

مدلسازی ریاضی برای مساله حمل و نقل سبز برای اقلام فاسد نشدنی

در شرایط بحران

مقاله علمی - پژوهشی

رضا توکلی مقدم*، استاد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
مریم عبدی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: tavakoli@ut.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۶ - پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۵

صفحه ۵۹۸-۵۷۹

چکیده

آمارها نشان از افزایش قابل توجه تعداد بلایای طبیعی دارد. تاثیرات اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی این دسته از حوادث، توجه محققان را نسبت به تصمیمات این حوزه به خود جلب کرده است. با توجه به حادثه خیز بودن ایران و بروز حوادث طبیعی نظیر سیل، زلزله و طوفان و همچنین وجود سابقه جنگ، مدیریت بحران به یکی از کلیدی‌ترین موضوعات مدیریتی حال حاضر کشور تبدیل شده است بنابراین نیاز به برنامه‌ریزی لجستیک بشر دوستانه با در نظر گرفتن شرایط واقعی ضروری بنظر می‌رسد. مهم‌ترین ویژگی‌های یک امداد رسانی خوب کاهش زمان ارسال محموله‌های کمکی و کاهش هزینه‌های کلی به جهت استفاده هر چه بهتر از منابع مالی موجود می‌باشد. اما با توجه به شرایط محیط زیستی حال حاضر در جهان و با توجه به رویکرد بهبود مستمر، دیدگاه‌های محیط زیستی در مسائل لجستیک مورد توجه محققان قرار گرفته است. در این پژوهش، ابتدا یک مدل خطی عدد صحیح مختلط دو هدفه ارائه شده است که تابع هدف اول به کاهش هزینه انتقال کالاهای امدادی و نیز کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و تابع هدف دوم به کاهش زمان امداد رسانی می‌پردازد. عدم قطعیت موجود در مدل نیز از طریق روش آنترویی حداکثر در نظر گرفته شده است. در نهایت این مدل با استفاده از روش حل دقیق گمز و نیز الگوریتم ژنتیک چند هدفه و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چند هدفه حل شده است. تحلیل حساسیت بر روی یکی از پارامترهای اصلی مدل انجام گرفته و نیز روش‌های حل با کمک چندین معیار با هم مقایسه شده‌اند و با توجه به معیارها، در انتها الگوریتم ژنتیک چندهدفه در اندازه‌های کوچک و بزرگ بهترین جواب را اتخاذ نمود.

واژه‌های کلیدی: لجستیک بشر دوستانه، حمل و نقل سبز، مدیریت بحران، روش آنترویی حداکثر، الگوریتم‌های فراابتکاری

۱- مقدمه

نگرانی‌های زندگی بشر است که علی‌رغم پیشرفت‌های گوناگون بشر، همچنان در بسیاری از زمینه‌ها آسیب‌پذیر هستند. مرکز کاهش بحران آسیا در سال ۲۰۰۳ بحران را به این صورت تعریف کرده است: "قطع جدی عملکرد جامعه و ایجاد خسارات مادی و

بحران‌ها و بلایای طبیعی در طول تاریخ بشری همواره وجود داشته‌اند و در آینده هم وجود خواهند داشت و انسان‌ها همواره تحت تأثیر صدمات این بلایای طبیعی هستند. زیرا سوانح طبیعی بخشی از طبیعت محیط زیست انسان‌ها و از مهم‌ترین دغدغه‌ها و

و رنج، مرگ و میر، اختلال و ضعف در بهداشت و نیز خدمت رسانی از خارج از محیط آسیب دیده به داخل آن می‌شود. (Chiu & Zheng, 2007) به عبارت دیگر، حادثه‌ای که به صورت طبیعی یا توسط بشر به صورت ناگهانی یا فزاینده به وجود آمده و سختی و مشقت را به جامعه تحمیل می‌کند؛ به طوری که جهت برطرف کردن آن، نیاز به اقدامات اساسی فوق العاده باشد. (Beamon & Kotleba, 2006)

با در نظر گرفتن ویژگی‌ها و علل به وجود آمدن بحران می‌توان دسته بندی‌های متفاوتی از بحران را ارائه کرد. سازمان مجمع جهانی راه و انجمن مدیریت بحران فدرال ایالات متحده، بحران را با توجه به علت به وجود آمدن به دو دسته طبیعی و ساخته دست بشر تقسیم نموده است. از سوی دیگر سرعت رخ دادن آنها به دو بخش عمده وقوع ناگهانی و وقوع تدریجی طبقه بندی شده است. همچنین باید توجه داشت گاهی یک بحران باعث به وجود آمدن بحران‌های دیگری خواهد شد. مثلا خشکسالی و عدم بارش باران سبب شیوع بیماری‌های متعددی می‌شود. (Tomasini & Van Wassenhove, 2009)

امروزه بحران‌ها تلفات و تخریب‌های زیادی را به همراه می‌آورد و این عموماً به دلیل اقدامات پیشگیرانه بی‌تاثیر، آمادگی‌های ناکامل و وجود سیستم لجستیک امداد رسانی بسیار ضعیف است. (Galindo & Batta, 2013) درک بهتر از میزان تخریب‌های وارد شده در سال‌های گذشته تا حدی می‌تواند واقعیت عمق فجایع را به تصویر بکشد. اولین فاکتوری که در تجزیه و تحلیل هر بحران مورد استفاده قرار می‌گیرد، تعداد تلفات و آوارگان است. بر اساس داده‌های آماری موجود حدود ۳/۵ میلیون نفر در سال ۲۰۰۸ میلادی جان خود را در اثر بروز بلایای طبیعی ناگهانی از دست داده‌اند. (Natarajarathinam, Capar & Narayanan, 2009)

در ادبیات تعاریف متعددی برای لجستیک مطرح شده است که در اینجا به ذکر یک مورد بسنده می‌شود. در حقیقت لجستیک را مدیریت تمامی فعالیت‌هایی که سبب تسهیل در رفت و آمد و همچنین هماهنگی میان عرضه و تقاضا در جهت تولید منافع زمانی و مکانی می‌شود، تعریف کرده‌اند. به عبارتی مدیریت لجستیک، برنامه ریزی، اجرا و کنترل جریان رو به جلو و برگشت به عقب به صورتی مؤثر می‌باشد. (Thomas & Kopczak, 2005)

لجستیک بشر دوستانه شاخه‌ای از لجستیک است که با هدف پاسخگویی در یک سیستم مدیریت بحران ایجاد شده است. آپته در سال ۲۰۱۰ لجستیک بشر دوستانه را شاخه‌ی خاصی از لجستیک

محیطی همه جانبه انسانی به گونه‌ای که جامعه آسیب‌دیده نمی‌تواند با استفاده از منابع خودش از عهده آن برآید". هر مخاطره در صورت داشتن ویژگی‌های زیر، بحران تلقی می‌شود.

- در آن بحران ده نفر یا بیشتر کشته شوند.
- صد نفر تحت تاثیر آن بحران قرار گیرند.
- درخواستی برای کمک‌های بین‌المللی داده شود.
- اعلام حالت اضطراری شود.

با توجه به آن که ایران در طی سالیان گذشته بحران‌های متفاوتی از جمله بلایای طبیعی مانند سیل، زلزله، طوفان و همچنین شرایط جنگی را تجربه نموده است، حال سوالی از این دست مطرح خواهد شد که چگونه می‌توان پیش از وقوع بحران برای آن آماده شد؟ چگونه می‌توان پس از وقوع بحران، کمک‌های امدادی را در سریعترین زمان ممکن به افراد رساند؟ چگونه می‌توان فعالیت‌های امداد رسانی را با حداقل هزینه انجام داد؟ چگونه می‌توان فعالیت‌های امداد رسانی را با حداقل آسیب به محیط زیست انجام داد؟ چگونه می‌توان به بهترین شکل ممکن از کمک‌های بشر دوستانه ارسالی در راستای کمک رسانی به آسیب دیدگان استفاده کرد؟ آیا می‌توان با برنامه ریزی مناسب در مراکز استقرار مدیریت بحران، بحران شکل گرفته را به نحو موثرتری مدیریت کرد؟ چگونه؟ در مقاله پیش رو سعی بر آن شده تا با توسعه مدل ریاضی به تمامی سوالات ذکر شده پاسخی کاربردی و عملی داده شود. در ادامه مروری بر ادبیات تحقیقات گذشته ذکر شده، سپس مدل ریاضی متناسب با مفروضات مسئله پیشنهاد گردیده است. سپس مدل ریاضی را به صورت دقیق و در کنار آن با دو روش فراابتکاری حل نموده و نتایج تحلیل شده‌اند.

۲- پیشینه تحقیق

در این بخش، به جهت درک بهتر، ادبیات موضوع در قالب سر فصل‌های مهم موضوع دسته بندی شده است. پیرو همین مطلب، در هر دسته ابتدا توضیحی مختصر در باب آن آورده شده، سپس به تعدادی از مهم‌ترین مقالات آن اشاره می‌شود.

۲-۱- مدیریت بحران

وقایع طبیعی و بحران‌های ناشی از آن در مقالات متعددی مورد بررسی قرار گرفته که در ادامه برخی از آن‌ها مورد بررسی قرار خواهند گرفت. همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد، بحران عبارت است از هرگونه پیشامدی که سبب تخریب، اختلال زیست محیطی، درد

معرفی کرد که مدیریت زنجیره تامین کالاهای ضروری و خدمات را با وجود چالش‌های متعددی اعم از دوره‌های تقاضا، واکنش غیر قطعی، شکاف‌های بحرانی زمان و نیز دامنه وسیعی از عملیات بحرانی با هدف برنامه ریزی، اجرا و کنترل جریان کارآمد و ذخیره سازی کم هزینه مواد و کالاها و نیز اطلاعات مرتبط از نقطه مبدأ به مقصد برای پاسخگویی به نیازهای ذینفعان، بر عهده دارد. (Apte, 2010) خلاصه‌ای از تفاوت‌های برجسته لجستیک بشر دوستانه و تجاری در جدول (۱) آمده است. (Thomas, 2007) (Zhang & et al 2017)

مقایسه زنجیره تامین تجاری با زنجیره تامین بشر دوستانه

جدول ۱. مقایسه زنجیره تامین تجاری با زنجیره تامین بشر دوستانه

پارامترهای زنجیره تامین	زنجیره تامین تجاری	زنجیره ی تامین امداد بشر دوستانه
الگوی تقاضا	نسبتا پایدار، قابل پیش بینی، تقاضا از محل‌های ثابت می‌رسد	تقاضا از حوادث تصادفی و غیر قابل پیش بینی از نظر زمان، مکان، نوع و اندازه ایجاد می‌شود مقدار تقاضا بعد از بروز حادثه بر اساس ویژگی‌های آن تخمین زده می‌شود.
نوع تقاضا	کالاها	افراد و منابع
کنترل موجودی	روش‌هایی برای تعیین سطح موجودی بر اساس زمان تدارکات، تقاضا و سطح سرویس به مشتری مشخص شده است.	به دلیل پراکندگی در زمان تدارک، تقاضا و گره‌های تقاضا، چالش بر انگیز است.
زمان تدارکات	زمان تدارک توسط تامین کننده، تولید کننده و یا مراکز توزیع مشخص می‌شود	جریان مواد زنجیره آن را تامین می‌کند و عموماً صفر است.
سیستم ارزیابی عملکرد	بر روی معیارهای عملکرد منابع همانند حداکثر سازی سود و یا حداقل نمودن هزینه تمرکز دارد	بر روی معیارهای عملکرد خروجی همانند زمان لازم برای پاسخ گویی به یک حادثه و یا توانایی برآورد تقاضای فاجعه تمرکز دارد
پیکر بندی شبکه توزیع	روش‌هایی برای تعیین تعداد و مکان مراکز توزیع تعریف شده است.	به دلیل ماهیت ناشناخته بودن و ملاحظات مربوط به توزیع، چالش بر انگیز است.
اهداف استراتژیک سیستم اطلاعاتی	به کارگیری تکنولوژی پیشرفته برای تولید کالا با کیفیت بالا و هزینه کم برای حداکثر سازی سودمندی و رسیدن به رضایت بالای مشتری	اطلاعات اغلب غیر قابل اعتماد، ناقص و یا ناموجود است.
استراتژی توزیع	بر اساس نوع کالا، نیازمندی مشتری و منابع تولید کننده تغییر می‌کند	زنجیره تامین تمرکز زدایی می‌شود.

