

# ارائه‌ی مدل انتخاب تأمین‌کننده برای قراردادهای همکاری با در نظر گرفتن عملکرد تحویل تأمین‌کننده در امداد بشردوستانه

رضا رمضانیان\* (استادیار)

دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

محمد سعیدی مهرآباد (استاد)

امین شهاخت نادری (کارشناس ارشد)

دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، زمستان ۱۳۹۶ (۱۳-۷۵-۸۳-۷۵، شماره ۲/۲، ص. ۸۳-۷۵)

امروزه یکی از رویکردهای پیشنهاد شده برای کاهش زمان پاسخ در عملیات امداد رسانی سازمان‌های بشردوستانه استفاده از تفاهم‌نامه‌های همکاری برای تأمین اقلام حیاتی است. تأمین‌کنندگان در طول افق زمانی تفاهم‌نامه و در صورت نیاز سازمان امدادی موظف به تحویل اقلام حیاتی هستند. در این مقاله، مدلی برای انتخاب تأمین‌کنندگان اقلام امدادی در قالب قراردادهای همکاری، با توجه به عملکرد زمان تحویل (سرعت عمل) تأمین‌کننده، ارائه شده است. در مثال عددی ارائه شده مقدار تابع هدف نسبت به روش‌های گذشته افزایش یافته است؛ اما با توجه به دخیل شدن پارامتر زمان تحویل عملکرد مورد انتظار کل سامانه نیز پایدارتر شده است. هدف اصلی پژوهش، انتخاب ترکیب بهینه‌ی تأمین‌کنندگان و تخصیص اقلام مورد نظر به آنها در سناریوهای مختلف است که این کیفیت در روش ارائه شده بهبود یافته است. برای بررسی عملکرد مدل در داده‌هایی با مقیاس واقعی مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کنندگان آب آشامیدنی در سطح استان مازندران در زمان بحران تعریف شد.

واژگان کلیدی: انتخاب تأمین‌کننده، تفاهم‌نامه‌ی همکاری، زنجیره‌ی امداد بشردوستانه، عملکرد تحویل.

ramezaniyan@kntu.ac.ir  
mehrabad@iust.ac.ir  
aminshnaderi@ind.iust.ac.ir

## ۱. مقدمه

بهدارهای طبیعی و فاجعه‌ها، مناطق حادثه‌دیده با حجم زیادی از تقاضای کالاهای امدادی مانند غذا، آب، سرپناه و غیره مواجه می‌شوند. مسئولیت تهیه و تحویل این اقلام برعهده‌ی نهادهای دولتی و سازمان‌های مردمی بشردوستانه است. این سازمان‌ها تقاضا را از منابع مختلفی مانند کالاهای از پیش انبارشده، کمک‌های غیر نقدی، خرید اقلام و تفاهم‌نامه‌های همکاری برآورده می‌کنند.<sup>[۱]</sup>

فاجعه به معنی اختلال در سامانه است و اثر آن منجر به تهدید اولویت‌ها و اهداف سامانه می‌شود. فجاج به دو دسته‌ی طبیعی و انسانی تقسیم می‌شوند. هر کدام از فجاج طبیعی و انسانی به دو دسته‌ی ناگهانی و تدریجی تقسیم می‌شوند. ازجمله‌ی فجاج طبیعی تدریجی می‌توان به قحطی و خشک‌سالی اشاره کرد. فجاج ناگهانی طبیعی مانند سیل و زلزله معمولاً غیر قابل پیش‌بینی هستند. همچنین فجاج انسانی ناگهانی مانند حملات تروریستی و کودتا پیش‌بینی زمان و شدت وقوع حادثه تقریباً غیر ممکن است. تدارک امکانات برای مقابله با فجاج ناگهانی نیازمند

راهکارهایی است که بتوان در مدت زمان کم، امداد رسانی به افراد حادثه‌دیده را محقق کرد.<sup>[۲]</sup> با توجه به اهمیت زمان در شرایط بحران، خرید کالاها بعد از وقوع فاجعه باعث افزایش زمان پاسخ در امداد رسانی می‌شود؛ البته باید به این نکته توجه داشت که به علت حجم زیاد کالای مورد نیاز در زمان وقوع بحران، ذخیره‌سازی همه‌ی اقلام در انبار برای سازمان مقرون‌به‌صرفه نیست. به همین دلیل یکی از بهترین راهکارها برای کاهش هزینه‌های انبارداری و همچنین زمان پاسخ، عقد تفاهم‌نامه‌ی همکاری است. در تفاهم‌نامه‌های همکاری، تأمین‌کنندگان حجم مشخصی از تولید را برای سازمان‌های امدادی طرف قرارداد مشخص و تحویل کالاها در زمان ایجاد تقاضا -- براساس شرایط از پیش تعیین شده مانند قیمت، بسته‌بندی و دیگر موارد -- را متعهد می‌شوند. همچنین سازمان متعهد می‌شود که از هر یک از تأمین‌کنندگان طرف قرارداد در افق زمانی معین با امکان وقوع چند حادثه، کمینه‌ی حجم کل را خریداری کند. در زمان وقوع بحران سازمان اقدام به سفارش اقلام براساس ارزیابی خود از شدت حادثه می‌کند. به‌طور معمول تفاهم‌نامه‌های همکاری برای اقلام با تقاضای بالا برقرار می‌شوند. سازمان می‌تواند تقاضای پیش‌بینی شده برای هر حادثه را توسط

\* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۴/۶/۷، اصلاحیه ۱۳۹۴/۱۲/۲۶، پذیرش ۱۳۹۵/۲/۶

یک یا چند تأمین‌کننده طرف قرارداد برآورده کند. با توجه به محدودیت‌های مالی، سازمان امکان عقد تفاهم‌نامه‌ی همکاری با همه‌ی تأمین‌کنندگان یک نوع کالای امدادی خاص را نخواهد داشت؛ بنابراین انتخاب مجموعه‌ی بهینه از تأمین‌کنندگان که نیازهای سازمان را با کمترین هزینه و بیشترین کارایی برآورده کنند، ضروری به نظر می‌رسد.

از آنجا که ۸۰ درصد عملیات امداد رسانی مربوط به فعالیت‌های آمادی (لجستیک) است<sup>[۱]</sup> و با توجه به ابعاد حوادث و جمعیت حادثه‌دیده، استفاده از روش‌های بهینه انتخاب تأمین‌کننده‌ی اقلام امدادی برای تحویل کالاها در زمان از پیش تعیین‌شده امری ضروری است. با توجه به اهمیت امداد رسانی در حوادث غیر قابل پیش‌بینی و مشکلات موجود در تدارک کالاهای امدادی بعد از وقوع بحران و اهمیت زمان در نجات جان انسان‌های آسیب‌دیده، انتخاب تأمین‌کنندگان برای عقد تفاهم‌نامه‌ی همکاری، راهکاری مناسب برای کاهش مدت‌زمان تحویل کالاها به مناطقی بحران‌زده است. انتخاب سامان‌مند تأمین‌کنندگان در قالب تفاهم‌نامه‌ی همکاری با توجه به قابلیت اطمینان تأمین‌کنندگان می‌تواند منجر به کاهش ریسک امداد رسانی برای سازمان‌های در ارتباط با امداد مانند هلال‌احمر، سازمان‌های مردم‌نهاد، سازمان مدیریت بحران و دیگر سازمان‌های امدادی شود.

مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده در زنجیره‌ی تأمین به دلیل چندشاخصه بودن اهمیت بسیار زیادی دارد. کاظمی و دلدار یک مدل چندهدفه‌ی فازی را برای انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره‌ی تأمین پیشنهاد کردند و ارزش فعلی خالص پول را برای خریدار به عنوان یکی از توابع اهداف در نظر گرفتند.<sup>[۲]</sup> امیری و علیمی مدل چندهدفه‌ی فازی برای انتخاب تأمین‌کننده را با اهداف کمی‌نکردن هزینه، بیشینه‌کردن کیفیت و بیشینه کردن تحویل به موقع با پارامترهای فازی مثلثی پیشنهاد کردند.<sup>[۳]</sup>

فالاسکا و زوبیل مدل احتمالی دومرحله‌ی را برای انتخاب تأمین‌کنندگان در امداد بشردوستانه معرفی کردند.<sup>[۴]</sup> آن‌ها با توجه به عدم قطعیت موجود در فضای مسائل بشردوستانه<sup>[۵]</sup> از برنامه‌ریزی سناریو استفاده کردند و با ارائه‌ی سناریوهای مختلف وقوع بحران، عدم قطعیت موجود در تقاضا و منابع مالی را تحت کنترل قرار دادند. آن‌ها برای تعیین احتمال هر سناریو حوادث را در دسته‌هایی با شدت کم، متوسط و زیاد طبقه‌بندی کردند.<sup>[۶]</sup> بالچیک و آک یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط را درباره‌ی انتخاب تأمین‌کنندگان برای عقد تفاهم‌نامه‌ی همکاری توسعه دادند. آن‌ها مدل انتخاب تأمین‌کننده‌ی را برای کمی‌نکردن هزینه‌های قرارداد خرید در افق زمانی مشخص، ارائه کردند و عدم قطعیت تقاضا را با استفاده از مجموعه‌ی از سناریوهای بلایا و توسعه‌ی یک مدل برنامه‌ریزی احتمالی در نظر گرفتند. مدل ارائه‌شده توسط آن‌ها معیارهای قیمت و هزینه را برای انتخاب تأمین‌کنندگان پوشش می‌دهد.<sup>[۷]</sup>

