مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال شانزدهم، شماره چهام (پیاپی ۶۳)، زمستان ۹۸، ص ص ۱۰۸-۸۹
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

# طراحی مدل چند هدفه برای ارزیابی ریسک اختلال زنجیره‌تامین با استفاده از الگوریتم ترکیبی ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید

**فریبا صلاحی[۱]، رضا رادفر[۲*]، عباس طلوعی اشلقی[۳]، محمود البرزی[۴]**

۱- دانشجوی دکتری، مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲- استاد، مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۳- استاد، مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۴- دانشیار، مدیریت فناوری اطلاعات، دانشکده مدیریت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

رسید مقاله: ۳ فروردین ۱۳۹۸
پذیرش مقاله: ۲۳ شهریور ۱۳۹۸

## چکیده

با توجه به وجود ریسک‌های فراوان در زنجیره‌تامین و هزینه‌های بالایی که خرابی‌ها بر زنجیره‌تامین وارد می‌کنند موضوع شناسایی و ارزیابی ریسک باید در اولویت برنامه‌های مدیریت ریسک در سازمان‌ها باشد. ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک، برتری هر ریسک را بر اساس شاخص‌های مرتبط مشخص می‌کند و در نتیجه امکان ارایه پاسخ مناسب برای هر ریسک فراهم می‌گردد. در همین راستا، یک مدل ریاضی دو هدفه با سیاست تامین چندمنبعی و داشتن انتقال جانبی در این تحقیق ارایه می‌شود و ریسک اختلالات زنجیره‌تامین ارزیابی می‌گردد. یک مدل ریاضی با تاکید بر کاهش هزینه و مقدار کمبود، با در نظرگرفتن پارامتر اختلال بر روی زنجیره طراحی می‌شود. مدل با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید حل می‌شود. در ادامه تاثیر چهار اختلال بر روی هزینه‌های زنجیره‌تامین بررسی می‌شود و اختلال‌ها براساس هزینه‌هایی که بر زنجیره اعمال می‌کنند ارزیابی و رتبه‌بندی می‌شوند. نتایج نشان داد که بحرانی‌ترین اختلال‌ها اختلال مربوط به بلایای طبیعی است. یافته‌ها نشان می‌دهد که رویکرد ارایه شده، چارچوب کارآمدی برای شناسایی پارامترهای موثر و اولویت‌بندی ریسک اختلالات زنجیره‌تامین می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** ارزیابی ریسک، اختلال، زنجیره‌تامین، الگوریتم ژنتیک، شبیه‌سازی تبرید.

## ۱ مقدمه

به دلیل افزایش عدم قطعیت در زنجیره‌تامین و بروز عواملی نظیر مسایل سیاسی، نوسانات تقاضا، تغییرات تکنولوژی، ناپایداری‌های مالی و حوادث‌طبیعی و ...، سازمان‌ها برای کاهش آسیب‌پذیری و افزایش قابلیت تحمل زنجیره‌تامین خود مجبور شدند برای پیش‌بینی تقاضا، تامین و عدم قطعیت‌های داخلی سازمان منابعی را صرف

* عهده‌دار مکاتبات
آدرس الکترونیکی:radfar @gmail.com



[ Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.4.8.3 ]

کنند. توجه به این عدم قطعیت‌ها و عوامل ایجادکننده ریسک‌ها موجب شد تا مساله مدیریت ریسک در زنجیره‌تامین مطرح شود[۱]. وجود ریسک و نیز ایجاد شکست در زنجیره‌تامین می‌تواند اثر معنی‌داری بر عملکرد کوتاه‌مدت و نیز اثر منفی بلندمدت بر عملکرد مالی سازمان داشته باشد؛ لذا مدیریت ریسک زنجیره‌تامین برای کاهش شکست‌های ناشی از ریسک‌های مختلفی نظیر: چرخه‌های نامطمئن اقتصادی، تقاضای نامطمئن مشتری، حوادث‌طبیعی و انسانی غیرقابل پیش‌بینی و سایر موارد ضروری است[۲]. ریسک اختلال به اختلالاتی اشاره دارد که غالباً ناشی از بلایای‌طبیعی، ورشکستگی تامین‌کننده، جنگ، حملات تروریستی، تحریم، بی‌ثباتی اجتماعی، سیاسی و قانونی است. نتایج منفی این حوادث بر زنجیره‌تامین بسیار روشن و واضح است؛ زیرا تسهیلات تولیدی و حمل ونقل به شدت در برابر این بلایا آسیب‌پذیر هستند. در سال‌های اخیر اختلالات به‌طور مداوم در حال رخداد هستند که این خود منجر به کاهش بهره‌وری، کیفیت، سهم بازار و بدنامی برای تامین‌کننده و زنجیره‌تامین خواهد بود[۳]. مدیریت اختلال مستلزم شناسایی، ارزیابی و رتبه‌بندی اختلال‌های مختلف است. ارزیابی اختلال یکی از ارکان مدیریت اختلال است و هدف آن اندازه‌گیری ریسک اختلال‌ها بر اساس شاخص‌های مختلف از قبیل میزان تاثیر و احتمال وقوع می‌باشد و هر چه نتایج این مرحله دقیق‌تر باشد می‌توان گفت که فرایند مدیریت اختلال با درجه اطمینان بالاتری انجام می‌گیرد. رتبه‌بندی اختلال‌ها، قسمت کلیدی این فرایند به شمار می‌روند. زیرا با انجام رتبه‌بندی، برتری هر اختلال در مقابل سایر اختلال‌ها مشخص و در نتیجه تصمیم‌گیرنده می‌تواند در مورد میزان تخصیص منابع موجود برای مقابله با هر اختلال برنامه‌ریزی نماید[۴]. زنجیره‌های‌تامین ناب و کارا بیش‌تر با اختلال مواجه می‌شوند. سازمان‌ها نمی‌توانند مدت زیادی فقط روی کاهش هزینه تمرکز کنند و سرمایه‌گذاران زنجیره‌تامین باید توجه داشته باشند که چگونه این سرمایه‌ها و تغییرات، ریسک‌های اختلالات زنجیره‌تامین را تحت تاثیر قرار می‌دهند[۵].

