰۰). جامروز^۳ و همکاران با در نظر گرفتن عدم قطعیت در تقاضا، یک مدل چند سطحی تولید و توزیع ارائه کردند. آنها از روش الگوریتم ژنتیک برای مینیمم‌سازی هزینه‌های توزیع و موجودی استفاده کردند (Jamrus et al., ۲۰۱۵). همچنین یک مدل چندهدفه با رویکرد عدم قطعیت با هدف پیدا کردن مکان بهینه مراکز توزیع (انبارها) و همچنین مینیمم‌سازی بیشترین زمان سفر بین تسهیلات با استفاده از روش حل متاهیوریستیک توسط کاردونا^۴ و همکاران ارائه شده است (Cardona-Valdés et al., ۲۰۱۴).

جبارزاده و همکاران با توسعه یک مدل ریاضی فازی در زنجیره تامین نفت خام با توجه به تجهیزات و منابع مالی محدود، ساختار بهینه یک سیستم تولید و مکانیابی را ارائه نمودند. مدل چند دوره‌ای آنها در دو سطح استراتژیک (مکانیابی تسهیلات) و تاکتیکی (برنامه‌ریزی تولید) مطرح شده است و تابع هدف آن از نوع بیشینه‌سازی ارزش خالص فعلی در طول افق برنامه‌ریزی است (Jabbarzadeh et al., ۲۰۱۶). امرانی و همکاران با مدل‌سازی برنامه‌ریزی عدد صحیح به ارائه شبکه تولید و توزیع چندمحصولی با پیکربندی تسهیلات پرداختند (Amrani et al., ۲۰۱۱). یو^۵ و همکاران (Yu et al., ۲۰۱۵) یک مدل یکپارچه مکانیابی - تولید - توزیع از نوع برنامه‌ریزی مختلط صفر و یک ارائه نمودند. تابع هدف این مدل به دنبال کمینه کردن هزینه‌های کل زنجیره می‌باشد، که شامل هزینه ثابت استقرار، هزینه متغیر تولید و توزیع، هزینه حمل و نقل مواد اولیه از فروشندگان به مراکز تولید و نهایتاً حمل و نقل

-
1. Patterson
 2. Amann
 3. Jamruz
 4. Cardona
 5. Yu

محصولات نهایی به مشتریان از طریق مراکز توزیع است. این مدل علاوه بر حل مسئله تولید، به جایی کارخانه‌ها و مراکز توزیع با در نظر گرفتن محدودیت‌های ظرفیت می‌پردازد. علاوه بر این، برخی محققین در مطالعات خود عوامل زیست محیطی را به عنوان عاملی تاثیرگذار بر زنجیره تامین در نظر گرفته‌اند. به عنوان مثال، معماری و همکاران (Memari, Rahim, & Ahmad, ۲۰۱۵) یک مدل ریاضی چند هدفه در یک شبکه زنجیره تامین سبز متشکل از تولیدکنندگان، مراکز توزیع و فروشندگان ارائه کردند. هدف از ارائه این مدل، کمینه سازی هزینه‌های زنجیره و انتشار گاز دی اکسید کربن^۱ در یک کارخانه تولید خودرو است.

در جدول ۱ خلاصه‌ای از مهمترین مطالعات حوزه تولید - توزیع ارائه شده است. با مطالعه مدل‌های موجود در ادبیات درمی‌یابیم که تحقیقات اندکی در حوزه ی یکپارچگی زنجیره تامین با در نظر گرفتن همزمان مکانیابی - تولید - توزیع صورت گرفته است. همچنین، مدل‌های یکپارچه ارائه شده در ادبیات، عمدتاً متمرکز بر معیارهای اقتصادی شامل کمینه‌سازی هزینه‌ها و یا بیشینه‌سازی سود زنجیره بوده و الزامات زیست محیطی در اتخاذ تصمیمات مرتبط با بهینه‌سازی سیستم‌های یکپارچه مورد توجه قرار نگرفته است. علاوه بر این، در تحقیقات پیشین نقش سطح سرویس‌دهی به مشتریان، علیرغم اهمیت آن در برنامه‌ریزی‌های یکپارچه زنجیره تامین لحاظ نشده است. با در نظر گرفتن موارد فوق، در مقاله حاضر مدلی برای برنامه‌ریزی یکپارچه با هدف انتخاب بهترین مکان برای تسهیلات سیستم‌های تولید - توزیع با در نظر گرفتن سطح سرویس‌دهی به مشتریان و نیز ملاحظات زنجیره تامین سبز ارائه می‌شود.

جدول ۱. خلاصه مهمترین مدل‌های مرتبط موجود در ادبیات

تابع هدف	ویژگی‌های مدل						مراجع
	سطح سرویس‌دهی	مکان‌یابی	تقاضا	چند دوره ای	چند محصولی	رویکرد سبز	
کمینه‌سازی هزینه‌های تولید، موجودی، حمل و نقل و کمبود	x	x	قطعی	✓	✓	x	<i>Fahimnia et al., 2012</i>
کمینه‌سازی هزینه‌های تولید، مکانیابی، حمل و نقل و موجودی	x	✓	قطعی	✓	x	x	<i>Kumar & (Tiwari, 2013)</i>
کمینه‌سازی هزینه‌های تولید، مکانیابی، موجودی، توزیع	x	✓	فازی	✓	x	x	<i>Jafari et al., (2013)</i>
کمینه‌سازی هزینه‌های حمل و نقل، مکانیابی	x	✓	فازی	x	x	x	<i>Jamrus et al., (2015)</i>
بیشینه‌سازی نرخ بازگشت سرمایه بر اساس مدل MIP	x	✓	قطعی	✓	x	x	<i>Marchetti et al., 2014</i>
کمینه‌سازی هزینه‌های تولید، توزیع و مکانیابی	x	✓	قطعی	✓	✓	x	<i>Yu et al., (2015)</i>
کمینه‌سازی هزینه‌های تولید، توزیع و مکانیابی	x	✓	قطعی	✓	✓	x	<i>Pasandideh,) Niaki, & (Asadi, 2015</i>
کمینه‌سازی هزینه‌های تولید، توزیع و مکانیابی و کمینه‌سازی میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن	✓	✓	فازی	✓	✓	✓	مدل پیشنهادی

اعداد فازی Z

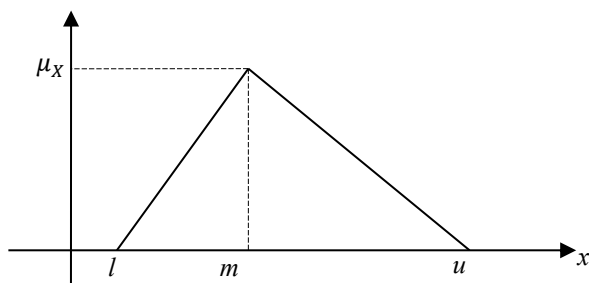
زاده (Zadeh, ۲۰۱۱) یک فرضیه در قالب اعداد Z^1 معرفی کرد که می‌توانست ارایه اطلاعات توسط کارشناسان را در قالب متغیرهای بیانی دربربگیرد. این اعداد شامل جفتی از اعداد فازی در قالب یک عدد تصمیم‌گیری ارائه شده توسط یک کارشناس بود. عدد اول مربوط به محدودیت فازی بود که متغیر مد نظر می‌توانست اتخاذ کند و عدد دوم قابلیت

1. Z-number

اطمینان مربوط به عدد اول بود. ارائه این اعداد توسط زاده، باعث تعریف سطح سه اعداد فازی توسط ایشان شد.

