

## ارائه یک مدل چند هدفه برای حل مسأله مکانیابی تسهیلات پایا در طراحی شبکه زنجیره تامین سبز

سپیده کردجزی<sup>۱</sup>، عرفان بابایی تیرکلایی<sup>۲</sup>، ایرج مهدوی<sup>۳\*</sup>

<sup>۱</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، گرایش لجستیک و زنجیره تامین، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابل، ایران

<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابل، ایران

<sup>۳</sup> استاد دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابل، ایران

### چکیده

در این مقاله مسأله مکانیابی چند سطحی، چند دوره ای و چند محصولی در طراحی شبکه زنجیره تامین سبز با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت و قابلیت اطمینان تسهیلات بیان می شود. تسهیلات در ۵ سطح مختلف قرار می گیرند که شامل: تامین کنندگان، مراکز تولید، انبارهای مرکزی، مراکز توزیع و مشتریان بوده و مکانیابی بر روی سه سطح میانی تسهیلات تولید، انبار مرکزی و مراکز توزیع جهت برآوردن کل تقاضای مشتریان نهایی با توجه به محدودیت ظرفیت کارخانه، انبار مرکزی و مراکز توزیع انجام می شود. در این مسأله، ارائه مدل ریاضی چندهدفه بر مبنای (۱) کاهش هزینه های کل زنجیره تامین، (۲) کاهش انتشار آلاینده ها و (۳) افزایش قابلیت اطمینان تسهیلات روش حل برای مسأله بهینه سازی چند هدفه مکانیابی چند سطحی می باشد. جهت تایید اعتبار مدل ریاضی ارائه شده، چندین نمونه تصادفی در ابعاد مختلف ایجاد شده و با استفاده از رویکرد دقیق محدودیت اِپسیلون و توسط نرم افزار GAMS و حل کننده CPLEX حل می شود و مرزهای پارتو تشکیل شده تشریح می شود.

**واژه های کلیدی:** مکانیابی تسهیلات زنجیره تامین، بهینه سازی چند هدفه، محدودیت اِپسیلون، قابلیت اطمینان، شبکه زنجیره تامین سبز.

## ۱- مقدمه

مسئله مکان یابی تسهیلات که با نام Facility Location شناخته می شود، شاخه ای از مسائل تحقیق در عملیات و هندسی محاسباتی می باشد که به دنبال یافتن بهترین مکان برای تسهیلات به طوری که هزینه حمل و نقل را به حداقل برساند، می باشد. در اوایل سال ۱۹۶۰ به دلیل رقابت های جهانی مسئله مکان یابی تسهیلات مورد اهمیت قرار گرفت. مسئله مکان یابی برای تسهیلات علاوه بر یافتن مکان بهینه برای تسهیلات به صورت همزمان به دنبال طراحی بهینه شبکه نیز می باشد. مدل های مکان یابی تسهیلات برای طراحی شبکه های مختلف توزیع به همراه تسهیلاتی که اهمیت خاصی در زنجیره تامین استراتژیک دارند استفاده می شود. تصمیم گیری در خصوص مکان تسهیلات، نقش حساسی در طراحی استراتژیک شبکه های زنجیره تامین بازی می کند، چرا که مکان یابی درست تسهیلات اثرات بسیار زیادی در منافع اقتصادی، ارائه خدمات مناسب و رضایت مشتریان دارد و این تصمیمات تأثیر زیادی بر هزینه و ویژگی عملکردی زنجیره ی تامین می گذارد. در این تصمیم گیری ها ابتدا تعداد و مکان تسهیلات مشخص میشود و سپس تعداد راه های ممکن برای جریان محصول تا مشتری نهایی تعیین می شود. به همین دلیل تحلیل مسائل مکان یابی یکی از مسائل مورد علاقه دانشمندان علوم تحقیق در حوزه عملیات و مدیریت بوده و پیشرفت های قابل توجهی در این زمینه حاصل گردیده است و از جمله مسائل پر کاربرد در طراحی شبکه های زنجیره تامین برای بهبود و کاهش هزینه ها و افزایش توان رقابتی می باشد. در واقع، تصمیمات مکان یابی، انعکاس استراتژی اساسی یک واحد تولیدی برای ساخت و تحویل محصولاتش به بازار است. هدف از بسیاری از مسائل بهینه سازی مکانیابی تسهیلات در شبکه زنجیره تامین کاهش هزینه های کل اعم از هزینه های استقرار، حمل و نقل، نگهداری و ... می باشد، با این حال از آنجا که امروزه حفاظت زیست محیطی باعث نگرانی برای عموم مردم شده، زنجیره تامین سبز به جهت اثرات مثبت آن در طبیعت، به صورت جدی به عنوان راه حلی برای این نگرانی عمومی در نظر گرفته شده است و همچنین توجه چشمگیری یافته است. یک کلید راهبردی بهره وری کلی و سود آوری یک زنجیره تامین این است که شبکه توزیع خودش را برای رسیدن به یک تنوع از اهداف زنجیره تامین برای هزینه پایین و پاسخگویی بالا مورد استفاده قرار دهد. امروزه تهدید اصلی و عمده محیط زیست از طریق ترافیک است که یک طیف وسیعی از آلودگی را از خود ساطع می کنند. اخیراً با توجه به آلودگی زیست محیطی صنایع و سیستم های حمل و نقل، زنجیره تامین سبز مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. برای این دلایل، ما یک زنجیره تامین را با این شرط که؛ مقدار تولید گازهای خطرناک باید حداقل شود، ایجاد کردیم. با توجه به اینکه تصمیم گیری در مورد مکان یابی تسهیلات عمدتاً از تصمیم گیری های بلند مدت و استراتژیک شرکت های بزرگ می باشد، به دلیل هزینه های بالای آن بایستی قابلیت اطمینان در شرایط مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد، قابلیت اطمینان در مکان یابی تسهیلات امر بسیار مهمی است که باید در هنگام اخذ تصمیمات استراتژیک آن را مد نظر قرار داد تا در هنگام عدم کارکرد یا خرابی یکی از اجزاء سیستم با کمترین زبانی به کارکرد خود ادامه دهد. هدف از تعریف و انجام این مقاله، ارائه مدل ریاضی و روش حل برای مسئله بهینه سازی چند هدفه مکان یابی در طراحی بهینه شبکه های زنجیره تامین سبز و بر پایه قابلیت اطمینان است. مسئله مطرح شده در این پژوهش مکان یابی تسهیلات چند سطحی با مینیمم کردن هزینه های موجود در طراحی شبکه زنجیره تامین با در نظر گرفتن اثرات زیست محیطی در پی یافتن تسهیلات مناسب جهت تاسیس و برآوردن میزان تقاضای هر سطح می باشد، به گونه ای که قابلیت اطمینان جهت انجام درست ماموریت توسط سیستم در نظر گرفته شده باشد.