مرحله اول در هر زنجیره لجستیک بشر دوستانه شامل فرایند خرید و تهیه منابع (اقلام و تجهیزات مورد نیاز) و تدارکات می‌باشد. چالش اصلی در این مرحله کاهش هزینه، کاهش زمان سفارش‌دهی و هماهنگی در جهت دریافت کمک‌های مالی است. از مهمترین مطالعات در این باب می‌توان (Balcik, Beamon & Smilowitz, 2008)، (Chiu & Zheng, 2007)، (Chang, Tseng & Chen, 2007)، (Mete & Zabinsky, 2010) و (Duran, Gutierrez & Keskinocak, 2011) را نام برد. پس از تهیه اقلام مورد نیاز و تجهیزات پیش از بروز حادثه و پس از آن سازمان‌های امداد رسانی موظف هستند تا به موقعیت یابی مکان ذخیره سازی اقلام بپردازند. چالش اصلی این مرحله نیز تامین هزینه‌های ایجاد انبارهای دائم و عملیات مرتبط با آنها می‌باشد.

به علاوه هزینه‌های مربوط به نگهداری موجودی و از دسترس خارج شدن آن به علت فساد و همچنین از بین رفتن انبارها به علت وقوع حادثه قابل تامل است. به همین علت مقاومت بالا و نیز مکان یابی صحیح و منطبق بر اطلاعات ضروری به نظر می‌رسد. در نهایت حمل و نقل آخرین مرحله مهم در زنجیره لجستیک بشر دوستانه است که در آن پرسنل، اقلام و تجهیزات لازم به سمت مراکز توزیع از پیش تعیین شده، نقاط واسطه، مراکز توزیع محلی و نیز مناطقی که از بروز حادثه متاثر شده‌اند ارسال می‌شود. عملیات حمل و نقل پس از وقوع بحران، سخت ترین مرحله لجستیک بشر دوستانه است. (Kovács & Spens, 2009) (Sheffi, 2005) نظرسنجی‌ها نشان می‌دهد که اثر بخشی کمک‌های اضطراری منوط به سرعت و بهره‌وری لجستیک است

مورچگان دومرحله‌ای حل کرده‌اند که در مرحله اول مورچه‌ها مسیرها را می‌سازند و جریان مواد در دومین مرحله با حل مسئله حداکثر جریان بهینه سازی شده است. (Yi & Kumar, 2007) اوزدامارو یی مدلی اکتشافی گره - درج همان مسئله را با سرعت بیشتر و کیفیت پایین تری حل کرده‌اند. (Ozdamar & Yi, 2008) لئو و زن با در نظر گرفتن ریسک راه‌های ارتباطی خطر در دسترس بودن جاده را با استفاده از مدل ریاضی و حداقل کردن زمان سفر مورد انتظار و مجموع تقاضاهای برآورد نشده مورد ملاحظه قرار داده‌اند. در این مدل ظرفیت وسایل نقلیه مشخص و تقاضا و دسترسی به راهها به شکل نامشخص است. امکان تامین نیز محدود است. در انتها نیز با کمک یک الگوریتم دو سطحی با در نظر گرفتن منابع حل شده است. (Liu & Yu, 2012) نجفی و همکاران مدل یکپارچه امداد رسانی و حمل و نقل مجروحان را با هدف حداقل کردن تعداد سفرهای وسایل نقلیه را به هدف مجموع تقاضاهای برآورد نشده در یک مدل ریسک چندهدفه هرجا که تقاضاها قطعی باشند ارائه کرده‌اند. (Najafi, Eshghi & Dullaert, 2013) اوزدامارو دمیر مسئله امداد رسانی و نجات مجروحان رادر مقیاسی بزرگ با چارچوب برنامه ریزی سلسله مراتبی حل کرده‌اند. از ویژگی‌ها و محدودیت‌های این مدل می‌توان به ظرفیت مشخص وسایل نقلیه، تامین محدود، اقلام متنوع کالا، چند انباره بودن، تجهیزات از نوع پزشکی اشاره کرد. (Ozdamar & Demir, 2012) ویتاریانو و همکاران در سال ۲۰۰۹ مدلی چند هدفه را برای تحویل اقلام امدادی پیشنهاد کرده‌اند. اهداف آنها شامل حداقل کردن حمل و نقل‌ها و هزینه‌های عملیاتی، حداقل کردن مجموع تقاضاهای برآورد نشد و بررسی قابلیت اطمینان راه است. مدل شامل بودجه حمل و نقل و محدودیت حذف زیر تورها است. (Vitoriano & et al, 2011) بابارسلو و آردا مدل یکپارچه‌ای را برای برنامه ریزی بالگردها و عملیات‌های در مقیاس کوچک برای اهداف مرتبط با هزینه و زمان پاسخگویی با در نظر گرفتن ظرفیت مشخص وسایل نقلیه تحویل اقلام و انتقال مجروحان، اقلام متفاوت امداد رسانی برای حمل با هلیکوپتر با در نظر گرفتن میزان سوخت و تحویل در نظر گرفته‌اند. (Barbarosoglu & Arda, 2004) هسو و همکاران مدل ریاضی از یک زمان بندی پویا برای برنامه ریزی عدم قطعیت در زمان سفر، ظرفیت مشخص وسایل حمل و نقل تحویل و برداشت همزمان و با پنجره زمانی تحویل در نظر گرفته و آنرا با استفاده از یک روش ساخت مسیرهای

که موجب افزایش آگاهی از نقش بسیار مهم لجستیک در عملیات امداد رسانی بشر دوستانه می‌شود. (Pettit & et al, 2011). لجستیک بشر دوستانه شاخه‌ای از لجستیک است که مدیریت تامین کالاهای ضروری و خدمات با چالش‌هایی مثل دوره‌های نامعین تقاضا، واکنش عرضه غیر قطعی، شکاف‌های بحرانی و دامنه وسیعی از عملیات را بر عهده دارد. (Altay & Green, 2006) (Apte, 2010)

۲-۲- حمل و نقل

مدل‌های امداد رسانی به منظور حمل و نقل لوازم برای نقاط تقاضا، با وسایل حمل و نقل با ظرفیت معین درگیر هستند. وسایل نقلیه سفر خود را از انبارها آغاز و به چند نقطه تقاضا در مسیر امداد رسانی ادامه می‌دهند. (Huang, Smilowitz & Balcik, 2012) از جمله رویکردهای حمل و نقل می‌توان رویکرد جریان شبکه‌ای پویا، رویکرد پنجره زمانی (نرم و سخت)، رویکرد شبکه‌ای جریان استاتیک، رویکرد شمارش مسیر و مسیریابی کلاسیک حمل و نقل اشاره نمود. (Campbell, Vandenbussche & Hermann, 2008) (Yi & Özdamar, 2007)، (Cao & et, 2007)، (Bish, 2011)، (Ozdamar & Yi, 2008)، (al, 2018). افشار و حقانی شبکه هفت لایه برای زنجیره تامین امداد رسانی را مدل کرده‌اند که از هر کجا که مسئله ذخیره سازی و جریان محدود ورود خروج وسایل نقلیه مطرح شده باشد استفاده می‌کند. هدف حداقل کردن مجموع تقاضاهای برآورد نشده است. (Afshar & Haghani, 2012) یی و اوزدامار مدلی ریاضی یکپارچه‌ای برای امداد رسانی و حمل و نقل همزمان مجروحان، برای مسیریابی موقعیت با رضایتمندی متقاضیان برای حداقل کردن مجموع تقاضاهای برآورد نشده با اولویت تجمعی ارائه کرده‌اند. (Yi & Özdamar, 2007) در مدل دیگری انتخاب و استقرار نیروی درمانی موقت و به اشتراک گذاری کارکنان میان تجهیزات پزشکی همراه با محدودیت سرویس‌های پزشکان را امکان پذیر می‌سازد. کالاهای از نوع تجهیزات پزشکی هستند که از مکان‌های متفاوت تامین می‌شوند. نرخ تامین اقلام پزشکی و امکان تقسیم کادر درمانی در آن وجود دارد. از سوی دیگر نرخ خدمت‌دهی کاملاً مشخص است. خدمت‌دهی می‌تواند از طریق چند اتومبیل انجام شود. در انتها با روش‌های دقیق، محدودیت تورها و الگوریتم مورچگان حل شده است، که یی و کومار این مدل را با استفاده از الگوریتم

خوراک، آب و اقلام بهداشتی، تجهیزات بهداشتی مربوط به محیط زیست (همانند تجهیزات لازم برای تامین آب)، دارو (هم داروهای مورد نیاز برای استفاده عموم هم داروهای مورد نیاز برای بیماری‌های واگیر دار و بیماری‌های خاص)، جعبه‌های مخصوص وسایل کمک‌های اولیه، درمانگاههای موقتی، پوشاک و پتو، اقلام مورد نیاز برای کودکان و نوزادان (شیر خشک، پوشاک، اسباب بازی)، پناهگاه‌ها و خانه‌های موقتی مانند چادر، تجهیزات اولیه برق، انواع مختلف سوخت، لوازم و تجهیزات آشپزخانه مانند ظروف، لوازم برای انجام تعمیرات، محصولات کشاورزی و دامی، تجهیزات برای کار با مواد خطرناک، تجهیزات ارتباطی، تجهیزات آتش نشانی، تجهیزات لازم برای آوار برداری و تخلیه، تجهیزات برای ساخت و ساز مجدد می‌باشد. (Bartell & et al., 2006) بعد دیگری از امداد رسانی که باید به آن توجه شود بعد فساد پذیری اقلامی همانند مواد غذایی و دارو است. بنابراین در تامین موجودی آن باید نهایت اهتمام را داشت. (Tucker, Morelli & Farahani, Rezapour & Kardar, 2011) (de Lanerolle, 2011)

عدم قطعیت در مدیریت پس از بحران

پن و همکاران در مطالعات خود روی عدم قطعیت برای مدیریت بحران ۵ معیار اصلی را در لجستیک بشر دوستانه در نظر گرفته‌اند. (Pan, Ballot, & Fontane, 2013).
-تقاضا که می‌تواند با درک میزان افراد آسیب دیده در لجستیک بشر دوستانه یا تعداد اقدام مورد نیاز، در نظر گرفته شود.
-محل تقاضا
-مناطق آسیب دیده (پارامترهایی هستند که مستقیماً با جمعیت شناسی موقعیت و تأثیر نفوذ فاجعه مرتبط هستند).
-تامین که شامل کیفیت محصولات و موجودیت آنها در سناریوهای پس از فاجعه می‌باشد.
-شبکه حمل و نقل که در آن آسیب‌هایی ممکن است به زیر ساخت‌ها یا کل مجموعه وارد شده باشد.