با معرفی اعداد Z توسط زاده (Zadeh, ۲۰۱۱)، برخی محققان تلاش کردند که محاسبات آنها را تکمیل کنند. محاسبات با اعداد Z تعمیم یافته محاسبات با اعداد می باشد. محاسبات اعداد و بازه ها به عنوان محاسبات سطح یک، محاسبات با اعداد فازی به عنوان محاسبات سطح دو و محاسبات با اعداد Z به عنوان محاسبات سطح سه شناخته می شوند. همین سطح بالای محاسبات با اعداد Z باعث می شود که بتوان مدل های واقعی را با آنها پیاده سازی نمود. بنابراین این اعداد می توانند در مسایلی همچون مسایل اقتصادی، آنالیز تصمیم گیری و دیگر مسایل کاربردی به کار بسته شوند.

اعداد Z در اصل برای اشاره به قابلیت اطمینان اطلاعات شکل گرفته است و شامل زوجی به شکل $Z=(A,B)$ می باشند. A شامل مجموعه فازی دامنه عبارات متغیر X و B قابلیت اطمینان و قطعیت در مورد انتخاب A می باشد. معمولاً کارشناسان در ارائه مقادیر B از متغیرهای زبانی استفاده می کنند. مجموعه A بیان کننده محدودیت فازی در رابطه با مقادیری است که X می تواند اختیار کند و می تواند به صورت اعداد فازی مثلثی بیان شود (شکل ۱).



شکل ۱. تابع عضویت مثلثی (l,m,u)

رای مثال یک زوجی از اعداد فازی برای \tilde{z} به شکل زیر می‌باشد:
 c) دارای تابع عضویت مثلثی و $f)$ نیز دارای تابع عضویت مثلثی می‌باشد. از این رو، با توجه به مقاله آزاده و همکاران (Azadeh et al., ۲۰۱۶)، مقادیر B به وسیله روش مرکز جرمی^۱ فازی زدایی^۲ می‌شود و مقدار قطعی قابلیت اطمینان یعنی ω_N بدست می‌آید. این مقدار به زوج اول یعنی A اضافه می‌شود. سپس با استفاده از معادلات زیر عدد Z به صورت $(a_{N'}, b_{N'}, c_{N'})$ بیان می‌شود.

$$\omega = \frac{d+e+f}{3} \quad (1)$$

$$b_{N'} = b \quad (2)$$

$$a_{N'} = \frac{\omega_N b - b + a}{\omega_N} \quad (3)$$

$$c_{N'} = \frac{\omega_N b - b + c}{\omega_N} \quad (4)$$

حال با استفاده از روش مرکز جرم مقادیر \tilde{z} را فازی زدایی می‌کنیم و در مدل‌سازی استفاده می‌کنیم. جدول ۲ متغیرهای زبانی مربوط به قابلیت اطمینان (B) را نشان می‌دهد. خاصیت اعداد فازی Z که متغیرهای فازی سطح سه و ترکیبی از دو متغیر فازی و قابلیت اطمینان برای متغیرهای فازی می‌باشد، ما را بر آن داشت تا مدل ریاضی یکپارچه مکانیابی-تولید-توزیع با استفاده از اعداد Z ارائه کنیم تا توانایی پوشش قابلیت اطمینان داده‌های تصمیم‌گیری را داشته باشد.

جدول ۲. متغیرهای زبانی و توابع مثلثی فازی مربوط به آن

متغیرهای زبانی	تابع عضویت فازی
مطمئناً (S)	(۱, ۱, ۰, ۸)
معمولاً (U)	(۰, ۸۵, ۰, ۷۵, ۰, ۶۵)
احتمالاً (L)	(۰, ۷, ۰, ۶, ۰, ۵)

1. Center-of-gravity
2. Defuzzification

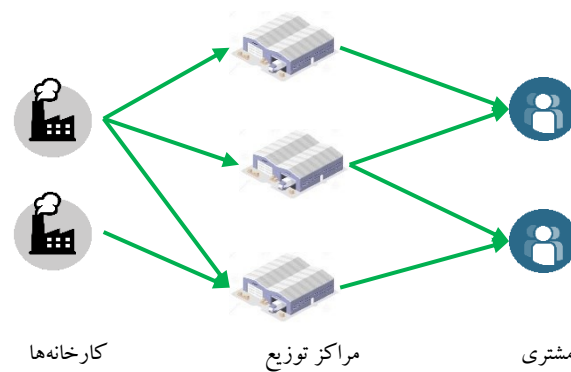
بیان مسئله

زنجیره تامین مورد مطالعه، دربرگیرنده‌ی سه سطح شامل کارخانه‌ها، مراکز توزیع و مشتریان نهایی می‌باشد. تصمیمات برای چندین محصول و در طی چندین دوره زمانی در نظر گرفته می‌شود. در این زنجیره، محصولات مختلفی توسط کارخانه‌ها با ظرفیت معین و در صورت تولید در دوره مربوطه تولید شده و برای توزیع کنندگان فرستاده می‌شود و در نهایت، این محصولات با توجه به تقاضا و اولویت مشتریان به دست آنان می‌رسد. لازم به ذکر است که ارسال محصولات از کارخانه‌ای به کارخانه دیگر و از توزیع کننده‌ای به توزیع کننده دیگر وجود ندارد. از سوی دیگر، خبرگان بر اساس میزان وفاداری مشتریان، میزان سطح سرویس‌دهی آنان را مشخص می‌کنند. همچنین، هر تولیدکننده می‌تواند محصولات مختلفی را بسازد و حتی می‌تواند تمامی محصولات را نیز تولید کند. بخشی از محصولات وارد شده در مراکز در هر دوره زمانی در همان دوره از مرکز مربوطه خارج می‌شود. ساختار زنجیره تامین مورد مطالعه در شکل (۲) نشان داده شده است.

هدف این مسئله برنامه‌ریزی یکپارچه مکانیابی - تولید - توزیع در یک زنجیره تامین سه سطحی با هدف کمینه‌سازی کل هزینه‌های زنجیره و به حداقل رساندن هزینه‌های موجود برای انبارهای توزیع در سطح توزیع کننده است. همچنین، با توجه به اتخاذ رویکرد زنجیره تامین سبز، کمینه‌سازی میزان دی اکسید کربن منتشر شده در فرآیند تولید و توزیع محصولات در قالب دومین تابع هدف مورد توجه قرار می‌گیرد.