## ۲- ادبیات تحقیق

یکی از دسته بندی های اصلی مدل ها و مسائل مکان یابی گسسته بودن و یا پیوسته بودن مسائل است. در این گزارش تمرکز ما بر روی مدل های گسسته است تا بتوانیم به طور مطلوب تری ارتباط میان مکان یابی تسهیلات و طراحی زنجیره ی تامین را بررسی نماییم. در یک مساله ی مکان یابی تسهیلات گسسته، انتخاب مکان های استقرار تسهیلات، منحصر به گزینه هایی

محدود است. در این مقاله به مساله ی مکان یابی تسهیلات با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت (CFLP)<sup>۱</sup> پرداخته ایم. از مرور ادبیات مدل های اصلی در مکان یابی تسهیلات گسسته می توان نتیجه گرفت که مدل های اصلی و پایه ای گسترش و بسط یافتند، بدون اینکه در آنها صحبتی از مدیریت زنجیره ی تامین شود و از لحاظ تاریخی، محققان بدون نگاه جامع به کلیت زنجیره ی تامین، کمی زودتر به طراحی سیستم های توزیع پرداخته اند، اما بعداً محققان دریافتند که رویکرد این مدل ها تطابق و هماهنگی بالایی با مفهوم مدیریت زنجیره ی تامین دارد. شایان ذکر است که بیشتر مطالعات در زمینه ی مسائل مکان یابی تسهیلات سیستم های تک سطحی انجام شده اند؛ بنابراین استفاده از شبکه های چند سطحی در مدیریت زنجیره تامین امری ضروری است. پژوهش های مرتبط با طراحی شبکه زنجیره تامین در سه حوزه: (۱) مکان یابی- تخصیص، (۲) موجودی- مکان یابی و (۳) تولید- توزیع مدل شده اند که در این مسئله به بررسی مدل های مکان یابی- تخصیص در حوزه مکان یابی تسهیلات پرداخته می شود. در مدل های سنتی مکان یابی تسهیلات، فقط بر روی هزینه های لجستیک تاکید و سطح خدمت نادیده گرفته می شد. برای این که سطح خدمت مشتری هم مد نظر قرار بگیرد مدل مکان یابی تسهیلات لجستیکی بر اساس قابلیت اطمینان ارائه شده است. هدف نهایی مکان یابی تسهیلات به گونه ای است که علاوه بر کاهش هزینه ها منجر به قابلیت اطمینان مناسبی شود. مدل مکان یابی تسهیلات لجستیکی بر اساس قابلیت اطمینان در زنجیره ی تامین توسط تانگ ژی فنگ<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۸) ارائه شده است. مدل قصد دارد تا علاوه بر مشخص کردن مکان تسهیلات، الگوی حمل و نقل میان تسهیلات و مشتریان (تخصیص مشتری به تسهیل) را بیابد. سکن پارک<sup>۳</sup> و همکارانش در سال ۲۰۱۰ در مقاله ای به بررسی یک شبکه ی تک منبعی سه سطحی می پردازند که از تامین کننده، مراکز توزیع و خرده فروش ها تشکیل شده و در آن سطح اطمینان و ریسک در نظر گرفته شده است و مدت زمان انتظار ثابت می باشد. در بسیاری از طرح های توسعه یافته برای شبکه SC، مدل تک هدفه جهت کاهش هزینه ها و یا افزایش سود وجود دارد. به این ترتیب، برخی از محققان در زمینه بهینه سازی به صورت همزمان با بیش از یک هدف از جمله به حداکثر رساندن سطح خدمت دهی به مشتریان و به حداقل رساندن هزینه های کل مربوطه شروع به کار کردند. جلالی<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۵) یک مسئله مکان یابی تسهیلات تحت شرایط قابل اطمینان دو هدفه با سطوح ظرفیت های متعدد در مدیریت زنجیره تامین سه سطحی از جمله کارخانه ها، مراکز توزیع و مشتریان که در آن مراکز توزیع دارای عدم اطمینان و در معرض خرابی احتمالی با توزیع مشخص هستند، توسعه دادند. پسندیده<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۴) در حالی که یک تابع هدف برای به حداقل رساندن هزینه کل، تعریف کردند، تابع هدف دیگری برای به حداکثر رساندن مجموع تعداد محصولات مورد انتظار توزیع شده (تعداد متوسط محصولات توزیع شده به مشتریان) توسعه دادند، به عبارت دیگر، نه تنها حداقل هزینه کل هدف گذاری شده، بلکه تسهیلات انبار بیشتر برای بهینه سازی سطح خدمات تحت شرایط اطمینان فرض شده اند. شانکار<sup>۶</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۳ یک شبکه زنجیره تامین تک کالایی چهار پله ای را، برای بهینه سازی دو هدف کمینه سازی هزینه حمل و نقل ناشی از مکان یابی تسهیلات مختلف و بهینه سازی تقاضاهای مشتری به صورت همزمان مورد بررسی قرار دادند. امیرحسین نوبیل<sup>۷</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۲ یک مدل دو هدفه را برای مساله ی استقرار و تخصیص در زنجیره ی تامین تحت عنوان یک مقاله ارائه دادند. در این مقاله با در نظرگیری یک زنجیره ی تامین سه سطحی (تامین کنندگان، مراکز تولید و مراکز توزیع)، یک مدل برنامه ریزی غیر خطی برای مکان یابی تسهیلات و تخصیص شبکه ی توزیع ارائه شده است. همانطور که گفته شد هدف بسیاری از مسائل بهینه سازی مکان یابی تسهیلات در شبکه زنجیره تامین کاهش هزینه های کل اعم از هزینه های استقرار، حمل و نقل،