در تحقیقات متعددی به بحث مدیریت و ارزیابی ریسک به طور عام و در زنجیره‌تامین به طور خاص پرداخته شده است. این تحقیقات را می‌توان به چند دسته تقسیم کرد: مطالعاتی که در آن‌ها ادبیات مدیریت ریسک زنجیره‌تامین مرور شده است [۷،۳،۶]. در مطالعاتی، ریسک زنجیره‌تامین به‌عنوان حاصل‌ضرب احتمال در اثر یک رخداد محسوب می‌شود و دو شاخص «میزان تاثیر» و «احتمال وقوع» ریسک در قالب ماتریس احتمال – اثر ریسک مورد استفاده قرار می‌گیرد [۸-۹] و همچنین در تحقیقاتی نیز از برخی روش‌های دیگر ارزیابی ریسک، نظیر FMEA استفاده می‌شود که میزان بزرگی ریسک بر اساس حاصل‌ضرب سه شاخص شدت، میزان کشف و احتمال وقوع ریسک محاسبه می‌شود [۱۱،۱۰]. در تحقیقاتی دیگر به برخی از ضعف‌ها در خصوص روش اندازه‌گیری ریسک در مطالعات فوق اشاره و بر غیرقابل اطمینان بودن این روش‌ها و موارد مشابه تأکید شده است [۱۲]. در مواردی که با مجموعه قابل‌توجهی از متغیرها سر و کار و نیاز به اولویت‌بندی واحدهای تصمیم‌گیری بر اساس اهمیت نسبی‌شان داشته باشیم، بر روش ساختار شکست ریسک تکیه می‌کنیم و ضمن طراحی یک ساختار جامع و سلسله مراتبی ریسک‌های زنجیره‌تامین، از افراد مختلف با تخصص‌ها، تجربیات و دیدگاه‌های علمی گوناگون، بهره می‌گیریم و از روش تحلیل تاکسونومی ارزیابی و رتبه‌بندی استفاده می‌کنیم، در این صورت تصمیم‌گیری صحیح‌تر و علمی‌تر به شمار می‌رود [۲].



[ Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.4.8.3 ]

لذا نتیجه مرور مطالعات و تحقیقات گذشته و بررسی‌های به عمل آمده نشان می‌دهد که بیش‌تر مقالات و تحقیقات انجام شده (بیش از ۷۰ درصد آن‌ها) به موضوعات مفاهیم مدیریت ریسک زنجیره‌تامین، ارایه مطالعات میدانی و موردی و مرور ادبیات پرداخته‌اند و موضوعاتی از قبیل کاربرد رویکردهای مدل‌سازی و شبیه‌سازی بسیار محدود می‌باشد.

با توجه به اهمیت موضوع ریسک اختلال و اثرات آن بر روی زنجیره‌تامین، در این تحقیق به ارزیابی اختلال‌های مختلف زنجیره‌تامین پرداخته شده است، بدین ترتیب که در بخش دوم پیشینه نظری تحقیق و پیشینه تحقیقات انجام شده ارایه گردیده و سپس در بخش سوم، یک مدل ریاضی با تاکید بر کاهش هزینه و مقدار کمبود و با درنظر گرفتن پارامتر اختلال بر روی زنجیره‌تامین طراحی شد و در بخش چهارم مدل با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید حل گردید و اختلال‌ها براساس هزینه‌هایی که بر زنجیره اعمال می‌کنند ارزیابی و رتبه‌بندی شدند، همچنین با بررسی سناریوهای مختلف، شاخص‌های تاثیرگذار بر روی ریسک اختلال نیز برای مدیریت بهتر ریسک‌های اختلال شناسایی شدند و در بخش پنجم نتایج حاصل از انجام این تحقیق ارایه شده است. در روش ترکیبی ژنتیک-تبرید ابتدا یک جمعیت اولیه تصادفی برای الگوریتم‌ژنتیک ایجاد می‌شود. پس از فرآیند جستجوی‌سراسری توسط الگوریتم‌ژنتیک، راه‌حل نهایی الگوریتم‌ژنتیک به‌عنوان جواب اولیه برای الگوریتم‌تبرید درنظر گرفته می‌شود تا از قابلیت جستجوی محلی الگوریتم‌تبرید برای دستیابی به جواب بهتر استفاده شود. با توجه به ساختار ترکیبی جستجوی سراسری-محلی در روش پیشنهادی، به تعداد تکرار کم‌تری در الگوریتم‌ژنتیک و تبرید برای دستیابی به جواب نیاز است؛ بنابراین علاوه بر بهبود دقت، با کاهش زمان اجرای کلی الگوریتم نیز مواجه می‌شویم.

