

ارائه مدل برنامه ریزی امکانی چندهدفه برای مساله لجستیک امداد

محمدسعید جبل عاملی*، علی بزرگی امیری و مهدی حیدری

کلمات کلیدی

لجستیک امداد بلایا،
سیستم توزیع امداد،
برنامه ریزی امکانی،
بهینه سازی چندهدفه

چکیده:

لجستیک امداد بلایا یکی از فعالیت های اصلی مدیریت بلایا می باشد. اهمیت در نظر گرفتن عدم قطعیت در این مبحث، سبب ایجاد انگیزه جهت توسعه ابزارهای تصمیم گیری مناسب برای غلبه بر پارامترهای غیرقطعی و نادقیق در مساله طراحی سیستم لجستیک امداد شده است. این مقاله یک رویکرد جدید برنامه ریزی امکانی چندهدفه را برای مدل سازی مساله سیستم توزیع امداد با تقاضاها و عرضه های نادقیق، هزینه های راه اندازی و هزینه های حمل و نقل نادقیق ارائه می دهد. مدل ارائه شده شامل دو هدف می باشد. هدف اول کمینه سازی مجموع هزینه ها (شامل هزینه های راه اندازی، هزینه حمل و نقل و هزینه های کمبود) و هدف دوم بیشینه نمودن رضایت مندی نقاط آسیب دیده است. برای حل مدل برنامه ریزی امکانی چندهدفه ارائه شده، یک رویکرد حل برنامه ریزی فازی تعاملی دومرحله ای پیشنهاد شده است. نتایج محاسباتی، اهمیت و کارایی مدل امکانی پیشنهادی بعلاوه سودمندی رویکرد حل ارائه شده را برای مسائل تصمیم گیری واقعی نشان می دهند.

۱. مقدمه

هر ساله بلایای طبیعی همانند زلزله، سیل، طوفان و خشکسالی قسمت های مختلفی از جهان را گرفتار می کند. وقوع این حوادث طبیعی اغلب با صدمه به جان و مال انسان ها همراه است. از آنجایی که به دلیل عواملی نظیر رشد جمعیت، تغییرات شرایط جوی، یکپارچگی سامانه ها^۱ بحران های طبیعی در حال افزایش می باشد، پیش بینی می شود که امدادهای فعلی ناکافی باشند [۱]. از طرفی ماهیت بحران های طبیعی به گونه ای است که پاسخگویی به آنها باید در زمان اندک صورت پذیرد. ماهیت تصادفی بودن و غیر قابل پیش بینی بودن بحران های طبیعی ایجاب می نماید که طرح های بحرانی جامعی جهت کاهش و تسکین خطرات و نتایج ناشی از

تاریخ وصول: ۸۹/۳/۲۲

تاریخ تصویب: ۸۹/۸/۵

*نویسنده مسئول مقاله: دکتر محمدسعید جبل عاملی، عضو هیات علمی دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران. jabal@iust.ac.ir

علی بزرگی امیری، دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران. alibozorgi@iust.ac.ir

دکتر مهدی حیدری، عضو هیات علمی دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران. Mheydari@iust.ac.ir

2 - Global Connectivity

بحران ارائه شود. برنامه ریزی جهت رویارویی با این قبیل پیامدها و آگاهی عمومی مردم موجب کاهش مرگ و کاهش ازدست رفتن دارایی ها و مصدومیت ها شده است که این امر رویکرد اصلی در واکنش های امدادی می باشد [۲]. در چنین شرایط اضطراری و پیچیده، تصمیم گیرنده باید با سرعت و به صورت موثر به مشکلات لجستیکی پاسخ دهد و افراد آسیب دیده را از نقاط آسیب به مراکز مستقر شده مورد نظر انتقال دهد. در راستای نیل به این اهداف، پشتیبانی و امداد رسانی حوزه ای است که بهبود در آن می تواند نتایج اثربخشی را حاصل کند. در واقع قسمت اعظم مدیریت بحران، چیزی جز مدیریت لجستیک نیست [۳]. علاوه بر این لجستیک موجب هماهنگی بیشتر در تحویل کالاها و ارتباطات شده و موجب افزایش سرعت تحویل و پاسخگویی می گردد [۴ و ۵].

یکی از راهبردهای لجستیکی ممکن جهت کاهش زمان تاخیر، مکان یابی از پیش و ذخیره سازی موجودی در نزدیکی مکان آسیب دیده می باشد [۴]. این استراتژی لجستیکی از عملیات های نظامی که در جنگ جهانی دوم مورد استفاده قرار گرفته اقتباس شده است. بنابراین بطور کلی می توان گفت جهت نیل به اهداف مدیریت بحران، لجستیک به عنوان حوزه ای است که می تواند بهبود زیادی ایجاد کند. و مکان یابی از پیش ابزارهای موجودی از استراتژی های مخصوص لجستیکی، جهت حرکت به سوی پاسخگویی سریع تر و

بهتر می‌باشد. مکان‌یابی انبارهای از پیش، مکان‌یابی را از بعد جغرافیایی با توجه به فاکتورهایی نظیر هزینه، عدالت و زمان پاسخ در متن لجستیک امداد بلایا مورد بررسی قرار می‌دهد. این بحث بیشتر در فاز قبل از بحران (فاز آمادگی) جهت تعیین مکان انبارها برای از پیش ذخیره‌سازی کالاهای امدادی مورد توجه جدی قرار می‌گیرد [۶].

در مقطع کنونی بحث استفاده و کاربرد تحقیق در عملیات در مسائل مدیریت بحران بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۷]. بسیاری از تصمیم‌گیری در زمان بحران فی‌البداهه و غیراصولی است [۸]. پژوهشگران و دست‌اندرکاران امر مدیریت بحران به شدت بدنبال این هستند تا در تصمیم‌گیری‌ها به صورت علمی عمل نمایند تا بتوانند عملکرد کل سیستم را تا حد ممکن بهبود بخشند. کاربردهای که برای مکان‌یابی در مساله لجستیک امداد قابل تصورات می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- مکان مراکز مدیریت بحران در سطح شهر یا استان و تخصیص کالاهای اضطراری نظیر آب، بسته‌های غذایی و چادر از این مراکز به مناطق آسیب‌دیده.

- مکان‌یابی انبارهای هلال احمر (در سطح استانی و همینطور در سطح بین استانی) و بحث تخصیص این انبارها به شهرها و استان‌های آسیب‌دیده در زمان بحران‌های طبیعی یا حتی در شرایط وقوع جنگ.

- مکان‌یابی پایگاه‌های آمبولانس در سطح شهری یا بین شهری و استانی.

باکلی و اسمیت در سال ۱۹۹۶ مدل تخصیص منابع در شبکه‌های تخلیه اضطراری در یک ایالت و استان را ارائه نمودند [۹]. آکیهال در سال ۲۰۰۶ به ارائه یک مدل جهت مکان‌یابی مراکز مدیریت بحران جهت مدیریت کالاهای امدادی پرداخته است [۲]. جیا و همکاران در سال ۲۰۰۷ مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات را برای موقعیت‌های اضطراری با مقیاس بزرگ مرور نمودند و آن را به سه بخش تقسیم نمودند: مدل‌های پوشش، مدل‌های مکان‌یابی میانه و مدل‌های مکان‌یابی مرکز. همچنین آنها روش‌های هیوریستیک ارائه دادند [۱۰].