<sup>1</sup> Capacitated Facility Location Problem

<sup>2</sup> Xi-Feng

<sup>3</sup> Sukun Park

<sup>4</sup> Jalali

<sup>5</sup> Pasandideh

<sup>6</sup> Shankar

<sup>7</sup> Nobil

نگهداری و... می باشد، با این حال از آنجا که امروزه حفاظت زیست محیطی باعث نگرانی برای عموم مردم شده، زنجیره تامین سبز به جهت اثرات مثبت آن در طبیعت، به صورت جدی به عنوان راه حلی برای این نگرانی عمومی در نظر گرفته شده و توجه چشمگیری یافته است. در نظر گرفتن عوامل زیست محیطی در کنار مدیریت زنجیره تامین نخستین بار در سال توسط بیمون<sup>۸</sup> (۱۹۹۹) مطرح شد که در آن مواردی مانند فاکتورهای محیطی، تفاوت میان زنجیره تامین سبز و سنتی و چالش های آن مورد بررسی قرار گرفت. رشد آگاهی ابعاد زیست محیطی زنجیره تامین در حال حاضر تا حد زیادی توسط جوامع علمی و صنعتی به رسمیت شناخته شده است، استاوا<sup>۹</sup> (۲۰۰۷) زنجیره تامین سبز را به عنوان یکپارچه سازی تفکر زیست محیطی در مدیریت زنجیره تامین، از جمله طراحی محصول، منابع مواد و انتخاب، فرآیندهای تولید، تحویل محصول نهایی به مصرف کنندگان و همچنین مدیریت زندگی محصول پس از عمر مفید آن تعریف کرد. مدل بهینه سازی چند هدفه برای طراحی شبکه زنجیره تامین توسط وانگ<sup>۱۰</sup> و همکاران (۲۰۱۱) ارائه شده که هزینه حمل و نقل و استفاده از تکنولوژی سبز را در نظر می گیرد. آنها در این پژوهش میزان انتشار گاز CO<sub>2</sub> انتشار یافته توسط تسهیلات تولید و توزیع را اندازه گیری کردند. هریس<sup>۱۱</sup> و همکاران (۲۰۱۱) برای بهینه سازی صنعت خودرو اروپا هزینه حمل و نقل و انتشار گاز CO<sub>2</sub> را در نظر گرفتند. کریمی<sup>۱۲</sup> و همکاران (۲۰۱۲) بهینه سازی چند هدفه یک شبکه زنجیره تامین که در آن علاوه بر کمینه سازی هزینه ها (شامل هزینه های حمل و نقل، نگهداری و پس افت) اثرات زیست محیطی نیز در نظر گرفته شد را مدل سازی و حل کردند. در این مقاله تسهیلات و روش های حمل و نقل با محدودیت ظرفیت در نظر گرفته شدند و هریک از روش های حمل و نقل در هر سطح زنجیره هزینه های متفاوتی داشتند. همانطور که از مرور ادبیات مشخص است تاکنون تحقیقات کمی در زمینه در نظر گرفتن مسائل مکان یابی چند سطحی و چند دوره ای ظرفیت دار زنجیره تامین سبز انجام شده است. لذا مقاله حاضر با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان در یک محیط سبز چند سطحی میتواند بررسی بیشتری را در این زمینه پوشش دهد.

### ۳- مدل و فرضیه های تحقیق

#### ۳-۱- ساختار مسئله و مفروضات مدل

شبکه در نظر گرفته شده از پنج سطح تشکیل شده است، در یک سطح تامین کنندگان، در یک سطح تسهیلات تولید، در یک سطح تسهیلات انبارهای مرکزی، در یک سطح تسهیلات مراکز توزیع به منظور انبار و انتقال کالا به مشتریان نهایی و در سطح آخر مشتریان قرار می گیرند، مکان یابی بر روی سه سطح میانی تسهیلات صورت می گیرد و انبارهای مرکزی به صورت مستقیم با کارخانه در ارتباط می باشند و با در نظر گرفتن اختلالات احتمالی تسهیلات در کاهش قابلیت اطمینان تعمیم می باید. مدت زمان وقوع اختلال در عملکرد این تسهیلات در دوره  $T_j$  از یک توزیع نمایی با میانگین پیروی می کند، در نتیجه، قابلیت اطمینان تسهیل  $R_j$  در دوره، پارامتر  $R_j$  و به شرح ذیل می باشد:

$$R_j = P(T_j > t) = e^{-\tau_j t}; \quad \forall j = 1, 2, \dots \quad (1)$$

برای درک بهتر شبکه زنجیره تامین مورد بررسی به شکل (۱) توجه شود. نوع شبکه و ساختار آن به صورت زنجیره تامین باز

<sup>8</sup> Beamon

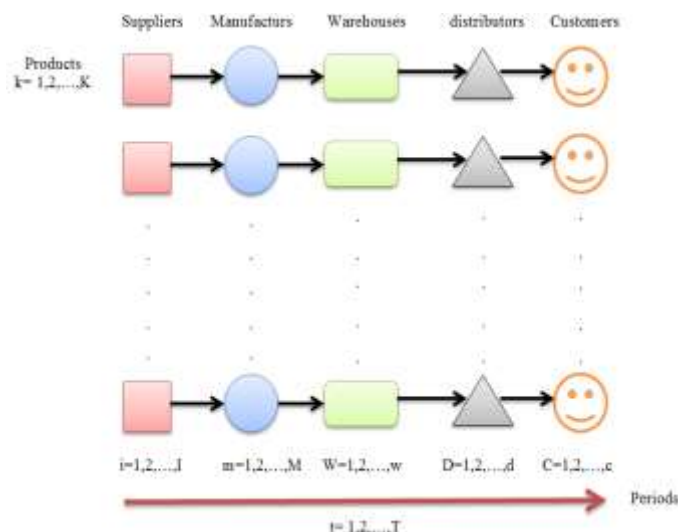
<sup>9</sup> Srivastava

<sup>10</sup> Wang

<sup>11</sup> Harris

<sup>12</sup> Karimi

(روبه جلو)، پویا (چند دوره ای) و چند محصولی است که برای پاسخگویی به تقاضای مشتریان برای محصول  $k$  و در دوره  $t$  طراحی شده است.



شکل (۱): شبکه زنجیره تامین مسئله

با توجه به شبکه زنجیره تامین فوق، فرضیه‌های تحقیق عبارتند از:

- مدل برای طراحی زنجیره تامین چند سطحی به کار می رود شامل: تامین کننده، تولیدکننده، انبارها، مرکز توزیع و مشتری نهایی، مکان یابی بر روی سه سطح میانی تسهیلات (مراکز تولید، انبارها و مراکز توزیع) صورت میگیرد و تامین کنندگان و مشتریان ثابت در نظر گرفته می شوند.
- تمامی پارامترهای ورودی مساله به صورت قطعی لحاظ شده اند، به جز مراکز تولید، انبارها و مراکز توزیع که فرض می شود عملکرد آنها در برخی موارد دچار اختلال شود و در این زمان قادر به خدمت رسانی نیستند، بنابراین جهت افزایش بهره وری سیستم قابلیت اطمینان بر روی آنها اعمال می شود.
- در ابتدای افق برنامه ریزی طراحی شبکه، تمامی تسهیلات  $Z$  در وضعیت سالم و عملیاتی هستند و بازگشت آنها به حالت عملیاتی پس از اختلال و خرابی امکان پذیر نمی باشد.
- در این مدل، با تخصیص تسهیلات و روش های متفاوت حمل و نقل سروکار داریم.
- محدودیت ظرفیت برای هر تسهیل بالقوه و روش های حمل و نقل وجود دارد.
- هزینه ثابت راه اندازی برای تسهیلات وجود دارد.
- روش های حمل و نقل در دسترس تسهیلات در سطح های مختلف یکسان نیستند.
- تولید کنندگان، انبارها، مراکز توزیع و روش های حمل و نقل در تولید گاز خطرناک نرخ از پیش تعیین شده ای دارند.
- محصولات تولیدی به محض تولید در کارخانه به سمت انبارها ارسال می گردند.
- مقدار گاز تولید شده در حمل و نقل، تابعی از فاصله و تعداد محصولات حمل شده توسط روش های مختلف حمل و نقل است.
- هر تامین کننده می تواند تقاضای بیش از یک تولید کننده را به انجام برسانند.