## ۲ مبانی‌نظری و پیشینه پژوهش

### ۲-۱ پیشینه‌نظری تحقیق

مدیریت زنجیره‌تامین، شامل مجموعه روش‌هایی است که برای یکپارچه‌سازی مؤثر تامین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و فروشگاه‌ها به کار می‌رود تا محصولات مورد نیاز به مقدار مشخص و در زمان و مکان معین تولید گردد و به مشتریان عرضه شود، هزینه‌های کل زنجیره‌تامین به حداقل برسد و نیاز مشتریان با سطح خدمت‌رسانی بالایی برآورده شود[۱۳]. کارخانه‌ای ناب محسوب می‌شود که سطح انبار حداقل نزدیک به صفر داشته باشد؛ در حالی که یک کارخانه‌ی پایدار نیازمند داشتن انبار است تا در زمان بروز مشکل تولیدش همچنان ادامه داشته باشد رویکردهای ناب و ارتجاعی در ظاهر متناقض به نظر می‌آیند، با این‌حال در بهترین وضعیت کارخانه‌ها مایلند هم حداقل سطح انبار را داشته باشند و هم در مقابل مشکلات با توقف تولید مواجه نشوند [۱۴].

بروز اختلال در زنجیره‌تامین منجر به هزینه‌های غیر قابل پیش‌بینی و زمان‌های تامین بسیار طولانی می‌شود و شاید رخداد اختلال ناشی از عدم‌وجود یک استراتژی پایدار در زنجیره باشد؛ بنابراین داشتن سیاست‌هایی برای کنترل و کاهش اختلالات برای شرکت‌ها امری مهم و ضروری است. یکی دیگر از مشکلات سازمان‌ها در برخورد با



[ Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.4.8.3 ]

اختلال ناتوانی آن‌ها در تخمین هزینه‌های حاصله از آن می‌باشد. با وجود تمام آسیب‌های هنگفتی که اختلال برای زنجیره های‌تامین به دنبال دارد هنوز هم مطالعات صورت گرفته در این حوزه بسیار ناچیز است[۵].

انواع تحقیقات در حوزه اختلالات زنجیره‌تامین را می‌توان به دو دسته تحقیقات کمی و کیفی دسته‌بندی کرد. تحقیقات کمی بیش‌تر در حوزه، مدل‌سازی اختلالات، اثرات آن‌ها و استراتژی‌های کاهش اختلال می‌باشد و تحقیقات کیفی در زمینه بررسی ماهیت پدیده اختلال و توسعه تئوری‌هایی برای کاهش اختلال است، این دسته از مطالعات منجر به مدل‌سازی یک الگوی ریاضی نگردیده است [۵].

در طی سال‌های اخیر، توسعه سریع تکنولوژی اطلاعات، تأثیرات زیادی را بر نحوه مدیریت زنجیره‌تامین بنگاه‌های تولیدی داشته است. یکی از مقوله‌هایی که تحت تأثیر این تغییر و تحول قرار گرفته است، نحوه پیکربندی زنجیره‌تامین است که با رویکردهای مختلفی می‌تواند صورت پذیرد. افزایش در تعداد اعضاء متقاضی و ریسک در زنجیره‌تأمین از یک سو و گسترش ارتباطات از طریق تکنولوژی‌های نوین اطلاعات از سوی دیگر، آن‌را جزء مسایل سخت قرار داده است. در این گونه مسایل دیگر روش‌های کلاسیک قدیمی درخصوص پیکربندی زنجیره‌تامین کارا نمی‌باشند [۱۵]. در این تحقیق نیز مدل ریاضی ارایه شده برای زنجیره‌تامین با سیاست چندمنبعی و داشتن انتقال جانبی با استفاده از الگوریتم فراابتکاری ترکیبی ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید حل شده و مقدار بهینه تابع‌هدف محاسبه گردیده است. الگوریتم‌های فرا ابتکاری یا مبتنی بر جمعیت بوده و مکانیزم جستجوی‌سراسری خوبی دارند و یا تک-جمعیتی هستند و قابلیت بالایی برای جستجوی-محلی دارند.