یی و کومار در سال ۲۰۰۷ به ارائه یک الگوریتم متاهیورستیک (الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان) جهت حل مسئله لجستیک در اقدامات امدادی به هنگام بحران پرداخته اند [۱۱]. ترنگ و همکارانش در سال ۲۰۰۷ یک مدل قطعی چند معیاره برای توزیع کالاهای اضطراری به مناطق آسیب‌دیده با در نظر گرفتن هزینه، زمان پاسخ و رضایت مندی مشتریان ارائه داده و آن را به کمک روش برنامه‌ریزی چندهدفه فازی حل نمودند [۱۲]. شتو در سال ۲۰۰۷ به ارائه یک رویکرد خوشه‌بندی فازی جهت دسته‌بندی مناطق آسیب‌دیده و عملیات لجستیک اضطراری به هنگام پاسخ به نیازهای امدادی اضطراری در دوره‌های نجات مربوط به بحران پرداخته

است [۱۳]. بالکلیک و بیمون در سال ۲۰۰۸ تصمیمات مکان‌یابی تسهیلات در زنجیره امداد را برای پاسخ‌دهی به بلایای ناگهانی در نظر گرفته‌اند [۴]. اگر چه مکان‌یابی و تعیین ظرفیت تسهیلات در مدیریت بلایا جزء مباحث کلیدی هستند ولی تحقیقات کمی در این زمینه به عنوان برنامه‌ریزی از پیش، متمرکز شده است [۱۴]. از سوی دیگر، یکی از مشخصه‌های اصلی زنجیره امداد حضور ذینفعان با اهداف و ارجحیت‌های متفاوت و گاه متضاد است که منجر به تضادهای بالقوه و ناکارایی در عمل می‌شوند که در تحقیقات گذشته کم‌تر بدان پرداخته شده است. اهدافی نظیر کاهش هزینه‌های لجستیکی، کاهش زمان انتقال کالا، افزایش سطح رضایت‌مندی مناطق آسیب‌دیده، افزایش قابلیت اطمینان سفر، کاهش ریسک و ...

به جهت اهمیت عدم قطعیت در مبحث مدیریت بلایا، تعدادی از محققین بحث بهینه‌سازی تصادفی در برنامه‌ریزی امداد بلایا را مورد توجه قرار دادند [۱۵-۱۷]. باربارا سوگولو و آردا در سال ۲۰۰۴ به انجام تحقیق جهت مدل‌سازی عدم اطمینان در پاسخگویی‌های امدادی پرداخته‌اند. آنها به توسعه یک چهارچوب برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای جهت برنامه‌ریزی حمل و نقل در پاسخگویی‌ها به هنگام بحران پرداخته‌اند [۱۵]. چانک و همکارانش در سال ۲۰۰۷ جهت مساعدت آژانس‌های دولتی دو مدل برنامه‌ریزی تصادفی جهت تعیین مراکز انبارهای منابع نجات و مقدار تجهیزات نجات مورد نیاز در آنها و توزیع تجهیزات نجات ارائه داده‌اند، بطوری که در مدل اول هدف کمینه‌کردن فاصله از تجهیزات نجات و در مدل دوم هدف کمینه‌کردن هزینه‌های استقرار و متوسط هزینه تجهیزات نجات می‌باشد [۱۶]. برادلی و برونی در سال ۲۰۰۹ یک مدل احتمالی برای تعیین مکان بهینه تسهیلات اضطراری در یک محیط غیرقطعی ارائه داند. آنها برنامه‌ریزی با محدودیت‌های شانس را درون یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی ادغام نمودند [۱۷]. مته و زبینسکی در سال ۲۰۱۰ یک مدل بهینه‌سازی تصادفی جهت برنامه‌ریزی برای انبارش و توزیع اقلام پزشکی در شرایط اضطراری ارائه دادند [۱۸]. بهرحال دو ایراد اساسی در استفاده از رویکرد بهینه‌سازی تصادفی وجود دارد: (۱) در بسیاری از مسائل واقعی داده‌های تاریخی کافی برای پارمترهای دارای عدم قطعیت وجود ندارد، بنابراین به ندرت می‌توان توزیع درست و واقعی پارمترهای نامعین را بدست آورد. (۲) در بیشتر کارهای گذشته در زمینه طراحی لجستیک امداد تحت شرایط عدم قطعیت، عدم قطعیت پارمترها، از طریق برنامه‌ریزی تصادفی مبتنی بر سناریو مدل‌سازی شده است. در این حالت، تعداد زیاد سناریوها جهت بیان عدم قطعیت می‌تواند منجر به مشکلات و چالش‌های محاسباتی شود [۱۹]. بعنوان یک گزینه، نظریه مجموعه‌های فازی قادر است چارچوبی را برای مهار انواع مختلف عدم قطعیت شامل ضرایب فازی به جهت کمبود دانش بهمراه انعطاف‌پذیری در محدودیت‌ها و اهداف (بطور همزمان) ارائه می‌دهد [۲۰]. با توجه بهترین تحقیقات صورت گرفته، هیچ کار

استفاده می‌شود. همچنین با وجود عدم قطعیت حاکم بر شرایط تصمیم‌گیری، به کار بردن اعداد فازی رویکرد مناسبی جهت رسیدن به فضای واقعی می‌باشد. در این راستا برنامه‌ریزی خطی چندهدفه امکانی، شیوه‌ای برای حل مسائل فازی چندهدفه با اعداد فازی مثلثی می‌باشد. در این مقاله یک رویکرد برنامه‌ریزی خطی امکانی چندهدفه دو مرحله‌ای برای مدل‌سازی و حل به کار گرفته می‌شود که در این بخش به توضیح این روش خواهیم پرداخت.

۱-۲. مرحله ۱

در مرحله اول یک مساله برنامه‌ریزی خطی امکانی (PLP) که شامل ضرایب فازی مثلثی می‌باشد به یک مساله برنامه‌ریزی خطی چندهدفه (MOLP) تبدیل شده و پس از آن از طریق روش زیرمن این مساله برنامه‌ریزی خطی چندهدفه (MOLP) با استفاده از یک عملگر max-min به یک مدل برنامه‌ریزی خطی تک هدفه (LP) تبدیل می‌شود [۲۰]:

$$\text{Max} \sum_{i=1}^n \tilde{c}_i . x_i \quad (1)$$

$$s.t. \ x \in X = \{x \mid Ax \leq \tilde{b} \text{ and } x \geq 0\}$$

که $\tilde{c}_i = (c_i^p, c_i^m, c_i^o)$ و در آن، اگر نرمالیزه باشد امکان آن برابر c_i^p ، بیشترین مقدار بدبینانه و c_i^o بیشترین مقدار خوش‌بینانه می‌باشد. بنابراین تابع هدف به صورت زیر درمی‌آید.

$$\text{Max} ((c^p)^T . x, (c^m)^T . x, (c^o)^T . x) \quad (2)$$

مساله برنامه‌ریزی خطی چندهدفه (MOLP) جهت حل معادله ۲ می‌تواند به صورت زیر فرموله گردد [۲۱]:

$$\begin{aligned} \text{Min } f_1 &= (c^m - c^p)^T . x \\ \text{Max } f_2 &= (c^m)^T . x \\ \text{Max } f_3 &= (c^m - c^o)^T . x \\ s.t. \ x &\in X \end{aligned} \quad (3)$$

حال با استفاده از روش مجموعه‌های فازی زیرمن [۲۰] مساله دنبال می‌شود به طوری که:

$$\begin{aligned} \text{Max } Z &= [c_1x, c_2x, \dots, c_lx]^T \\ \text{Min } W &= [c_1x, c_2x, \dots, c_rx]^T \\ s.t. \ Ax &\leq b ; x \geq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

مطالعاتی که رویکرد بهینه‌سازی فازی را در متن طراحی برنامه‌ریزی لجستیک امداد بکار گرفته باشد، مشاهده نشده است.