در شرایط بحرانی تهیه اورژانس خون چالش برانگیز است. فهم نیا و همکاران در مقاله‌ای یک مدل طراحی شبکه زنجیره تامین دو هدفه تصادفی برای کاهش هزینه و نیز موثر بودن زمان عرضه در حوادث طبیعی ارائه داده‌اند. شبکه تامین خون تحت بررسی شامل اهداکنندگان خون، امکانات خون‌رسانی همراه، مراکز خون محلی و منطقه‌ای و نقاط تقاضا است (Fahimnia &

ابتکاری حل نموده‌اند (Hsu & et al, 2013). شن و همکارانش مدل دو مرحله‌ای برای توزیع پادزهر در حملات شیمیایی در مقیاسی بزرگ را ارائه کرده‌اند که در آن تقاضا احتمالی و حجم اقلام سفر هم قطعی نیستند. هدف آنها در این مدل حداقل نمودن تقاضاهای برآورد نشده و جلوگیری از مرگ و میر افراد است با سرعت در امداد رسانی است. (Shen, Dessouky & Ordóñez, 2009). نولز و همکاران خطر زیر ساخت‌ها در عدم قطعیت شبکه‌های ارتباطی را مورد بحث قرار داده‌اند. در این مدل مکان یابی تحویل آب را برای پوشش دهی بیشترین جمعیت ممکن به عنوان شبکه مورد بحث قرار گرفته‌اند و ریسک راه‌ها به وسیله اهداف زیر کاهش یافته‌اند. در این مدل ظرفیت وسایل نقلیه مشخص، پوشش دهی جمعیت، تک انبار بودن مدل و عدم حذف زیر تورها در نظر گرفته شده است. (Nolz, Semet & Doerner, 2011) باربارسغلو و آردا مدل‌های امداد رسانی مرتبط با هزینه را ارائه نموده‌اند. در این مدل هدف کاهش هزینه‌های کل عملیات و کاهش زمان پاسخ بوده و در آن فقط تحویل اقلام با عدم قطعیت در تقاضا در نظر گرفته شده است. در این مدل کالاهای متنوع از انبارهای مختلف با استفاده از وسایلی با ظرفیت نامشخص و امکان استفاده از مدهای متنوع حمل و نقل مدل شده‌اند. (Barbarosoğlu & Arda, 2004) گو در سال ۲۰۱۱ سعی در حفظ رضایتمندی متقاضیان، با حداقل نمودن تقاضاهای برآورد نشده پرداخته است. در این مدل تامین قطعی نیست و مدت زمان سفر نیز قطعی نیست. ظرفیت وسایل نقلیه نیز غیر قطعی می‌باشد. (Gu, 2011) تزنگ و همکاران مدلی را برای کاهش زمان و هزینه حداکثر نمودن تقاضای برآورد شده ارائه نموده‌اند و در آن فقط تحویل اقلامی را که تامین آنها با مشکل رو به روست و از چند انبار توزیع می‌شوند را مدل نموده‌اند. (Tzeng, Cheng & Huang, 2007). نگی و صالحی مسئله مسیریابی چند قرارگاهی با بارگیری و تخلیه همزمان مورد مطالعه قرار داده‌اند (Nagy & Salhi, 2005).

اقلام مورد نیاز در زنجیره تامین بشر دوستانه

معمولاً بعد از بروز حادثه در یک منطقه برای مجموعه‌ای از اقلام و تجهیزات تقاضای زیادی وجود خواهد داشت. بر اساس اطلاعاتی که از سوی سازمان بهداشت آمریکا و سازمان بهداشت جهانی، گردآوری شده است، فهرست گسترده‌ای از اقلام و تجهیزات مورد نیاز (تنها محدود به این موارد نیست) شامل

مراکز اهدای خون موقت و دائمی دریافت می‌کنند خون جمع آوری می‌شود و برای پردازش به مراکز خون ارسال می‌شود. خون سالم بسته به تقاضا و ظرفیت آن به مراکز مراقبت ارسال خواهد شد. کاربرد مدل با استفاده از داده‌های واقعی که از شهرستان قائمشهر جمع آوری شده، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که با صرف هزینه قابل قبول، می‌توان برای بحران آماده بود. (Habibi-Kouchaksaraei, Paydar & Asadi-Gangraj, 2018)

زنجیره تامین سبز

امروزه، تضمین توسعه پایدار هر کشور منوط به حفظ و استفاده بهینه از منابع محدود و غیرقابل جایگزین در آن کشور می‌باشد. در دیدگاه مرسوم و گذشته، مدیریت زنجیره تامین شامل هدایت تمام اعضای زنجیره تامین به صورت یکپارچه و هماهنگ با هدف بهبود عملکرد، ارتقاء، بهره‌وری و سود بیشتر بوده و مدیران زنجیره تامین به دنبال تحویل سریع‌تر کالاها و خدمات، کاهش هزینه و نیز افزایش کیفیت بوده‌اند، اما بهبود عملکرد زیست‌محیطی زنجیره تامین، اهمیت هزینه‌های اجتماعی و تخریب محیط زیست لحاظ نمی‌گردید. لذا از سال ۱۹۹۰ عواملی همچون تسریع مقررات دولتی جهت اخذ استانداردهای زیست‌محیطی از یک طرف و نیز تقاضای رو به رشد مصرف کنندگان برای عرضه محصولات سبز به زنجیره تامین از سوی دیگر، موجب ظهور مفهوم جدیدی تحت عنوان "مدیریت زنجیره تامین سبز" شد. (Buyanov, 2011) پژوهش‌های فراوانی در زمینه زنجیره تامین فضای سبز در سال‌های اخیر انجام شده است که می‌توان به مقالات (Nagurney & Nagurney, 2010)، (Büyükoçkan & Berkol, 2011) و (Abdallah & et al, 2012) اشاره نمود.

کاستانتینو و همکاران در پژوهشی یک مدل طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تامین به منظور حداقل کردن آلودگی‌هایی مانند دی‌اکسیدکربن و همچنین حداقل کردن مصرف انرژی برای دستیابی به زنجیره‌ی تامین سبز، ارائه شده است. آن‌ها همچنین عدم قطعیت را در مدل طراحی شبکه‌ی خود با در نظر گرفتن تئوری امکان فازی دخالت داده‌اند. (Costantino & et al, 2012) در پژوهشی دیگر روش برنامه‌ریزی آرمانی برای مسئله، طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تامین در نظر گرفته شده است. مسئله، یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه خطی عدد صحیح است که در آن

(et al, 2017). در پژوهشی دیگر، یک شبکه لجستیک چندگانه انسانی پیشنهاد شده است که مکان یابی انبارهای مرکزی، مدیریت موجودی محصولات فاسد شدنی را در مرحله قبل از وقوع بحران و نیز مسیریابی وسایل نقلیه را در مرحله پس از وقوع بحران بررسی می‌کند (Tavana & et al, 2017). در مقاله‌ای دیگر یک مدل تخصیص چند مرحله‌ای برای تیم‌های نجات را ارائه می‌دهد تا به صورت پویا به زنجیره بحران پاسخ دهند و سه استراتژی برنامه ریزی اولیتهی را توسعه می‌دهد (Zhang & et al, 2017) در مقاله‌ای دیگر، یک مدل ریاضی جدید ارائه شده است که ملاحظات عملی را در بر می‌گیرد. مدل‌های متعددی برای پاسخگویی پس از وقوع بحران و تخصیص صحیح منابع به بخش‌های مختلف طراحی شده‌اند که همه این مدل‌ها به طور کلی یک نقطه بهینه سراسری را در نظر می‌گیرند که ممکن است قابل دستیابی نباشد. حال اینکه مدل جاری شامل تصمیمات واقعی پس از فاجعه از طریق مجموعه‌ای از "محدودیت‌های بشر دوستانه" است (Noham & Tzur, 2018). سامانی و همکاران، در سال ۲۰۱۸، در مقاله‌ای یک مدل برنامه ریزی خطی چند هدفه مختلط برای طراحی یک شبکه زنجیره تامین یکپارچه پس از وقوع بحران پیشنهاد می‌کند. مدل توسعه یافته برای تمام جنبه‌های ویژه زنجیره تامین خون شامل تقاضای غیرقطعی، عرضه نامنظم و نیز فاسد شدن محصولات با تکیه بر اجتناب از کمبود است. همچنین یک تجزیه و تحلیل تجاری بین بهره‌وری هزینه (از طریق کم کردن هزینه‌های کل)، پاسخگویی (از طریق به حداقل رساندن حداکثر تقاضا) و اثربخشی شبکه طراحی شده (با به حداقل رساندن فاصله زمانی بین تولید خون در مراکز خون منطقه‌ای و مصرف در مناطق تقاضا به طوری که تازگی آنها حفظ شود) انجام می‌دهد (Samani, Torabi & Hosseini-Motlagh, 2018).

در پژوهشی دیگر طراحی استراتژی‌های توزیع امداد و کاهش رنج قربانیان مورد پژوهش قرار گرفته است. این مهم به عنوان یک مدل ریاضی چند هدفه یکپارچه به منظور به حداقل رساندن رضایت قربانیان و به حداقل رساندن بیشترین انحراف در رضایت درک شده آنها برای تمام نقاط تقاضا می‌باشد. (Cao & et al, 2018). حبیبی کوچکسرای و همکاران یک مدل بهینه سازی برای طراحی یک شبکه زنجیره تامین خون پس از وقوع بحران در سه مرحله، یعنی عرضه، پردازش و توزیع ارائه داده‌اند. این شبکه شامل اهدا کنندگان خون است که اهدا خون را در

(et al, 2017) اشاره نمود. با توجه به مرور ادبیات انجام شده و همچنین مشاهده واقعیت‌های عملی موجود در بحران‌های اخیر می‌توان به این نتیجه رسید که موارد کلیدی و در پژوهش‌های پیشین مورد توجه قرار نگرفته‌اند. مواردی نظیر کمک‌های بشردوستانه در حین بروز بحران، ۳ سطحی بودن سیستم ارسال محصولات، عدم قطعیت هم در تقاضا و هم در کمک‌های بشردوستانه ارسال و مواردی از این دست که در پژوهش پیش رو مدل ریاضی جامعی جهت نزدیک شدن هرچه بیشتر به واقعیت‌های موجود در جامعه ارائه شده است.

۳- مدل ریاضی پیشنهادی

در برنامه‌ریزی و تصمیمات مربوط به بحران، حمل و نقل کالاهای امدادی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. برنامه‌ریزی جهت یافتن بهترین مسیری که از طریق آن بتوان کالاهای فساد ناپذیر را در سریعترین زمان ممکن به دست افراد آسیب دیده رساند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شوک حاصل از کمبود امکانات و نیز شرایط نامساعد پس از وقوع بحران، نباید باعث شود که در فرآیند امداد رسانی به افراد نیازمند، به ویژه برای محصولات ضروری همانند آب، تجهیزات اولیه پانسمان، پتو و غیره خللی وارد شود. همچنین این ضرورت نباید موجب بی‌توجهی و غفلت نسبت به محیط زیست شود. در پژوهش جاری، زنجیره‌ی تأمین مورد بررسی، برخلاف سایر پژوهش‌ها به خوبی فرضیات واقع بینانه را در مدل خود لحاظ کرده است. در این پژوهش، یک زنجیره تأمین سه سطحی در نظر گرفته شده است. سطح اول مربوط به دو نوع تأمین کننده بشر دوستانه و ستاد بحران است که قبلاً ایجاد شده‌اند. انبار ستاد بحران حاوی مقادیری کالا می‌باشد تا پس از وقوع بحران به سرعت بتوان از این ذخایر از پیش آماده بهره گرفت. انبارهای بشردوستانه نیز آماده دریافت کمک‌های مردم نهاد پس از وقوع بحران هستند. سطح دوم شامل انبارهای اورژانسی است. این انبارها از میان تعدادی نقاط کاندید جهت احداث برگزیده می‌شوند به میزان تعیین شده ای موجودی اولیه از کالاها را نیز نگهداری می‌نمایند. پس از احداث نیز از طریق وسایل نقلیه با ظرفیت‌های مختلف، کالاها از دو انبار یادشده در سطح اول به انبار اورژانسی، انتقال پیدا می‌کنند. در سطح سوم نقاط تقاضای متعددی وجود دارد که با توجه به شدت و مرکز وقوع بحران، میزان تقاضای هر نقطه متفاوت خواهد بود. بنابراین از سناریوهای مختلف جهت پوشش