- می توان تقاضای هر انبار را با بیش از یک تولید کننده پاسخ داد.
- تقاضای هر مرکز توزیع را می توان با بیش از یک انبار پاسخ داد.
- تقاضای هر مشتری را می توان با بیش از یک مرکز توزیع پاسخ داد.

### ۳-۲- مدل ریاضی

در ابتدا برای معرفی مدل از نماد گذاری زیر در فرمول بندی استفاده شده است:

$S$ : مجموعه تامین کنندگان

$M$ : مجموعه مراکز تولید

$W$ : مجموعه انبارهای مرکزی

$D$ : مجموعه مراکز توزیع

$C$ : مجموعه مشتریان

$K$ : مجموعه محصولات

$R$ : مجموعه مواد اولیه

$TM$ : مجموعه روشهای حمل و نقل برای مراکز تولید

$TW$ : مجموعه روشهای حمل و نقل برای انبارهای مرکزی

$TD$ : مجموعه روشهای حمل و نقل برای مراکز توزیع

$i$ : اندیس تامین کنندگان ( $i=1,2,\dots, I$ )

$m$ : اندیس مراکز تولید ( $m=1,2,\dots, M$ )

$w$ : اندیس انبارها ( $w=1,2,\dots, W$ )

$d$ : اندیس مراکز توزیع ( $d=1,2,\dots, D$ )

$c$ : اندیس مشتریان ( $c=1,2,\dots, C$ )

$k$ : اندیس محصولات ( $k=1,2,\dots, K$ )

$r$ : اندیس مواد اولیه ( $r=1,2,\dots, R$ )

$t$ : اندیس دوره ( $t=1,2,\dots, T$ )

### ۳-۲-۱- پارامترهای ورودی مدل

$FC_f$ : هزینه ثابت راه اندازی تسهییل  $f \in \{m,w,d\}$

$VC_{fkt}$ : هزینه های متغیر تسهییل  $f \in \{m,w,d\}$  برای محصول  $k$  در دوره  $t$

$C_{mt}^i$ : هزینه خرید هر واحد مواد اولیه  $r$  از تامین کننده  $i$  برای مرکز تولید  $m$  در دوره  $t$

$C_{kt}^m$ : هزینه تولید هر واحد محصول  $k$  در مرکز تولید  $m$  در دوره  $t$

$C_{mwtk}^{tm}$ : هزینه واحد حمل و نقل محصول  $k$  از مرکز تولید  $m$  به انبار  $w$  بوسیله روش حمل و نقل  $tm$  در دوره  $t$

$C_{wdtk}^{tw}$ : هزینه واحد حمل و نقل محصول  $k$  از انبار  $w$  به مرکز توزیع  $d$  بوسیله روش حمل و نقل  $tw$  در دوره  $t$

$C_{dctk}^{td}$ : هزینه واحد حمل و نقل محصول  $k$  از مرکز توزیع  $d$  به مشتری  $c$  بوسیله روش حمل و نقل  $td$  در دوره  $t$

$h_{fkt}$ : هزینه واحد نگهداری موجودی در تسهییل  $f \in \{w,d\}$  برای محصول  $k$  در دوره  $t$

$dis_{ff'}$ : فاصله میان تسهییل  $f$  و  $f' \in \{m,w,d\}$ ;  $f' \in \{w, d, c\}$

$ca_{fkt}$ : ظرفیت تسهییل  $f \in \{m,w,d\}$  برای محصول  $k$  در دوره  $t$

$dem_{ckt}$ : تقاضای مشتری  $c$  از محصول  $k$  در دوره  $t$

$dem_{fkt}$ : تقاضای تسهیل  $f \in \{w,d\}$  برای محصول  $k$  در دوره  $t$   
 $dem_{mrt}$ : تقاضای تسهیل  $m$  برای ماده اولیه  $r$  در دوره  $t$   
 $Gh_t^{mr}$ : نرخ گاز آزاد شده به ازای نگهداری هر یک واحد ماده اولیه  $r$  در تسهیل  $m$  و در دوره  $t$   
 $G_t^{mk}$ : نرخ گاز آزاد شده در فرآیند تولید یک واحد محصول  $k$  در مرکز تولید  $m$  در دوره  $t$   
 $GT_t^{fk}$ : نرخ گاز آزاد شده برای حمل یک واحد محصول  $k$  در تسهیل  $f \in \{m,w,d\}$  در دوره  $t$   
 $G_t^{vk}$ : نرخ گاز آزاد شده به ازای حمل هر یک واحد مسافت محصول  $k$  برای روش های حمل و نقل  $v \in \{tm,tw,td\}$  در دوره  $t$   
 $Gh_t^{fk}$ : نرخ گاز آزاد شده به ازای نگهداری هر یک واحد محصول  $k$  در تسهیل  $f \in \{w,d\}$  در دوره  $t$   
 $Tjt$ : پارامتر توزیع نمایی بکار رفته برای نرخ خرابی تسهیل  $j \in \{m,w,d\}$  در دوره  $t$   
 $M$ : عدد بزرگ اختیاری

### ۳-۲-۲ متغیرهای تصمیم

$X_{mt}$ : اگر مرکز تولید  $m$  در دوره  $t$  راه اندازی شود مقدار ۱ و در غیر اینصورت مقدار صفر می گیرد.  
 $X_{wt}$ : اگر انبار  $w$  در دوره  $t$  راه اندازی شود مقدار ۱ و در غیر اینصورت مقدار صفر می گیرد.  
 $X_{dt}$ : اگر مرکز توزیع  $d$  در دوره  $t$  راه اندازی شود مقدار ۱ و در غیر اینصورت مقدار صفر می گیرد.  
 $X_{mwtk}^{tm}$ : مقدار محصول  $k$  حمل شده از تولید کننده  $m$  به انبار  $w$  توسط روش حمل و نقل  $tm$  در دوره  $t$   
 $X_{wdtk}^{tw}$ : مقدار محصول  $k$  حمل شده از انبار  $w$  به مرکز توزیع  $d$  توسط روش حمل و نقل  $tw$  در دوره  $t$   
 $X_{dctk}^{td}$ : مقدار محصول  $k$  حمل شده مرکز توزیع  $d$  به مشتری  $c$  توسط روش حمل و نقل  $td$  در دوره  $t$   
 $X_{mt}^{ri}$ : مقدار ماده اولیه  $r$  حمل شده به مرکز تولید  $m$  از سوی تامین کننده  $i$   
 $inv_{fkt}$ : میزان موجودی محصول  $k$  در تسهیل  $f \in \{w,d\}$  در دوره  $t$