هدف اصلی این مقاله، ارائه یک مدل برنامه‌ریزی امکانی^۱ چندهدفه برای مسائل تصمیم‌گیری لجستیک امداد در سطوح استراتژیک و عملیاتی می‌باشد که شامل مکان‌یابی مراکز توزیع امداد و تخصیص این مراکز به نواحی آسیب‌دیده در زمان بحران است. در مدل پیشنهادی، تعداد بهینه تسهیلات، مکان بهینه تسهیلات و ظرفیت مورد نیاز هر مکان بعنوان یک مرکز توزیع امداد^۲ (RDC) تعیین خواهد شد تا از این طریق بتوان کالاهای اضطراری را با کمترین هزینه و بالاترین سطح سرویس (رضایت مندی) به نقاط و افراد آسیب‌دیده ارسال نمود. برخلاف رویکردهای گذشته، مدل پیشنهادی، عدم قطعیت را از طریق مدل برنامه‌ریزی امکانی در نظر می‌گیرد و تلاش می‌کند تا عدم قطعیت و مقادیر غیر قطعی پارامترها نظیر تقاضای نقاط آسیب‌دیده، عرضه و هزینه‌ها را برحسب مجموعه‌های فازی ارائه دهد. نوآوری مدل ارائه شده که آن را با ادبیات موجود متمایز می‌نماید را می‌توان در موارد ذیل بیان نمود:

۱- ارائه یک مدل یکپارچه که مباحث برنامه‌ریزی راهبردی (مکانیابی) را با برنامه‌ریزی عملیاتی (تخصیص منابع امداد به مراکز آسیب) ترکیب می‌کند.

۲- در نظر گرفتن مساله لجستیک امداد با دو هدف هزینه‌های لجستیکی و رضایت‌مندی مناطق یا عدالت در توزیع کالا بین مناطق آسیب‌دیده.

۳- پیشنهاد یک مدل برنامه‌ریزی امکانی چندهدفه که منابع مختلف عدم قطعیت را که روی ساختار زنجیره امداد تاثیرگذار است، در نظر می‌گیرد.

در ادامه، این مقاله بصورت زیر سازماندهی شده است: در بخش دوم، مفاهیم و مباحث مرتبط به بحث برنامه چندهدفه امکانی به عنوان ابزاری جهت مدل‌سازی عدم قطعیت آورده شده است. در بخش سوم، مساله لجستیک امداد و فرمولاسیون آن تشریح شده است. در بخش چهارم، روش حل بکار گرفته برای مدل پیشنهادی بیان شده است. در بخش پنجم، یک مطالعه موردی برای بحران‌های بالقوه در چندین شهر ایران ارائه شده است. در نهایت، نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات در بخش ششم آمده است.

۲. رویکرد دو مرحله‌ای برنامه‌ریزی خطی امکانی

چندهدفه^۳ (MOPLP)

امروزه با توجه به این که پارامترهای زیادی در فرآیند تصمیم‌گیری وارد می‌شوند، از هدف‌های چندانگانه برای نیل به مطلوبیت مورد نظر

^۱ - Possibilistic Programming

^۲ - Relief distribution center (RDC)

^۳ - Multi-objective possibilistic linear programming (MOPLP)

توابع عضویت برای اهداف به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\begin{aligned}\mu_k(Z_k) &= (Z_k(x) - Z_k^{NIS}) / (Z_k^{PIS} - Z_k^{NIS}) \quad k = 1..l \\ \mu_s(W_s) &= (W_s^{NIS} - W_s(x)) / (W_s^{NIS} - W_s^{PIS}) \quad s = 1..r\end{aligned}\quad (5)$$

۳. مدل‌سازی مساله سیستم توزیع امداد تحت شرایط عدم قطعیت

قبل از ارائه مدل برنامه‌ریزی امکانی چندهدفه، در این بخش فرضیات، شناساگرها، پارامترها و متغیرهای مدل معرفی می‌گردند.

۳-۱. بیان مساله و فرضیات مدل

سیستم توزیع امداد شامل سه بخش اصلی می‌باشد (شکل ۱) که عبارتند از: تامین کنندگان، مراکز توزیع امداد و نقاط آسیب دیده (نقاط تقاضا). تامین کنندگان کالاهای امدادی نقش اساسی را در زنجیره امدادمان بازی می‌کنند و اجناس امدادی مورد نیاز را برای افرادی که در نقاط آسیب دیده قرار دارند، تامین می‌کنند. تامین دارای عدم قطعیت فرض شده است.

بطور کلی، N گره، M نوع کالای امدادی، I تامین‌کننده و K نقطه آسیب‌پذیر وجود دارد. هدف بررسی J نقطه کاندید بعنوان مراکز توزیع امداد است تا اینکه کارایی و اثربخشی مدل مورد بررسی قرار گیرد و سیستم توزیع بهینه شناسایی شود. برای انتخاب محل انبارش از یک مجموعه مرکز توزیع امداد کاندید، موارد زیر باید مورد توجه قرار گیرند:

الف) میزان گنجایش انبار؛

ب) نزدیکی به افراد آسیب‌دیده جهت کاهش هزینه‌های حمل و نقل؛ قبل از مدل‌سازی، فرضیات اصلی مساله به شرح ذیل عنوان می‌گردند:

۱- چندین گره جهت تامین کالاهای امدادی در شبکه وجود دارد.

۲- میزان تقاضای کالاهای امدادیتوام با عدم قطعیت است که در اینجا با تقاضای فازی مواجه می‌باشیم.

۳- سه نوع کالای امدادی (چادر، آب و نوشیدنی و بسته‌های غذایی) در نظر گرفته شده است.

۴- فقط نواحی آسیب‌دیده ای در نظر گرفته می‌شوند که امکان دسترسی از طریق شبکه حمل و نقل جاری میسر باشد.

۵- ناوگان حمل و نقل جهت ارسال کالا محدودیت خاصی ندارد.

که Z_k^{PIS} و W_s^{PIS} جواب‌های ایده‌آل مثبت (PIS) و Z_k^{NIS} و W_s^{NIS} جواب‌های ایده‌آل منفی (NIS) می‌باشند. اکنون با استفاده از عملگر max-min و درجه مطلوبیت، مساله برنامه‌ریزی خطی چندهدفه (MOLP) به عنوان یک مساله برنامه‌ریزی تک هدفه (LP) به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\begin{aligned}\text{Max } \lambda^{(1)} \\ \text{s.t. } \lambda^{(1)} &\leq (Z_k(x) - Z_k^{NIS}) / (Z_k^{PIS} - Z_k^{NIS}) \quad k = 1..l \\ \lambda^{(1)} &\leq (W_s^{NIS} - W_s(x)) / (W_s^{NIS} - W_s^{PIS}) \quad s = 1..r \\ x &\in X ; \lambda \in [0,1]\end{aligned}\quad (6)$$

چون جواب به‌دست آمده از مرحله ۱، همواره نمایان‌گر بهترین جواب ممکن نیست، لذا در صورت وجود جواب بهتر از مرحله ۲ به عنوان یک عملگر جبران‌کننده برای بهبود آن استفاده می‌کنیم.