کاهش آلودگی‌های کربنی به عنوان هدف زیست‌محیطی و نیز کاهش هزینه‌ها به عنوان هدف اقتصادی در نظر گرفته شده است. (Chaabane, Ramudhin & Paquet, 2012) در پژوهشی دیگر اهدافی از جمله: رضایت‌مندی مشتری، اهداف اقتصادی و همچنین اهداف زیست‌محیطی، در طراحی مجدد و بهینه‌سازی مسئله طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین، در نظر گرفته شده است. در این پژوهش، اضافه کردن مشتریان بالقوه و کاهش اثرات منفی آن بر روی رضایت‌مندی مشتریان و بهینه‌سازی مسیرهای عبور کامیون‌ها برای کاهش آلودگی دی‌اکسید کربن، در مدل گنجانده نشده است (Longo, 2012) در پژوهشی دیگر یک مدل غیرخطی عدد صحیح مختلط برای زنجیره‌ی تأمین سبز در سطوح استراتژیک و تاکتیکیال ارائه شده است که از چاه‌ها تا ترمینال‌های نفت خام را شامل می‌شود. تصمیمات این مدل شامل مکان‌یابی، تخصیص، برنامه‌ریزی پروژه و حمل‌ونقل است. (Sahebi, Nickel & Ashayeri, 2014) هسو و همکارانش در پژوهشی نیز یک مدل ریاضی چندهدفه (حداکثر سازی سود و حداقل کردن گازهای گلخانه‌ای) برای مکان‌یابی مراکز توزیع پیشنهاد شده است. در این مدل گازهای گلخانه‌ای تولیدشده توسط وسایل نقلیه و همچنین گازهای گلخانه‌ای تولیدشده در روند تولید محصولات، بررسی شده است (Hsu & et al, 2013). در پژوهشی دیگر با ارائه‌ی یک مدل چندهدفه (پیشینه سازی سود و کمینه سازی ریسک و اثرات زیست‌محیطی در کل شبکه)، ترکیبی از طراحی شبکه و مدیریت زنجیره‌ی سبز مورد بررسی قرار گرفته است. (Alem, Clark & Moreno, 2016) پیشوایی و همکاران مدل ریاضی چندهدفه‌ای به منظور طراحی یک شبکه‌ی واقعی زنجیره‌ی تأمین با تکیه بر دیدگاه زیست‌محیطی ارائه کرده‌اند. در این مقاله برای ارزیابی و کمی‌سازی اثرات زیست‌محیطی مختلف، از شیوه‌ی ارزیابی چرخه‌ی عمر استفاده شده است و همچنین به منظور حل مدل پیشنهادی از روش برنامه‌ریزی فازی استفاده شده است (Pishvae, Rabbani & Torabi, 2011). در پژوهشی دیگر، یک مدل ریاضی چندهدفه، با داده‌های ذاتی مبهم برای ایجاد یک موازنه‌ی منطقی میان اهداف سنتی اقتصادی و اهداف زیست‌محیطی ارائه شده است. نویسندگان روش حل موثری برای یافتن بهترین تعادل میان اهداف زیست‌محیطی و اقتصادی ارائه داده‌اند (Pishvae & Razmi, 2012). از پژوهش‌های دیگری می‌توان به (Pan, Ballot & Fontane, 2013) (Pozo & et al, 2012) (Akbari-Jafarabadi)

تقاضای نقطه d از محصول i در سناریو o	Dem_{id}^o	کامل این مهم بهره گرفته است. برای ارسال کالا به نقاط تقاضا،
ظرفیت حجمی ماشین r	$cap v_r$	انتخاب مسیرهای مختلف نیز امکان پذیر است. این مسیرها
حجم اشغال شده توسط محصول i	vol_i	شامل دو دسته کلی انتقال مستقیم از طریق انبار اورژانسی به
زودترین زمان حرکت ماشین r در سناریو o	TV_r^o	نقاط تقاضا و نیز بصورت غیر مستقیم پس از عبور از یک نقطه
عددی بزرگ	$Big M$	تقاضا به نقطه دیگری است. مدل ریاضی پیشنهادی شامل دو تابع
زمان رسیدن کالای نوع j به انبار اورژانسی s	\tilde{a}_{js}	هدف می‌باشد، در تابع هدف اول هزینه و جریمه انتشار گازهای
مدت زمانی که طول می‌کشد بار از انبار	$Time_{sd}$	گلخانه کمینه می‌شود، در تابع هدف دوم زمان تحویل مرسوله
اورژانسی s به نقطه تقاضای d انتقال یابد	$Time_{ad}'$	به نقاط تقاضا کمینه خواهد شد.
مدت زمانی که طول می‌کشد بار از نقطه تقاضای		
d به نقطه تقاضای d' انتقال یابد		
مقدار گاز گلخانه ای انتشار یافته به ازای واحد	CH_r	مفروضات
مسافت طی شده توسط ماشین r		• تعداد وسایل نقلیه محدود است.
فاصله میان انبار اورژانسی s و نقطه تقاضای d	dis_{sd}	• تقاضا به صورت غیر قطعی می‌باشد.
فاصله میان نقطه تقاضای d و نقطه تقاضای d'	dis_{ad}'	• کمک‌های بشر دوستانه به مراکز ذخیره سازی احداثی
موجودی اولیه انبار اورژانسی s از محصول i	I_{si}	ارسال می‌شوند.
		• مجموع موجودی انبار مدیریت بحران و کمک‌های بشر
		دوستانه از میزان تقاضا بیشتر می‌باشد.
		• کمبود در محل تقاضا امکان پذیر نمی‌باشد.
		• ستاد مدیریت بحران امکان ارسال مستقیم محصولات به
		نقاط تقاضا را ندارد.
		• ظرفیت وسایل نقلیه متفاوت است.
		اندیس‌ها
احداث انبار اورژانسی s با ظرفیت c	y_{sc}	s انبار اورژانسی
انتقال محصول از طریق ماشین r به انبار اورژانسی s	v_{sr}	c ظرفیت انبار اورژانسی
انتقال محصول از طریق ماشین r از انبار اورژانسی s	$x_{srd}'^o$	r وسیله حمل و نقل
به نقطه تقاضای d به عنوان اولین نقطه تقاضا در		d نقطه تقاضای سطح اول
سناریو o		o سناریو
انتقال بار توسط ماشین r از نقطه تقاضای d' پس از	$x_{rdd}'^o$	i محصول
نقطه d در سناریو o		j مبدا اولیه ارسال محصول به نقطه تقاضا
انتقال بار توسط ماشین r به نقطه تقاضای d پس از	$x_{rdd}''^o$	
نقطه d'' در سناریو o		پارامترها
انتقال محصول نوع j از طریق ماشین r در سناریو o	VC_{jr}^o	$fix\ cost_c$ هزینه احداث انبار اورژانسی با ظرفیت c
میزان کالای نوع i ارسال شده از انبار بشردوستانه به	QF_{si}	$fix\ cost_r$ هزینه بکارگیری وسیله حمل و نقل r
انبار اورژانسی s		$cost_{sd}$ هزینه حمل و نقل بین انبار اورژانسی s و نقطه
میزان کالای نوع i ارسال شده از انبار ستاد بحران به	QW_{si}	تقاضای d
انبار اورژانسی s		$cost_{ad}'$ هزینه حمل و نقل بین نقطه تقاضای d و نقطه
میزان محصول i منتقل شده از مبدا اولیه j از انبار s	Q_{ijsrd}^o	تقاضای d'
با ماشین r در سناریو o به نقطه تقاضای d		$cost_{is}$ هزینه نگهداری موجودی اولیه محصول i در انبار
زمان رسیدن ماشین r به مرکز تقاضای d	T_{rd}^o	s
آخرین زمان رسیدن محصولات به مرکز تقاضای d	FT_d^o	
در سناریو o		

توابع هدف و محدودیت‌ها

$$\begin{aligned} \text{Min } f_1(x, y): C = & \sum_s \sum_c \text{fix cost}_c \cdot y_{sc} + \sum_s \sum_r \text{fix cost}_r \cdot v_{sr} \\ & + \sum_r \sum_d \sum_s \sum_o x_{srd}^{\prime o} \cdot \text{cost}_{sd} \\ & + \sum_r \sum_d \sum_{d'} \sum_o x_{rdd'}^o \cdot \text{cost}_{dd'} + \sum_i \sum_s I_{is} \cdot \text{cost}_{is} \\ & + \sum_r \sum_d \sum_s \sum_o x_{srd}^{\prime o} \cdot \text{GH}_r \cdot \text{dis}_{sd} \\ & + \sum_r \sum_d \sum_{d'} \sum_o x_{rdd'}^o \cdot \text{GH}_r \cdot \text{dis}_{dd'} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{Min } f_2(x, y): T = \sum_d \sum_o FT_d^o \quad (2)$$

s.t.

$$\sum_c y_{sc} \leq 1 \quad \forall s \quad (3)$$

$$\sum_s v_{sr} \leq 1 \quad \forall r \quad (4)$$

$$v_{sr} \leq \sum_c y_{sc} \quad \forall r, s, o \quad (5)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_d Q_{ijrds}^o \leq \text{big } M \cdot v_{sr} \quad \forall r, s, o \quad (6)$$

$$\sum_r \sum_d Q_{ijrds}^o \leq I_{is} \quad \forall i, s, o \quad j = 1 \quad (7)$$

$$\sum_r \sum_d Q_{ijrds}^o \leq QW_{is} \quad \forall i, s, o \quad j = 2 \quad (8)$$

$$\sum_r \sum_d Q_{ijrds}^o \leq \bar{Q}F_{is} \quad \forall i, s, o \quad j = 3 \quad (9)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_s \sum_d Q_{ijrds}^o \cdot \text{vol}_i \leq \text{Cap } V_r \quad \forall r, o \quad (10)$$

$$\sum_r \sum_j \sum_s Q_{ijrds}^o \geq \widetilde{\text{Dem}}_{id} \quad \forall i, d, o \quad (11)$$

$$\sum_d x_{srd}^{\prime o} = v_{sr} \quad \forall s, r, o \quad (12)$$

$$\sum_{d'} x_{rdd'}^o \leq 1 \quad \forall r, d, o \quad (13)$$

$$\sum_{d' \neq d} x_{rdd'}^o \leq \sum_s x_{srd}^{\prime o} + \sum_{d'' \neq d} x_{rdd''}^o \quad \forall r, d \quad (14)$$

$$\sum_{isd} Q_{ijrds}^o \leq \text{big } M \cdot VC_{jr}^o \quad \forall j, r, o \quad (15)$$

$$\widetilde{at}_{js} \cdot VC_{jr}^o \leq TV_r^o \quad \forall r, s, j, o \quad (16)$$

$$TV_r^o + \sum_s (x_{srd}^{\prime o} \cdot \text{Time}_{sd}) + \sum_{d' \neq d} (x_{rdd'}^o \cdot \text{Time}_{dd'}) \leq T_{rd}^o \quad \forall r, d, o \quad (17)$$

$$\sum_s x_{srd}^{\prime o} + \sum_{d' \neq d} x_{rdd'}^o \leq 1 \quad \forall r, d \quad (18)$$

$$T_{rd}^o \leq FT_d^o \quad \forall r, d \quad (19)$$

هدف دوم است که به حداقل کردن مجموع زمان ارسال کالای امدادی به نقاط تقاضا می‌پردازد. معادله (۳) نشان دهنده محدودیتی امکانی به این صورت است که هر انبار اورژانسی، تنها با یک ظرفیت قابل احداث است. نامعادله (۴) نشان دهنده