## ۲-۲ پیشینه تحقیقات انجام شده

در تحقیقات متعددی به بحث مدیریت و ارزیابی ریسک به طور عام و در زنجیره‌تامین به طور خاص پرداخته شده است. در این راستا می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: در پژوهش لاله (۱۳۹۱) هدف اصلی ارایه مدلی برای یک زنجیره‌تامین سه سطحی با در نظر گرفتن انواع عدم قطعیت در تقاضای مشتری و هزینه حمل و نقل و ... بوده است و ریسک در هر یک از این بخش‌ها از طریق معیار در ارزش ریسک شرطی اندازه‌گیری شده است [۱۶]. حیاتی و همکاران (۱۳۹۲) با ارایه یک مدل جامع و سلسله‌مراتبی برای ارزیابی ریسک، ضمن شناسایی ریسک‌های اصلی زنجیره‌تامین با تکیه بر روش ساختار شکست ریسک و تعیین معیارهای اندازه‌گیری، پرسشنامه جامعی تهیه کرده و براساس آن اهمیت‌نسبی هر ریسک را در شرکت ذوب‌آهن اصفهان با استفاده از روش تحلیل تاکسونومی تعیین کردند؛ لذا ریسک‌های مربوط به فرایند تامین و تامین‌کننده به‌عنوان بحرانی‌ترین ریسک‌ها در این مجتمع شناخته شدند[۱۷]. ربانی و همکاران (۱۳۹۴) به ارایه مدلی برای طراحی چندهدفه زنجیره‌تامین با در نظر گرفتن ریسک اختلال در زمینه تسهیلات، عرضه و تقاضا در شرایط غیر قطعی بودن پارامترهای اقتصادی پرداخته‌اند و به علت پیچیده بودن مدل آن را از طریق الگوریتم ژنتیک حل نموده‌اند[۱۸]. پراسانا و گوه ( ۲۰۱۶) یک مدل چند-هدفه MILP را برای تامین بهترین تامین‌کننده و نقطه سفارش تحت شرایط ریسک فرموله کردند. تامین کننده‌ها



[ Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.4.8.3 ]

برپایه یک معیار ترجیحی توسط مدل ترکیبی AHP و PROMETHEE فازی ارزیابی و رتبه‌بندی شده بودند[۱۹]. همچنین اسمیت و همکاران (۲۰۱۶) کاهش اختلال را در یک زنجیره‌تامین چند بخشی با استفاده از تطبیق سفارشی بررسی نمودند. شبیه‌سازی نشان می‌داد که اثر یک اختلال به مکان آن وابسته است. آن‌ها فواید را در سیاست‌های پویا از ترکیب یک پارامتر متاهیوریستیک در واحدهای چند بخشی یافتند[۲۰]. راجش و راوی (۲۰۱۵)یک مدل جدید را برای کاهش ریسک زنجیره‌تامین معرفی کردند. آن‌ها بر روی توانمندسازها ی عمده کاهش ریسک زنجیره‌تامین با تمرکز روی زنجیره‌های تامین الکترونیکی تاکید کردند. در این تحقیق ترکیبی از تئوری خاکستری و دیمتل برای یافتن رابطه علت و معلولی بین توانمندسازهای کاهش ریسک زنجیره‌تامین به‌کارگرفته شده بود[۲۱]. کو و همکاران (۲۰۱۳) یک مکانیزم هماهنگ را برای یک زنجیره‌تامین توسعه دادند که شامل یک تولیدکننده و چندین خرده‌فروش رقیب می‌باشد، زمانی که هزینه تولید و تقاضا به‌طور همزمان اختلال ایجاد می‌کنند. آن‌ها استراتژی‌های بهینه تولید را برای سطوح اختلال مختلف تحت تصمیم‌گیری متمرکز پیشنهاد دادند[۲۲]. زگردی و داورزنی (۲۰۱۲) یک مدل پتری‌نت را به عنوان ابزاری برای تشخیص انتشار اختلال و اثر آن روی عملکرد تولید زنجیره‌تامین توسعه دادند. مدل نشان می‌داد که چگونه تغییرات در زنجیره گسترش می‌یابند[۲۳]. اسمیت و سینگ (۲۰۱۲)شرح دادند که چگونه انعطاف‌پذیری و حالت ارتجاعی سیستم می‌تواند با تمرکز بر روی شبکه زنجیره‌تامین به عنوان یک کل بهبود یابد. آن‌ها جایگاه موجودی و روش‌های پشتیبان‌گیری در یک شبکه چندبخشی را تحلیل کردند و اثرات آن‌ها را روی کاهش ریسک زنجیره‌تامین مشاهده نمودند. آن‌ها روی ریسک در دو بخش اختلالات تامین و عدم‌قطعیت تقاضا تمرکز کردند و اثرات آن‌ها و استراتژی‌های کاهش را مقایسه کردند[۲۴]. بهدانی و همکاران (۲۰۱۲) یک نگرش تحلیلی ریسک، بر پایه شبیه‌سازی را با استفاده از مدل مبتنی بر عامل ارایه کردند و آن را برای یک زنجیره‌تامین روغن به‌کار بردند[۲۵]. ساویک (۲۰۱۱) یک مدل را برای انتخاب بهینه پورتفولیوی تامین در یک محیط سفارشی با وجود ریسک اختلال زنجیره‌تامین ارایه داد. او یک مدل چندهدفه با ترکیب برنامه‌ریزی عددصحیح فرموله کرد و آن‌را برای کنترل ریسک و اختلال زنجیره به‌کار برد. نگرش پورتفولیوی پیشنهادی بر پایه بهینه‌سازی پورتفولیوی تامین براساس محاسبه هزینه ارزش ریسک هر بخش و کاهش هزینه مورد انتظار است که بدترین حالت در هر بخش بوده است[۲۶]. داورزنی و همکاران (۲۰۱۱)، اثرات سه استراتژی (تک، دو و سه منبعی) را برای کنترل اختلالات در زنجیره‌تامین مقایسه کردند. تمرکز اصلی این کار روی تعیین سهم هر تامین‌کننده و پیدا کردن سیاست‌های منبع‌یابی مناسب با توجه به احتمالات مختلف از اختلال بوده است[۲۷]. میناو همکاران (۲۰۱۱) مساله انتخاب تامین‌کننده را تحت شرایط ریسک ورشکستگی تامین‌کننده با توجه به اختلال حوادث تصادفی مطالعه نمودند و یک مدل تحلیلی برای تعیین تعداد بهینه تامین‌کنندگان با توجه به احتمالات متفاوت ورشکستگی توسعه دادند[۲۸]. کمال احمدی و دولت پرست [۲۹] در مطالعه‌ای با عنوان ارزیابی استراتژی‌های کاهش اختلال زنجیره‌تامین، به ارزیابی اثربخشی سه روش موجودی پیش‌فروش، تامین‌کنندگان‌پشتیبان و تامین‌کنندگان‌محافظت شده برای مقابله با دو نوع اختلال، اختلال عرضه و اختلال زیست محیطی پرداخته‌اند. آن‌ها یک مدل برنامه‌ریزی عددصحیح دو هدفه را برای انتخاب تامین‌کننده و سفارش ارایه دادند و به تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان،



[ Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.4.8.3 ]

ریسک، وابستگی و هزینه‌ها بر روی هر یک از استراتژی‌ها پرداختند که برای انتخاب تامین‌کننده و تخصیص تقاضا و توانایی توسعه زنجیره‌تامین تحت ریسک‌های زنجیره‌تامین بود [۲۹]. همچنین بهدانی و سرینی [۳۰] یک چارچوب مدل‌سازی عامل‌گرا برای کنترل اختلالات در زنجیره‌تامین ارایه کردند. این چارچوب شامل جنبه‌های اصلی مفاهیم اختلال زنجیره و یک روش شبیه‌سازی برای مدیریت اختلال‌ها در زنجیره‌تامین روغن‌های نفتی است[۳۰]. ونگ و همکاران [۳۱] نیز در مقاله‌ای به اندازه‌گیری پیچیدگی و تجزیه و تحلیل شبکه زنجیره‌تامین تحت ریسک‌های اختلال پرداختند و یک روش اندازه‌گیری کمی پیشنهاد دادند و رابطه داخلی بیم ارزش پیچیدگی، اندازه شبکه و احتمال ارتباط را تحلیل کردند. بهدانی و همکاران [۳۲] با توجه به پیچیدگی‌های زنجیره عرضه جهانی یک چارچوب شبیه‌سازی عامل‌گرا برای کنترل و مدیریت اختلالات برای مقابله با افزایش آسیب‌پذیری کسب و کارهای جهانی به‌ویژه در شرکت‌های تولید مواد شیمیایی ارایه کردند؛ لذا نتیجه مرور مطالعات و تحقیقات گذشته و بررسی‌های به عمل آمده نشان می‌دهد که بیش‌تر مقالات و تحقیقات انجام شده (بیش از ۷۰ درصد آن‌ها) به موضوعات مفاهیم مدیریت ریسک زنجیره‌تامین، ارایه مطالعات میدانی و موردی و مرور ادبیات پرداخته‌اند و موضوعاتی از قبیل کاربرد رویکردهای مدل‌سازی و شبیه‌سازی بسیار محدود می‌باشد؛ لذا با توجه به این که مساله ریسک اختلالات زنجیره‌تامین جز مسایل سخت می‌باشد، در این تحقیق سعی شده است که مدل ریاضی ارایه شده برای ارزیابی اختلال زنجیره با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری حل گردد.

## ۳ ارایه مدل پژوهش

با توجه به اهمیت مساله اختلال در زنجیره‌تامین و در نظر گرفتن شرایط عدم‌قطعیت پارامترهای این مساله در صنعت، در این بخش یک مدل ریاضی یکپارچه‌ی انتخاب چند تامین‌کننده برای هر کارخانه و دارای حالت انتقال جانبی بین کارخانه‌ها برای شبکه زنجیره‌تامین با پارامترهای تصادفی ارایه شده است که تابع هدف آن، کمینه‌سازی مجموعه هزینه‌های زنجیره‌تامین است. مدلی که در این تحقیق بررسی نموده‌ایم حالتی است که هر کارخانه بتواند از چندین تامین‌کننده استفاده کند و نیز قابلیت انتقال‌جانبی داشته باشد.

در این تحقیق یک شبکه زنجیره‌تامین دو سطحی در نظر گرفته شده است که در سطح اول کارخانه‌های تولیدی را به‌صورت ($N \geq ۲$) ودر سطح دوم تامین‌کننده‌ها به‌صورت($M \geq ۲$) قرار دارند. در این مدل‌سازی تقاضای هر کارخانه به‌صورت تصادفی و روزانه تعریف و فرض گردیده است که تامین‌کنندگان و کارخانه‌ها با اختلالات روبه‌رو هستند. در مدل طراحی شده اختلالات با سه متغیر تناوب خرابی و مدت زمان خرابی و شدت اثر خرابی تعریف شده‌اند که بر روی ظرفیت، کمبود موجودی، عملکرد حمل ونقل تامین‌کنندگان، میزان تقاضای روزانه کارخانه و هزینه‌ها تاثیر خواهند داشت.