بکارگیری مدل فوق علاوه بر کاهش هزینه‌های زنجیره تامین، موجبات رضایتمندی هر چه بیشتر مشتریان را از طریق ایجاد ارزش برای آنان فراهم می‌آورد و لذا با تکیه بر آن می‌توان به توسعه صنعتی و اقتصادی لازم دست یافت. همچنین، این مدل با کاهش انتشار گاز دی اکسید کربن به حفظ طبیعت و محیط زیست کمک می‌کنند.

در ادامه، پارامترها، متغیرهای تصمیم، توابع هدف و محدودیت‌های مدل با ذکر جزئیات ارائه می‌شوند.



شکل ۲. شبکه زنجیره تأمین مورد مطالعه

مجموعه‌ها و پارامترها

مجموعه کارخانه‌های تولیدی ($m = 1, 2, \dots, M$)	m
مجموعه مراکز توزیع ($j = 1, 2, \dots, J$)	j
مجموعه مشتریان نهایی ($i = 1, 2, \dots, I$)	i
مجموعه محصولات ($p = 1, 2, \dots, P$)	p
مجموعه دوره‌های زمانی ($t = 1, 2, \dots, T$)	t
هزینه تولید محصول p توسط کارخانه m در دوره t	C_{mt}^p
هزینه حمل و نقل محصول p از کارخانه m به مرکز توزیع j در دوره t	Cd_{jmt}^p
هزینه حمل و نقل محصول p از مرکز توزیع j به مشتری i در دوره t	Cd_{ijt}^p
هزینه آماده‌سازی تولید محصول p توسط کارخانه m در دوره t	CA_{mt}^p
هزینه نگهداری موجودی محصول p توسط مرکز توزیع j در دوره t	H_{jt}^p
هزینه نگهداری موجودی محصول p توسط کارخانه m در دوره t	H_{mt}^p
هزینه کمبود محصول p در تامین تقاضای مشتری i در دوره t	CS_{it}^p
هزینه ثابت احداث مراکز توزیع	F_j

مسافت بین کارخانه m تا مرکز توزیع j	DD_{jm}
مسافت بین مرکز توزیع j تا مشتری i	DD_{ij}
زمان تولید مورد نیاز توسط کارخانه m برای تولید یک واحد از محصول p در هر دوره (ساعت / واحد)	PT_m^p
زمان آماده‌سازی تولید محصول p توسط کارخانه m در دوره t	A_m^p
نرخ انتشار گاز دی اکسید کربن برای تولید یک واحد محصول در کارخانه m برای محصول p	Ra_m^p
نرخ انتشار گاز دی اکسید کربن برای ارسال یک واحد محصول از کارخانه m به مرکز توزیع j	RT_{jm}
نرخ انتشار گاز دی اکسید کربن برای ارسال یک واحد محصول از مرکز توزیع j به مشتری i	RT_{ij}
کل زمان تولید در دسترس برای کارخانه m در دوره t	Tp_m^t
کل ظرفیت ذخیره‌سازی در دسترس در مرکز توزیع j برای ذخیره محصولات در هر دوره (m^3)	$Tsca_j$
کل ظرفیت ذخیره‌سازی در دسترس برای کارخانه m برای ذخیره محصولات در هر دوره (m^3)	$Tsca_m$
کل ظرفیت حمل و نقل در دسترس برای کارخانه m برای اعزام محصول p در هر دوره (m^3)	$Ttca_m^p$
حداقل ظرفیت تولید کارخانه m برای تولید محصول p در دوره t	Cal_{mp}^t
حداکثر ظرفیت تولید کارخانه m برای تولید محصول p در دوره t	Cau_{mp}^t
تقاضای اعزام محصول p توسط مشتری i در دوره t	\tilde{I}
سطح سرویس با در نظر گرفتن اولویت مشتری i در دوره t	λ_i^t
حجم یک واحد از محصول p (m^3)	V_p

متغیرهای تصمیم

۱، اگر محصول p توسط کارخانه m در دوره t تولید شود و در غیر اینصورت صفر	Z_{mt}^p
۱، اگر مرکز توزیع j احداث شود و در غیر اینصورت صفر	Y_j
مقدار تولید محصول p توسط کارخانه m در دوره t	Q_{mt}^p

مقدار ارسال محصول p از کارخانه m به مرکز توزیع j در دوره t	U_{jmt}^p
مقدار ارسال محصول p مرکز توزیع j به مشتری i در دوره t	X_{ijt}^p
مقدار کمبود محصول p برای تقاضای مشتری i در دوره t	S_{it}^p
موجودی محصول p در کارخانه m در پایان دوره t	I_{mt}^p
موجودی محصول p در مرکز توزیع j در پایان دوره t	I_{jt}^p

توابع هدف و محدودیت‌ها

در این بخش مدل پیشنهادی مکانیابی - تولید - توزیع در زنجیره تامین سبز به شرح ذیل ارائه می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z_1 = & \sum_m \sum_t \sum_p H_{mt}^p \times I_{mt}^p + \sum_j \sum_t \sum_p H_{jt}^p \times I_{jt}^p + \sum_m \sum_t \sum_p C_{mt}^p \times Q_{mt}^p \\ & + \sum_i \sum_t \sum_p CS_{it}^p \times S_{it}^p + \sum_m \sum_t \sum_p CA_{mt}^p \times Z_{mt}^p + \sum_j F_j \times Y_j \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & + \sum_t \sum_m \sum_p \sum_j Cd_{jmt}^p \times DD_{jm}^t \times U_{jmt}^p + \sum_t \sum_i \sum_p \sum_j Cd_{ijt}^p \times DD_{ij}^t \times X_{ijt}^p \\ \text{Min } Z_2 = & \sum_m \sum_t \sum_p Ra_m^p \times Q_{mt}^p + \sum_t \sum_m \sum_p \sum_j RT_m^p \times U_{jmt}^p + \sum_t \sum_i \sum_p \sum_j RT_j^p \times X_{ijt}^p \end{aligned} \quad (6)$$

$$\sum_{p=1}^P PT_m^p \cdot Q_{mt}^p + \sum_{p=1}^P A_m^p \cdot Z_{mt}^p \leq TP_m^t \quad \forall m, t \quad (7)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M V_p \cdot U_{jmt}^p \leq Tsca_j \cdot Y_j \quad \forall j, t \quad (8)$$

$$\sum_{p=1}^P V_p \cdot I_{jt}^p \leq Tsca_j \cdot Y_j \quad \forall j, t \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^J U_{jmt}^p \leq Ttca_m^p \cdot Z_{mt}^p \quad \forall p, t, m \quad (10)$$