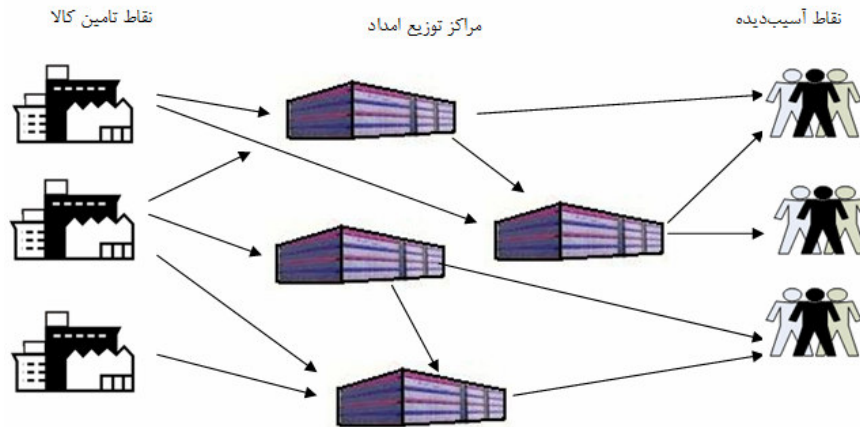
۲-۲. مرحله ۲

در این مرحله درجه مطلوبیت مرحله ۱ به عنوان یک محدودیت در مرحله ۲ در نظر گرفته می‌شود و عملگر میانگین حسابی $\lambda_{k,s}^{(2)}$ به عنوان میانگین $\lambda^{(2)}$ های هر محدودیت جهت ماکزیمم‌شدن در تابع هدف قرار می‌گیرد [۲۲].

$$\begin{aligned}\text{Max } \lambda_{k,s}^{(2)} &= \frac{1}{l+r} \sum_{i=1}^{l+r} \lambda_i \\ \text{s.t. } \lambda^{(1)} &\leq \lambda_k^{(2)} \leq (Z_k(x) - Z_k^{NIS}) / (Z_k^{PIS} - Z_k^{NIS}) \quad k = 1..l \\ \lambda^{(1)} &\leq \lambda_s^{(2)} \leq (W_s^{NIS} - W_s(x)) / (W_s^{NIS} - W_s^{PIS}) \quad s = 1..r \\ x &\in X ; \lambda \in [0,1]\end{aligned}\quad (7)$$

¹ - Positive Ideal Solution (PIS)

² - Negative Ideal Solution (NIS)



شکل ۱. طرح کلی زنجیره توزیع امداد

۲-۳. شناساگرهای مدل

با توجه به فرضیات مطرح شده، شناساگرهای مدل عبارتند از:

I: مجموعه نقاط تامین (نقاط تجميع امداد)

J: مجموعه مراکز توزیع امداد

K: مجموعه نقاط آسیب‌پذیر

M: مجموعه کالاهای امدادی

i: شناساگر مربوط به نقاط تامین (نقاط تجميع امداد)

j: شناساگر مربوط به مراکز توزیع امداد

k: شناساگر مربوط به نقاط آسیب‌پذیر

m: شناساگر مربوط به کالای امدادی

۴-۳. توابع هدف و محدودیت‌ها

$$\text{Min } \tilde{F}_1 = \sum_j \tilde{f}_j Z_j + \sum_{m,i,j} \tilde{c}_{ij} X_{mij} + \sum_{m,j,k} \tilde{c}_{jk} Y_{mjk} + \sum_{mk} \pi_k (\tilde{d}_{mk} - \sum_j Y_{mjk}) \quad (8)$$

$$\text{Max } \tilde{F}_2 = \sum_m \text{Min}_k \left\{ \frac{\sum_j Y_{mjk}}{\tilde{d}_{mk}} \right\} \quad (9)$$

s.t:

$$\sum_{j,k} Y_{mjk} \leq \min \left\{ \sum_k \tilde{d}_{mk}, \sum_i \tilde{s}_{mi} \right\} \quad \forall m \quad (10)$$

$$\sum_i X_{mij} = \sum_k Y_{mjk} \quad \forall m, j \quad (11)$$

$$\sum_j X_{mij} \leq \tilde{s}_{mi} \quad \forall m, i \quad (12)$$

$$\sum_j Y_{mjk} \leq \tilde{d}_{mk} \quad \forall m, k \quad (13)$$

$$X_{mij} \leq M \cdot Z_j \quad \forall m, i, j \quad (14)$$

$$Y_{mjk} \leq M \cdot Z_j \quad \forall m, j, k \quad (15)$$

$$X_{mij} \geq 0 \quad \forall m, i, j \quad (16)$$

$$Y_{mjk} \geq 0 \quad \forall m, j, k \quad (17)$$

$$Z_j \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (18)$$

هدف ۱: حداقل کردن مجموع هزینه‌های راه‌اندازی، هزینه‌های حمل و نقل از نقاط تامین (تجميع امداد) به مراکز توزیع امداد و هزینه حمل و نقل از مراکز توزیع امداد به نقاط آسیب‌دیده.

۳-۳. پارامترها

پارامترهای مدل عبارتند از:

$\tilde{f}_j$: هزینه برپاسازی مرکز توزیع امداد j.

$\tilde{d}_{mk}$: مقدار کالای امدادی مورد نیاز نوع m در نقطه آسیب‌دیده k.

$\tilde{s}_{mi}$: مقدار کالای جمع شده نوع m در نقطه تامین (تجميع امداد) i.

X_{mij} : مقدار کالای نوع m منتقل شده از نقطه تامین (تجميع امداد) i به مرکز توزیع امداد j.

Y_{mjk} : مقدار کالای نوع m منتقل شده از مرکز توزیع امداد j به ناحیه آسیب‌دیده k.

$\tilde{c}_{ij}$: هزینه انتقال هر واحد کالا از نقطه تامین (تجميع امداد) i به مرکز توزیع امداد j.

$\tilde{c}_{jk}$: هزینه انتقال هر واحد کالا از مرکز توزیع امداد j به نقطه آسیب‌دیده k.

π_k : هزینه کمبود هر واحد کالا در نقطه آسیب‌دیده k.

Z_j : اگر مرکز توزیع امداد j جهت باز شدن انتخاب شود برابر ۱ و در غیر این صورت برابر ۰ می‌باشد.

l - کلیه پارامترهایی که به صورت ~ نشان داده شده‌اند، اعداد فازی مثلثی می‌باشند $\tilde{y} = (l, m, u)$.

(۱۸)، محدودیت‌های غیرمنفی بودن، صفر و یک و عدد صحیح بودن متغیرهاست.

۴. رویکرد حل

با توجه به توابع هدف و محدودیت‌های اشاره شده در بخش قبل، ما با یک مدل برنامه‌ریزی خطی امکانی چندهدفه (MOPLP) مواجهیم. برای حل این مساله، ما رویکرد دومرحله‌ای توضیح داده شده در بخش دوم را بکار می‌گیریم. در مرحله اول، مساله اصلی به یک مساله برنامه‌ریزی خطی چندهدفه (MOLP) معادل تبدیل شده و از طریق روش زیمرمن با استفاده از یک عملکرد $max-min$ به یک مدل برنامه‌ریزی خطی تک‌هدفه تبدیل می‌شود. سپس، در مرحله دوم، درجه مطلوبیت مرحله ۱ به عنوان محدودیت در مرحله ۲ در نظر گرفته می‌شود و عملکرد میانگین حسابی جهت ماکزیمم‌شدن در تابع هدف قرار می‌گیرد.