معادله (۱) بیان‌کننده تابع هدف اول می‌باشد، که به حداقل کردن هزینه احداث مراکز، هزینه بکارگیری وسیله نقلیه، هزینه حمل و نقل، هزینه نگهداری موجودی اولیه و نیز حداقل کردن میزان گازهای گلخانه‌ای منتشر شده می‌پردازد. معادله (۲) تابع

۴-۱- الگوریتم ژنتیک بر پایه ناچیرگی

الگوریتم ژنتیک (GA)، به عنوان یک روش ابتکاری سازنده و بهبود دهنده جهت حل مسائلی با اندازه بزرگ، برای اولین بار توسط جان هلند معرفی شد. این الگوریتم که در واقع با الهام از طبیعت، به بهبود برازندگی افراد و یا به عبارتی نتایج حاصل از حل مدل می‌پردازد، شامل عملگرهایی است که در روند بهبود تأثیرگذار هستند. طی اجرای این الگوریتم با در نظر داشتن ساختار ژنتیک در طبیعت، حرکت از هر نسل به نسل بعد، در چهار فاز صورت می‌گیرد: فاز انتخاب والد، فاز تولید مثل (تغییر)، فاز ارزیابی برازندگی و فاز جایگزینی. فاز انتخاب، افرادی را که در تولید مثل شرکت می‌کنند، تعیین می‌کند. در واقع این فاز تضمین می‌کند افرادی که دارای برازندگی بیشتری هستند، قابلیت تولید مثل بالاتر و نیز بقای بیشتری دارند. فاز تغییر، شامل بکار گرفتن عملگرهای تغییر بر روی افراد انتخاب‌شده، برای ایجاد جمعیت جدید است. عملگرهای تغییر در الگوریتم ژنتیک، با توجه به تعداد ورودی‌ها، به دو نوع جهش و تقاطع، تقسیم‌بندی می‌شوند. سپس در فاز ارزیابی، میزان برازندگی افراد جدید نسبت به اهداف تعیین‌شده، ارزیابی می‌گردد. در نهایت، فاز جایگزینی شامل انتخاب اعضای نسل جدید است. این الگوریتم برای حل مسائل تک هدفه و مسائل چندهدفه‌ای که اهدافشان همگی به یک هدف تعدیل یافته است، کاربرد دارد. در همین راستا، به منظور حل بهتر مسائل چندهدفه، الگوریتم ژنتیک بر پایه ناچیرگی غیر نخبه‌گرا (NSGA) بر پایه اصول و مبانی الگوریتم ژنتیک تک‌هدفه، توسعه یافت. مهم‌ترین ره‌آورد این الگوریتم، ارائه‌ی مجموعه‌ای از جواب‌های بهینه‌ی پارتو بجای یافتن تنها یک جواب می‌باشد و به تصمیم‌گیرندگان قدرت انتخاب بیشتری می‌بخشد. در نهایت الگوریتم ژنتیک بر پایه ناچیرگی اصلاح شده (NSGAI) به منظور بهبود فرآیند انتخاب والد در دو الگوریتم پیشین که به صورت تصادفی انجام می‌گیرد، توسعه پیدا کرد. در این الگوریتم از فرآیند نخبه‌گرایی به منظور انتخاب والد استفاده می‌شود.

۴-۲- گام‌های پیاده سازی الگوریتم ژنتیک

گام اول تولید جمعیت تصادفی: این گام در این روش، همانند معمول و بر مبنای مقیاس و قیود مسئله می‌باشد.

گام دوم ارزیابی جمعیت تولیدشده: این مهم بر مبنای توابع هدف مسئله، انجام می‌گیرد.

محدودیتی امکانی به این صورت است که یک وسیله نقلیه در یک زمان تنها به یک انبار تخصیص داده می‌شود. نامعادله‌ی (۵) نشان دهنده محدودیتی امکانی به این صورت است که در صورتی وسیله نقلیه به یک انبار تخصیص می‌یابد که آن انبار احداث شده باشد. نامعادله‌ی (۶) نشان دهنده محدودیتی امکانی به این صورت است که انتقال کالا به یک انبار به شرط تخصیص یافتن وسیله نقلیه به آن مقدور است. نامعادله‌ی (۷) نشان دهنده محدودیت جریان به این صورت است که میزان انتقال از یک انبار به نقطه تقاضا نباید از حداقل موجودی انبار بیشتر باشد. نامعادله‌ی (۸) نشان دهنده محدودیتی امکانی به این صورت است که میزان کالای انتقالی نباید از ظرفیت انبار بیشتر باشد. معادله‌ی (۹) نیز به محدودیت ظرفیت اشاره می‌کند. نامعادله‌ی (۱۰) نشان دهنده محدودیت ظرفیت فضای اشغال شده است. نامعادله‌ی (۱۱) به محدودیت ارسال بار، حداقل به اندازه تقاضا اشاره می‌کند. نامعادله‌ی (۱۲) نشان دهنده محدودیت امکانی انتقال بار به شرط تخصیص وسیله حمل و نقل می‌باشد. نامعادله‌ی (۱۳) نشان دهنده محدودیت امکانی مربوط به مسیریابی است. نامعادله‌ی (۱۴) نشان دهنده محدودیت امکانی حالت‌های مختلف انتقال بار به یک نقطه تقاضا است. نامعادله‌ی (۱۵) نشان دهنده محدودیت جریان است. نامعادله‌ی (۱۶) نشان دهنده محدودیت امکانی مربوط به زمان ارسال بار به نقطه تقاضا است. نامعادله‌ی (۱۷) نشان دهنده محدودیت مربوط به حداکثر زمان تاخیر در ارسال بار می‌باشد. نامعادله‌ی (۱۸) نشان دهنده محدودیت امکانی مربوط به یکتا بودن مسیر است. نامعادله‌ی (۱۹) نشان دهنده محدودیت مربوط به حداکثر زمان تاخیر در ارسال بار می‌باشد.

۴- الگوریتم پیشنهادی

از آنجاییکه مدل ریاضی ارائه شده جز مسائل چند مجله‌ای نامعین سخت بوده و به دلیل تنوع متغیرها و ترکیب انواع متغیر صحیح و باینری با یکدیگر، با بزرگ تر شدن ابعاد مسئله ضمن افزایش پیچیدگی مساله، حل آن با استفاده از روش‌های دقیق در مدت زمان معقولی امکان پذیر نمی‌باشد. با توجه مرور ادبیات صورت گرفته دو روش حل ریاضی الگوریتم ژنتیک بر پایه ناچیرگی و الگوریتم چند هدفه ازحام ذرات توسعه داده شده و نتایج خروجی حاصل شده با یکدیگر مقایسه خواهند شد.

بهترین جواب سعی می‌کند، موقعیت خود را با استفاده از اطلاعات زیر تغییر دهد:

- موقعیت کنونی
- سرعت کنونی
- فاصله‌ی بین موقعیت کنونی و بهینه‌ی شخصی
- فاصله‌ی بین موقعیت کنونی و بهینه‌ی فراگیر

۵- نتایج عددی

در این مقاله، با استفاده از مسائل نمونه تصادفی متعددی، عملکرد الگوریتم ژنتیک و ازحام ذرات با نرم‌افزار گمز ارزیابی می‌شود. هر دو الگوریتم فراابتکاری در محیط نرم افزار متلب پیاده سازی شده است. کامپیوتر مورد استفاده با مشخصات Intel Cori 7 ۶۴بیتی با قدرت ۳٫۲ گیگاهرتز و ۸ گیگ رم اجرا شده است. در جداول ۲ و ۳ پارامترهای بهینه شده هر دو الگوریتم که با روش رویه سطح پاسخ انجام شده است قابل مشاهده می‌باشند.

جدول ۲. پارامترهای بهینه شده الگوریتم ژنتیک

الگوریتم	پارامتر	مقدار
ژنتیک بر پایه ناچیرگی	تعداد تکرار	۳۶۱
	اندازه جمعیت	۷۹
	نرخ تولید فرزند	۰/۶۲
	نرخ جهش	۰/۱۹
	میزان جهش	۰/۱۱

جدول ۳. پارامترهای بهینه شده الگوریتم ازدحام ذرات

الگوریتم	پارامتر	مقدار
ازدحام ذرات چند هدفه	تعداد تکرار	۳۷۴
	اندازه جمعیت	۱۰۱
	سرعت	۰/۵۳
	ارزش اولیه	۱/۷
	ارزش ثانویه	۲/۱

نتایج عددی

جبهه پارتو بدست آمده حاصل از حل مسئله‌ای یکسان با استفاده از هر سه روش ذکر شده در جدول (۴) و شکل (۱) نمایش داده می‌شود.

گام سوم) ایجاد جمعیت جدید: این گام طبق اجرای مراحل زیر به بار می‌نشیند. انتخاب دو یا یک کروموزوم والد از یک جمعیت بر اساس میزان مطلوبیت آن‌ها (فرآیند انتخاب در بخش پیشین شرح داده شد). در نظر گرفتن مقدار مشخصی برای احتمال اعمال عملگر تقاطع و سپس انجام عملیات ترکیب روی والدین به منظور ایجاد فرزندان. اگر هیچ ترکیب جدیدی صورت نگیرد، فرزندان همان والدین خواهند بود.

گام چهارم) اگر شرایط توقف برآورده شده باشد، الگوریتم پایان می‌یابد، در غیر این صورت به گام دوم مراجعه شود.

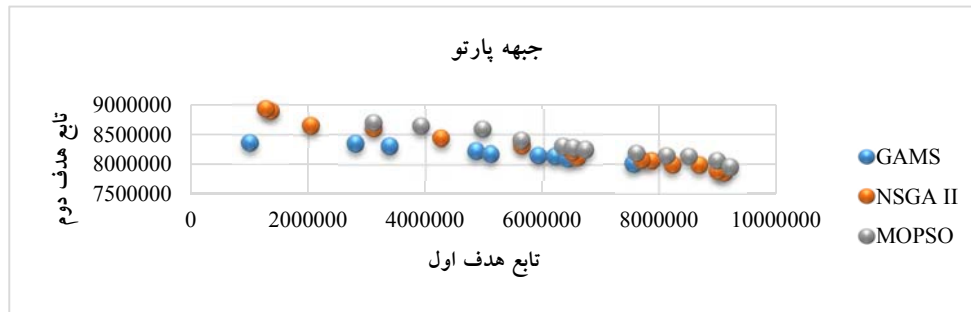
۴-۳ الگوریتم چند هدفه ازدحام ذرات

الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات، اولین بار در سال ۱۹۹۵ مطرح شد. این الگوریتم، الهام گرفته از رفتار اجتماعی جانداران است. خصوصاً در تدوین آن از پرواز گروهی پرندگان و شنای گروهی ماهی‌ها و زندگی اجتماعی آنان الهام گرفته شده که با استفاده از یک سری روابط ساده فرمول‌بندی شده است. همانند همه الگوریتم‌های تکاملی دیگر، الگوریتم بهینه‌سازی ذرات نیز با ایجاد یک جمعیت تصادفی از افراد، شروع می‌شود که در اینجا به عنوان یک گروه از ذرات خوانده می‌شود. مشخصات هر ذره در گروه، بر اساس مجموعه‌ای از پارامترها مشخص می‌شود که باید مقادیر بهینه‌ی آن‌ها تعیین گردد. در این روش، هر ذره یک نقطه از فضای جواب مسئله را نشان می‌دهد. هر کدام از ذرات دارای حافظه هستند، یعنی بهترین موقعیتی که در فضای جستجو به آن می‌رسند را به خاطر می‌سپارند.