$$\sum_{p=1}^P V_p \cdot Q_{mt}^k \leq Tsca_m \quad \forall m, t \quad (11)$$

$$\sum_{p=1}^P V_p \cdot I_{mt}^k \leq Tsca_m \quad \forall m, t \quad (12)$$

$$Cal_{mp}^t \cdot Z_{mt}^p \leq Q_{mt}^k \leq Cau_{mp}^t \cdot Z_{mt}^p \quad \forall p, t, m \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^J X_{ijt}^p \leq D_{it}^p \quad \forall i, t, p \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^J X_{ijt}^p \geq \sum_{j=1}^J \lambda_{ji}^t \cdot D_{it}^p \quad \forall i, t, p \quad (15)$$

$$I_{jt}^p = I_{jt-1}^p + \sum_{m=1}^M U_{jmt}^p - \sum_{i=1}^I X_{ijt}^p \quad \forall j, t, p \quad (16)$$

$$I_{mt}^p = I_{mt-1}^p + Q_{mt}^k - \sum_{j=1}^J U_{jmt}^p \quad \forall m, t, p \quad (17)$$

$$S_{it}^p = S_{it-1}^p + D_{it}^p - \sum_{j=1}^J X_{ijt}^p \quad \forall i, t, p \quad (18)$$

$$Y_j, Z_{mt}^p \in \{0, 1\} \quad (19)$$

$$Q_{mt}^p, I_{mt}^p, I_{jt}^p, S_{it}^p, X_{ijt}^p, U_{jmt}^p \geq 0 ; \quad \forall m, j, i, p, t \quad (20)$$

تابع هدف رابطه (۵) کل هزینه‌های زنجیره، شامل هزینه‌های تولید و آماده‌سازی، هزینه نگهداری موجودی محصول، هزینه حمل و نقل محصولات، هزینه احداث مراکز توزیع و هزینه کمبود را کمینه می‌کند. تابع هدف (۶) با توجه به اتخاذ رویکرد سبز در زنجیره تامین، مربوط به کمینه سازی انتشار گاز دی اکسید کربن در فرآیندهای تولید و توزیع است. محدودیت (۷) نشان دهنده زمان در دسترس برای تولید محصولات می‌باشد. محدودیت‌های (۸) و (۹) به ترتیب ظرفیت ذخیره‌سازی هر واحد محصول را در مراکز توزیع در دوره مربوطه بر اساس مقدار ارسالی و موجودی نشان می‌دهند. محدودیت (۱۰) ظرفیت کلی حمل و نقل بر اساس مقدار محصول فرستاده شده از کارخانه به مراکز توزیع را نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۱۱) و (۱۲) مربوط به محدودیت ظرفیت در دسترس کارخانه بر اساس مقدار محصول تولیدی و موجودی محصول p می‌باشند. محدودیت (۱۳) ظرفیت تولیدی کارخانه را نشان می‌دهد. محدودیت (۱۴) بیانگر محدودیت تقاضای محصول p برای مشتری i در دوره t است. محدودیت (۱۵) میزان سرویس دهی به هر مشتری را که بر اساس نظرات خبرگان و

میزان وفاداری مشتریان تعیین شده است نشان می‌دهد. محدودیت (۱۶) بیان می‌کند که موجودی هر واحد محصول p در مرکز توزیع Z در دوره t برابر با موجودی محصول در انتهای دوره قبل به اضافه مقدار محصول فرستاده شده از کارخانه به مرکز توزیع در آن دوره پس از کسر مقادیر فرستاده شده از مرکز توزیع Z به تمامی مشتریان در دوره مربوطه می‌باشد. به همین ترتیب، مطابق محدودیت (۱۷) موجودی هر واحد محصول p در کارخانه m در دوره t برابر با موجودی محصول در پایان دوره قبل به اضافه مقدار محصول تولید شده در آن دوره منهای مقادیر ارسال شده به مرکز توزیع Z در دوره مربوطه می‌باشد. محدودیت (۱۸) بیانگر آن است که میزان کمبود هر واحد محصول p در دوره t برای مشتری i برابر با میزان کمبود در دوره قبل به اضافه مقدار تقاضا در آن دوره منهای مقادیر ارسال شده از مرکز توزیع Z به تمامی مشتریان در دوره مربوطه می‌باشد. محدودیت (۱۹) مربوط به متغیرهای صفر و یک می‌باشد و محدودیت (۲۰) بیانگر متغیرهای غیرمنفی مسئله است.

روش حل

در راستای حل مدل پیشنهادی لازم است تا در ابتدا مدل چند هدفه را با رویکردهای ارائه شده تک هدفه کرده و سپس مدل نهایی را با استفاده از نرم افزار گمز حل نماییم. لذا در این مقاله، به منظور دستیابی به هدف مذکور از روش مجموع وزنی (Azadnia et al., ۲۰۱۵) استفاده شده است. از اینرو، روش نامبرده در ادامه توضیح داده خواهند شد.

فرض می‌کنیم مدل چند هدفه‌ای بصورت زیر داریم:

$$\text{Max}_{x \in X} (f_1(x), \dots, f_n(x)) \quad (21)$$

که در آن X ناحیه شدنی می‌باشد. این مدل چندهدفه با تک هدفه کردن مسئله بصورت زیر قابل حل است.

$$\text{Max}_{x \in X} \sum_{i=1} w_i \cdot f_i \quad (22)$$

از این رو، ابتدا هر یک از توابع به صورت جداگانه در نظر گرفته می‌شود و بدترین و بهترین جواب ایده‌آل هر هدف بدست می‌آید. سپس، با استفاده از رابطه (۲۳) توابع هدف نرمالایز می‌شود.

$$f'_i = \begin{cases} \frac{Nis_{f_i} - f_i}{Nis_{f_i} - Pis_{f_i}} & \text{for min} \\ \frac{f_i - Nis_{f_i}}{Pis_{f_i} - Nis_{f_i}} & \text{for max} \end{cases} \quad (23)$$

f'_i مقدار نرمالایز شده تابع هدف f_i می‌باشد. Nis_{f_i} جواب ایده‌آل منفی و Pis_{f_i} جواب ایده‌آل مثبت تابع هدف f_i است. سپس، وزن w_i (براساس نظر خبرگان) به هر یک از توابع نرمالایز شده تخصیص داده می‌شود. در نهایت، مدل به یک تابع هدف به صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$Max(f) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot f'_i \quad (24)$$

مطالعه موردی

به منظور ارزیابی مدل پیشنهادی، یک مطالعه‌ی موردی در یک شرکت باتری‌سازی انجام شده است. شرکت باتری‌سازی آلفا تولیدکننده انواع باتری در ایران است که با بهره‌گیری از فناوری روز دنیا و با بکارگیری متخصصین و مهندسين مجرب، هم اکنون به عنوان یکی از موفق‌ترین شرکت‌های پیشتاز در صنعت باتری‌سازی، فعالیت می‌نماید و از آن می‌توان به عنوان یکی از بزرگترین و معتبرترین شرکت‌های تولیدکننده باتری نام برد.