در طول چند دهه‌ی گذشته نمونه‌های بسیاری از تحویل ناپهنگام که منجر به ایجاد هزینه‌های هنگفت در زنجیره‌ی تأمین شده است، مشاهده می‌شود. مثلاً می‌توان به دیرکرد تحویل ریزتراشه از کارخانه‌ی فیلیپس به اریکسون که منجر به ایجاد هزینه‌ی ۴۰۰ میلیون دلاری در فروش شرکت اریکسون شد، اشاره کرد.<sup>[۸]</sup>

زمان در زنجیره‌های تأمین بشردوستانه عاملی حیاتی است. مسائل مهمی مانند ارزیابی سازمان امدادی، استراتژی‌های خرید و تحویل، موقعیت مکانی تأمین‌کننده، حمل‌ونقل، ایمنی، زیرساخت‌ها و سیاست‌ها بر زمان در زنجیره‌ی تأمین بشردوستانه تأثیر می‌گذارند.<sup>[۹]</sup> در ادامه و با توجه به اهمیت تحویل بهنگام اقلام در زنجیره‌های تأمین به بررسی رویکردهای سنجش عملکرد تحویل با در نظر گرفتن پنجره‌ی زمانی در زنجیره‌ی تأمین می‌پردازیم. مقالاتی که عملکرد تحویل توسط تأمین‌کننده را در

زنجیره‌ی تأمین بررسی کرده‌اند از رویکردهای متفاوتی استفاده می‌کنند. دو رویکرد اصلی برای در نظر گرفتن عملکرد تحویل تأمین‌کننده استفاده از شش سیگما و تابع زیان است.

وانگ و دوو روش مشابه شاخص‌گذاری قابلیت تحویل را که براساس شش سیگما عمل می‌کند، معرفی کردند. آن‌ها یک مدل هزینه‌ی کل برای ارزیابی عملکرد تحویل با توجه به پنجره‌ی زمانی تعریف‌شده توسط مشتری معرفی کردند و چگونگی استفاده‌ی مدیران زنجیره‌ی تأمین از مدل خود را شرح دادند.<sup>[۱۰]</sup>

گفیریدا و جابر تأثیرات اقتصادی و مدیریتی بهبود عملکرد تحویل را در زنجیره‌های تأمین سری و در صورت استفاده از پنجره‌های زمانی بررسی کردند. در ابتدا مدلی برای ارزیابی تأثیر کاهش واریانس تحویل بر عملکرد کلی تحویل ارائه و سپس روش‌هایی برای ارزیابی مقدار بهینه‌ی واریانس توسعه داده شد. آن‌ها اثرات کوتاه‌مدت کاهش واریانس را افزایش عملکرد تحویل و در نتیجه‌ی آن افزایش رضایت مشتریان بیان کردند. همچنین اثرات بلندمدت کاهش واریانس را جذب مشتریان جدید به علت تطبیق نیازهای آن‌ها با عملکرد تحویل بهبودیافته شرکت دانستند.<sup>[۱۱]</sup>

گفیریدا در مقاله‌ی خود مدل عملکرد تحویل احتمالی را ارائه کرد. در ادامه برای حل مدل با استفاده از داده‌های گرفته‌شده از توزیع نرمال از سه روش تقریبی استفاده کرد و مهم‌ترین مزیت مدل خود را استفاده از روشی قابل‌درک برای ارزیابی عملکرد بیان کرد.<sup>[۱۲]</sup>

شین و همکاران مدل هزینه‌ی احتمالی که توانایی مقایسه‌ی تأمین‌کنندگان براساس عملکرد کیفیت و زمان تحویل محصول را دارد، ارائه کردند. بیشترین کاربرد مدل در پیدا کردن مجموعه‌ی بهینه‌ی تأمین‌کنندگان در زمانی است که تعداد تأمین‌کنندگان انتخابی از قبل مشخص است.<sup>[۱۳]</sup>

بررسی‌های به‌عمل‌آمده درباره‌ی عملکرد تأمین‌کنندگان توسط دارستانی و همکاران نشان می‌دهد که می‌توان از نمودارهای کنترل برای پایش زمان تحویل بهره برد. البته قبل از استفاده از نمودارهای کنترل توزیع داده‌های زمان تحویل مشخص می‌شوند. آن‌ها توزیع نرمال را برای مسئله‌ی خود در نظر گرفتند.<sup>[۱۴]</sup>

شیوو و همکاران از زمان انتظار، پنجره‌های زمانی و جدول عملکرد تحویل<sup>۱</sup> برای سنجش عملکرد تحویل در هر مرحله‌ی زنجیره‌ی تأمین سری استفاده کردند. جدول عملکرد تحویل استفاده‌شده توسط آن‌ها از ادغام شاخص کارایی فرایند<sup>۲</sup> و مفهوم شش‌سیگما به وجود آمده است. توزیع زمان‌های تحویل نرمال در نظر گرفته شده است.<sup>[۱۵]</sup>

روی و همکاران روشی برای تعیین ترکیب بهینه‌ی تأمین‌کنندگان در یک زنجیره‌ی تأمین ساخت بنابر سفارش<sup>۳</sup> توسعه دادند. این مدل با کمی‌نکردن تابع هزینه، درحالی‌که محدودیت‌های زمان تحویل بهنگام را تحقق می‌بخشد، ترکیب بهینه از تأمین‌کنندگان را انتخاب می‌کند.<sup>[۱۶]</sup>

مدل‌های ذکرشده از تئوری آمار و بهینه‌سازی ریاضی برای امر ارزیابی عملکرد زمان تحویل زنجیره‌ی تأمین بهره برده‌اند. در این مدل‌ها کاربر نهایی باید به آمار و نظریه‌ی تصمیم تسلط کافی داشته باشد. در عمل یک مدل عملکرد تحویل که عملکرد تحویل را با کاهش احتمال تحویل زود هنگام و دیر هنگام بهبود بخشد، برای متخصص بسیار آسان‌تر و قابل‌فهم‌تر است.

یکی از معیارهای بسیار مهم در موفقیت زنجیره‌ی تأمین بشردوستانه نحوه‌ی عملکرد تأمین‌کنندگان حاضر در زنجیره به خصوص در تحویل به موقع اقلام امدادی به آسیب‌دیدگان است. در مدل‌هایی که تاکنون در ارتباط با انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره‌ی تأمین بشردوستانه ارائه شده‌اند معیارهای قیمت، هزینه، تقاضا مورد بررسی قرار گرفته‌اند؛ درحالی‌که قابلیت اطمینان تأمین‌کننده در تحویل اقلام امدادی در نظر

گرفته نشده است. در این پژوهش، با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان تحویل تأمین‌کننده

-- با استفاده از تابع زیان ارائه شده توسط گیفریدا در مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان برای عقد تفاهم‌نامه همکاری -- به ارائه مدل بهبودیافته‌ی انتخاب تأمین‌کنندگان برای عقد تفاهم‌نامه همکاری پرداخته می‌شود. همچنین در قدم بعدی، از مدل پیشنهادی در یک سازمان بشردوستانه برای انتخاب تأمین‌کنندگان با داده‌هایی با ابعاد واقعی در مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان آب آشامیدنی در سطح استان مازندران در زمان بحران، استفاده می‌شود. هدف از انجام پژوهش ارائه مدلی است که علاوه بر در نظر گرفتن ابعاد مالی در مسئله انتخاب تأمین‌کننده، تعداد تحویل اقلام خارج از پنجره‌های زمانی مشخص شده را با تأکید بر کاهش دیرکردها کمینه کند.

در بخش دوم به تعریف مسئله و مفروضات آن خواهیم پرداخت و مدل ریاضی بر پایه‌ی این مفروضات ارائه خواهیم کرد. در بخش سوم به بررسی نتایج حاصل از حل مدل ارائه شده و تحلیل حساسیت مدل نسبت به پارامترهای آن می‌پردازیم. در بخش بعد به حل مسئله در ابعاد واقعی و در قالب مطالعه‌ی موردی خواهیم پرداخت. در بخش پایانی نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای پژوهش‌های آینده آورده شده است.