در واقع، روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات یک روش بهینه‌سازی است که با استفاده از آن می‌توان با مسائلی که جواب آن‌ها یک نقطه یا یک سطح در فضای n بعدی می‌باشد، برخورد نمود. در چنین فضایی، فرضیاتی مطرح می‌شود و سرعتی ابتدایی به ذرات اختصاص داده می‌شود، همچنین کانال‌های ارتباطی میان ذرات در نظر گرفته می‌شود. سپس این ذرات در فضای پاسخ حرکت می‌کنند و نتایج حاصل بر مبنای یک "ملاک شایستگی" پس از هر بازه زمانی محاسبه می‌شود. با گذشت زمان، حرکت به سمت ذراتی که دارای ملاک شایستگی بالاتری هستند و در گروه ارتباطی یکسانی قرار دارند، شتاب می‌گیرد. مزیت اصلی این روش در مقایسه با استراتژی‌های بهینه‌سازی دیگر این است که تعداد فراوان ذرات ازدحام کننده، باعث انعطاف آن در برابر مشکل پاسخ بهینه محلی می‌گردد. هر ذره برای رسیدن به

جدول ۴. جبهه پارتو

GAMS		NSGA II		MOPSO	
تابع هدف دوم	تابع هدف اول	تابع هدف دوم	تابع هدف اول	تابع هدف دوم	تابع هدف اول
۸۳۶۰۴۱۴	۱۰۰۴۱۷	۷۸۵۸۵۱۴	۹۰۸۶۲۳۳	۸۶۹۲۴۶۵	۳۱۲۵۹۳
۸۳۴۷۷۹۷	۳۸۱۳۹۶۸	۷۸۸۹۰۸۴	۸۹۸۹۷۴۴	۸۳۹۵۵۰	۳۹۲۸۱۲
۸۳۰۴۱۳۶	۳۳۸۱۷۶۳	۷۹۸۸۵۷۸	۸۶۷۶۸۵۷	۸۵۸۶۵۶۴	۴۹۶۳۳۶۹
۸۲۲۲۹۵۳	۴۴۷۶۱۳	۷۹۹۲۹۳۸	۸۲۳۳۱۶۳	۸۴۰۱۱۰۴	۵۶۲۷۳۶
۸۱۷۵۶۷۶	۵۰۹۴۳۳۵	۸۰۵۹۸۷۱	۷۸۳۰۵۲	۸۲۹۹۴۵۷	۶۳۲۰۱۲۲
۸۱۵۱۶۶۶	۵۹۱۴۰۱۵	۸۰۷۰۶۵۱	۷۷۱۶۰۳۴	۸۲۷۷۶۶۴	۶۴۹۸۰۶۸
۸۱۴۰۲۳۹	۶۱۸۹۸۴۷	۸۱۱۹۱۷۸	۶۵۷۱۱۶۴	۸۲۵۰۲۲۵	۶۷۰۳۷۶۳
۸۱۰۱۰۷۴	۶۴۰۴۹۵۸	۸۲۰۶۳۱۷	۶۴۷۴۹۹۴	۸۱۸۳۳۰۵	۷۶۱۴۹۶۲
۸۰۰۷۷۱۱	۷۵۶۵۸۲۳	۸۳۱۸۱۵۴	۵۶۳۷۲۲۴	۸۱۲۹۹۱۲	۸۱۳۷۹۲
		۸۴۳۷۲۹۶	۴۲۶۷۸۰	۸۱۲۸۸۸۶	۸۵۰۶۰۶۹
		۸۵۹۷۳۴۰	۳۱۲۶۶۵۹	۸۰۵۹۸۹۷	۸۹۷۷۰۶۹
		۸۶۴۷۸۰۲	۲۰۴۳۴۳۷	۷۹۵۴۰۰۰	۹۱۹۰۴۰۰
		۸۸۹۱۹۱۷	۱۳۵۴۸۰۹		
		۸۹۲۹۸۱۱	۱۲۷۴۳۶۵		



شکل ۱. جبهه پارتو

همچنین، در ادامه نمودارهای (۲) و (۳) مربوط به شکاف بهینگی هر یک از توابع هدف در حل ۱۲ مسئله نمونه، برای دو روش فرا ابتکاری یادشده ترسیم شده است، که تفسیر آن‌ها چیزی جز تایید تشریح جدول (۵) نیست.

جدول ۸. مقایسه الگوریتم‌ها بر اساس معیار شکاف بهینگی

APRG 2		APRG 2		مسئله
NSGA II	MOPSO	NSGA II	MOPSO	
۰/۷	۲/۲	۱/۶	۲/۱	۱
۱	۲/۵	۱/۸	۲/۳	۲
۱/۵	۲/۵	۱/۹	۲/۶	۳
۲/۱	۳/۱	۲/۱	۲/۷	۴
۲/۸	۳/۴	۲/۴	۳	۵
۳/۴	۳/۸	۲/۶	۳/۱	۶
۳/۹	۴/۱	۲/۷	۳/۴	۷
۴/۳	۴/۳	۲/۹	۳/۷	۸
۴/۸	۵	۲/۳	۳/۸	۹
۵/۱	۵/۶	۳/۳	۴/۱	۱۰
۵/۴	۵/۷	۳/۶	۴/۲	۱۱
۵/۹	۷/۱	۳/۷	۴/۳	۱۲

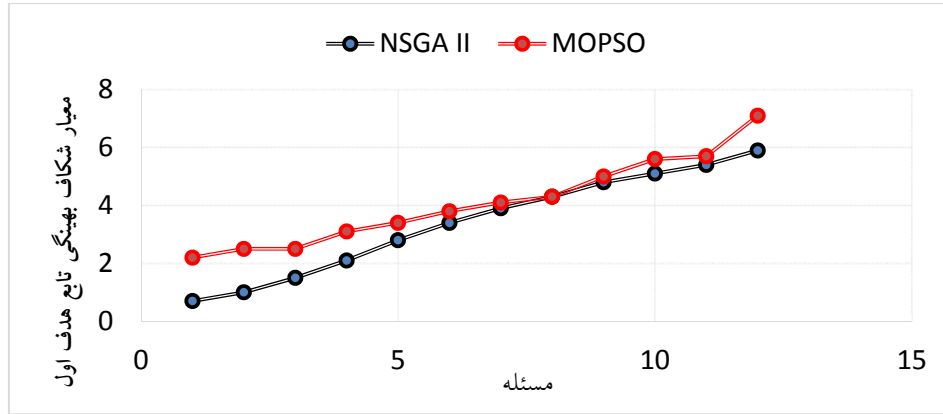
تجزیه و تحلیل بر اساس معیار شکاف بهینگی

به علت استفاده از فرآیند تکرار جهت درج مقادیر در جدول (۵) از شاخص متوسط درصد شکاف مرتبط برای هر دو روش فرا ابتکاری در حل ۱۲ مسئله نمونه استفاده شده است. همان‌گونه که در جدول مشاهده می‌شود، APRG1 که برای تابع هدف اول بیان شده است، برای اندازه‌های بسیار کوچک مسئله، نشان‌دهنده مطلوبیت روش الگوریتم ژنتیک نسبت به روش دیگر است. به علاوه روش بهینه سازی ازدحام ذرات در یک رقابت تنگنا با الگوریتم ژنتیک در جایگاه دوم قرار می‌گیرد. همچنین، در جدول (۵) APRG2 برای هر دو روش فرا ابتکاری در حل ۱۲ مسئله نمونه ارائه شده است. همان‌گونه که در جدول مشاهده می‌شود، APRG2 که برای تابع هدف دوم بیان شده است، برای اندازه‌های بسیار کوچک مسئله، نشان‌دهنده مطلوبیت روش الگوریتم ژنتیک نسبت به روش دیگر است.

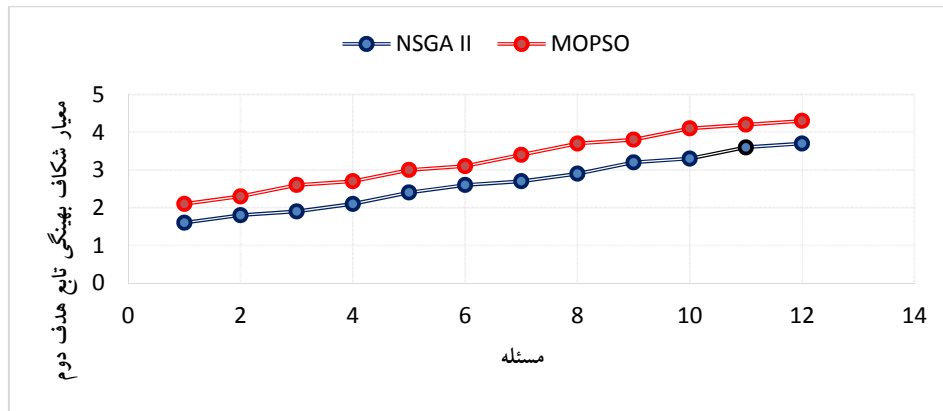
تجزیه و تحلیل تعداد جواب‌های بهینه پارتو

ازدحام ذرات عمل می‌کند. همچنین، روش حل دقیق (GAMS) در جایگاه سوم قرار می‌گیرد.

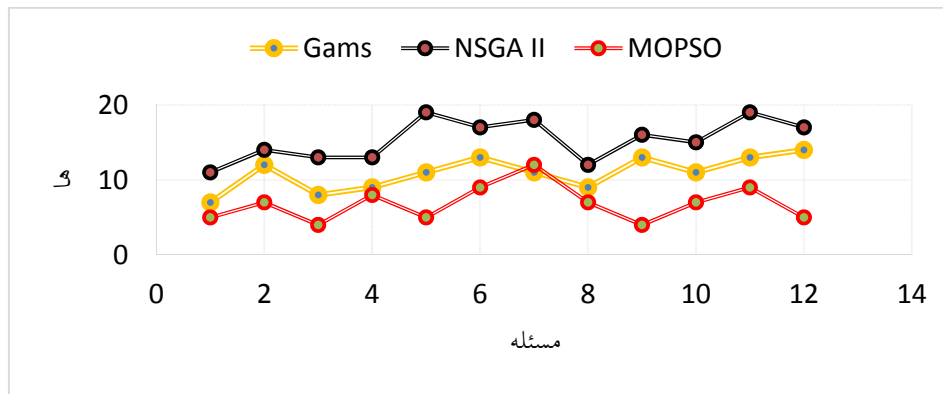
جدول (۶) تعداد جواب‌های پارتو به دست آمده را در مسائل نمونه حل شده نشان می‌دهد و این نتایج به صورت گرافیکی در شکل (۴) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که از دیدگاه تابع هدف اول، الگوریتم ژنتیک در شرایطی که معیار سنجش، تعداد جواب‌های بهینه پارتو است بهتر از روش بهینه سازی



شکل ۲. نمایش مقایسه تابع هدف اول در هر دو روش فرا ابتکاری بر اساس معیار شکاف بهینگی



شکل ۳. نمایش مقایسه تابع هدف دوم در هر دو روش فرا ابتکاری بر اساس معیار شکاف بهینگی



شکل ۴. نمایش مقایسه روش‌ها بر اساس معیار تعداد جواب‌های بهینه پارتو

جدول ۶. مقایسه روش‌ها بر اساس تعداد جواب‌های بهینه پارتو

مسئله	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
Gams	۷	۱۲	۸	۹	۱۱	۱۳	۱۱	۹	۱۳	۱۱	۱۳	۱۴
NSGA-II	۱۱	۱۴	۱۳	۱۳	۱۹	۱۷	۱۸	۱۲	۱۶	۱۵	۱۹	۱۷
MOPSO	۶	۷	۴	۸	۵	۹	۱۲	۷	۴	۷	۹	۵

تجزیه و تحلیل بر اساس معیار زمان

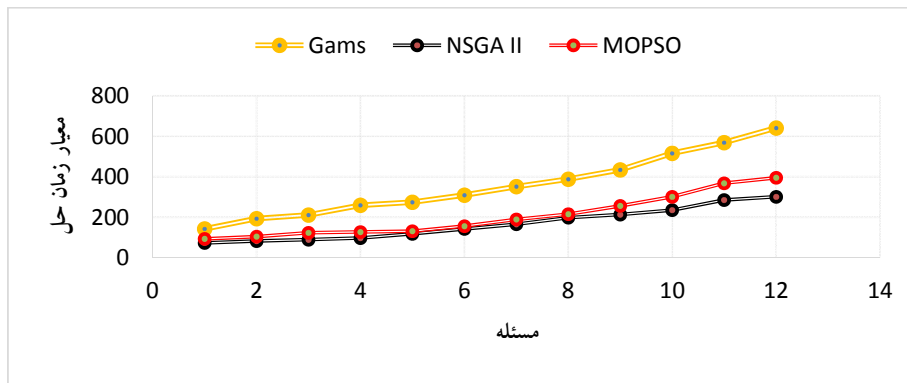
جدول (۷) زمان حل هر یک از مسائل نمونه توسط روش‌های استفاده‌شده را نشان می‌دهد و این نتایج به صورت گرافیکی در شکل (۵) نشان داده شده است.