موضوع فعالیت شرکت عبارت است از تهیه و تولید انواع باتری خودروی سواری، موتورسیکلت و ماشین‌آلات سنگین که برای تولید این محصولات، دارای دو کارخانه مجزا می‌باشد و تقاضای نمایندگی‌های (مشتریان) خود را تامین می‌کند. این مطالعه به بررسی تقاضای نمایندگی‌های شهر تهران می‌پردازد. بدین منظور، در این مطالعه مشتریان منطقه غرب

تهران انتخاب گردید که شامل هشت نمایندگی است. همچنین، با توجه به نظرات کارشناسان امکان احداث سه مرکز توزیع در نظر گرفته شده است که تقاضای هر یک از مشتریان، از این مراکز و با استفاده از وسیله‌ی نقلیه تامین می‌گردد. لازم به ذکر است که عملکرد مدل پیشنهادی در طول دوره‌های ده روزه مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس، مدل پیشنهادی می‌تواند برای بکارگیری در طول دوره‌های بیشتر مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد. همچنین، در این مقاله مقادیر تقاضای مشتری و میزان سرویس‌دهی به صورت \tilde{d}_{ij} و \tilde{c}_{ij} بیان شده است. \tilde{d}_{ij} بیان‌کننده مقادیر فازی مربوط به تقاضای مشتری i ام در دوره t برای محصول p است. مقادیر \tilde{c}_{ij} ، مجموعه فازی از میزان قطعیت در مورد مقادیر \tilde{d}_{ij} می‌باشد. به همین ترتیب، اعداد \tilde{c}_{ij} ، مقادیر فازی مربوط به میزان سرویس‌دهی به مشتری i ام در دوره t است که این مقادیر نیز به شکل تابع عضویت مثلثی فرض می‌شوند. همچنین، مقادیر \tilde{c}_{ij} ، مجموعه فازی از میزان قطعیت در مورد مقادیر \tilde{d}_{ij} می‌باشد. لازم به ذکر است که در این مقاله، مقادیر \tilde{c}_{ij} و \tilde{d}_{ij} در کلاس‌های مختلفی در قالب تابع عضویت فازی مثلثی فرض می‌شوند. جدول ۴ مقادیر پارامترهای تقاضا را که بصورت عدد Z بیان شده‌اند نشان می‌دهد.

جدول ۴. مقادیر \tilde{c}_{ij} در دوره اول بر اساس عدد Z

مشتری	دوره اول		
	محصول ۱	محصول ۲	محصول ۳
مشتری ۱	((۲۰،۱۵،۱۰)،S)	((۳۶،۴۰،۴۵)،L)	((۲۰،۳۰،۴۰)،S)
مشتری ۲	((۲۵،۳۵،۴۰)،U)	((۴۰،۴۲،۴۵)،U)	((۲۰،۲۵،۳۰)،U)
مشتری ۳	((۱۴،۱۵،۱۸)،L)	((۲۳،۲۵،۲۹)،L)	((۱۰،۱۴،۲۰)،U)
مشتری ۴	((۲۰،۱۵،۱۲)،L)	((۲۰،۱۵،۱۵)،S)	((۲۸،۲۴،۲۰)،L)
مشتری ۵	((۳۶،۲۵،۱۴)،L)	((۴۲،۳۸،۲۸)،U)	((۲۷،۲۳،۱۷)،U)
مشتری ۶	((۲۱،۱۸،۱۰)،L)	((۵۰،۳۵،۲۰)،L)	((۳۱،۲۵،۲۱)،S)
مشتری ۷	((۲۷،۱۵،۱۲)،U)	((۲۳،۱۶،۱۱)،U)	((۱۸،۱۴،۸)،S)
مشتری ۸	((۲۹،۲۱،۱۳)،U)	((۲۱،۱۷،۱۴)،S)	((۳۵،۳۰،۲۵)،L)

بر این اساس، برای استفاده از این مقادیر در مدل پیشنهادی از روابط (۱) الی (۴) استفاده می‌کنیم. برای مثال برای پارامتر \tilde{I} داریم:

$$\omega = \frac{1+1+0.8}{3} = 0.93 \quad (25)$$

$$b_{11}' = 15 \quad (26)$$

$$a_{11}' = \frac{0.93(15) - 15 + 10}{0.93} = 9.62 \quad (27)$$

$$c_{11}' = \frac{0.93(15) - 15 + 20}{0.93} = 20.37 \quad (28)$$

از این رو، مقدار (۲۰،۳۷،۱۵،۹،۶۲) به عنوان عددی فازی که قابلیت اطمینان نیز در آن لحاظ شده است معرفی می‌شود. در گام بعدی با استفاده از روش فازی زدایی مرکز جرم، این اعداد را به اعداد قطعی تبدیل نموده و وارد مدل‌سازی می‌کنیم. این محاسبات به طریق مشابه برای پارامتر سرویس‌دهی مشتریان نیز صورت می‌گیرد.

پس از آماده‌سازی داده‌های مسئله، عملکرد شرکت تحت مطالعه براساس مدل پیشنهادی در طول دوره‌های ۱۰ روزه و با استفاده از نرم افزار گمز مورد بررسی قرار گرفت. این نرم افزار سرعت بالایی در حل مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی داشته در واقع می‌توان از گمز به عنوان یکی از بهترین نرم‌افزار حل مسائل بهینه‌سازی نام برد. از گمز برای حل مسائل برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی غیرخطی، برنامه‌ریزی صحیح مختلط، برنامه‌ریزی غیرخطی صحیح مختلط و مسائل مکمل خطی استفاده می‌کنند. این نرم‌افزار یکی از نرم افزارهای حرفه‌ای در حل مسائل بهینه‌سازی ریاضی می‌باشد.

با توجه به توابع هدف و محدودیت‌های اشاره شده در بخش ۴، با یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه مواجهیم. برای حل این مساله، رویکرد توضیح داده شده در بخش ۵ بکار گرفته شده است. در این مرحله بر اساس بدترین و بهترین جواب ایده‌آل توابع هدف (جدول ۳) و جایگذاری این مقادیر در رابطه (۲۳) مقدار f_i' را برحسب تابع هدف اولیه محاسبه می‌کنیم.