جنبه دیگر از این تحقیق موضوع چندمنبعی بودن می‌باشد که یک کارخانه می‌تواند مواد اولیه مورد نیاز خود را از چندین تامین‌کننده و یا چندین کارخانه دیگر تامین نماید. در استراتژی انتقال جانبی هنگامی که تامین‌کننده‌ها قادر به تامین مواداولیه مورد نیاز کارخانه نباشند، کارخانه مجبور خواهد بود برای تامین مواد اولیه مورد نیاز خود از سایر کارخانه‌ها کمک گیرد. در این‌صورت کارخانه قادر خواهد بود از این طریق کمبود کالای خود را جبران

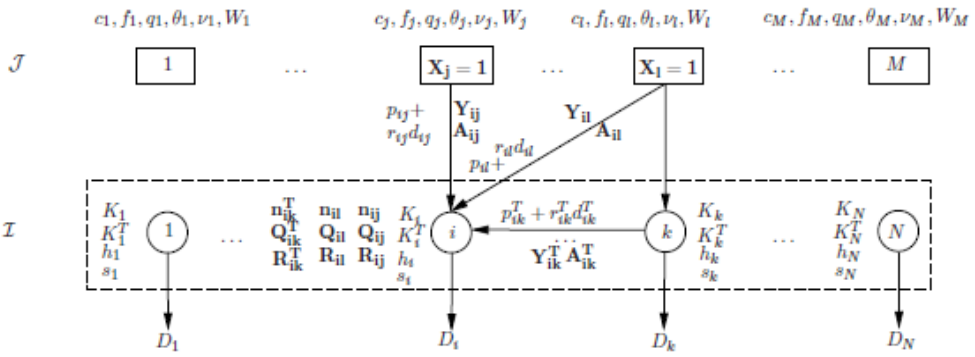


[ Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.4.8.3 ]

نماید؛ ولی متحمل هزینه‌های اضافی خواهد شد. استراتژی چندمنبعی می‌تواند مسایل مربوط به کمبود و سایر اختلالات مربوط به تامین‌کنندگان را برطرف نماید.

هدف اصلی پژوهش، ارزیابی اختلالات و حداقل‌سازی هزینه‌ها و مقدار کمبود است. مولفه‌های هزینه شامل: هزینه خرید، هزینه سفارش، هزینه بستن قرارداد، هزینه نگهداری، هزینه حمل و نقل و هزینه کمبود می‌باشند. شکل ۱ ساختار تصویری مساله چند منبعی را نمایش می‌دهد.




**شکل ۱.** ساختار تصویری مدل چند منبعی

در شکل ۱ پارامترها مدل عبارتند از:

$I$ : مجموعه کارخانه‌ها

$J$ : مجموعه تأمین‌کنندگان پیش گزیده

$c_j$ : هزینه خرید هر واحد کالا از تأمین‌کننده j

$f_j$: هزینه ثابت قرارداد با تأمین‌کننده j

$s_i$ : هزینه هر واحد سفارش معوّق در کارخانه i

$K_i$ : هزینه ثابت سفارش کارخانه i از تأمین‌کنندگان

$h_i$ : هزینه نگهداری هر واحد موجودی در کارخانه i

$p_{ij}$ : هزینه ثابت حمل سفارش به کارخانه i از تأمین‌کننده j توسط هر کامیون

$r_{ij}$ : هزینه متغیر حمل موجودی به کارخانه i از تأمین‌کننده j توسط هر کامیون

$d_{ij}$ : فاصله بین کارخانه i و تأمین‌کننده j

$LT_{ij}$ : مدت زمان تحویل سفارش تأمین‌کننده i به کارخانه j

$p^T_{ij}$: هزینه ثابت حمل سفارش به کارخانه i از کارخانه k توسط هر کامیون

$r^T_{ij}$ : هزینه متغیر حمل موجودی به کارخانه i از کارخانه k توسط هر کامیون

$d^T_{ij}$ : فاصله بین کارخانه i و کارخانه k

$LTT_{iK}$ : مدت زمان تحویل سفارش کارخانه i به کارخانه k

$\lambda_i$ : نرخ تقاضا برای کارخانه i



[ Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.4.8.3 ]

$K_i^T$ : هزینه ثابت سفارش‌دهی کارخانه i از دیگر کارخانه‌ها

$Q_j^{min}$ : حداقل مقدار قابل سفارش از تأمین‌کننده j

$q_i^{min}$ : حداقل سطح کیفیت قابل پذیرش برای کارخانه i

$W_j$: ظرفیت خروجی سالانه تأمین‌کننده j

$q_j$ : درصد محصولات با کیفیت خوب توسط تأمین‌کننده j

$\theta_j$ : نرخ فراوانی اختلال تأمین‌کننده j

$V_j$: بازه اختلال تأمین‌کننده j

$\varphi_j$: شدت اثر اختلال تأمین‌کننده j

$\theta_i$ : نرخ فراوانی اختلال کارخانه i

$V_i$: بازه اختلال کارخانه i

$\varphi_i$: شدت اثر اختلال کارخانه i

$\theta_t$: نرخ فراوانی اختلال خرابی یا تصادف کامیون.

$V_t$: نرخ فراوانی اختلال خرابی یا تصادف کامیون.

$\varphi_t$: شدت اثر اختلال خرابی یا تصادف کامیون.