مشاهدات حاکی از این است که الگوریتم ژنتیک با داشتن کوتاه‌ترین مدت زمان حل، به ترتیب بر الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات و نیز روش حل گمز، پیشی می‌جوید.

همچنین، نتایج نشان می‌دهد که از دیدگاه تابع هدف دوم نیز الگوریتم ژنتیک نسبت به الگوریتم دیگر برتری دارد. این در حالی است که روش حل دقیق در جایگاه سوم قرار می‌گیرد.

جدول ۷. مقایسه روش‌ها بر اساس معیار زمان حل (دقیقه)

مسئله	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
Gams	۱۷/۲	۲۱/۳	۲۶/۱	۲۹/۹	۳۲/۴	۳۵/۹	۳۸/۱	۴۲/۸	۴۸/۴	۵۶/۶	۵۹/۹	۶۸/۱
NSGA-II	۷/۳	۸/۲	۸/۹	۹/۷	۱۱/۸	۱۴/۲	۱۶/۵	۱۹/۸	۲۱/۳	۲۳/۵	۲۸/۵	۳۰/۱
MOPSO	۹/۳	۱۰/۴	۱۲/۳	۱۲/۷	۱۳/۱	۱۵/۶	۱۸/۹	۲۱/۵	۲۵/۶	۳۰/۱	۳۶/۸	۳۹/۵



شکل ۵. نمایش مقایسه روش‌ها بر اساس معیار زمان حل

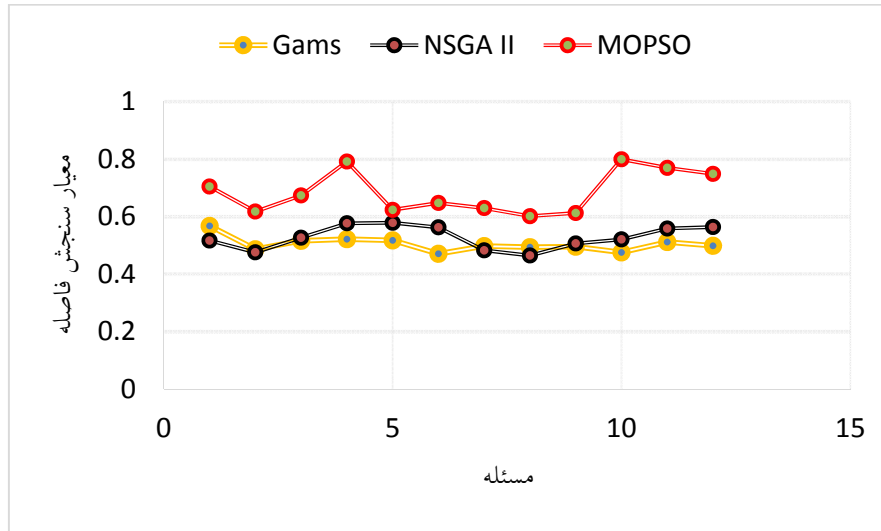
تجزیه و تحلیل بر اساس معیار سنجش فاصله

دیگر در رقابتی تنگاتنگ با یکدیگر عمل می‌نمایند. بنابراین، برای افزایش دقت در تحلیل نتایج، از آزمایشات مقایسه زوجی استفاده شده است و نتیجه بیانگر این است که روش گمز از نظر مطلوبیت در جایگاه اول قرار می‌گیرد و الگوریتم ژنتیک با اختلافی بسیار ناچیز، در جایگاه دوم قرار می‌گیرد.

جدول (۸) معیار فاصله را برای هر یک از مسائل نمونه حل‌شده توسط الگوریتم‌ها نشان می‌دهد و این نتایج به صورت گرافیکی در شکل (۶) نشان داده شده است. مشاهدات حاکی از این است که الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات در مقایسه با دو روش دیگر، دارای مطلوبیت کمتری است. همچنین دو روش

جدول ۸. مقایسه روش‌ها بر اساس معیار سنجش فاصله

مسئله	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
Gams	۰/۵۶۸	۰/۴۸۹	۰/۵۱۹	۰/۵۲۲	۰/۵۱۸	۰/۴۷۱	۰/۴۹۸	۰/۴۹۴	۰/۴۹۶	۰/۴۷۶	۰/۵۱۲	۰/۴۹۹
NSGA-II	۰/۵۱۷	۰/۴۷۶	۰/۵۲۷	۰/۵۷۷	۰/۵۷۹	۰/۵۶۳	۰/۴۸۳	۰/۴۶۵	۰/۵۰۷	۰/۵۲۱	۰/۵۵۹	۰/۵۶۴
MOPSO	۰/۷۰۵	۰/۶۱۸	۰/۶۷۴	۰/۷۹۲	۰/۶۲۴	۰/۶۴۸	۰/۶۳	۰/۶۰۲	۰/۶۱۳	۰/۸	۰/۷۷	۰/۷۴۹



شکل ۶. نمایش مقایسه روش‌ها بر اساس معیار سنجش فاصله

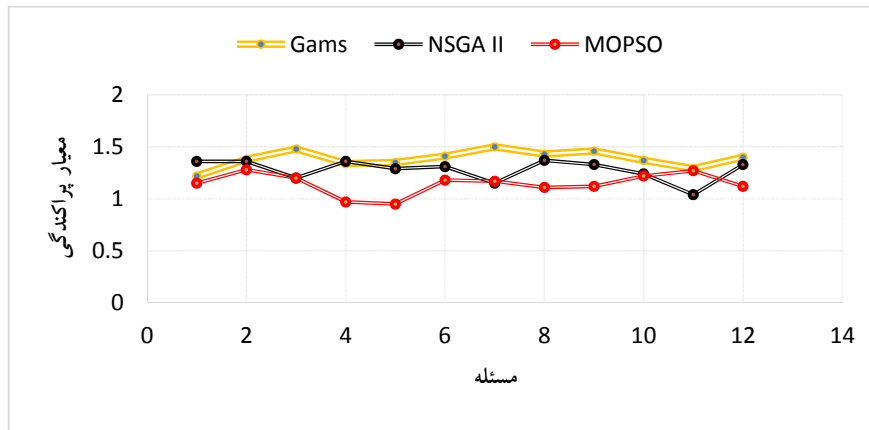
تجزیه و تحلیل بر اساس معیار پراکندگی

در تحلیل نتایج، از آزمایشات مقایسه زوجی استفاده شده است و نتیجه بیانگر این است که روش گمز از نظر مطلوبیت در جایگاه اول قرار می‌گیرد و الگوریتم ژنتیک با اختلافی بسیار ناچیز، در جایگاه دوم قرار می‌گیرد.

جدول (۹) معیار پراکندگی را برای هر یک از مسائل نمونه حل شده توسط الگوریتم‌ها، نشان می‌دهد و این نتایج به صورت گرافیکی در شکل (۷) نشان داده شده است. واضح است که الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات در مقایسه با دو روش دیگر، دارای مطلوبیت کمتری است. همچنین دو روش دیگر در رقابتی تنگاتنگ با یکدیگر عمل می‌نمایند. بنابراین، برای افزایش دقت

جدول ۹. مقایسه روش‌ها بر اساس معیار پراکندگی (۱۰۴)

مسئله	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
Gams	۱/۲۲	۱/۳۸	۱/۴۸	۱/۳۴	۱/۳۵	۱/۴۱	۱/۵	۱/۴۳	۱/۴۶	۱/۳۷	۱/۲۹	۱/۴
NSGA-II	۱/۳۶	۱/۳۶	۱/۲	۱/۳۶	۱/۲۹	۱/۳۱	۱/۱۵	۱/۳۷	۱/۳۳	۱/۲۴	۱/۰۴	۱/۳۳
MOPSO	۱/۱۵	۱/۲۸	۱/۲	۰/۹۷	۰/۹۵	۱/۱۸	۱/۱۷	۱/۱۱	۱/۱۲	۱/۲۲	۱/۲۷	۱/۱۲



شکل ۷. نمایش مقایسه روش‌ها بر اساس معیار پراکندگی

است. در نهایت این مدل با استفاده از روش حل دقیق گمز و نیز الگوریتم‌های فرا ابتکاری الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات حل شده است، تحلیل حساسیت بر روی یکی از پارامترهای اصلی مدل انجام گرفته و نیز روش‌های حل با کمک چندین معیار با هم مقایسه شده‌اند. در نهایت روش الگوریتم ژنتیک در هر دو اندازه کوچک و بزرگ بهترین جواب را اتخاذ نمود.

۶- مراجع

- Abdallah, T., Farhat, A., Diabat, A., & Kennedy, S. (2012). Green supply chains with carbon trading and environmental sourcing: Formulation and life cycle assessment. *Applied Mathematical Modelling*, 36(9), 4271-4285.
- Afshar, A., & Haghani, A. (2012). Modeling integrated supply chain logistics in real-time large-scale disaster relief operations. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(4), 327-338.
- Akbari-Jafarabadi, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Mahmoodjanloo, M., & Rahimi, Y. (2017). A tri-level r-interdiction median model for a facility location problem under imminent attack. *Computers & Industrial Engineering*, 114, 151-165.
- Alem, D., Clark, A., & Moreno, A. (2016). Stochastic network models for logistics planning in disaster relief. *European Journal of Operational Research*, 255(1), 187-206.
- Altay, N., & Green III, W. G. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 175(1), 475-493.
- Apte, A. (2010). Humanitarian logistics: A new field of research and action. Foundations and

با توجه به مقایسه‌های صورت گرفته و جدول نتایج، می‌توان به این نتیجه رسید که در حالت کلی، برای مسائل در ابعاد کوچک و نیز بزرگ، الگوریتم ژنتیک دارای مطلوبیت بیشتری نسبت به الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات است.

۵- نتیجه گیری

اخیراً رشد گسترده حوادث و بلایا به علت تأثیر گسترده‌ای که بر زندگی مردم دارد، نیاز به برنامه ریزی و آمادگی سازمان‌ها را برجسته کرده است. محققان به همین علت توجه ویژه‌ی خود را به این دسته از تحقیقات معطوف کرده‌اند. با وجود محدودیت‌ها و عدم قطعیت‌هایی که در این دست امور وجود دارد، وجود مدل‌هایی همه جانبه برای پاسخگویی و اقدام سریع پس از بحران به شکل گسترده‌ای احساس می‌شود. استفاده نادرست از منابع، ممکن است منجر به پاسخگویی نامناسب یا تحویل نادرست کمک‌ها گردد.