## ۲. تعریف مسئله و مدل‌سازی ریاضی

یک سازمان امدادی برای تأمین اقلام حیاتی و تحویل آن‌ها به مناطق تقاضا با توجه به شدت حادثه نیازمند حجم متغیری از کالاهاست. به علت حجم زیاد اقلام و در نتیجه هزینه‌های بالای نگهداری پیش از وقوع حادثه، سازمان تصمیم به تنظیم تفاهم‌نامه‌ی همکاری با تولیدکننده‌های اقلام حیاتی می‌گیرد. طبق این تفاهم‌نامه‌ی همکاری، تولیدکننده به تأمین و تحویل حجم مشخصی از کالاها در صورت وقوع حادثه به مناطق مشخص شده متعهد می‌شود. باید توجه داشت که تحویل بهنگام اقلام امدادی در بلاهای طبیعی اهمیت بسیار قابل چشم‌پوشی دارد. در صورت تأخیر در تحویل محموله‌ی امدادی به مناطق حادثه‌دیده و کمبود کالا در این مناطق سلامت افراد حاضر در منطقه تهدید می‌شود؛ همچنین در صورت تحویل زودتر از موعد کالاها امدادی با توجه به فضای محدود برای ذخیره‌سازی کالاها، عملیات امداد با مشکل مواجه می‌شود.

در مسئله‌ی مورد مطالعه، تدارک کالاها امدادی در قالب تفاهم‌نامه‌ی همکاری صورت می‌گیرد. به این معنی که سازمان برای تهیه‌ی یک نوع کالای خاص با تعدادی از تأمین‌کنندگان ( $i \in \mathcal{N}$ ) که شرایط لازم برای همکاری دارند، قرارداد می‌بندد. با توجه به این نکته که وقوع بحران‌ها، چه از نوع طبیعی و چه از نوع غیر طبیعی (ساخته‌ی دست بشر)، تقریباً غیر قابل پیش‌بینی است در حل این مسئله از برنامه‌ریزی سناریومحور استفاده می‌شود. سازمان تعدادی سناریوی از پیش تعیین شده ( $s \in \mathcal{S}$ ) با توجه به شدت بحران و تقاضای کالای مورد نظر ( $d_r^s$ ) در مناطق تحت پوشش خود ( $r \in \mathcal{R}$ ) در نظر می‌گیرد و با توجه به احتمال وقوع ( $p^s$ ) این سناریوها، تأمین‌کننده یا تأمین‌کنندگان نهایی را انتخاب می‌کند. تأمین‌کننده‌ی کالا وظیفه‌ی حمل و نقل آن را تا نقاط حادثه‌دیده برعهده دارد؛ بنابراین، هزینه‌ی هر واحد کالا ( $u_{ilmr}$ ) برابر با قیمت تمام‌شده‌ی آن به علاوه‌ی هزینه‌ی حمل و نقل تا محل حادثه در نظر گرفته می‌شود. تأمین‌کنندگان می‌توانند تقاضای مناطق بحران‌دیده را در چند بازه‌ی زمانی ( $l \in \mathcal{L}$ ) برآورده کنند که در هر یک از این بازه‌ها کسری ( $z_{lr}^*$ ) از تقاضای کل منطقه با توجه به سناریوی پیش‌بینی شده برآورده خواهد شد. باید به این نکته توجه کرد که قیمت تمام‌شده‌ی کالاها در بازه‌های تحویل دیرتر از زمان وقوع حادثه، کاهش پیدا خواهد کرد. همچنین، قیمت تمام‌شده‌ی کالاها با افزایش بازه‌ی مقدار سفارش

$$u(Q, LT) = \begin{cases} u_0 & \text{if } q_0 \leq Q \leq q_1, \text{ if } t_0^{early} \leq LT \leq t_0^{late} \\ u_1 & \text{if } q_1 \leq Q \leq q_2, \text{ if } t_1^{early} \leq LT \leq t_1^{late} \\ u_2 & \text{if } q_0 \leq Q \leq q_1, \text{ if } t_2^{early} \leq LT \leq t_2^{late} \\ u_3 & \text{if } q_1 \leq Q \leq q_2, \text{ if } t_3^{early} \leq LT \leq t_3^{late} \\ u_4 & \text{if } q_0 \leq Q \leq q_1, \text{ if } t_4^{early} \leq LT \leq t_4^{late} \\ u_5 & \text{if } q_1 \leq Q \leq q_2, \text{ if } t_5^{early} \leq LT \leq t_5^{late} \end{cases}$$

در معادله بالا قیمت واحد کالا با افزایش بازه‌ی مقداری و زمانی کاهش پیدا می‌کند. بنابراین، با فرض  $t_{i+1}^{early} \leq t_i^{late} = t_{i+1}^{early}$  روابط  $q_i \leq q_{i+1}$  و  $u_0 \geq u_1 \geq u_2 \geq u_3 \geq u_4 \geq u_5$  برقرار خواهد بود. [۵] بیشینه‌ی مقداری از سفارش کالا ( $v_i^{max}$ ) که یک تأمین‌کننده می‌تواند دریافت کند و همچنین کمینه‌ی مقدار کالا ( $v_i^{min}$ ) که سازمان تعهد می‌کند در طول افق زمانی تفاهم‌نامه خریداری کند، در هنگام قرارداد مشخص خواهد شد. اگر سازمان بر تعهد خود مبنی بر خرید به اندازه‌ی کمینه‌ی مقدار کالا پای بند نباشد، آنگاه به ازای هر واحد کالایی که کمتر از مقدار تعهدشده خریداری کرده است، جریمه ( $\delta_i$ ) خواهد شد. امکان رخداد چند حادثه در طول دوره‌ی تفاهم‌نامه وجود دارد اما به دلیل پیچیدگی محاسبه‌ی توالی رخدادها تمام آن‌ها به صورت به هم پیوسته در نظر گرفته شده‌اند.

سازمان بشردوستانه توانایی انتخاب بیشینه ( $\eta_{max}$ ) و کمینه‌ی ( $\eta_{min}$ ) تعداد تأمین‌کنندگان منتخب را دارد. به طور معمول در زنجیره‌های تأمین تجاری حد پایینی برای تعداد تأمین‌کنندگان در نظر گرفته نمی‌شود؛ اما در زنجیره‌ی تأمین امداد برای افزایش قابلیت اطمینان، حد پایینی در نظر گرفته می‌شود تا در صورت شکست یکی از تأمین‌کنندگان تحویل تمام تقاضا با مشکل مواجه نشود و تنها بخشی از آن به دست متقاضیان نرسد.

در صورت تحویل زودهنگام سفارش، انباری موقت برای نگهداری از این محموله‌ها در هر یک از مناطق بحران وجود خواهد داشت. تأمین‌کننده وظیفه دارد در صورت تحویل زودهنگام کالاها براساس جدول زمانی هزینه‌های تحویل زودهنگام هر واحد کالا ( $H_r$ ) در آن محموله را پرداخت کند. جریمه‌ی تحویل زودهنگام با توجه به هزینه‌های انبارداری به ازای هر قلم کالا در منطقه‌ی تقاضا محاسبه می‌شود. همچنین در صورت تحویل دیرهنگام کالاها و با توجه به هزینه‌های غیر قابل جبران دسترسی دیرهنگام به آن‌ها، تأمین‌کننده متعهد به پرداخت جریمه ( $K_i$ ) به ازای هر محموله خواهد شد. این جریمه با توجه به بازه زمانی که تأمین‌کننده باید کالاها را تحویل دهد، متفاوت خواهد بود. هر چه از زمان وقوع حادثه دورتر شویم، با کاهش شدت بحران، جریمه‌ی تأخیر در رساندن محموله کاهش خواهد یافت.

در این مسئله زمان تحویل کالاها دارای توزیع نرمال فرض می‌شود. میانگین و واریانس این توزیع برای هر تأمین‌کننده و با توجه به بازه‌ی زمانی تحویل و منطقه‌ی که کالا به آن ارسال می‌شود، متفاوت خواهد بود ( $\mu_{lr}^i, \nu_{lr}^i$ ). برای کنترل زمان تحویل و محاسبه‌ی میزان هزینه‌های تحویل دیرهنگام و زودهنگام، در این مسئله زمان تحویل به صورت پنجره‌های زمانی با شروع و پایان مشخص در نظر گرفته شده‌اند.

### ۱.۲. مدل ریاضی

در این زیربخش، به معرفی عناصر به کار رفته در مدل انتخاب تأمین‌کننده با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان تحویل برای تفاهم‌نامه‌های همکاری می‌پردازیم.