۴-۱. تبدیل تابع هدف هزینه کل نادقیق و محدودیت‌های

نادقیق

در این مرحله تابع هدف اول مساله برنامه‌ریزی خطی امکانی (رابطه ۸) که شامل ضرایب فازی مثلثی می‌باشند، به کمک رابطه (۳) به یک مساله برنامه‌ریزی خطی چندهدفه تبدیل می‌شوند. لذا خواهیم داشت:

$$Max F_{11} = (F_{11}^m - F_{11}^l) = \sum_j (f_j^m - f_j^l) . Z_j + \sum_{m,i,j} (c_{ij}^m - c_{ij}^l) . X_{mij} + \sum_{m,j,k} (c_{jk}^m - c_{jk}^l) Y_{mjk} + \sum_{m,k} \pi_k . ((d_{mk}^m - d_{mk}^l) - \sum_j Y_{mjk}) \quad (22-1)$$

$$Min F_{12} = F_{12}^m = \sum_j f_j^m . Z_j + \sum_{m,i,j} c_{ij}^m . X_{mij} + \sum_{m,j,k} c_{jk}^m Y_{mjk} + \sum_{m,k} \pi_k . (d_{mk}^m - \sum_j Y_{mjk}) \quad (22-2)$$

$$Min F_{13} = (F_{13}^u - F_{13}^m) = \sum_j (f_j^u - f_j^m) . Z_j + \sum_{m,i,j} (c_{ij}^u - c_{ij}^m) . X_{mij} + \sum_{m,j,k} (c_{jk}^u - c_{jk}^m) Y_{mjk} + \sum_{m,k} \pi_k . ((d_{mk}^u - d_{mk}^m) - \sum_j Y_{mjk}) \quad (22-3)$$

محدودیت‌های فازی مدل (محدودیت‌های ۱۰، ۱۲، ۱۳ و ۲۰) نیز با روش "مرکز ناحیه" بصورت زیر فازی‌زدایی می‌شوند [۲۰].

$$\sum_{j,k} Y_{mjk} \leq \min \left\{ \sum_k \frac{(d_{mk}^u - d_{mk}^l) + (d_{mk}^m - d_{mk}^l)}{3} + d_{mk}^l, \sum_i \frac{(s_{mi}^u - s_{mi}^l) - (s_{mi}^m - s_{mi}^l)}{3} + s_{mi}^l \right\} \quad \forall m \quad (23)$$

$$\sum_j X_{mij} \leq \frac{(s_{mi}^u - s_{mi}^l) - (s_{mi}^m - s_{mi}^l)}{3} + s_{mi}^l \quad \forall m, i \quad (24)$$

$$\sum_j Y_{mjk} \leq \frac{(d_{mk}^u - d_{mk}^l) + (d_{mk}^m - d_{mk}^l)}{3} + d_{mk}^l \quad \forall m, k \quad (25)$$

$$W_m \leq \frac{\sum_j Y_{mjk}}{\frac{(d_{mk}^u - d_{mk}^l) + (d_{mk}^m - d_{mk}^l)}{3} + d_{mk}^l} \quad \forall m, k \quad (26)$$

هدف ۲: بیشینه‌کردن رضایت‌مندی در نقاط آسیب‌دیده از طریق بیشینه‌کردن مجموع کمترین درصد پوشش در نقاط آسیب‌دیده؛ هدف دوم بوضوح غیرخطی است. مدل خطی معادل می‌تواند بصورت ذیل نوشته شود:

$$Max \tilde{F}_2 = \sum_m W_m \quad (19)$$

s.t.:

$$W_m \leq \frac{\sum_j Y_{mjk}}{\tilde{d}_{mk}} \quad \forall m, k \quad (20)$$

$$W_m \quad \forall m \quad (21)$$

محدودیت (۱۰) به این معناست که کالاها اجازه داده نمی‌شوند که بیکار باشند و می‌بایست ارسال شوند و همچنین نمی‌توان کالایی که وجود ندارد را فرستاد. محدودیت (۱۱) معادله تعادل جریان برای هر کالا در هر مرکز توزیع امداد را نشان می‌دهد و تضمین می‌کند که کل کالاهایی که به یک مرکز توزیع امداد وارد می‌شوند، از آن خارج خواهند شد. محدودیت (۱۲) بدین معناست که کل کالاهای در دسترس در نقاط تامین، قابل ارسال به مراکز توزیع امداد هستند. محدودیت (۱۳) از ارسال کالاهای امدادی اضافی به نقاط آسیب‌دیده جلوگیری می‌کند.

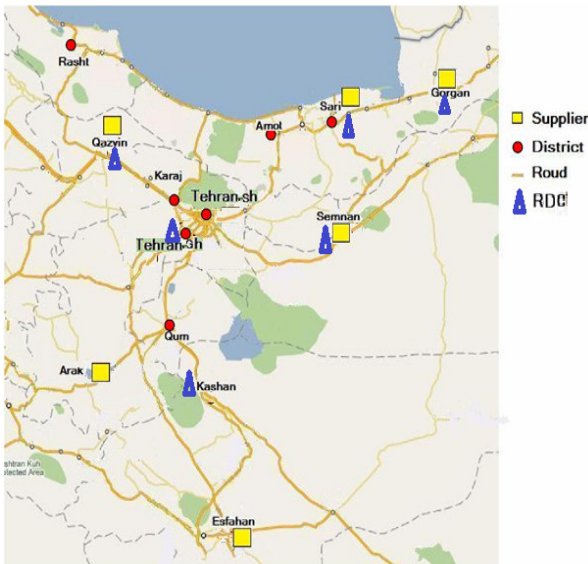
محدودیت (۱۴) و (۱۵) از ورود و خروج کالا به مرکز توزیع امدادی که راه‌اندازی نشده‌اند، جلوگیری می‌کند. محدودیت‌های (۱۶) تا

جبران‌کننده برای بهبود جواب به‌دست آمده از مرحله ۱ استفاده می‌کنیم.

۵. مثال عددی

۵-۱. تشریح مثال

در شکل ۲، نواحی که ممکن است تحت تاثیر بحران آسیب ببینند، مشخص شده‌اند. طبق شکل ۲، شش نقطه تامین (مرکز تجمع امداد)، شش نقطه کاندید جهت راه اندازی مراکز توزیع امداد و هفت نقطه آسیب‌پذیر بر روی نقشه در نظر گرفته شده است. سه نوع کالای امدادی آب، بسته غذایی و چادر در نظر گرفته شده که مقادیر آن‌ها با یکدیگر برابر است. ظرفیت شش نقطه تامین برای هر کالای امدادی در جدول ۱ نشان داده شده است. جدول ۲، میزان تقاضای کالاهای متفاوت را برای هر نقطه آسیب‌پذیر نشان می‌دهد. تقاضای کالاهای مختلف، یکسان در نظر گرفته شده‌اند.



شکل ۲. نقشه مطالعه موردی: نقاط تامین، مراکز توزیع امداد و نقاط آسیب‌پذیر

هزینه راه‌اندازی مراکز توزیع امداد شهرهای گرگان، ساری، قزوین، سمنان، تهران-غرب و کاشان برابر عددفازی مثلثی (۱۲۰۰۰۰، ۱۰۰۰۰۰، ۹۰۰۰۰۰) فرض شده است.

در جداول ۳ و ۴، هزینه حمل و نقل بین دو نقطه (مبتهی برفاصله بینابین دو نقطه) آمده است. هزینه جریمه نیز برابر ۰/۳۵ تخمین زده شده است. مدل ارائه شده تلاش می‌کند تا به کمک یک مدل برنامه‌ریزی خطی امکانی چندهدفه، همزمان، بیشترین مقدار محتمل هزینه‌های کل نادقیق را کمینه نماید، احتمال کسب هزینه‌های کل پایین‌تر را بیشینه نماید و ریسک بدست آوردن هزینه‌های کل بالاتر را کمینه نماید.