در این پژوهش سعی شده تا موضوعی با هدف کاهش زمان و هزینه انتقال کالاهای امدادی و نیز با تکیه بر دیدگاه زیست محیطی و همچنین با استفاده از وسایل نقلیه متنوع، مدل شود، به صورتی که مدیران بحران بتوانند تصمیماتی با قابلیت اطمینان برای مسائل حمل و نقل اتخاذ کنند. از آنجایی که این موضوع در فاز پاسخ و واکنش اضطراری فاجعه به وجود آمده، مسئله‌ای حیاتی است. در این مسئله تابع هدفی برای کاهش هزینه‌ها و نیز میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و همچنین تابع هدفی به منظور کاهش زمان امدادسانی در نظر گرفته شده

- Fahimnia, B., Jabbarzadeh, A., Ghavamifar, A., & Bell, M. (2017). Supply chain design for efficient and effective blood supply in disasters. *International Journal of Production Economics*, 183, 700-709.
- Farahani, R., Rezapour, S., & Kardar, L. (Eds.). (2011). *Logistics operations and management: concepts and models*. Elsevier.
- Galindo, G., & Batta, R. (2013). Review of recent developments in OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 230(2), 201-211.
- Gu, Y. (2011). Research on Optimization of Relief Supplies Distribution Aimed to Minimize Disaster Losses. *JCP*, 6(3), 603-609.
- Habibi-Kouchaksaraei, M., Paydar, M. M., & Asadi-Gangraj, E. (2018). Designing a bi-objective multi-echelon robust blood supply chain in a disaster. *Applied Mathematical Modelling*, 55, 583-599.
- Hsu, C. W., Kuo, T. C., Chen, S. H., & Hu, A. H. (2013). Using DEMATEL to develop a carbon management model of supplier selection in green supply chain management. *Journal of cleaner production*, 56, 164-172.
- Huang, M., Smilowitz, K., & Balcik, B. (2012). Models for relief routing: Equity, efficiency and efficacy. *Transportation research part E. Logistics And Transportation Review*, 48(1), 2-18.
- Kovács, G., & Spens, K. (2009). Identifying challenges in humanitarian logistics. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 39(6), 506-528.
- Liu, Y., & Yu, J. (2012). Emergency evacuation planning for highly populated urban zones: a transit-based solution and optimal operational strategies. *In Emergency Management*. InTech.
- Longo, F. (2012). Sustainable supply chain design: an application example in local business retail. *Simulation*, 88(12), 1484-1498.
- Metz, H. O., & Zabinsky, Z. B. (2010). Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management. *International Journal of Production Economics*, 126(1), 76-84.
- Nagurney, A., & Nagurney, L. S. (2010). Sustainable supply chain network design: A multicriteria perspective. *International Journal of Sustainable Engineering*, 3(3), 189-197.
- Nagy, G., & Salhi, S. (2005). Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickups and deliveries. *European Journal of Operational Research*, 162(1), 126-141.
- Najafi, M., Eshghi, K., & Dullaert, W. (2013). A multi-objective robust optimization model for logistics planning in the earthquake response phase. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 49(1), 217-249.
- Natarajarathinam, M., Capar, I., & Narayanan, A. (2009). Managing supply chains in times of crisis: a review of literature and insights. *International trends® in technology. Information and Operations Management*, 3(1), 1-100.
- Balcik, B., Beamon, B. M., & Smilowitz, K. (2008). Last mile distribution in humanitarian relief. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 12(2), 51-63.
- Barbarosoğlu, G., & Arda, Y. (2004). A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response. *Journal of the Operational Research Society*, 55(1), 43-53.
- Bartell, A. L., Lappenbusch, S., Kemp, R. B., & Haselkorn, M. (2006, October). Improving humanitarian relief information and communication systems through research. In *International Professional Communication Conference, 2006 IEEE*, 156-162.
- Beamon, B. M., & Kotleba, S. A. (2006). Inventory modelling for complex emergencies in humanitarian relief operations. *International Journal of Logistics. Research and Applications*, 9(1), 1-18.
- Bish, D. R. (2011). Planning for a bus-based evacuation. *OR Spectrum*, 33(3), 629-654.
- Buyanov, V. (2011). BP: Statistical Review of World Energy 2011. *Economic Policy*, 4, 38-55.
- Büyükoçkan, G., & Berkol, Ç. (2011). Designing a sustainable supply chain using an integrated analytic network process and goal programming approach in quality function deployment. *Expert Systems with Applications*, 38(11), 13731-13748.
- Campbell, A. M., Vandenbussche, D., & Hermann, W. (2008). Routing for relief efforts. *Transportation Science*, 42(2), 127-145.
- Cao, C., Li, C., Yang, Q., Liu, Y., & Qu, T. (2018). A novel multi-objective programming model of relief distribution for sustainable disaster supply chain in large-scale natural disasters. *Journal of Cleaner Production*, 174, 1422-1435.
- Chaabane, A., Ramudhin, A., & Paquet, M. (2012). Design of sustainable supply chains under the emission trading scheme. *International Journal of Production Economics*, 135(1), 37-49.
- Chang, M. S., Tseng, Y. L., & Chen, J. W. (2007). A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty. *Transportation Research Part E. Logistics and Transportation Review*, 43(6), 737-754.
- Chiu, Y. C., & Zheng, H. (2007). Real-time mobilization decisions for multi-priority emergency response resources and evacuation groups: model formulation and solution. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 43(6), 710-736.
- Costantino, N., Dotoli, M., Falagario, M., & Sciancalepore, F. (2012). Fuzzy network design of sustainable supply chains. *IFAC Proceedings Volumes*, 45(6), 1284-1289.
- Duran, S., Gutierrez, M. A., & Keskinocak, P. (2011). Pre-positioning of emergency items for CARE international. *Interfaces*, 41(3), 223-237.

- Shen, Z., Dessouky, M. M., & Ordóñez, F. (2009). A two-stage vehicle routing model for large-scale bioterrorism emergencies. *Networks*, 54(4), 255-269.
- Tavana, M., Abtahi, A. R., Di Caprio, D., Hashemi, R., & Yousefi-Zenouz, R. (2017). An integrated location-inventory-routing humanitarian supply chain network with pre-and post-disaster management considerations. *Socio-Economic Planning Sciences*.
- Thomas, A. (2007). *Humanitarian Logistics, Enabling Disaster Response*, The Fritz Institute.
- Thomas, A. S., & Kopczak, L. R. (2005). From logistics to supply chain management: the path forward in the humanitarian sector. *Fritz Institute*, 15, 1-15.
- Tomasini, R. M., & Van Wassenhove, L. N. (2009). From preparedness to partnerships: case study research on humanitarian logistics. *International Transactions in Operational Research*, 16(5), 549-559.
- Tucker, A., Morelli, R., & de Lanerolle, T. (2011, October). The humanitarian FOSS project: Goals, activities, and outcomes. *In: the IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), 2011 IEEE*, 98-101.
- Tzeng, G. H., Cheng, H. J., & Huang, T. D. (2007). Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(6), 673-686.
- Vitoriano, B., Ortuño, M. T., Tirado, G., & Montero, J. (2011). A multi-criteria optimization model for humanitarian aid distribution. *Journal of Global Optimization*, 51(2), 189-208.
- Yi, W., & Kumar, A. (2007). Ant colony optimization for disaster relief operations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(6), 660-672.
- Yi, W., & Özdamar, L. (2007). A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities. *European Journal of Operational Research*, 179(3), 1177-1193.
- Zhang, S., Guo, H., Zhu, K., Yu, S., & Li, J. (2017). Multistage assignment optimization for emergency rescue teams in the disaster chain. *Knowledge-Based Systems*, 137, 123-137.
- Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 39(7), 535-573.
- Noham, R., & Tzur, M. (2018). Designing humanitarian supply chains by incorporating actual post-disaster decisions. *European Journal of Operational Research*, 265(3), 1064-1077.
- Nolz, P. C., Semet, F., & Doerner, K. F. (2011). Risk approaches for delivering disaster relief supplies. *OR spectrum*, 33(3), 543-569.
- Ozdamar, L., & Demir, O. (2012). A hierarchical clustering and routing procedure for large scale disaster relief logistics planning. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(3), 591-602.
- Ozdamar, L., & Yi, W. (2008). Greedy neighborhood search for disaster relief and evacuation logistics. *IEEE Intelligent Systems*, 23(1).
- Pan, S., Ballot, E., & Fontane, F. (2013). The reduction of greenhouse gas emissions from freight transport by pooling supply chains. *International Journal of Production Economics*, 143(1), 86-94.
- Pettit, S. J., Beresford, A. K. C., Whiting, M., & Banomyong, R. (2011). The 2004 Thailand tsunami reviewed: lessons learned.
- Pishvaei, M. S., & Razmi, J. (2012). Environmental supply chain network design using multi-objective fuzzy mathematical programming. *Applied Mathematical Modelling*, 36(8), 3433-3446.
- Pishvaei, M. S., Rabbani, M., & Torabi, S. A. (2011). A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Applied Mathematical Modelling*, 35(2), 637-649.
- Pozo, C., Ruiz-Femenia, R., Caballero, J., Guillén-Gosálbez, G., & Jiménez, L. (2012). On the use of Principal Component Analysis for reducing the number of environmental objectives in multi-objective optimization: application to the design of chemical supply chains. *Chemical Engineering Science*, 69(1), 146-158.
- Sahebi, H., Nickel, S., & Ashayeri, J. (2014). Environmentally conscious design of upstream crude oil supply chain. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(28), 11501-11511.
- Samani, M. R. G., Torabi, S. A., & Hosseini-Motlagh, S. M. (2018). Integrated blood supply chain planning for disaster relief. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 27, 168-188.
- Sheffi, Y. (2005). *the resilient enterprise: overcoming vulnerability for competitive advantage*. MIT Press Books, 1.

Multi-Objective Mathematical Modelling of a Green Transportation Problem for Imperishable Items in a Relief Condition

Reza Tavakkoli-Moghaddam, Professor, School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

Maryam Abdi, M.Sc., Grad., School of Industrial Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

E-mail: tavakoli@ut.ac.ir

Received: January 2024 - Accepted: September 2024

ABSTRACT

The statistics show a significant increase in several natural disasters. The economic, social, and environmental impacts of these events have attracted researchers' attention of to the decisions in this field. According to our geographical situation and several natural disasters (e.g., earthquakes, storms, floods, and historical wars), crisis management is one of most important topics among researchers. It is worth noting that complexity and unpredictability are integral activities to planning and operations during the crisis response phase. Therefore, humanitarian logistics planning is necessary in real-life situations. The most important properties of health relief are to minimize the distribution time and the budget because of increasing the efficiency; however, most recent studies show that greenhouse issues can be involved in crisis management. Therefore, this paper study presents a linear two-objective integer model. The first objective function is to minimize the cost of relief supplies and greenhouse gas emissions in a distribution system. Additionally, the second objective function minimizes the relief time. The demand of nodes is uncertain, and uncertainty in the model is also considered and handled by the ME method. Furthermore, this model is solved using the GAMS software and two well-known multi-objective meta-heuristic algorithms, namely NSGA-II and MOPSO. The sensitivity analysis is performed on one of the main parameters of the model and compares the methods of solving with the help of several metrics. Finally, the NSGA-II reports the best solutions for solving small- and large-sized problems.

Keywords: Humanitarian Logistics, Green Transportation, Crisis Management, Maximum Entropy Method, Meta-Heuristic Algorithms