جدول ۳. مقادیر بدترین و بهترین جواب ایده‌آل توابع هدف

Z_2	Z_1	
۲۳۴۵۶۹۳۶	۱۹۸۴۵۶۲۳۹	جواب ایده‌آل مثبت (Pis_{f_i})
۲۵۸۹۹۲۵۰	۲۸۷۵۵۴۰۲۰	جواب ایده‌آل منفی (Nis_{f_i})

پس از تک هدفه کردن مدل پیشنهادی و حل آن، یک مکان برای احداث مراکز توزیع انتخاب گردید که این مکان به عنوان تنها مرکز توزیع در منطقه غرب استان تهران می‌باشد که محصولات را از کارخانه‌های تولیدی تحویل می‌گیرد و به مشتریان تحویل می‌دهد. از طرفی، تعیین میزان محصولات تحویل داده شده و محصولات تولید شده از متغیرهای مهم مدل به شمار می‌آیند. مقادیر تقاضا بصورت هفتگی تعیین و سپس میزان سفارش به کارخانه‌ها ارسال می‌شود. پس از دریافت میزان سفارشات، هر یک از کارخانه‌ها با توجه به ویژگی‌های محصولات، به تولید می‌پردازد و سپس محصولات تولید شده توسط وسایل نقلیه‌ی مورد نظر به مراکز توزیع ارسال می‌شود. سپس این محصولات از طریق شبکه توزیع و بر اساس سطح سرویس‌دهی به هر مشتری ارسال می‌گردد. میزان محصول تولیدی در هر کارخانه در دوره‌های مختلف در جدول ۵ نشان داده شده است. جداول ۶ و ۷ به ترتیب میزان مقادیر ارسال شده از هر کارخانه تولیدی به مرکز توزیع و میزان مقادیر محصول تحویل داده شده به هر مشتری از مرکز توزیع Z (در این مسئله به مرکز توزیع ۱) به ازای هر محصول را نشان می‌دهد.

جدول ۵. میزان محصول تولیدی در هر کارخانه در دوره‌های مختلف (Q_{mt}^p)

محصول	T=1		T=2		T=3		T=4		T=5	
	کارخانه ۱	کارخانه ۲	کارخانه ۱	کارخانه ۲	کارخانه ۱	کارخانه ۲	کارخانه ۱	کارخانه ۲	کارخانه ۱	کارخانه ۲
۱	۲۰	۰	۳۰	۰	۲۵	۰	۲۰	۰	۰	۳۰

۲	۳۰	۰	۴۰	۰	۴۰	۵۰	۲۵	۰	۲۷	۲۵
۳	۰	۶۰	۰	۵۰	۰	۶۵	۰	۲۰	۰	۴۰
محصول	T=6		T=7		T=8		T=9		T=10	
۱	۲۰	۱۵	۳۰	۰	۲۵	۰	۴۰	۱۵	۲۵	۲۰
۲	۲۵	۰	۵۵	۰	۳۵	۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۵
۳	۰	۵۵	۰	۴۵	۰	۴۰	۰	۳۰	۰	۳۵

جدول ۶. مقادیر ارسال شده محصول p از کارخانه m به مرکز توزیع ۱ (U_{imt}^p)

محصول ل	T=1		T=2		T=3		T=4		T=5	
	کارخا نه ۱	کارخا نه ۲	کارخا نه ۱	کارخا نه ۲	کارخا نه ۱	کارخا نه ۲	کارخا نه ۱	کارخا نه ۲	کارخا نه ۱	کارخا نه ۲
۱	۲۰	۰	۲۰	۰	۳۰	۰	۴۰	۰	۰	۳۰
۲	۳۰	۰	۵۰	۰	۰	۲۰	۴۵	۰	۰	۲۰
۳	۰	۶۰	۰	۲۰	۰	۳۰	۰	۲۰	۰	۳۵
محصول ل	T=6		T=7		T=8		T=9		T=10	
۱	۱۵	۰	۲۰	۰	۳۵	۰	۲۵	۳۰	۲۵	۰
۲	۲۰	۰	۵۵	۰	۳۵	۰	۰	۲۵	۲۰	۳۰
۳	۰	۴۰	۰	۶۰	۰	۳۰	۰	۲۵	۰	۴۰

جدول ۷. مقادیر ارسال شده محصول p از مرکز توزیع ۱ به مشتری i (X_{it}^p)

مشتری	T=1			T=2			T=3			T=4			T=5		
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃
۱	۱۵	۱۴	۲۱	۲	۳	۷	۲	۲	۳	۲	۱۰	۲	۲	۰	۲
۲	۲۰	۰	۲	۲	۲	۲	۵	۳	۵	۴	۸	۲	۵	۵	۲
۳	۱۰	۱۲	۸	۷	۴	۲	۱۰	۴	۴	۵	۵	۵	۸	۶	۸
۴	۵	۵	۳	۱۲	۰	۱۲	۸	۵	۵	۸	۱۰	۴	۳	۸	۵
۵	۱۰	۹	۵	۵	۵	۸	۱۰	۸	۱۰	۵	۸	۵	۷	۶	۶
۶	۸	۵	۱۰	۲	۵	۸	۵	۱۲	۸	۱۵	۴	۷	۱۰	۰	۱۰
۷	۵	۴	۴	۶	۰	۵	۴	۸	۱۰	۱۲	۸	۱۰	۴	۵	۱۲
۸	۱۲	۵	۱۰	۵	۵	۸	۵	۵	۰	۱۵	۴	۷	۱۰	۵	۰

مشتری	T=6			T=7			T=8			T=9			T=10		
۱	۸	۱۰	۵	۱۵	۹	۱۱	۱۵	۴	۱۸	۳	۹	۰	۸	۶	۵
۲	۱۸	۰	۶	۱۰	۹	۸	۸	۱۲	۱۰	۱۰	۵	۵	۱۲	۹	۱۰
۳	۶	۹	۸	۱۱	۱۰	۶	۶	۹	۰	۶	۴	۱۰	۱۵	۴	۸
۴	۸	۱۱	۱۱	۱۰	۰	۳	۱۱	۱۰	۵	۱۱	۱۲	۴	۱۰	۰	۵
۵	۶	۸	۴	۱۵	۵	۸	۴	۸	۸	۸	۵	۰	۱۱	۱۰	۱۲
۶	۱۲	۵	۶	۳	۱۲	۶	۱۰	۳	۶	۵	۱۰	۱۰	۱۵	۹	۵
۷	۱۵	۹	۱۰	۸	۱۱	۱۸	۶	۱۱	۱۰	۹	۴	۶	۵	۱۸	۴
۸	۰	۱۱	۱۲	۵	۱۱	۱۰	۱۵	۰	۱۱	۱۸	۱۰	۸	۶	۹	۱۵

از طرفی، مقادیر موجودی محصولات در هر کارخانه در دوره‌های مختلف در جدول ۸ نشان داده شده است.