۱.۱.۲. مجموعه‌ها

$\mathcal{R}$ : مجموعه‌ی مناطق تقاضا ( $r \in \mathcal{R}$ )؛

$\mathcal{N}$ : مجموعه‌ی تأمین‌کنندگان برای انتخاب ( $i \in \mathcal{N}$ )؛

$\mathcal{L}$ : مجموعه‌ی بازه‌های زمان تحویل ( $l \in \mathcal{L}$ )؛

$\mathcal{M}_i$ : مجموعه‌ی بازه‌های مقدار کالای مورد پیشنهاد تأمین‌کننده  $i$  ( $i \in \mathcal{N}$ ) و ( $m \in \mathcal{M}_i$ )

$\mathcal{S}$ : مجموعه‌ی سناریوهای پیش‌بینی شده ( $s \in \mathcal{S}$ )؛

۲.۱.۲. پارامترها

$p^s$ : احتمال وقوع سناریو  $s \in \mathcal{S}$ ؛

$d_r^s$ : مقدار تقاضای منطقه‌ی  $r \in \mathcal{R}$  با توجه به سناریوی  $s \in \mathcal{S}$ ؛

$z_{lr}^s$ : کسری از تقاضای کل که باید در بازه‌ی زمان تحویل  $l \in \mathcal{L}$  برای منطقه‌ی  $r \in \mathcal{R}$  در سناریوی  $s \in \mathcal{S}$  برآورده شود؛

$u_{ilmr}^s$ : قیمت پیشنهادی تأمین‌کننده  $i \in \mathcal{N}$  برای تحویل کالاهای خریداری شده در بازه‌ی حجمی  $m \in \mathcal{M}_i$  برای پاسخ‌گویی به تقاضای منطقه‌ی  $r \in \mathcal{R}$  در بازه‌ی زمان تحویل  $l \in \mathcal{L}$  در سناریوی  $s \in \mathcal{S}$ ؛

$[\alpha_{ilmr}^s, \beta_{ilmr}^s]$ : حد بالا و پایین نقاط شکست حجم کالاها در بازه‌ی مقداری  $m \in \mathcal{M}_i$  که توسط تأمین‌کننده‌ی  $i \in \mathcal{N}$  برای تحویل به منطقه‌ی  $r \in \mathcal{R}$  در طول بازه‌ی زمان تحویل  $l \in \mathcal{L}$  در سناریوی  $s \in \mathcal{S}$  پیشنهاد شده است؛

$v_i^{\min}$ : کمینه‌ی مقدار کالای تعهدشده توسط سازمان برای خریداری از تأمین‌کننده‌ی  $i \in \mathcal{N}$ ؛

$v_i^{\max}$ : بیشینه‌ی مقدار سفارش برای تأمین‌کننده‌ی  $i \in \mathcal{N}$ ؛

$\delta_i$ : هزینه‌ی جریمه‌ی هر واحد کالایی که کمتر از مقدار تعهدشده از تأمین‌کننده‌ی  $i \in \mathcal{N}$  خریداری شود؛

$f_i$ : هزینه‌ی ثابت تنظیم تفاهم‌نامه با تأمین‌کننده‌ی  $i \in \mathcal{N}$ ؛

$\eta_{\min}$ : کمینه‌ی تعداد تأمین‌کنندگانی که برای تنظیم تفاهم‌نامه‌ی همکاری انتخاب می‌شوند؛

$\eta_{\max}$ : بیشینه‌ی تعداد تأمین‌کنندگانی که برای تنظیم تفاهم‌نامه‌ی همکاری انتخاب می‌شوند؛

$\mu_{il}^s$ : میانگین زمان تحویل کالا توسط تأمین‌کننده‌ی  $i \in \mathcal{N}$  به منطقه‌ی  $r \in \mathcal{R}$  در بازه‌ی زمانی  $l \in \mathcal{L}$ ؛

$\nu_{il}^s$ : واریانس زمان تحویل کالا توسط تأمین‌کننده‌ی  $i \in \mathcal{N}$  به منطقه‌ی  $r \in \mathcal{R}$  در بازه‌ی زمانی  $l \in \mathcal{L}$ ؛

$t_l^{\text{early}}$ : زودترین زمان تحویل در بازه‌ی زمانی  $l \in \mathcal{L}$ ؛

$t_l^{\text{late}}$ : دیرترین زمان تحویل در بازه‌ی زمانی  $l \in \mathcal{L}$ ؛

$\mathcal{H}_r$ : هزینه‌ی نگهداری یک واحد کالا در واحد زمان در منطقه‌ی  $r \in \mathcal{R}$ ؛

$\mathcal{K}_l$ : جریمه‌ی تأخیر در تحویل کالا به‌ازای واحد زمان در بازه‌ی زمانی  $l \in \mathcal{L}$ ؛

۳.۱.۲. متغیرهای تصمیم

$Y_i$ : متغیر باینری، ۱ اگر تأمین‌کننده‌ی  $i \in \mathcal{N}$  برای تنظیم تفاهم‌نامه انتخاب شود؛ صفر در غیر این صورت؛

$O_{ilmr}^s$ : متغیر باینری، ۱ اگر تفاهم‌نامه با تأمین‌کننده‌ی  $i \in \mathcal{N}$  با خرید کالا در بازه‌ی مقداری  $m \in \mathcal{M}_i$  برای تحویل به منطقه‌ی  $r \in \mathcal{R}$  در بازه‌ی زمانی  $l$  و سناریوی  $s$  تنظیم گردد؛

$Q_{ilmr}^s$ : مقدار کالای خریداری شده از تأمین‌کننده‌ی  $i \in \mathcal{N}$  در بازه‌ی مقداری  $m \in \mathcal{M}_i$  برای تحویل به منطقه‌ی  $r \in \mathcal{R}$  در بازه‌ی زمانی  $l \in \mathcal{L}$  و سناریوی  $s \in \mathcal{S}$ ؛

$W_i^s$ : متغیر کمکی سفارش کمتر از کمینه‌ی مقدار تعهدشده برای تأمین‌کننده‌ی  $i \in \mathcal{N}$  در سناریوی  $s \in \mathcal{S}$ ؛

مدل مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کنندگان به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$\begin{aligned} \min & \sum_{i \in \mathcal{N}} f_i Y_i + \sum_{s \in \mathcal{S}} p^s \left[ \sum_{i \in \mathcal{N}} \delta_i W_i^s + \sum_{i \in \mathcal{N}} \sum_{l \in \mathcal{L}} \sum_{m \in \mathcal{M}_i} \sum_{r \in \mathcal{R}} u_{ilmr}^s Q_{ilmr}^s \right] \\ & + \sum_{s \in \mathcal{S}} p^s \left[ \sum_{i \in \mathcal{N}} \sum_{l \in \mathcal{L}} \sum_{m \in \mathcal{M}_i} \sum_{r \in \mathcal{R}} Q_{ilmr}^s \mathcal{H}_r \left[ \sqrt{\nu_{il}^s} \phi \left( \frac{t_l^{\text{early}} - \mu_{il}^s}{\sqrt{\nu_{il}^s}} \right) \right. \right. \\ & \left. \left. + (t_l^{\text{early}} - \mu_{il}^s) \left( \Phi \left( \frac{t_l^{\text{early}} - \mu_{il}^s}{\sqrt{\nu_{il}^s}} \right) \right) \right] \right] \\ & + \sum_{s \in \mathcal{S}} p^s \left[ \sum_{i \in \mathcal{N}} \sum_{l \in \mathcal{L}} \sum_{m \in \mathcal{M}_i} \sum_{r \in \mathcal{R}} \mathcal{K}_l O_{ilmr}^s \left[ \sqrt{\nu_{il}^s} \phi \left( \frac{t_l^{\text{late}} - \mu_{il}^s}{\sqrt{\nu_{il}^s}} \right) \right. \right. \\ & \left. \left. - (t_l^{\text{late}} - \mu_{il}^s) \left( 1 - \Phi \left( \frac{t_l^{\text{late}} - \mu_{il}^s}{\sqrt{\nu_{il}^s}} \right) \right) \right] \right] \end{aligned} \quad (1)$$