$\theta_{nd}$ : نرخ فراوانی اختلال بلایای طبیعی

$V_{nd}$: نرخ فراوانی اختلال بلایای طبیعی

$\varphi_{nd}$ : شدت اثر اختلال بلایای طبیعی

$D_i$ : مقدار تقاضای کارخانه i

M: ظرفیت کامیون‌ها

$WC_i$ : هزینه احداث هر انبار در کارخانه i

$CAP_i$ : ظرفیت هر انبار در کارخانه i

$PW_{it}$ : موجودی انبار کارخانه i از در انتهای روز t

$VW_{jt}$ : موجودی اولیه تامین کننده j در انتهای روز t

متغیرهای تصمیم نیز شامل موارد زیر می باشد:

$X_j$ : اگر تأمین‌کننده j انتخاب شود برابر ۱ و در غیر این صورت برابر ۰ است.

$Y_{ij}$ : میزان تقاضای ارضا شده سالانه کارخانه i توسط تأمین‌کننده j

$Q_{ij}$ : مقدار هر بار سفارش کارخانه i از تأمین‌کننده j

$R_{ij}$ : نقطه سفارش مجدد کارخانه i از تأمین‌کننده j

$Y_{ik}^T$: مقداری از تقاضای کارخانه i که توسط کارخانه k تأمین می‌شود.

$Q_{ik}^T$: مقدار سفارش کارخانه i از کارخانه k

$R_{ik}^T$: نقطه سفارش مجدد کارخانه i از کارخانه k



[ Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.4.8.3 ]

$\frac{Y_{ij}}{n_{ij}Q_{ij}}$ : تعداد دفعات سفارش سالانه کارخانه i از تامین کننده j

$B_{ijt}$ : اگر در روز t کارخانه i از تامین کننده j خریداری کند برابر ۱ و در غیر این‌صورت برابر با صفر خواهد بود.

$B_{iKt}$ : اگر در روز t کارخانه i از کارخانه K خریداری کند برابر ۱ و در غیر این‌صورت برابر با صفر خواهد بود.

پارامترهایی که اندیس T دارند مربوط به انتقال جانبی یا خرید از سایر کارخانه‌ها می‌باشند.

هزینه‌های سیستم چند منبعی نیز به‌صورت زیر تعریف می گردند:

به‌طورکلی هزینه‌های سیستم در سه دسته جای می گیرند.

۱- هزینه‌های انتخاب تأمین کنندگان و بستن قرارداد با آن‌ها

۲- هزینه‌های سیستم موجودی کارخانه شامل هزینه‌های نگهداری، سفارش، کمبود، خرید.

۳- هزینه‌های حمل‌ونقل بین کارخانه و تأمین کنندگان.

این مدل دارای دو تابع هدف می‌باشد:

۱- کاهش مقدار کمبود.

۲- کاهش هزینه‌های سیستم چند منبعی

با توجه به تعریف پارامترها، متغیرهای تصمیم، هزینه‌های سیستم و توابع هدف مدل حاصله مطابق رابطه ۱ فرموله گردیده است.

$$\min S = \sum_{t\in T}\sum_{i\in I}\left[MAX\left(0,\left(+D_{it}-PW_{it}\right)\right)\right]$$

$$\begin{aligned}\min G\left(X,Y,Q,R\right) = {} & \sum_{t\in T}\sum_{i\in I}\sum_{j\in J} c_j Q_{ij} Y_{ij} B_{ijt} + \sum_{j\in J} f_j X_j + \\ & \sum_{t\in T}\sum_{i\in I}\left[\begin{array}{l}\sum_{j\in J, Q_{ij}\neq 0}\left\{\left(p_{ij}+r_{ij}d_{ij}\right)Y_{ij}B_{ijt}\left[\frac{Q_{ij}}{M}\right]\right\}+ \\ \sum_{k\in I, Q^T_{ik}\neq 0}\left\{\left(p^T_{ik}+r^T_{ik}d^T_{ik}\right)Y^T_{ik}B^T_{ikt}\left[\frac{Q^T_{ik}}{M}\right]\right\}\end{array}\right]+ \\ & \sum_{t\in T}\sum_{i\in I}\left[\sum_{j\in J, Q_{ij}\neq 0} K_i Y_{ij} B_{ijt} + \sum_{k\in I, Q^T_{ik}\neq 0} K^T_i Y^T_{ik} B^T_{ikt}\right]+ \\ & \sum_{t\in T}\sum_{i\in I} h_i\left[PW_{i0} - \sum_{t\in T} D_{it} - \sum_{k\in I, k\neq i}\sum_{t\in t} Q^T_k B^T_{kit} Y^T_{ki} + \sum_{t\in T}\sum_{j\in J, Q_{ij}\neq 0} Q_i Y_{ij} B_{ijt} + \sum_{k\in I, k\neq i}\sum_{t\in t} Q^T_k B^T_{iKt} Y^T_{ik}\right]+ \\ & \sum_{i\in I} WC_i * \frac{\max\left(PW_{it}\right)}{W-cap_i} + \sum_{t\in T}\sum_{i\in I} s_i\left[MAX(0,\left(+D_{it}-PW_{it}\right)\right]\end{aligned} \qquad (۱)$$



[ Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.4.8.3 ]