محدودیت‌های دیگر (محدودیت‌های ۱۱، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸ و ۲۱) که غیرفازی هستند به همان شکل باقی می‌مانند. بدین ترتیب، یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه قطعی بصورت زیر حاصل می‌شود:

MOLP:

$$\text{Min } Z = [-F_{11}, F_{12}, F_{13}, -F_2] \quad (27)$$

$$s.t. (11), (14), (18), (21), (23), (26)$$

۴-۲. روش حل برنامه‌ریزی فازی پیشنهادی

برای حل مساله برنامه‌ریزی خطی چندهدفه ایجاد شده (معادله ۲۷)، به کمک روش مجموعه‌های فازی زیرمرن (روابط ۴ و ۵)، توابع عضویت برای هدف‌های مساله به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\mu_{F_{11}} = \begin{cases} 1 & F_{11} > F_{11}^{PIS} \\ \frac{F_{11} - F_{11}^{NIS}}{F_{11}^{PIS} - F_{11}^{NIS}} & F_{11}^{NIS} \leq F_{11} \leq F_{11}^{PIS} \\ 0 & F_{11} < F_{11}^{NIS} \end{cases} \quad (28)$$

$$\mu_{F_{12}} = \begin{cases} 1 & F_{12} < F_{12}^{PIS} \\ \frac{F_{12}^{NIS} - F_{12}}{F_{12}^{PIS} - F_{12}^{NIS}} & F_{12}^{PIS} \leq F_{12} \leq F_{12}^{NIS} \\ 0 & F_{12} > F_{12}^{NIS} \end{cases} \quad (29)$$

البته $\mu_{F_{13}}$ همانند $\mu_{F_{12}}$ می‌باشد. حال کافیست تا جواب‌های ایده آل مثبت (PIS) و منفی (NIS) مربوط به هر تابع هدف به صورت زیر تعیین گردند:

$$F_{11}^{PIS} = \text{Max}(F_{11}^m - F_{11}^l), F_{11}^{NIS} = \text{Min}(F_{11}^m - F_{11}^l) \quad (30-1)$$

$$F_{12}^{PIS} = \text{Min } F_{12}^m, F_{12}^{NIS} = \text{Max } F_{12}^m \quad (30-2)$$

$$F_{13}^{PIS} = \text{Min}(F_{13}^u - F_{11}^m), F_{13}^{NIS} = \text{Max}(F_{13}^u - F_{11}^m) \quad (30-3)$$

اکنون با استفاده از یک عملگر max-min، مساله مساله برنامه‌ریزی خطی چندهدفه به کمک رابطه (۶) به یک مساله برنامه‌ریزی خطی تک‌هدفه تبدیل می‌شود. سپس، از مرحله ۲ به عنوان یک عملگر

جدول ۱. مقدار هر نوع کالا موجود در هریک از نقاط تامین (*1000)

اصفهان	اراک	سمنان	قزوین	ساری	گرگان	تامین(s)
(595,700,875)	(595,700,875)	(425,500,625)	(510,600,750)	(382,450,562)	(340,400,500)	$s(s_p, s_m, s_o)$

جدول ۲. مقدار تقاضای هر نوع کالا در هریک از نقاط آسیب‌دیده (*1000)

قم	کرج	تهران-شرق	تهران-غرب	رشت	آمل	ساری	تقاضا(d)
(330,405,480)	(350,437,525)	(880,1080,1280)	(1215,1485,1710)	(250,300,320)	(170,212,255)	(225,270,315)	$d(d_p, d_m, d_o)$

جدول ۳. هزینه انتقال هر واحد کالا از نقاط تامین به مراکز توزیع امداد (*10⁻²)

کاشان	تهران-غرب	سمنان	قزوین	ساری	گرگان	مراکز توزیع نقاط تامین
(207 180 166)	(125 110 97)	(90 70 60)	(160 150 137)	(62 50 30)	(0 0 0)	گرگان
(142 120 108)	(89 80 63)	(80 70 55)	(102 90 85)	(0 0 0)	(70 50 33)	ساری
(79 70 63)	(65 40 28)	(87 70 55)	(0 0 0)	(102 90 85)	(180 150 140)	قزوین
(144 120 105)	(64 50 42)	(13 5 0)	(97 85 71)	(86 75 67)	(92 80 67)	سمنان
(85 70 43)	(65 50 35)	(176 150 136)	(81 60 48)	(155 130 118)	(261 250 236)	اراک
(70 60 55)	(112 90 68)	(152 130 111)	(230 220 204)	(197 170 158)	(305 280 260)	اصفهان

جدول ۴. هزینه انتقال هر واحد کالا از مراکز توزیع امداد به نقاط آسیب‌دیده (*10⁻²)

قم	کرج	تهران شرق	تهران غرب	رشت	آمل	ساری	نقاط آسیب مراکز توزیع
(171 150 132)	(168 140 122)	(152 135 118)	(148 130 111)	(222 200 190)	(95 70 52)	(77 50 35)	گرگان
(160 140 128)	(138 110 95)	(79 65 55)	(89 80 63)	(145 120 107)	(25 15 7)	(19 5 0)	ساری
(56 45 31)	(39 20 4)	(51 35 19)	(68 40 28)	(62 40 26)	(114 90 72)	(102 90 85)	قزوین
(117 100 87)	(79 60 44)	(58 45 32)	(64 50 42)	(183 160 147)	(103 80 60)	(86 75 67)	سمنان
(55 35 21)	(33 15 10)	(12 10 4)	(8 5 0)	(136 110 98)	(98 85 67)	(89 80 63)	تهران غرب
(60 35 19)	(82 55 39)	(86 75 57)	(91 70 51)	(171 160 148)	(156 130 113)	(142 120 108)	کاشان

۵-۲. گام‌های حل

رویه حل برای مساله برنامه‌ریزی چندهدفه امکانی در گام‌های زیر بیان شده است:

گام اول: مدل‌سازی مساله برنامه‌ریزی چندهدفه امکانی نادقیق به کمک توابع هدف چندگانه و محدودیت‌ها مطابق معادلات (۱) تا (۲۱).

گام دوم: تعیین داده‌های نادقیق از ضرایب تابع هدف و مقادیر سمت راست با توزیع امکان مثلثی (جدول ۱ تا ۴)

گام سوم: تبدیل هر تابع هدف نادقیق به سه تابع هدف قطعی جدید مطابق معادلات (۱-۲۲) تا (۳-۲۲).

گام چهارم: تبدیل محدودیت‌های نادقیق به محدودیت‌های قطعی جدید مطابق معادله (۲۳) تا (۲۶).

گام پنجم: حل انفرادی هریک از توابع هدف مساله چندهدفه دقیق با محدودیت‌های دقیق بعنوان یک مساله تک هدفه و محاسبه

جواب ایده‌آل مثبت و منفی هر تابع هدف کمکی (جدول ۵). برای حل، نرم‌افزار بهینه‌سازی لینگو ۸ مورد استفاده قرار گرفته است. **گام ششم:** یافتن تابع عضویت توابع هدف کمکی، مطابق معادلات (۲۸) و (۲۹).

گام هفتم: ساخت یک مدل تک هدفه به کمک توابع عضویت و محاسبه درجه رضایت بهینه $(\lambda^{(1)})$ فاز ۱ (مطابق معادله ۶).

گام هشتم: گرفتن نتایج بهینه گام هفتم و اضافه کردن آن به رویکرد فاز ۲ بعنوان محدودیت و حل فاز ۲ (مطابق معادله ۷) و محاسبه درجه رضایت بهینه $(\lambda^{(2)})$ فاز ۲.

گام نهم: افزایش $\lambda^{(1)}$ به اندازه‌ی درجه قابل قبول و چک کردن درجه رضایت‌مندی همه $\lambda_{k,s}^{(2)}$. اگر هریک از $\lambda_{k,s}^{(2)}$ و نتایج z پذیرفته شده‌اند، افزایش ادامه می‌یابد، در غیراین‌صورت گام به گام مقادیر جواب ایده‌آل مثبت و منفی کاهش داده می‌شود تا یک جواب قابل قبول حاصل گردد.