Subject to :

$$\sum_{i \in \mathcal{N}} Y_i \geq \eta_{\min} \quad (2)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{N}} Y_i \leq \eta_{\max} \quad (3)$$

$$\sum_{l \in \mathcal{L}} \sum_{m \in \mathcal{M}_i} Q_{ilmr}^s \leq v_i^{\max} Y_i \quad \forall i \in \mathcal{N}, r \in \mathcal{R}, s \in \mathcal{S} \quad (4)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{N}} \sum_{m \in \mathcal{M}_i} Q_{ilmr}^s \geq z_{lr}^s d_r^s \quad \forall l \in \mathcal{L}, r \in \mathcal{R}, s \in \mathcal{S} \quad (5)$$

$$\sum_{m \in \mathcal{M}_i} O_{ilmr}^s \leq Y_i \quad \forall i \in \mathcal{N}, l \in \mathcal{L}, r \in \mathcal{R}, s \in \mathcal{S} \quad (6)$$

$$Q_{ilmr}^s \geq O_{ilmr}^s \alpha_{ilmr}^s \quad \forall i \in \mathcal{N}, l \in \mathcal{L}, m \in \mathcal{M}_i, r \in \mathcal{R}, s \in \mathcal{S} \quad (7)$$

$$Q_{ilmr}^s \leq O_{ilmr}^s \beta_{ilmr}^s \quad \forall i \in \mathcal{N}, l \in \mathcal{L}, m \in \mathcal{M}_i, r \in \mathcal{R}, s \in \mathcal{S} \quad (8)$$

$$W_i^s \geq v_i^{\min} Y_i - \sum_{l \in \mathcal{L}} \sum_{m \in \mathcal{M}_i} \sum_{r \in \mathcal{R}} Q_{ilmr}^s \quad \forall i \in \mathcal{N}, s \in \mathcal{S} \quad (9)$$

$$W_i^s \geq 0 \quad \forall i \in \mathcal{N}, s \in \mathcal{S} \quad (10)$$

$$Q_{ilmr}^s \geq 0 \quad \forall i \in \mathcal{N}, l \in \mathcal{L}, m \in \mathcal{M}_i, r \in \mathcal{R}, s \in \mathcal{S} \quad (11)$$

$$O_{ilmr}^s \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{N}, l \in \mathcal{L}, m \in \mathcal{M}_i, r \in \mathcal{R}, s \in \mathcal{S} \quad (12)$$

$$Y_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{N} \quad (13)$$

بخش اول تابع هدف ۱ مقدار هزینه‌ی ثابت را برای هر یک از تأمین‌کنندگان انتخاب شده کمینه می‌کند. بخش دوم تابع هدف ۱ به دو قسمت تقسیم می‌شود که در قسمت اول جریمه‌ی مورد انتظار خرید کمتر از مقدار تعهدشده برای هر تأمین‌کننده و در قسمت دوم نیز هزینه‌ی خرید مورد انتظار کمینه خواهند شد. در بخش سوم تابع هدف، امید ریاضی هزینه‌های نگهداری ناشی از تحویل زود هنگام سفارش‌های کالا محاسبه می‌شود و در بخش آخر آن، ارزش انتظاری جریمه‌ی دیرکرد به‌ازای هر سفارش در نظر گرفته شده است.

محدودیت‌های ۲ و ۳ کمینه و بیشینه‌ی تعداد تأمین‌کنندگان انتخاب شده را

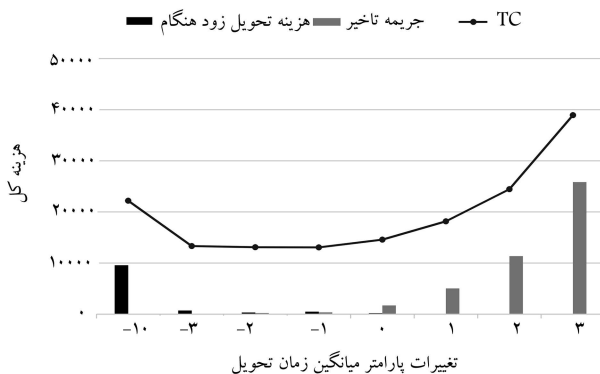
بودن توان تأمین‌کنندگان در مقایسه با پوشش کامل نقاط تقاضا، افزایش می‌یابد. همچنین تعداد تأمین‌کنندگان انتخاب‌شده برای پوشش کامل مناطق حادثه دیده افزایش می‌یابد. در حالات الف و ب به علت تقاضای بالاتر، میزان بیشینه و متوسط استفاده از ظرفیت تأمین‌کننده‌ها بیشتر از مواقعی است که تقاضا کمتر است. با این حال، برای استفاده از تخفیف‌های حجمی در حالات کم تقاضا نیز تعدادی از سفارش‌ها برابر کمیته‌ی مقداری که شامل تخفیف می‌شود، قرار گرفته‌اند. میزان کالای تخصیص‌یافته به تأمین‌کنندگان در حالت‌های پوشش جزئی برای تأمین‌کنندگان با پوشش کامل‌تر در مقایسه با دیگر تأمین‌کنندگان بسیار بیشتر است.

تابع هزینه‌ی کل مدل در مقایسه با نتایج ارائه‌شده در مقاله‌ی بالچیک و آک [۷] افزایش یافته است اما باید به این نکته توجه شود که انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره‌ی تأمین بشردوستانه برخلاف زنجیره‌ی تأمین تجاری تنها وابسته به معیار هزینه نیست بلکه معیار دیگری نیز برای سنجش عملکرد مدل وجود دارد که در مقاله‌ی اشاره‌شده به آن پرداخته نشده است. مقدار تابع هدف در مدل ما به علت در نظر گرفتن قابلیت اطمینان تأمین‌کنندگان و انتخاب آن‌ها با توجه به این نکته که تحویل زود هنگام و در هنگام کالاها منجر به ایجاد هزینه‌ی جبران‌ناپذیر در رسیدن کالاهای حیاتی به منطقه‌ی حادثه‌دیده می‌شود، افزایش یافته است. با وجود این، ترکیب تأمین‌کنندگان انتخابی نهایی با هدف کاهش تعداد محموله‌هایی که دیرتر از زودتر از پنجره‌ی زمانی مشخص شده تحویل شده‌اند، بهبود زیادی پیدا کرده است. در واقع، این افزایش تابع هدف بهایی است که برای افزایش قابلیت اطمینان کل سامانه پرداخته می‌شود. مثلاً در حالت الف تأمین‌کننده‌ی یک به علت نزدیک بودن میانگین به ابتدا و انتهای بازه‌ی زمانی تحویل بهنگام در مقایسه با دیگر تأمین‌کنندگان سهمی برابر صفر داشته است.

### ۲.۳. تحلیل حساسیت نتایج محاسباتی

#### ۱.۲.۳. تأثیر تغییرات پارامتر میانگین زمان تحویل تأمین‌کننده

با ایجاد تغییر در مقدار اصلی پارامتر میانگین زمان در حالت الف به بررسی تأثیر آن بر روی تصمیم انتخاب تأمین‌کننده و هزینه‌ها پرداخته شده است. در این حالت با افزایش مقدار میانگین تعداد تأمین‌کنندگان انتخاب‌شده از عدد سه به چهار رسید و همچنین همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است این افزایش منجر به افزایش هزینه‌ی کل و جریمه‌ی دیرکرد می‌شود؛ درحالی‌که مقدار هزینه‌ی تحویل زود هنگام به صفر میل می‌کند. با کاهش مقدار میانگین در ابتدا تعداد تأمین‌کنندگان انتخاب‌شده کاهش و سپس به حالت اولیه بازمی‌گردد. افزایش میانگین زمان تحویل منجر به افزایش جریمه‌ی دیرکرد سفارش‌ها و کاهش هزینه‌ی تحویل زود هنگام کالا می‌شود.



شکل ۱. تغییرات هزینه‌ی کل نسبت به تغییرات میانگین زمان تحویل.

تضمین می‌کنند. محدودیت ۴ مقدار کالاهایی را که می‌توانند به یک تأمین‌کننده سفارش داده شوند محدود به بیشینه‌ی مقدار سفارش  $(v_i^{max})$  برای هر تأمین‌کننده می‌کند. محدودیت ۵ برآورده ساختن کسر تقاضای کل را در بازه‌ی زمانی و سناریوی مشخص، تضمین می‌کند. محدودیت ۶ مدل را به خرید از تأمین‌کنندگان انتخاب‌شده محدود می‌کند. محدودیت‌های ۷ و ۸ تضمین می‌کنند که هر سفارش وابسته به یک بازه‌ی زمانی و همچنین بازه‌ی مقداری باشد. به این ترتیب می‌توان صحت عملکرد جداول قیمت‌ها و تخفیف‌ها را تضمین کرد. محدودیت ۹ با استفاده از متغیر کمکی  $W_i^e$  مقادیر کمتر از کمیته‌ی سفارش تعهدشده را محاسبه می‌کند. محدودیت‌های ۱۰ تا ۱۳ نوع متغیرهای مسئله را مشخص می‌کنند که به ترتیب غیر منفی، غیر منفی، باینری و باینری هستند.

### ۳. حل مسئله و نتایج محاسباتی

داده‌های اولیه‌ی ارائه‌شده در این بخش از مقاله‌ی بالچیک و آک استخراج شده است. [۷] در این بخش، چهار حالت با سناریوهای متفاوت و همچنین پوشش‌دهی مکانی محدود یا کامل تأمین‌کنندگان معرفی خواهند شد. در این سناریوها حوادث به سه دسته با اثر کم، متوسط و زیاد تقسیم شده‌اند که رابطه‌ی عکس با احتمال وقوع خود دارند.