### ۳-۲-۳ تابع هدف و محدودیت های مدل ریاضی

با توجه به پارامترها و متغیرهای نمایش داده شده در بالا، مدل ریاضی و محدودیت های مسئله مورد نظر به شرح زیر می باشد:

$$\begin{aligned} \min Z_1 = & \sum_m \sum_t f c_m x_{mt} + \sum_w \sum_t f c_w x_{wt} + \sum_d \sum_t f c_d x_{dt} \quad (2) \\ & + \sum_t \sum_{tm} \sum_w \sum_m \sum_k v c_{mtk} x_{mwtk}^{tm} + \sum_t \sum_{tw} \sum_d \sum_w \sum_k v c_{wtk} x_{wdtk}^{tw} + \sum_t \sum_{td} \sum_c \sum_d \sum_k v c_{dtk} x_{dctk}^{td} \\ & + \sum_t \sum_{tm} \sum_w \sum_m \sum_k C_{kt}^m x_{mwtk}^{tm} \\ & + \sum_t \sum_m \sum_w \sum_{tm} \sum_k x_{mwtk}^{tm} c_{mwtk}^{tm} dis_{mw} + \sum_t \sum_w \sum_d \sum_{tw} \sum_k x_{wdtk}^{tw} c_{wdtk}^{tw} dis_{wd} \\ & + \sum_t \sum_d \sum_c \sum_{td} \sum_k x_{dctk}^{td} c_{dctk}^{td} dis_{dc} + \sum_t \sum_m \sum_r \sum_i x_{mt}^{ri} c_{mt}^{ri} \\ & + \sum_t \sum_w \sum_k h_{wkt} inv_{wtk} + \sum_t \sum_d \sum_k h_{dkt} inv_{dtk} \end{aligned}$$

$$\min Z_2 = \sum_m \sum_t \sum_k \sum_w \sum_{tm} x_{mwtk}^{tm} G_t^{mk} + \sum_m \sum_t \sum_k \sum_w \sum_{tm} x_{mwtk}^{tm} GT_t^{mk} \quad (۳)$$

$$+ \sum_w \sum_t \sum_k \sum_d \sum_{tw} x_{wdtk}^{tw} GT_t^{wk} + \sum_d \sum_t \sum_k \sum_c \sum_{td} x_{dctk}^{td} GT_t^{dk}$$

$$+ \sum_t \sum_m \sum_w \sum_{tm} \sum_k x_{mwtk}^{tm} G_t^{mk} dis_{mw} + \sum_t \sum_w \sum_d \sum_{tw} \sum_k x_{wdtk}^{tw} G_t^{wk} dis_{wd}$$

$$+ \sum_t \sum_d \sum_c \sum_{td} \sum_k x_{dctk}^{td} G_{ct}^{tdk} dis_{dc}$$

$$+ \sum_r \sum_i \sum_m \sum_t x_{mt}^{ri} Gh_t^{mi} + \sum_t \sum_m \sum_w \sum_k x_{mwtk}^{tm} Gh_t^{wk} + \sum_t \sum_w \sum_d \sum_k x_{wdtk}^{tw} Gh_t^{dk}$$

$$\max Z_3 = \sum_m \sum_t \sum_k \sum_w \sum_{tm} e^{-\tau_{mt} t} x_{mwtk}^{tm} + \sum_w \sum_t \sum_k \sum_d \sum_{tw} e^{-\tau_{wt} t} x_{wdtk}^{tw} + \sum_d \sum_t \sum_k \sum_c \sum_{td} e^{-\tau_{dt} t} x_{dctk}^{td} \quad (۴)$$

$$dem_{mt} = \sum_i x_{mt}^{ri} \quad \forall i \quad (۵)$$

$$dem_{wkt} = \sum_{tm} \sum_w x_{mwtk}^{tm} \quad \forall w, t, k \quad (۶)$$

$$dem_{dkt} = \sum_{tw} \sum_d x_{wdtk}^{tw} \quad \forall d, t, k \quad (۷)$$

$$dem_{ckt} = \sum_{td} \sum_c x_{dctk}^{td} \quad \forall c, t, k \quad (۸)$$

$$\sum_{tm} \sum_w x_{mwtk}^{tm} \leq ca_{mkt} x_{mt} \quad \forall m, t, k \quad (۹)$$

$$\sum_{tw} \sum_d x_{wdtk}^{tw} \leq ca_{wkt} x_{wt} \quad \forall w, t, k \quad (۱۰)$$

$$\sum_{td} \sum_c x_{dctk}^{td} \leq ca_{dkt} x_{dt} \quad \forall d, t, k \quad (۱۱)$$

$$\sum_{tm} \sum_w \sum_k x_{mwtk}^{tm} \leq Mx_{mt} \quad \forall m, t \quad (۱۲)$$

$$\sum_{tw} \sum_d \sum_k x_{wdtk}^{tw} \leq Mx_{wt} \quad \forall w, t \quad (۱۳)$$

$$\sum_{td} \sum_c \sum_k x_{dctk}^{td} \leq Mx_{dt} \quad \forall d, t \quad (۱۴)$$

$$Inv_{wkt} = \sum_m \sum_{tm} x_{mwtk}^{tm} - \sum_d \sum_{tw} x_{wdtk}^{tw} \quad \forall w, t, k \quad (۱۵)$$

$$Inv_{dkt} = \sum_w \sum_{tw} x_{wdtk}^{tw} - \sum_c \sum_{td} x_{dctk}^{td} \quad \forall d, t, k \quad (۱۶)$$

$$x_{mt}, x_{wt}, x_{dt} \in \{0, 1\} \quad \forall m, w, d, t \quad (۱۷)$$

$$X_{mwtk}^{tm}, X_{wdtk}^{tw}, X_{dctk}^{td}, X_{mt}^{ri} \quad inv_{fkt} \geq 0 \quad \forall tm, tw, td, m, w, d, k, t, i, r \quad (۱۸)$$

تابع هدف اول (۲) به ترتیب هزینه های ثابت راه اندازی تسهیلات مراکز تولید، انبارها و مراکز توزیع هزینه های متغیر راه اندازی تسهیلات مراکز تولید، انبارها و مراکز توزیع، هزینه تولید محصولات در مراکز تولید، هزینه حمل و نقل محصولات از مراکز تولید به انبارها با توجه به فاصله و مقدار کالا حمل شده توسط هر یک از گزینه های حمل و نقل، هزینه حمل و نقل محصولات از انبارها به مراکز توزیع با توجه به فاصله و مقدار کالای حمل شده توسط هر یک از گزینه های حمل و نقل، هزینه



حمل و نقل از مراکز توزیع به سوی مشتریان با توجه به فاصله و مقدار کالای حمل شده توسط هر یک از گزینه های حمل و نقل، هزینه حمل و نقل مواد اولیه از سوی تامین کننده به مراکز تولید و هزینه نگهداری محصولات تولیدی در انبارها و مراکز توزیع را بیان می کند.