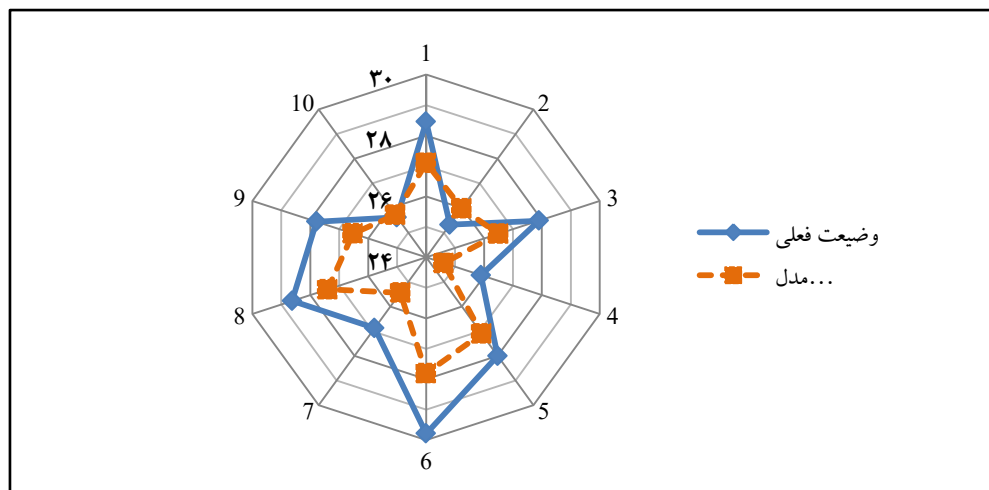
جدول ۸. مقادیر موجودی محصول p در کارخانه m در دوره t (I_{mt}^p)

محصول	T=1		T=2		T=3		T=4		T=5	
	کارخانه ۱	کارخانه ۲	کارخانه ۱	کارخانه ۲	کارخانه ۱	کارخانه ۲	کارخانه ۱	کارخانه ۲	کارخانه ۱	کارخانه ۲
۱	۰	۰	۲۳	۰	۴۰	۰	۵۴	۰	۷۰	۰
۲	۰	۰	۳۱	۰	۶۲	۰	۸۱	۰	۱۰۰	۰
۳	۰	۰	۰	۳۲	۰	۹۱	۰	۱۰۴	۰	۱۳۵
محصول	T=6		T=7		T=8		T=9		T=10	
۱	۸۱	۰	۹۲		۹۸	۰	۱۱۱	۰	۱۲۳	۰
۲	۱۰۹	۰	۱۱۹	۱	۱۳۰	۰	۱۳۴	۰	۱۴۶	۰
۳	۰	۱۴۳	۰	۲	۰	۱۷۲	۰	۱۸۱	۰	۱۹۴

مقایسه نتایج حاصل از مدل با شرایط فعلی شرکت تحت مطالعه

یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها برای بررسی عملکرد مدل پیشنهادی، مقایسه هزینه‌ها در وضعیت کنونی با وضعیتی است که مدل در شرکت مورد مطالعه پیاده‌سازی شود. بر این اساس، با در نظر گرفتن پارامترهایی چون هزینه‌های تولیدی، عملیاتی، هزینه‌های حمل و نقل و همچنین بدست آوردن مقادیر متغیرهایی مانند تعداد محصولات جابجا شده بین تامین‌کنندگان، مراکز

توزیع و مشتریان از طریق اجرای مدل، مقدار تابع هدف که دربرگیرنده هزینه‌های عملیاتی و هزینه‌های حمل و نقل می‌باشد بدست آمده است. از این رو، با استفاده از داده‌های موجود میزان این هزینه‌ها در وضعیت فعلی معادل ۲۷۴۲۷۸۱۸۲ تومان می‌باشد که پس از اجرای مدل مکانیابی - تولید - توزیع پیشنهادی و با احداث مکان بهینه برای توزیع، هزینه‌های تولید و توزیع شرکت به ۲۳۶۷۸۶۴۵۵ تومان می‌رسد که این میزان تقریباً معادل ۱۳٪ بهبود در هزینه‌های شرکت است. در شکل ۳ هزینه بدست آمده از مدل به ازای هر دوره به طور جداگانه با هزینه فعلی شرکت مقایسه شده است.



شکل ۳. مقایسه‌ی هزینه‌های شرکت در وضعیت حاضر با شرایط پس از اجرای مدل

تحلیل حساسیت

مدل دو هدفه پیشنهادی با توجه به رویکرد بیان شده در بخش چهارم به مدل تک هدفه تبدیل می‌شود. به طوریکه با استفاده از وزن تخصیص داده شده به هر تابع هدف (به ازای $w_2 = [0.1, 0.5]$)، مقدار بهینه هر یک بدست می‌آید. نتایج این بررسی بر اساس مقادیر

تولید شده و جریان مواد و بدون در نظر گرفتن هزینه احداث مراکز در جدول ۹ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۹. تغییرات متغیرهای تصمیم و مقادیر توابع هدف براساس تغییرات

وزن تابع هدف دوم	مقدار Z_1	مقدار Z_2	تصمیمات		
			میزان کل تولید	میزان کل جریان مواد	تعداد مراکز توزیع
۰,۱	۲۵۴۱۳۱۲۱۵,۵	۲۶۵۶۰,۸	۱۰۰۱۰۰	۹۲۸۳۰	۱
۰,۲	۲۵۳۱۳۰۷۴۷,۷	۲۸۰۶۴,۰۲	۹۹۰۹۷۵۰	۹۰۴۵۰	۱
۰,۳	۲۵۳۱۳۰۲۹۷۰	۲۸۲۰۰,۵	۹۹۰۲۰۵	۸۹۷۶۰	۱
۰,۴	۲۵۳۱۲۹۸۴۷,۲	۲۸۷۲۵	۹۸۷۵۳۰	۸۹۶۰۰	۱
۰,۵	۲۵۲۱۲۷۶۸۲,۹	۲۹۰۱۰,۸	۹۸۷۴۰	۸۹۰۵۰	۲

همانطور که پیشتر اشاره شد، احداث مراکز توزیع در مکان‌های مناسب همچون وجود یک سیستم حمل و نقل مناسب می‌تواند نقش کلیدی در کارایی زنجیره تامین ایفا کند و به عنوان نقاط واسطی محسوب می‌شوند که کالاها را از تولیدکنندگان به مصرف‌کنندگان می‌رسانند. بر این اساس و با توجه به جدول ۹ می‌توان دریافت با افزایش اهمیت تابع هدف دوم که مربوط به کمینه‌سازی میزان انتشار گاز دی اکسید کربن می‌باشد، مدل پیشنهادی به سمت احداث ۲ مرکز توزیع رفته تا از این طریق میزان جابجایی بین مراکز توزیع و مشتریان را کم کرده و به دنبال آن میزان انتشار گاز دی اکسید کربن را در توزیع محصولات کاهش دهد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

مدل مکانیابی - تولید - توزیع ارائه شده در مقاله حاضر به صورت همزمان به تعیین میزان تولید و مقادیر ارسال شده میان سطوح زنجیره تامین و همچنین تعیین مکان توزیع هر محصول می‌پردازد. همچنین، با توجه به رویکرد سبز که در مدل لحاظ شده است، میزان تولید و حمل و نقل صورت گرفته به گونه‌ای توسط مدل تعیین می‌شود که تابع هدف در بهترین حالت رضایت‌بخش خود باشد. به منظور کاربردپذیری و کارایی مدل پیشنهادی، یک مطالعه موردی در یک شرکت باتری‌سازی انجام شد. با استفاده از رویکرد اعداد فازی Z ، دو پارامتر تقاضا و سطح سرویس مشتریان با توجه به قابلیت اطمینان اعداد تصمیم‌گیری از کارشناسان اخذ