حالت الف) حوادث با شدت اثر کم و زیاد، پوشش‌دهی تأمین‌کنندگان کامل؛

حالت ب) حوادث با شدت اثر کم و زیاد، پوشش‌دهی تأمین‌کنندگان جزئی؛

حالت ج) حوادث با شدت اثر متوسط، پوشش‌دهی تأمین‌کنندگان کامل؛

حالت د) حوادث با شدت اثر متوسط، پوشش‌دهی تأمین‌کنندگان جزئی.

همچنین فرض می‌شود که در هر منطقه حداکثر دو حادثه در طول افق زمانی قرارداد، رخ می‌دهد. قیمت کالاها برابر ده واحد پولی است که در صورت سفارش بیش از ۳۰۰ واحد و همچنین تحویل در بازه‌ی زمانی دوم به بعد شامل ۱۰٪ تخفیف می‌شود. ظرفیت ذخیره‌سازی برای هر یک از تأمین‌کنندگان ۵۰۰ واحد و کمیته‌ی ظرفیت برای خرید ۱۰۰ واحد است. در صورت خرید کمتر از کمیته‌ی مقدار برای هر واحد به اندازه‌ی ۱۰ درصد قیمت خرید کالا جریمه در نظر گرفته شده است. تقاضا برای مناطق حادثه‌دیده با شدت اثر کم، متوسط و زیاد به ترتیب از توزیع یکنواخت  $U[100, 200]$ ،  $U[200, 400]$  و  $U[900, 1000]$  پیروی خواهد کرد. مقدار میانگین زمان تحویل تأمین‌کنندگان در بازه‌ی اول تحویل از توزیع یکنواخت  $U[1, 3]$  پیروی می‌کند. همچنین مقادیر واریانس در بازه‌ی اول تحویل از توزیع یکنواخت  $U[0, 2]$  پیروی می‌کند. فرض می‌شود زمان تحویل مستقل از بازه‌ی زمانی تحویل باشد، بنابراین مقدار میانگین در بازه‌ی  $(l+1)$  برابر با میانگین بازه‌ی اول به علاوه‌ی زودترین زمان تحویل مجاز بازه‌ی  $l$  خواهد بود.

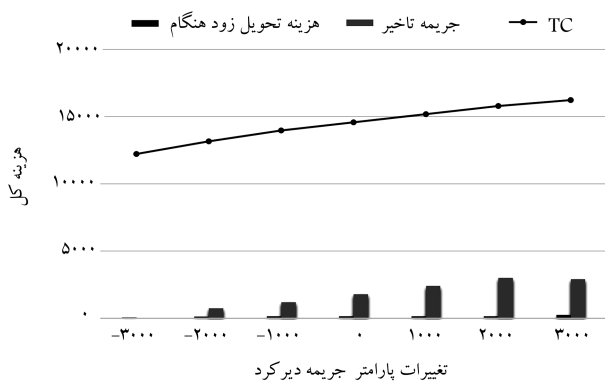
### ۱.۳. نتایج محاسباتی

مدل ریاضی هر یک از چهار مثال توسط بسته‌ی نرم‌افزار بهینه‌سازی ۲۴.۱.۲ GAMS کد شده و با حل‌کننده‌ی CPLEX در رایانه‌ی با پردازشگر ۲/۴ GHz Intel Core i5 در کسری از دقیقه به جواب بهینه رسیده است.

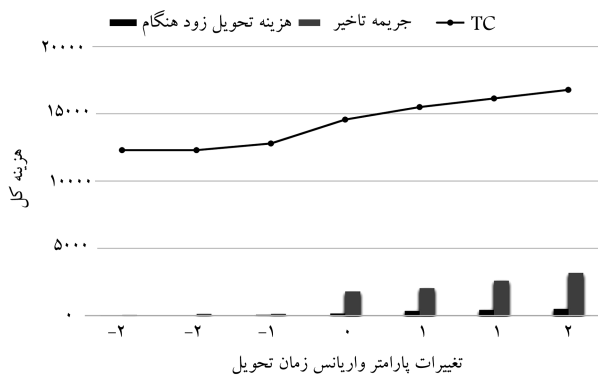
همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود مقدار هزینه‌ی کل در مواقعی که تأمین‌کنندگان به صورت جزئی مناطق امداد را پوشش می‌دهند، افزایش خواهد یافت. مقدار هزینه‌ی تحویل زود هنگام و همچنین هزینه‌ی جریمه‌ی دیرکرد به علت محدود

جدول ۱. نتایج حاصل از حل مدل.

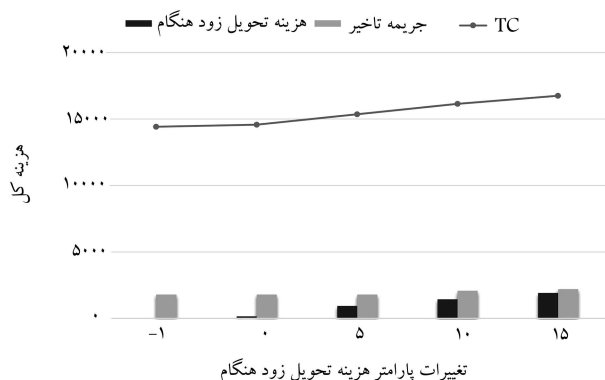
حالت	تعداد تأمین‌کننده‌ی انتخابی	هزینه‌ی کل	هزینه‌ی ثابت	هزینه‌ی جریمه دیرکرد	هزینه‌ی تحویل زود هنگام	درصد پاسخگویی تأمین‌کنندگان به حوادث				استفاده از ظرفیت ذخیره‌ی تأمین‌کننده سفارش تخفیف
						۱	۲	۳	۴	
الف	۳	۱۴۵۷۹	۳۰۰	۱۷۱۲	۱۵۸	۰	۳۱٫۹	۳۴٫۹	۳۳٫۲	۶۴٫۶
ب	۳	۱۵۱۸۵	۳۰۰	۲۳۵۲	۲۲۰	۱۸٫۴	۳۳٫۱	۰	۴۸٫۵	۶۳٫۶
ج	۲	۶۹۸۵	۲۰۰	۹۴۳	۸۶	۰	۰	۴۹٫۷	۵۰٫۳	۳۳٫۴
د	۳	۷۲۴۱	۳۰۰	۹۷۸	۱۱۳	۲۷٫۵	۳۳٫۱	۰	۳۹٫۴	۳۳٫۴



شکل ۱. تغییرات هزینه‌ی کل نسبت به تغییرات پارامتر جریمه‌ی دیرکرد.



شکل ۲. تغییرات هزینه‌ی کل نسبت به تغییرات واریانس زمان تحویل.



شکل ۳. تغییرات هزینه‌ی کل نسبت به تغییرات پارامتر جریمه‌ی دیرکرد.

همچنین، کاهش میانگین منجر به افزایش هزینه‌ی تحویل زود هنگام کالا و کاهش جریمه دیرکرد می‌شود. با کاهش مقدار میانگین ابتدا مقدار هزینه‌ی کل به مقدار کم کاهش پیدا می‌کند و سپس با شیبی کمتر نسبت به زیاد شدن میانگین افزایش خواهد یافت. دلیل این تفاوت شیب در مقدار اثرگذاری متفاوت جریمه‌ی دیرکرد و هزینه‌ی تحویل زود هنگام بر تابع هزینه‌ی کل است.

### ۲.۲.۳. تأثیر تغییرات پارامتر واریانس زمان تحویل تأمین‌کننده

با افزایش مقدار واریانس زمان تحویل تأمین‌کننده‌ها هزینه‌ی کل و هزینه‌های تحویل زود هنگام و جریمه‌ی دیرکرد افزایش می‌یابند. علت آن افزایش واریانس زمان تحویل و افزایش هزینه‌های تحویل زود هنگام و دیرکرد است. در همه‌ی حالات تعداد تأمین‌کنندگان انتخابی برای کم کردن اثر این افزایش زیاد خواهد شد. تغییرات تابع هزینه‌ی کل، جریمه‌ی دیرکرد و هزینه‌ی تحویل زود هنگام نسبت به تغییرات واریانس زمان تحویل در شکل ۲ نمایش داده شده‌اند.

### ۳.۲.۳. تأثیر تغییرات پارامتر جریمه‌ی دیرکرد

همان‌طور که از شکل ۳ مشاهده می‌شود جریمه‌ی دیرکرد با تابع هزینه‌ی جریمه‌ی تأخیر و با تابع هزینه‌ی کل رابطه‌ی مستقیم دارد. هزینه‌ی تحویل زود هنگام به‌طور مستقیم با تغییرات هزینه‌ی دیرکرد تغییر نمی‌کند؛ اما باید به این نکته توجه شود که با تغییرات هزینه‌ی تأخیر و تابع هزینه‌ی کل، تغییر در ترکیب تأمین‌کنندگان انتخابی و در نتیجه‌ی آن تغییرات هزینه‌ی تحویل زود هنگام، قابل پیش‌بینی است (مثلاً در افزایش ۳۰۰۰ واحدی جریمه‌ی دیرکرد). همچنین تعداد تأمین‌کنندگان انتخاب شده در اثر افزایش جریمه‌ی دیرکرد در جهت کاهش تخصیص کالا به تأمین‌کنندگان با واریانس کمتر افزایش یافته است.