در تابع هدف دوم (۳) میزان گازهای آزاد شده حین تولید محصولات، به ترتیب میزان گازهای منتشر شده به هنگام حمل و نقل محصولات از مراکز تولید به انبارها، میزان گازهای منتشر شده به هنگام حمل و نقل محصولات از انبارها به مراکز توزیع، میزان گازهای منتشر شده به هنگام حمل و نقل محصولات از مراکز توزیع به سوی مشتریان نهایی، نرخ گاز آزاد شده به ازای حمل هر یک واحد مسافت محصول برای روش های حمل و نقل در مرکز تولید، روش های حمل و نقل در انبارها، روش های حمل و نقل در مراکز توزیع، میزان گاز آزاد شده به ازای نگهداری مواد اولیه در مراکز تولیدی، انبارها و مراکز توزیع را نشان می دهد.

تابع هدف سوم (۴) بیشینه سازی قابلیت اطمینان در مراکز تولید، انبارها و مراکز توزیع را بیان می کند، به بیانی دیگر با افزایش قابلیت اطمینان تعداد محصولات انتقال یافته از مراکز تولید به انبارها، از انبارها به مراکز توزیع و در نتیجه از مراکز توزیع به مشتریان را بیشینه می کند. بخش اول تعداد محصولات انتقال یافته از مراکز تولید به انبارها، بخش دوم تعداد محصولات اعزامی از انبارها به مراکز تولید و بخش سوم تعداد محصولات اعزامی از مراکز توزیع به مشتریان نهایی را محاسبه می کند.

محدودیت (۵) بیانگر آن است که میزان مواد اولیه ارسالی از تامین کنندگان به سوی تولید کنندگان باید به اندازه تقاضای آن ها باشد. محدودیت (۶) بیان می کند که میزان محصولات ارسالی از مراکز تولیدی باید برابر تقاضای انبار باشد. محدودیت (۷) بیان می کند که میزان محصولات ارسالی از انبارها به مراکز توزیع بایستی برابر با تقاضای مراکز توزیع باشد و محدودیت (۸) بیانگر این است که میزان محصولات ارسالی از مراکز توزیع به سوی مشتریان نهایی باید برابر با تقاضای مشتریان باشد. برای - تولید کننده، انبارها و مراکز توزیع حداکثر ظرفیت لحاظ شده است که در محدودیت های (۹)، (۱۰)، (۱۱) آورده شده اند. محدودیت های (۱۲)، (۱۳)، (۱۴) جهت ارسال محصولات لحاظ شده اند، به این معنی که تا زمانیکه مراکز ارسال باز نشده باشند ارسالی نخواهیم داشت و همچنین میزان این محصولات ارسالی در هر دوره محدود می باشد. محدودیت های (۱۵) و (۱۶) میزان موجودی های پایان دوره را به ترتیب در واحد انبار و واحد توزیع محاسبه می کند. محدودیت های (۱۷) و (۱۸) به ترتیب برای متغیرهای تصمیم باینری و متغیرهای تصمیم نامنفی لحاظ شده اند.

#### ۴- روش حل مسئله

در این بخش جهت بررسی و تایید اعتبار مدلسازی ارائه شده، ابتدا ۳ نمونه تصادفی در ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ ایجاد می گردد. همچنین، پارامترها به صورت تصادفی با استفاده از توزیع یکنواخت تولید می شوند. سپس مسائل بر روی یک لپتاپ با مشخصات (Intel Core i5 (4GB RAM) توسط نرم افزار GAMS و حل کننده خطی CPLEX اجرا می شوند. جهت تک هدفه کردن مسأله از رویکرد دقیق محدودیت اپسیلون<sup>۱۳</sup> استفاده می شود. روش محدودیت اپسیلون یکی از رویکردهای شناخته شده برای مواجهه با مسائل چندهدفه است که با انتقال تمامی توابع هدف به جز یکی از آن ها در هر مرحله به محدودیت به حل این نوع مسائل می پردازد (ارگات و همکاران، ۲۰۰۳).  
مرز پارتو می تواند با روش قید  $\epsilon$  ایجاد شود (بروب و همکاران، سال ۲۰۰۹).

<sup>13</sup>  $\epsilon$ -Constraint method

$$\begin{aligned} & \text{Min } f1(X) \\ & x \in X \\ & f2(X) \leq \varepsilon_2 \\ & \dots \\ & fn(X) \leq \varepsilon_n \end{aligned} \quad (19)$$

گامهای روش محدودیت اِپسیلون به صورت زیر است:

- (۱) یکی از توابع هدف را به عنوان تابع هدف اصلی انتخاب کنید.
- (۲) هر بار با توجه به یکی از توابع هدف منتخب، مسأله را حل کنید و مقادیر بهینه هر تابع هدف را بدست آورید.
- (۳) بازه بین دو مقدار بهینه توابع هدف فرعی را به تعداد از قبل مشخص تقسیم بندی کنید و یک جدول مقادیر برای  $\varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$  بدست آورید.
- (۴) هر بار مسأله را با تابع هدف اصلی با هر یک از مقادیر  $\varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$  حل کنید.
- (۵) جوابهای پارتویی یافته شده را گزارش کنید.

در روش محدودیت اِپسیلون پیشنهادی، تابع هدف اول به عنوان تابع هدف اصلی در نظر گرفته می شود و توابع هدف دوم و سوم به عنوان توابع هدف فرعی؛ سپس تعداد ۵ نقطه شکست برای تابع هدف دوم و سوم در نظر گرفته شد و در مجموع حداکثر ۱۰ نقطه پارتویی برای هر مسأله تولید می شود. فرمولاسیون مرتبط با مسأله پیشنهادی در این مقاله به صورت رابطه (۲۰) می باشد.

$$\begin{aligned} & \text{Min } f1(X) \\ & x \in X \\ & f2(X) \leq \varepsilon_2 \\ & f3(X) \geq \varepsilon_3 \end{aligned} \quad (20)$$

سپس بهترین جواب یافته شده برای تابع هدف اول، دوم و سوم در بین نقاط پارتویی روش  $\varepsilon$ -constraint ارائه می شود. اطلاعات مربوط به نمونه های تصادفی ایجاد شده در جدول (۱) مشخص می باشد.