۵-۳. نتایج و یافته‌ها

در این بخش، نتایج محاسباتی و یافته‌ها ارائه شده است. مساله مورد نظر با استفاده از نرم افزار LINGO 8 بر روی کامپیوتری با مشخصات PC Pentium IV-3 GHz and 1GB RAM DDR2 under win vista اجرا شد. نتایج حل مدل در جداول ۶ و ۷ آورده شده است.

جدول ۵. مقادیر ایده آل مثبت و منفی چهارتابع کمکی

		Z_1	Z_2	Z_3
Test1	PIS	5051250	4373250	2927800
	NIS	3904100	40201750	7093375
Test2	PIS	5200000	4200000	2800000
	NIS	3400000	45000000	7800000

جدول ۶. مراکز توزیع امداد احداث شده

کاشان	تهران-غرب	ساری	مراکز توزیع امداد (Test1)
کاشان	تهران-غرب	قزوین	مراکز توزیع امداد (Test2)

جدول ۷. جواب‌های فاز اول و فاز دوم بهبود یافته برای درجه‌های مختلف تصمیم‌گیر

قم	کرج	تهران-شرق	رشت	آمل	کاشان	تهران-غرب	سمنان	قزوین	ساری	گرگان
Test1										
Phase1										
					2240344	3636966			1305192	X
	319810	3240000	870000	637500		1305192			810000	Y
$\lambda^{(1)} = 0.6990$					$\tilde{F}_1 = (10448112, 15154180, 19335417) , (F_2 = 13.67754)$					
Test1										
Phase2										
					2240344	3636966			1305192	X
	319810	3240000	870000	637500		1305192			810000	Y
$\lambda^{(1)} = 0.6990$					$\lambda_{k,s}^{(2)} = 0.6990$					
$\tilde{F}_1 = (10448112, 15154180, 19335417) , (F_2 = 13.67754)$										
Test2										
Phase1										
					2170000	1958371		2087852	1240000	X
	1215000	872852	3114204	290000	637500	1240000			810000	Y
$\lambda^{(1)} = 0.7160$					$\tilde{F}_1 = (10224588, 14933470, 19153241) , (F_2 = 14.32092)$					
Test2										
Phase2										
					2170000	1958442		2090000	1240000	X
	1215000	875000	3114275	290000	637500	1240000			810000	Y
$\lambda^{(1)} = 0.7160$					$\lambda_{k,s}^{(2)} = 0.7218$					
$\tilde{F}_1 = (10226400, 14935200, 19154903) , (F_2 = 14.32580)$										

نمی‌شد (کرج)، نیز فرستاده شده که با توجه به داده‌های مساله، نیاز هر یک از نقاط آسیب به اندازه‌ی مطلوب آن برآورده شده است. در تست اول، مقادیر درجه‌ی رضایت‌مندی بدست آمده از دو مرحله حل، برابر هم شدند که این مطلب موید این نکته است که، کارآمدی فاز اول مناسب بوده و فاز دوم بهبودی در آن حاصل نکرده است. اما تست دوم که مقادیر NIS و PIS در آن بهبود داده شدند نشان می‌دهد، درجه رضایت‌مندی قابل قبول تصمیم‌گیر در مرحله اول روش حل، $\lambda^{(1)}$ ، برابر 0.7160 شده است. سپس، در مرحله دوم، درجه رضایت تصمیم‌گیر از طریق اضافه کردن یک حد پایین بهبود یافت. در نتیجه تغییر فوق، درجه رضایت‌مندی به 0.7218 افزایش یافت و تمامی توابع هدف نیز بهبود یافتند. رویکرد برنامه‌ریزی امکانی پیشنهاد شده، درجه رضایت‌مندی تصمیم‌گیر را تحت

همانطور که از نتایج بدست آمده در جدول ۷ مشخص است، کالاهای فرستاده شده به مراکز توزیع امداد با توجه به میزان تقاضای بالای نقاط تهران-غرب، تهران-شرق و کرج بیشتر به تهران-غرب و کاشان برده شده است، همچنین با توجه به تقاضای بیشتر تهران-شرق و تهران-غرب نسبت به کرج و هزینه انتقال کالای کمتر از تهران-غرب به تهران-شرق و تهران-غرب تا کرج کاملاً مبرهن است که هیچ کالایی به کرج فرستاده نشود. اما در تست دوم با بهبود مقادیر ایده‌آل مثبت و منفی توسط تصمیم‌گیرنده که تنها جهت بررسی و آزمودن جواب‌های حاصله از تست اول صورت گرفته است، آشکار گردید که با افزوده شدن به تعداد مراکز توزیع (قزوین) و همچنین هزینه‌های انتقال کالا از آن شهر، کالا به آخرین نقطه آسیب که هیچ کالایی به آن فرستاده

تقاضا و عرضه برای هر نوع کالا، عدم قطعیت در برخی پارامترهای هزینه‌ای، حالت چندکالایی و ساختار سه سطحی زنجیره امداد. در ادامه، مدل پیشنهادی با بکارگیری روش زیرمن، بعنوان یک مساله برنامه‌ریزی خطی تک‌هدفه فرموله شد. در نهایت برای نشان دادن کارایی مدل، یک مطالعه موردی ارائه شد. با توجه به نتایج محاسباتی، اعتقاد بر این است که مدل ارائه شده می‌تواند متدولوژی کارا و معتبری برای مدیریت توزیع امداد در یک محیط عدم قطعیت عرضه کند.

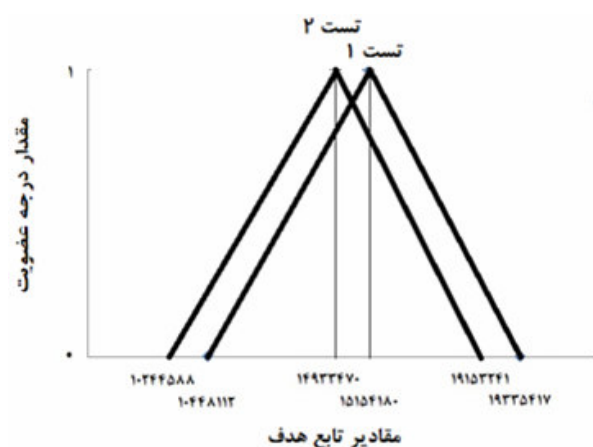
از جمله مواردی که می‌توان برای تحقیقات آتی منظور نمود، در نظر گرفتن تابع جریمه برای زمانی که توزیع کالاهای امدادی به نقاط آسیب‌دیده با تاخیر انجام گیرد، می‌باشد. همچنین هیچ شکلی برای بیان پاداش، زمانی که کالاهای امدادی زودتر از موعد برسند، وجود ندارد. یکی از مشخصه‌های اصلی زنجیره امداد بلایا حضور اهداف و ارجحیت‌های مختلف است. می‌توان علاوه بر اهداف در نظر گرفته شده در این مقاله، توابع هدف دیگر نظیر کمینه‌سازی زمان حمل و نقل را نیز در نظر گرفت. می‌توان غیر از محدودیت‌های مربوط به ظرفیت مراکز تامین و توزیع، محدودیت‌های دیگری مانند محدودیت در تجهیزات حمل و نقل و محدودیت در ظرفیت کمان جهت ارسال کالاهای امدادی را نیز در نظر گرفت.

یک بلا و بحران طبیعی خیلی پیچیده‌تر و گسترده‌تر از محدوده مطالعه حاضر خواهد بود، لذا رویکردی که قلمرو لجستیک اضطراری بین‌المللی را نیز در نظر بگیرد، کارایی و اثربخشی بیشتر مدل‌ها را تضمین خواهد کرد.