### ۴.۲.۳. تأثیر تغییرات هزینه‌ی تحویل زود هنگام

در شکل ۴ با افزایش جریمه‌ی تحویل زود هنگام مقدار تابع هزینه‌ی تحویل زود هنگام و هزینه‌ی کل افزایش می‌یابند. در بعضی موارد مقدار هزینه‌ی جریمه‌ی دیرکرد نیز

## ۴. مطالعه‌ی موردی

به‌طور معمول در صورت وقوع فجایع طبیعی، دسترسی به مقادیر کافی آب آشامیدنی سالم مقدور نخواهد بود. در این شرایط تأمین آب آشامیدنی اهمیت حیاتی برای سلامت آسیب‌دیدگان خواهد داشت. نیاز به آب آشامیدنی با توجه به شرایط آب‌وهوایی و خصوصیات فیزیکی اشخاص بین ۲/۵ تا ۳ لیتر در روز است.<sup>[۱۷]</sup> در این بخش به بررسی انتخاب تولیدکنندگان آب آشامیدنی در سطح استان مازندران (یکی از استان‌های شمالی کشور ایران) برای تأمین و تحویل آب آشامیدنی مورد نیاز به مناطق تقاضا در سطح استان در طول بازه‌ی زمانی دو ساله پرداخته می‌شود (شکل ۵).

آن‌ها تعیین شده است که مبلغی بین پانصد هزار تا دو میلیون تومان است. جریمه‌ی دیرکرد تأمین‌کنندگان در بازه‌ی زمانی اول برابر با یک میلیون تومان و در بازه‌های بعدی به ازای هر بازه ۱۰ درصد کاهش خواهد یافت. هزینه‌ی انبارداری هر لیتر کالا در هر روز نیز برای همه‌ی مناطق ۳۰ تومان در نظر گرفته می‌شود. در نهایت فرض می‌شود که ۴۰ درصد نیاز مناطق تقاضا از طریق قرارداد همکاری و باقی توسط خرید بعد از وقوع حادثه و سایر روش‌ها تأمین شود.

برای دستیابی به سناریوهای وقوع زلزله در استان مازندران زلزله را، از لحاظ وقوع، به سه دسته تقسیم کردیم. فرض می‌کنیم که در طول بازه‌ی زمانی حداکثر دو زلزله رخ دهد که با توجه به ۸ منطقه‌ی تعریف شده در سطح استان ۲۹۷ سناریو پیش‌بینی خواهد شد. احتمال وقوع زمین‌لرزه و همچنین تلفات ناشی از آن در مناطق هشت‌گانه و با توجه به شدت آن براساس داده‌های مقالات [۱۸] و [۱۹] پیش‌بینی شده است.

#### ۱.۴. نتایج مطالعه موردی

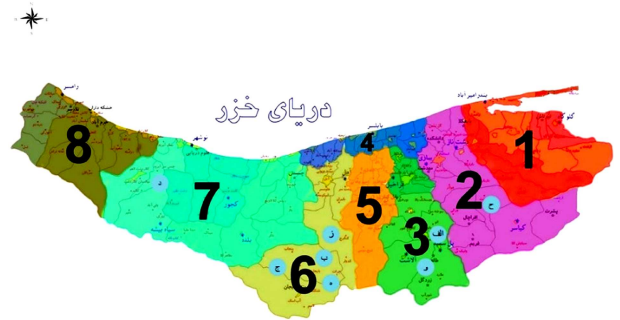
نتایج حاصل از حل مدل با داده‌های تشریح شده در جدول ۴ به‌طور خلاصه نشان داده شده است. حل توسط ۱۲.۵.۱۰ GAMS/CPLEX با پردازنده Mhz ۲٫۴ Intel Core i5 انجام شده و مدت زمان حل مدل برابر با ۸۷٫۰۸۱ ثانیه است.

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود تأمین‌کنندگان ج، و، ح برای عقد تفاهم‌نامه‌ی همکاری براساس شرایط ذکر شده انتخاب شده‌اند. بیشترین مقدار تقاضا در شرایط بحران توسط تأمین‌کننده‌ی ج که کمترین میانگین قیمت و فاصله تا تمام مناطق بحران را دارد، برآورد شده است. مشاهده می‌شود با افزایش واریانس زمان میزان جریمه‌ی دیرکرد و همچنین هزینه‌ی تحویل زود هنگام افزایش می‌یابد. این افزایش در جریمه‌ی دیرکرد بیشتر از هزینه‌ی تحویل زود هنگام خواهد بود. دیگر تأمین‌کنندگان انتخابی نیز در شرق و غرب استان انتخاب شده‌اند تا به‌واسطه‌ی این انتخاب میزان میانگین زمان تحویل و همچنین هزینه‌ی تحویل کاهش یابد. می‌توان برای افزایش قابلیت اطمینان تأمین‌کنندگان انتخاب شده، میزان جریمه‌ی دیرکرد را افزایش داد که در این صورت مدل سخت‌گیری بیشتری در میانگین و واریانس زمان‌های تحویل با توجه به پنجره‌های زمانی معین شده، اعمال می‌کند.

#### ۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در مدل ارائه شده به قابلیت اطمینان تحویل تأمین‌کنندگان در مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کنندگان برای عقد تفاهم‌نامه‌ی همکاری در زنجیره‌ی تأمین بشردوستانه پرداخته شد. در این پژوهش برای در نظر گرفتن عملکرد تحویل تأمین‌کنندگان در مدل، استفاده از تابع زیان تحویل ناهنگام پیشنهاد شد. توزیع زمان تحویل برای محاسبه‌ی احتمال تحویل ناهنگام نرمال در نظر گرفته شده است. پارامترهای میانگین و واریانس تحویل برای هر تأمین‌کننده با توجه به فاصله و بازه‌ی زمانی تحویل و استفاده از داده‌های پیشین و نظرات خبرگان تعیین می‌شود. با توجه به تفاوت نتایج تحویل زود هنگام و دیر هنگام در مسائل زنجیره‌ی تأمین و اهمیت بسیار زیاد تحویل کالاها قبل از به پایان رسیدن زمان تعهد شده که با سلامت انسان‌ها در ارتباط است میزان تأثیر تحویل زود هنگام و دیر هنگام متفاوت در نظر گرفته شد.

برای محاسبه‌ی مقدار زیان انتظاری تحویل زود هنگام اقلام از هزینه‌ی نگهداری به‌ازای هر واحد کالا استفاده شده است. درحالی‌که برای محاسبه‌ی زیان انتظاری



شکل ۵. نقشه‌ی مناطق استان مازندران و تأمین‌کنندگان آب آشامیدنی مورد بررسی.

جدول ۲. مشخصات تأمین‌کنندگان مورد مطالعه.

تأمین‌کننده	استان	شهر	ظرفیت سالیانه (میلیون لیتر)
الف		سوادکوه	۲۶
ب		آمل	۳۰
ج		آمل	۱۰۹
د	مازندران	چالوس	۲۱
هـ		آمل	۹۳٫۳۱
و		سوادکوه	۱۵
ز		آمل	۶۳٫۱

جدول ۳. تخفیف‌های مقداری تأمین‌کننده‌ی  $i$  در بازه‌ی مقداری  $m$ .

تأمین‌کننده ( $i$ )	بازه مقداری تخفیف (m)			
	۴	۳	۲	۱
۱	—	—	۰٫۰۵	۰
۲	—	—	۰٫۰۱	۰
۳	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰
۴	—	—	—	—
۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰	۰
۶	—	—	—	—
۷	—	۰٫۱	۰٫۱	۰
۸	—	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰

تعداد کل تأمین‌کنندگان آب آشامیدنی در سطح استان مازندران، ۱۲ شرکت است که با توجه به ظرفیت تولید و موقعیت مکانی، ۸ تأمین‌کننده برای بررسی انتخاب شده‌اند (جدول ۲). فرض می‌شود که میزان ذخیره‌ی تأمین‌کنندگان برابر با ۲۰ درصد تولید دوازده روز آن‌هاست. همچنین مقدار کمینه‌ی خرید در طول بازه‌ی قرارداد از هر تولیدکننده برابر با ۱۰ درصد تولید روزانه آن است. تخفیفات مقداری ارائه شده توسط فروشندگان به ازای هر ۱۵۰۰۰۰ لیتر در جدول ۳ آمده است.