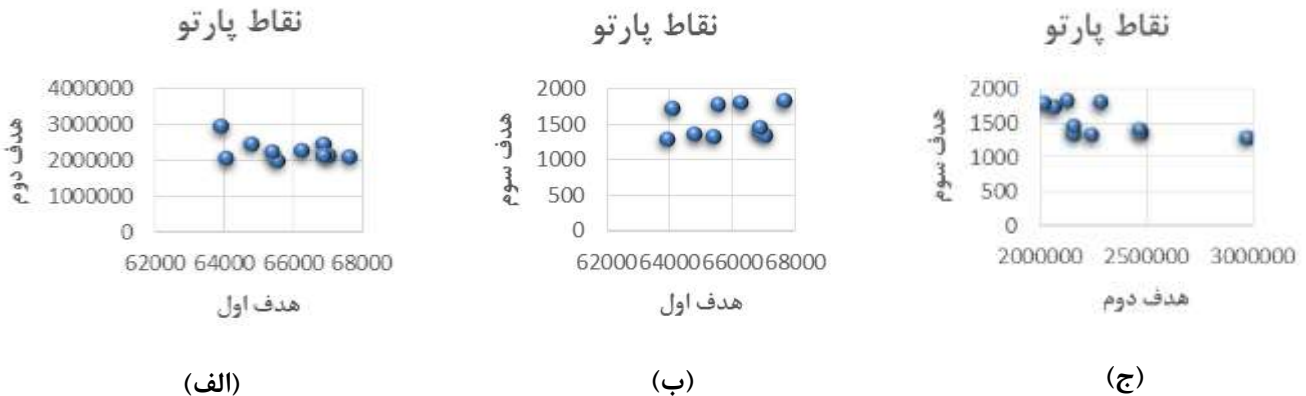
جدول (۱): اطلاعات نمونه های تصادفی

شماره نمونه	#S	#M	#W	#D	#C	#K	#R	#T	#TM	#TW	#TD
۱	۲	۳	۵	۸	۱۰	۲	۴	۶	۲	۲	۲
۲	۴	۶	۱۰	۱۳	۲۰	۳	۶	۱۲	۳	۴	۳
۳	۷	۸	۱۳	۱۵	۲۵	۴	۸	۱۲	۴	۵	۵

نتایج حاصل از حل تک تک اهداف و جواب بهینه پارتو مسائل در جدول (۲) ارائه شده است. در شکل (۲) نیز نقاط پارتو بدست آمده برای نمونه اول ابعاد کوچک به صورت مقایسه دوتایی توابع ترسیم می شود.

جدول (۲): نتایج محاسباتی

شماره نمونه	Min Obj1			Min Obj2			Max Obj3			متوسط زمان حل (ثانیه)
	OBJ1	OBJ2	OBJ3	OBJ1	OBJ2	OBJ3	OBJ1	OBJ2	OBJ3	
۱	۶۱۲۹۶	۳۰۱۲۵۶۵	۱۲۶۵	۶۶۸۹	۲۰۰۹۵۴۶	۱۳۶۸	۶۷۱۲۶	۲۸۵۶۰۲۳	۲۰۱۶	۴.۵۶
۲	۷۷۸۳۶	۲۵۰۵۵۴۶	۲۱۱۶	۸۱۵۷۸	۳۴۷۰۹۲۵	۲۴۵۰	۸۱۲۹	۲۴۴۲۲۰۱	۱۶۶۳	۱۳۵.۶۷
۳	۹۵۹۶۷	۴۷۱۶۵۹۲	۱۹۸۱	۱۰۴۷۳	۳۱۴۶۲۲۶	۲۱۴۲	۱۰۵۰۹۵	۴۴۷۱۵۰۴	۳۱۵۶	۱۶۵۳.۰۱



شکل (۲): مقایسه مرزهای پارتوی توابع حاصل از حل مسئله اول

#### ۴-۱- بهترین جواب پارتو

رویکرد نقطه مرجع<sup>۱۴</sup> در مسائل چند هدفه با هدف تعیین بهترین نقطه یا نقاط پارتو به عنوان یکی از رویکردهای رایج مورد استفاده قرار می گیرد (دب و ساندر، ۲۰۰۶). این روش با استفاده از تخصیص وزن به اهداف و یا بدون تخصیص وزن قابل اعمال می باشد. ایده اصلی این روش این است که جواب های نزدیک به نقاط مرجع برجسته می شوند. فاصله اقلیدسی نرمالایز شده ( $dev_j$ ) بین هر جواب از بهترین سطح نامغلوب و نقطه مرجع از طریق رابطه (۲۱) محاسبه می شود. به طوریکه هر جواب که میزان  $dev_j$  کمتری داشته باشد، اولویت بالاتری برای تصمیم گیرنده (DM) دارد.

$$dev_j = \sqrt{\sum_{i=1}^N w_i \left( \frac{f_i - \bar{z}_i}{f_i^{\max} - f_i^{\min}} \right)^2} \quad (21)$$

به طوریکه  $w_i$  وزن هدف  $i$  در هر جواب،  $f_i$  مقدار هدف  $i$ ،  $\bar{z}_i$  مقدار هدف مرجع،  $f_i^{\max}$  و  $f_i^{\min}$  به ترتیب مقادیر بیشترین و کمترین برای هدف  $i$  می باشند. بدین ترتیب در حل مسائل، مقادیر پارامترهای وزن اهداف مرتبط با تعیین بهترین جواب پارتو در نظر گرفته شده برابر با ۰.۵، ۰.۲ و ۰.۳ در نظر گرفته شده است. بهترین جواب پارتو بدست آمده برای مسائل در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول (۳): بهترین جواب پارتو

شماره نمونه	بهترین جواب پارتو		
	OBJ1	OBJ2	OBJ3
۱	۶۴۰۴۷	۲۰۶۱۶۵۷	۱۷۴۰
۲	۷۴۴۹۳	۳۶۶۱۱۷۰	۲۰۱۳
۳	۱۰۰۲۷۵	۳۲۲۷۸۱۳	۲۷۲۴

<sup>14</sup> Reference Point

### ۵- یافته‌های تحقیق

همانطور که در نمودارها مشخص است، در مسائل مختلف مرزهای پارتو متفاوتی تشکیل شده است، ولی روند تشکیل این مرز با بزرگ تر شدن مسئله، تقریباً همسو با یکدیگر بوده است به طوری که در مسائل دوم و سوم تقریباً رفتاری مشابه بهم داشته است. حال انتخاب بهترین نقطه بر روی این مرز بر اساس نظر متخصص می باشد. با توجه به مرزهای پارتوی مشخص شده، مشاهده می گردد هر چه هزینه مصرفی بیشتر باشد مقدار گازهای منتشر شده کمتر خواهد بود. همچنین، برای داشتن قابلیت‌های اطمینان بالاتر، گازهای بیشتری منتشر می‌شوند و به طور کلی، قابلیت اطمینان بیشتر منجر به کاهش هزینه ها خواهد شد که این نتیجه اهمیت دستیابی به قابلیت اطمینان مناسب در شبکه برای کاهش هزینه ها، تامین نیازهای مشتریان با هزینه معقول، کسب رضایت مشتری با به حداکثر رساندن متوسط تعداد کل محصولات اعزامی به مشتریان و دستیابی به مناسبترین و موثرترین عملیات در جهت کاهش عوامل خرابی سیستم را بیان می کند.