گردید. پس از حل مدل، میزان تولید محصولات و میزان نگهداری موجودی در هر کارخانه مشخص شده است. بعلاوه، نتایج حاصل شده جهت بخش توزیع شامل مقادیر ارسال محصولات برای هر کدام از نمایندگی‌های مجاز در غرب شهر تهران با توجه به سطح سرویس، مقادیر نگهداری موجودی و میزان مجاز مواجهه با کمبود جهت هر کدام از مراکز توزیع تعیین گردید. به منظور مطالعات آتی پیشنهاد می‌گردد که مدل ارائه شده در این تحقیق در اندازه‌ی بزرگ اجرا شود. جهت تحقق این مهم لازم است یک الگوریتم فراابتکاری مناسب مورد استفاده قرار گیرد و یا توسعه داده شود. همچنین، می‌توان مدل را با در نظر گرفتن روش‌های دیگر برخورد با عدم قطعیت مدل‌سازی و حل نمود. علاوه بر این، برای سطح سرویس‌دهی به مشتریان می‌توان با استفاده از رویکردهای تصمیم‌گیری چند معیاره، اولویت هر یک از مشتریان را تعیین کرده و سپس در مدل نهایی بکار برد.

منابع

- Amrani, H., Martel, A., Zufferey, N., & Makeeva, P. (2011). "A variable neighborhood search heuristic for the design of multicommodity production-distribution networks with alternative facility configurations". *OR spectrum*, 33(4), 989-1007.
- Azadeh, A., & Kokabi, R. (2016). "Z-number DEA: A new possibilistic DEA in the context of Z-numbers". *Advanced Engineering Informatics*, 30(3), 604-617.
- Azadnia, A. H., Saman, M. Z. M., & Wong, K. Y. (2015). "Sustainable supplier selection and order lot-sizing: an integrated multi-objective decision-making process". *International Journal of Production Research*, 53(2), 383-408.
- Ballou, R. H. (2007). "Business logistics/supply chain management: planning, organizing, and controlling the supply chain". Pearson Education India.
- Bhutta, K. S., Huq, F., Frazier, G., & Mohamed, Z. (2003). "An integrated location, production, distribution and investment model for a multinational corporation". *International Journal of Production Economics*, 86(3), 201-216.
- Cardona-Valdés, Y., Álvarez, A & Pacheco, J. (2014). "Metaheuristic procedure for a bi-objective supply chain design problem with uncertainty". *Transportation Research Part B: Methodological*, 60, 66-84.
- Chandra, P., & Fisher, M. L. (1994). "Coordination of production and distribution planning". *European Journal of Operational Research*, 72(3), 503-517.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2007). "Supply chain management. Strategy, planning & operation *Das Summa Summarum des Management*". Springer, 265-275.
- Cohen, M. A., & Moon, S. (1991). "An integrated plant loading model with economies of scale and scope". *European Journal of Operational Research*, 50(3), 266-279.

Fahimnia, B., Farahani, R. Z., Marian, R., & Luong, L. (2013). "A review and critique on integrated production–distribution planning models and techniques". *Journal of Manufacturing Systems*, 32(1), 1-19.

Fahimnia, B., Luong, L., & Marian, R. (2012). "Genetic algorithm optimisation of an integrated aggregate production–distribution plan in supply chains". *International Journal of Production Research*, 50(1), 81-96.

Ferrio, J., & Wassick, J. (2008). "Chemical supply chain network optimization". *Computers & Chemical Engineering*, 32(11), 2481-2504.

Giarola, S., Zamboni, A., & Bezzo, F. (2011). "Spatially explicit multi-objective optimisation for design and planning of hybrid first and second generation biorefineries". *Computers & chemical engineering*, 35(9), 1782-1797.

Jabbarzadeh, A., Pishvaei, M., & Papi, A. (2016). "A multi-period fuzzy mathematical programming model for crude oil supply chain network design considering budget and equipment limitations". *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 9, 88-107.

Jafari, A., Chiniforooshan, P., & Zabihi, F. (2013). "A Hybridized Lagrangian Genetic Algorithm for Designing an Integrated Supply Chain Network :A Case Study Approach". *International Journal of Research in Industrial Engineering*, 2(1), 45.

Jamrus, T., Chien, C.-F., Gen, M., & Sethanan, K. (2015). "Multistage production distribution under uncertain demands with integrated discrete particle swarm optimization and extended priority-based hybrid genetic algorithm". *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 14(3), 265-287.

Jamshidi, R., Ghomi, S. F., & Karimi, B. (2012). "Multi-objective green supply chain optimization with a new hybrid memetic algorithm using the Taguchi method". *Scientia Iranica*, 19(6), 1876-1886.

Kazemi, A., Zarandi, M. H. F., & Azizmohammadi, M. (2017). "A hybrid search approach in production-distribution planning problem in supply chain using multi-agent systems". *International Journal of Operational Research*, 28(4), 506-527.

Khalifehzadeh, S., Seifbarghy, M., & Naderi, B. (2017). "Solving a fuzzy multi objective model of a production-distribution system using meta-heuristic based approaches". *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28(1), 95-109.

Kleindorfer, P. R., & Saad, G. H. (2005). "Managing disruption risks in supply chains". *Production and operations management*, 14(1), 53-68.

Kumar, S. K., & Tiwari, M. (2013). "Supply chain system design integrated with risk pooling". *Computers & Industrial Engineering*, 64(2), 580-588.

Lee, Y. H., & Kim, S. H. (2002). "Production-distribution planning in supply chain considering capacity constraints". *Computers & Industrial Engineering*, 43(1), 169-190.

Levi, S., Kaminsky, P., & Levi, E. (2000). "Designing and Managing The Supply Chain: Concepts, Strategies, and Case Studies", Me Graw-Hill, 3.

Liu, S., & Papageorgiou, L. G. (2013). "Multiobjective optimisation of production, distribution and capacity planning of global supply chains in the process industry". *Omega*, 41(2), 369-382.

Marchetti, P. A., Gupta, V., Grossmann, I. E., Cook, L., Valton, P.-M., Singh, T., Li, T. and André, J. (2014). "Simultaneous production and distribution of industrial gas supply-chains". *Computers & Chemical Engineering*, 69, 39-58.

McCann, P. (1993). "The logistics-cost location production problem". *Journal of regional science*, 33(4), 503-516.

Memari, A., Rahim, A. R. A., & Ahmad, R. B. (2015). "An integrated production-distribution planning in green supply chain: a multi-objective evolutionary approach". *Procedia Cirp*, 26, 700-705.

Pasandideh, S. H. R., Niaki, S. T. A., & Asadi, K. (2015). "Bi-objective optimization of a multi-product multi-period three-echelon supply chain problem under uncertain environments: NSGA-II and NPGA". *Information Sciences*, 292, 57-74.

Patterson, J. L., & Amann, K. M. (2000). "Strategic sourcing: a systematic approach to supplier evaluation, selection, and development".