زمان تحویل تأمین‌کنندگان در طول یک بازه‌ی ۱۲ روزه به ۴ پنجره‌ی زمانی با طول سه روز تقسیم خواهد شد. با توجه به سیستم توزیع تأمین‌کنندگان و نبود اطلاعات آماری در ابتدای کار مقدار میانگین و واریانس آن‌ها با توجه به مسافت و ظرفیت تولید در نظر گرفته شده است. این مقادیر می‌توانند با گذشت زمان و افزایش داده‌های سازمان امدادی از توانایی تحویل تأمین‌کنندگان، بهبود پیدا کنند. کسری از کالا که باید در بازه‌های زمانی  $t$  فرستاده شود، برابر در نظر گرفته می‌شود. فرض می‌شود که هزینه‌ی عقد قرارداد با تأمین‌کنندگان براساس موقعیت مکانی دفتر مرکزی

جدول ۴. نتایج حاصل از حل مدل.

تأمین‌کنندگان	درصد تقاضا برآورده شده	درصد استفاده از تخفیف	تابع جریمه دیرکرد	تابع هزینه تحویل زودهنگام	تابع هدف
ج	۶۲٫۲				
و	۱۸٫۷	۹۲٫۶۳	۱۹۵۲۱۰۰	۱۶۴۸۹۰۰	۲۶۱۷۹۹۰۲۶
ح	۱۹٫۱				

انتخاب تأمین‌کنندگان با واریانس زیاد یا نزدیک به شروع و پایان پنجره‌ی زمانی منجر به انتخاب تأمین‌کنندگان با عملکرد تحویل بزرگتر و درنهایت سامانه‌ی با قابلیت اطمینان بیشتر خواهد شد.

یکی از مسائل پراهمیت در زنجیره‌های تأمین بشردوستانه میزان کمک‌های نقدی است که پس از وقوع بلا یا به سازمان‌های بشردوستانه برای برطرف کردن نیازها و اجرای عملیات امدادرسانی در مناطق حادثه‌دیده اهدا می‌شود. با توجه به ماهیت احتمالی این کمک‌ها و مقدور نبودن پیش‌بینی‌های دقیق از مقدار بودجه‌ی سازمان برای خرید اقلام امدادی، ارائه‌ی روشی برای در نظر گرفتن بودجه‌ی احتمالی در مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کنندگان برای عقد تفاهم‌نامه‌های همکاری ضروری به نظر می‌رسد. استفاده از برنامه‌ریزی سناریومحور و ارائه‌ی مدلی چندهدفه که علاوه بر در نظر گرفتن عملکرد تحویل تأمین‌کنندگان، محدودیت بودجه را نیز در نظر بگیرد برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود. همچنین در صورت در نظر گرفتن محدودیت بودجه می‌توان مسئله را برای بسته‌های اقلام با تأمین‌کنندگان مختلف صورت‌بندی کرد. پس از وقوع بلا یا ی طبیعی یکی از مشکلات سیستم حمل‌ونقل، خرابی زیرساخت‌های آسیب‌پذیر سیستم مانند خیابان‌ها، پل‌ها و تونل‌هاست. ارائه‌ی روشی برای در نظر گرفتن احتمال شکست تحویل در صورت خرابی سیستم حمل‌ونقل و همچنین وارد کردن هزینه‌های حمل‌ونقل با توجه به شرایط بحران، برای پژوهش‌های آینده پیشنهاد می‌شود.

ناشی از تحویل دیرهنگام از جریمه‌ی بازدارنده به‌منظور حذف دیرکردها برای هر محموله‌ی کالا استفاده می‌شود. مقدار تابع هدف حاصل از حل مسئله در بخش سوم در مقایسه با پژوهش‌های پیشین افزایش داشته است. البته باید توجه داشت که مقدار این تابع در مسئله با توجه به در نظر نگرفتن مسائل بودجه‌ی اهمیت ندارد بلکه تأمین‌کنندگان انتخاب‌شده و میزان تخصیص اقلام به آن‌ها در سناریوهای مختلف است که حائز اهمیت است. با توجه به نتایج حاصل از مدل برای تأمین‌کنندگان انتخاب‌شده و مقدار تخصیص اقلام به آن‌ها مشاهده می‌شود که ضعف مدل‌های قبلی -- توجه نکردن به معیار زمان تحویل و عملکرد تحویل -- بهبود یافته است. در واقع در مدل‌های قبلی انتخاب تأمین‌کنندگان تنها با در نظر گرفتن معیارهای هزینه‌ی صورت می‌گرفت و زمان تحویل اقلام امدادی به افراد آسیب‌دیده نادیده گرفته می‌شد. با توجه به تفاوت اهمیت دو پارامتر هزینه‌ی انبارداری و جریمه‌ی دیرکرد در ارتباط با ترکیب تأمین‌کنندگان انتخاب‌شده می‌توان گفت که جواب نهایی مسئله در مقایسه با مقالات پیشین در این حوزه بهبود عمده‌ی یافته است.

نتایج حاصل از حل مثال عددی نشان می‌دهد که در شرایط هزینه‌ی برابر تأمین‌کنندگانی که میانگین زمان تحویل آن‌ها در اواسط پنجره‌ی زمانی است و واریانس کمتری نسبت به باقی تأمین‌کنندگان دارند، انتخاب می‌شوند. احتمال کم‌تر

## پانویس‌ها

1. delivery performance chart
2. process capability index
3. make to order

## منابع (References)

1. *Logistics Operational Guide*, Logistics Cluster (2014). <http://log.logcluster.org/index.html>.
2. Van Wassenhove, L.N. "Humanitarian aid logistics: Supply chain management in high gear", *J. Oper Res Soc*, **57**(5), pp. 475-489 (2005).
3. KI, A. and D, M. "Presenting a new fuzzy multiobjective model for supplier selection in a supply chain", *Sharif Journal (Industrial Engineering Management)*, **28-1** (2), pp. 55-65 (In Persian) (2012).
4. A, M. and A, A. "Cand solution of a fully fuzzy multi-objective model for a supplier selection problem", *Sharif Journal (Industrial Engineering Management)*, **30-1** (11), pp. 105-111 (In Persian) (2014).
5. Falasca, M. and Zobel, C.W. "A two-stage procurement model for humanitarian relief supply chains", *J. Humanit. Logist. Supply Chain Manag.*, **1**(2), pp. 151-169 (Oct. 2011).
6. Thomas, A., *Humanitarian Logistics: Enabling Disaster Response*, Fritz Inst., pp. 1-17 (2007).
7. Balcik, B. and Ak, D. "Supplier selection for framework agreements in humanitarian relief", *Prod. Oper. Manag.*, **23**(6), pp. 1028-1041 (Jun. 2013).
8. Chopra, S. and Sodhi, M.S. "Managing risk to avoid supply-chain breakdown", Magazine: Fall 2004, MIT Sloan Manag. Rev. (2012).
9. Beamon, B.M. and Balcik, B. "Performance measurement in humanitarian relief chains", *International Journal of Public Sector Management*, **21**, pp. 4-25 (2008).
10. Wang, F.-K. and Du, T. "Applying capability index to the supply network analysis", *Total Quality Management & Business Excellence*, **18**, pp. 425-434 (2007).



11. Guiffrida, A.L. and Jaber, M.Y. "Managerial and economic impacts of reducing delivery variance in the supply chain", *Appl. Math. Model.*, **32**(10), pp. 2149-2161 (Oct. 2008).
12. Guiffrida, A.L. "A probability based model for evaluating delivery performance", *Journal of Academy of Business and Economics*, **9**(3), pp. 95-104 (Jan. 2009).
13. Shin, H., Benton, W.C. and Jun, M. "Quantifying suppliers' product quality and delivery performance: A sourcing policy decision model", *Comput. Oper. Res.*, **36**(8), pp. 2462-2471 (Aug. 2009).
14. Darestani, S.A., Ismail, Y., Ismail, N. and Yusuff, R.M. "An investigation on supplier delivery performance by using SPC techniques for automotive industry", *Journal Am. Sci.*, **6**(4), pp. 5-11 (2010).
15. Hsu, B.-M., Hsu, L.-Y. and Shu, M.-H. "Evaluation of supply chain performance using delivery-time performance analysis chart approach", *J. Stat. Manag. Syst.*, **16**(1), pp. 73-87 (Jan. 2013).
16. Roy, M., Gupta, R.K. and Dasgupta, T. "A technique for determining the optimum mix of logistics service providers of a make-to-order supply chain by formulating and solving a constrained nonlinear cost optimization problem", *Decision Science Letters*, **2**(2), pp. 91-108 (2013).
17. *Humanitarian Charter and Minimum Standards in Humanitarian Response*, The Sphere Project, 402 p. (2011).
18. Yazdani, A. and Kowsari, M. "Bayesian estimation of seismic hazards in Iran", *Sci. Iran.*, **20**(3), pp. 422-430 (2013).
19. Yazdani, A. and Kowsari, M. "Earthquake ground-motion prediction equations for northern Iran", *Nat. Hazards*, **69**(3), pp. 1877-1894 (Jul. 2013).