### ۶- بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به منظور طراحی یک شبکه زنجیره تامین سبز با تمرکز بر سه هدف کمینه سازی هزینه ها، کمینه سازی میزان گازهای انتشار یافته در سطح زنجیره تامین و بیشینه سازی قابلیت اطمینان جهت حداکثر سازی تعداد محصولات توزیع شده به سوی مشتریان از طریق قابلیت اطمینان صورت گرفته است. در تسهیلات مراکز تولید، انبارها و مراکز توزیع که در نهایت منجر به بهبود عملکرد کل زنجیره تامین به هنگام بروز خرابی یا نقص عملکرد تسهیلات می شود تا سرویس دهی و پوشش تقاضا با کمترین اختلال انجام شود. برای این کار با لحاظ نمودن تمامی هزینه ها از جمله هزینه تولید، هزینه حمل‌ونقل، هزینه عملیات، هزینه ثابت راه‌اندازی تسهیلات، هزینه نگهداری و سایر هزینه های موجود در پی حداقل نمودن هزینه ها، کاهش میزان گازهای موجود در شبکه جهت کاهش اثرات زیست محیطی زنجیره و از طرفی با در نظر گرفتن معیار قابلیت اطمینان در صدد افزایش رضایت مشتری هستیم. در نهایت با استفاده از رویکرد محدودیت اِپسیلون به حل مسأله پرداخته و نتایج و تحلیل های خروجی ارائه گردید. از جمله پیشنهادات آتی نیز می توان به افزودن شرایط عدم قطعیت در مدل و هم چنین استفاده از الگوریتم های بهینه سازی جهت حل مسأله در ابعاد بسیار بزرگتر اشاره کرد.

### منابع

1. Bérubé, Jean-François, Michel Gendreau, and Jean-Yves Potvin. "An exact  $\epsilon$ -constraint method for bi-objective combinatorial optimization problems: Application to the Traveling Salesman Problem with Profits." *European Journal of Operational Research* 194.1 (2009): 39-50.
2. Deb, K., & Sundar, J. (2006, July). Reference point based multi-objective optimization using evolutionary algorithms. In *Proceedings of the 8th annual conference on Genetic and evolutionary computation* (pp. 635-642). ACM.
3. Ehrgott, Matthias, and Xavier Gandibleux. "Multiobjective combinatorial optimization—theory, methodology, and applications." *Multiple criteria optimization: State of the art annotated bibliographic surveys*. Springer US, 2003. 369-444.
4. Georgiadis, M. C., Tsiakis, P., Longinidis, P., & Sofioglou, M., "Optimal design of 673 supply chain networks under uncertain transient demand variations". *Omega*, 39, 674 254–272, 2011.
5. Harris, I., Naim, M., Palmer, A., Potter, A., Mumford, C., "Assessing the impact of cost optimization based on infrastructure modelling on CO2 emissions", *International Journal of Production Economics*, 131(1), pp. 313–332, 2011.

6. Jamshidi, R., Ghomi, S. M. T. F., and Karimi, B., "Multi-objective green supply chain optimization with a new hybrid memetic algorithm using the Taguchi method", *Scientia Iranica*, vol. 19, pp. 1876-1886, 2012.
7. Nobil, A., Kazemi, A., & Alinezhad, A. "A Two Objective Model for Location-Allocation in a Supply Chain", *The Journal of Mathematics and Computer Science*, Vol.4 No.3, 392-401, 2012.
8. Paksoy, T., and Özceylan, E., "environmentally conscious optimization of supply chain network" *journal of the operational research society*, 65, 855-872, 2013.
9. PARK, S., LEE, T.E., & SUNG, C. S., "A three-level supply chain network design model with risk-pooling and lead times", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(5), 563-581, 2010.
10. Sajjad Jalali, Mehdi Seifbarghy, Javad Sadeghi, Samad Ahmadi, *Optimizing a Bi objective Reliable Facility Location Problem with Adapted Stochastic Measures Using Tuned-Parameter, Knowledge-Based System*, 2015.
11. Shankar, B., Basavarajappa, S., Chen, J., and Kadadevaramath, R., "Location and allocation decisions for multi-echelon supply chain network – a multi-objective evolutionary approach", *Expert Systems with Applications*, 40(2):551-562, 2013.
12. Srivastava, S.K., "Green supply chain management: a state of the art literature review", *International Journal of Management Reviews*, 91, pp. 53-80, 2007.
13. Wang, F., Lai, X., and Shi, N., "A multi-objective optimization for green supply chain network design", *Decision Support Systems*, 51, pp. 262-269, 2011.
14. Xi-Feng, T., Hai-Jun, M., & Xu-Hong, L., "Logistics facility location model based on reliability within the supply chain", *Management of Innovation and Technology (ICMIT), International Conference on IEEE*, 1099-1103, 2008.

# Presenting a Multi-objective Model for Solving Reliable Facility Location in Green Supply Chain Network Design

Sepide Kordjazi, Erfan Babae Tirkolae, Iraj Mahdavi

*Department Of industrial engineering, Mazandaran University of Science and Technology, Babol, Iran*

---

## Abstract

In this paper, a multi-product multi-period multi-echelon capacitated facility location problem is studied considering reliability in green supply chain network design. These facilities consist of five different levels including suppliers, manufacturing plants, warehouses, distribution centers and customers, and locating takes place on three mid-level facilities i.e. on production facilities, central warehouse and distribution centers in order to satisfy final customers' demands considering capacity constraint of the plants, central warehouses and distribution centers. In this problem, a multi-objective mathematical model is based on 1) minimizing total cost of supply chain, 2) minimizing emissions, 3) maximizing reliability of facilities. Several random instance problems in different sizes are generated in order to verify the proposed mathematical model. Furthermore, these problems are solved using the GAMS software and the CPLEX solver by applying  $\epsilon$ -Constraint method, then the obtained pareto fronts are depicted.

**Keywords:** Facility Location in Supply Chain, Multi-Objective Optimization,  $\epsilon$ -Constraint method, Reliability, Green Supply Chain Network.

---