مراجع

- [1] Aslanzadeh, M., Rostami, E.A., Kardar, L., "Logistics Management and SCM in Disasters; in book: Supply Chain and Logistics in National, International and Governmental Environment: Concepts and Models", Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009, pp. 221-252.
- [2] Akkihal, A., "Inventory Pre-positioning for Humanitarian Operations", Thesis for Degree of Master of Engineering in Logistics, MIT CTL, 2006.
- [3] Douglas, L., "Logistics for Disaster Relief", IIE Solutions, 1997, pp. 26-29.
- [4] Balcik, B., Beamon, B.M., "Facility Location in Humanitarian Relief", International Journal of Logistics, Research and Applications, Vol. 11, No. 2, 2008, pp. 101-121.
- [5] Thomas, A., "Humanitarian Logistics: Enabling Disaster Response", the Fritz Institute, 2003. Available <http://www.fritzinstitute.org>
- [6] Brotcorne, L., Laporte, G., Semet, F., "Ambulance Location and Relocation Models", European Journal Operational Research, Vol. 147, No. 3, 2003, pp. 451-463.
- [7] Van Wassenhove, L.N., Martinez, A.J.P., "Using OR to Adapt Supply Chain Management to Humanitarian

استراتژی کمینه‌کردن با محتمل‌ترین مقدار و ریسک بدست آوردن هزینه کل بالاتر و همچنین بیشینه‌کردن احتمال بدست آوردن هزینه کل پائین‌تر، فراهم می‌کند. چنانچه مقدار $\lambda = 1$ باشد، آنگاه همه اهداف بطور کامل ارضا شده است، اگر $0 < \lambda < 1$ باشد، آنگاه همه‌ی اهداف در مرحله‌ی λ برآورده می‌شوند و اگر $\lambda = 0$ باشد آنگاه هیچکدام از اهداف برآورده نمی‌شوند. درجه‌ی رضایت تصمیم‌گیر با مقدار اهداف (۱۹۳۳۵۴۱۷، ۱۵۱۵۴۱۸۰، ۱۰۴۴۸۱۱۲) برابر ۰/۶۹۹۰ بدست آمد. در ادامه، پس از اجرای مرحله دوم، مقدار هدف هریک از توابع، در صورت امکان بهبود (در تست اول این مثال امکان بهبود وجود نداشت) تغییر یافته و بهبود حاصل شد. این نتایج بهبود یافته در شکل ۳ نمایش داده شده است.



شکل ۳. توزیع احتمالی مقادیر بهینه تابع هدف

مقایسه‌ی جواب‌های تست اول و دوم نیز تصریح می‌کند که تغییرات در PIS و NIS بر مقدار λ و توابع هدف تاثیر می‌گذارد. مقدار λ از ۰/۶۹۹۰ به ۰/۷۱۶۰ افزایش یافت. مقدار افزایش کم، نشان‌گر این مطلب است که در شرایط عددی این مدل، امکان تغییرات چشمگیر در مقادیر امدادسانی و همچنین افزایش رضایت‌مندی به میزان زیاد وجود ندارد. اما همین تغییر اندک نیز نشان می‌دهد که مقادیر تابع هدف در حالت تست اول (۱۹۳۳۵۴۱۷، ۱۵۱۵۴۱۸۰، ۱۰۴۴۸۱۱۲)، پس از حل مدل در حالت دوم به مقادیر (۱۹۱۵۳۲۴۱، ۱۴۹۳۳۴۷۰، ۱۰۲۴۴۵۸۸) کاهش یافت. این موضوع تلویحا موید این مطلب است که تصمیم‌گیر باید یک مجموعه‌ی مناسب از PIS و NIS توابع هدف را برای تصمیم‌گیری تعیین کند.

۶. نتیجه‌گیری و تحقیقات آتی

در این تحقیق، یک مدل برنامه‌ریزی امکانی چندهدفه برای سیستم لجستیک امداد بلایا توسعه داده شد. مدل چندهدفه شامل مینیم کردن هزینه کل و ماکزیمم کردن رضایت‌مندی افراد آسیب‌دیده بود. مدل فرضیات اساسی زیر را در نظر گرفته بود: عدم قطعیت در

- [21] Lai, Y., Hwang, C., "A New Approach to Some Possibilistic Linear Programming Problems", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 49, 1992, pp.121-133.
- [22] Ozgen, D., Onut, S., Gulsun, B., Tuzkaya, U.R., Tuzkaya, G., "A Two-Phase Possibilistic Linear Programming Methodology for Multi-Objective Supplier Evaluation and Order Allocation Problems", *Information Sciences*, Vol. 178, 2008, pp. 485-500
- Logistics", *International Transactions in Operational Research- ITOR*, DOI: 10.1111/ j.1475-3995.2010.00792.x, 2011.
- [8] Altay, N., Green, W.G., "OR/MS Research in Disaster Operations Management", *European Journal Operational Research*, Vol. 175, No.1, 2006, pp. 475-493.
- [9] Bakuli, D.L., Smith, J.M. "Resource Allocation in State-Dependent Emergency Evacuation Networks", *European Journal of Operational Research*, Vol. 89, No. 3, 1996, pp. 543-555.
- [10] Jia, H., Ordonez, F., Dessouky, M., "A Modeling Framework for Facility Location of Medical Services for Large-Scale Emergencies", *IIE Transactions*, Vol. 39, No. 1, 2007a, pp. 41-55.
- [11] Yi, W., Kumar, A., "Ant Colony Optimization for Disaster Relief Operations", *Transportation Research Part E*, Vol. 43, 2007, pp. 660-672.
- [12] Tzeng, G.H., Cheng, H.J., Huang, T.D., "Multi-Objective Optimal Planning for Designing Relief Delivery Systems", *Transportation Research Part E*, Vol. 43, No. 6, 2007, pp. 673-686.
- [13] Sheu, J.B., "An Emergency Logistics Distribution Approach for Quick Response to Urgent Relief Demand in Disasters", *Transport Research part E*, Vol. 43, No. 6, 2007, pp. 687-709.
- [14] Rawls, C.G., Trunquist, M.A., "Pre-Positioning of Emergency Supplies for Disaster Response", *Transportation research part B: Methodological*, Vol. 44, No.4, 2010, pp. 521-534.
- [15] Barbarosoglu, G., Arda Y., "A Two-Stage Stochastic Programming Framework for Transportation Planning in Disaster Response", *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 55, 2004, pp. 43-53.
- [16] Chang, M.S, Tseng, Y.L., Chen, J.W., "A Scenario Planning Approach for the Flood Emergency Logistics Preparation Problem Under Uncertainty", *Transportation Research Part E*, Vol. 43, No. 6, 2007, pp. 737-754.
- [17] Beraldi, P., Bruni, M.E., "A Probabilistic Model Applied to Emergency Service Vehicle Location", *European Journal of Operational Research*, Vol. 196, No. 1, 2009, pp. 323-331.
- [18] Mete, O. H., Zabinsky, Z.B., "Stochastic Optimization of Medical Supply Location and Distribution in Disaster Management", *International Journal of Production Economics*, Vol. 126, No. 1, 2010, pp. 76-84.
- [19] Pishvae, M.S., Torabi, S.A., "A Possibilistic Programming Approach for Closed-Loop Supply Chain Network Design Under Uncertainty", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 161, No.20, 2010, pp. 2668-2683.
- [20] Zimmermann, H.J., "Fuzzy Programming and Linear Programming with Several Objective Functions", *Fuzzy sets and Systems*, Vol. 1, 1978, pp. 45-55.