*s.t.*

$$\sum_{t\in T}(\sum_{j\in J} Y_{ij} + \sum_{k\in I,k\neq i} Y_{ik}^{T} + \sum_{l\in I,l\neq i} Y_{li}^{T}) = E(D_i)$$

$$Y_{ij} \le X_j,\ \forall i\in I,\ \forall j\in J$$

$$\sum_{i\in I} Y_{ij} \le W_j X_j,\ \forall i\in I,\ \forall j\in J$$

$$Y_{ij} \le (D_i),\ \forall i\in I,\ \forall j\in J$$

$$Y_{ik}^{T} \le (D_i),\ \forall i,k\in I,\ i\neq k$$

$$q_j X_j \ge q_i^{min},\ \forall i\in I,\ \forall j\in J$$

$$Q_i \ge Q_j^{min},\ \forall i\in I,\ \forall j\in J$$

$$X_j \in \{۰,۱\},\ \forall j\in J$$

$$Y_{ij} \in \{۰,۱\},\ \forall i\in I,\ \forall j\in J$$

$$Y_{ik}^{T} \in \{۰,۱\},\ \forall i\in I,\ \forall j\in J$$

$$B_{ijt}^{T} \in \{۰,۱\},\ \forall i\in I,\ \forall j\in J,\ \forall t\in T$$

$$B_{ikt}^{T} \in \{۰,۱\},\ \forall i\in I,\ \forall j\in J,\ \forall t\in T$$

متغیرهای تصمیم در این تحقیق شامل ۷ نوع متغیر هستند. انتخاب تامین‌کنندگان یک بردار باینری با ابعاد $M\times ۱$ می‌باشد. تعیین اینکه در هر روز حمل کالا از تامین‌کننده به هر کارخانه انجام شود یا نه، یک مساله انتخاب باینری با ابعاد $N\times M$ است که N تعداد کارخانه‌ها و M تعداد تامین‌کننده‌هاست. همچنین تعیین اینکه در هر روز حمل کالا از هر کارخانه به کارخانه دیگر انجام شود یا نه، نیز یک مساله انتخاب باینری با ابعاد $N\times N$ است. علاوه بر سه نوع متغیر تصمیم ذکرشده، متغیرهای دیگر شامل مقدار کالای سفارش داده شده در هر روز به تامین‌کنندگان، تعیین نقطه سفارش مجدد هر تامین کننده، مقدار سفارش داده شده به سایر کارخانه‌ها و تعیین نقطه سفارش مجدد هر کارخانه در هر روز هستند. در مدل فوق، پارامترهای مختلفی برای عدم‌قطعیت سیستم در نظر گرفته شده که به‌صورت تصادفی تعریف شده‌اند.

همچنین اختلال در کل سیستم به‌صورت عدم تامین کالا، اضافه تقاضا، حوادث عملیاتی و حوادث طبیعی مانند سیل و زلزله و ... درنظر گرفته شده است که با سه فاکتور تناوب رخداد اختلال، طول زمانی اختلال و شدت اثر اختلال تعریف شده‌اند. در این مساله تقاضای کارخانه‌ها به‌صورت غیرقطعی و تصادفی با توزیع پواسون ($\lambda$) و به‌صورت روزانه تعریف شده است که با افزایش تعداد متغیرها و ابعاد مساله به شکل یک مساله NP-hard خواهد بود.

در این مقاله یک روش ترکیبی GASA[1] (الگوریتم ژنتیک[2] و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید[3]) مبتنی بر جستجوی هیوریستیک و متاهیوریستیک برای دستیابی به تعادل مناسب بین دقت و سرعت در مساله زنجیره‌تامین ارایه شده

[1] Genetic Algorithm Simulated Annealing (GASA)
[2] Genetic Algorithm (GA)
[3] Simulated Annealing (SA)



[ Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.4.8.3 ]

است. الگوریتم‌های متاهیوریستیک یا مبتنی بر جمعیت بوده و مکانیزم جستجوی‌سراسری خوبی دارند، و یا تک-جمعیتی هستند و قابلیت بالایی برای جستجوی‌محلی هستند. الگوریتم ژنتیک متداول‌ترین الگوریتم تکاملی مبتنی بر جمعیت است. این الگوریتم علاوه بر استراتژی جستجوی‌سراسری[1] قوی (با استفاده از عملگر ترکیب) دارای قابلیت فرار از مینیمم‌های محلی (با استفاده از عملگر جهش ژنی) می‌باشد. از طرفی، الگوریتم شبیه‌سازی تبرید یک الگوریتم تک جمعیته با توانایی جستجوی محلی[2] بسیار قوی است. به‌طور کلی برای حل هر مساله بهینه‌سازی در ابتدا با مجموعه‌ای از جواب‌های تصادفی سروکار داریم؛ بنابراین ترجیح بر این است که در تکرارهای اولیه الگوریتم، جستجوی سراسری بیش‌تری در کل فضای جستجو انجام شود. هر چه الگوریتم به پیش می‌رود، کیفیت جواب‌ها بهتر شده و الگوریتم با راه‌حل‌های نزدیک به بهینه [3]سروکار دارد. در چنین حالتی برای افزایش سرعت و دقت، بهتر است که جستجوی محلی پیرامون جواب(های) نزدیک به بهینه انجام شود؛ بنابراین برای دستیابی به یک تعادل بهتر دقت-سرعت، ابتدا جستجوی سراسری با استفاده از الگوریتم مبتنی بر جمعیت ژنتیک انجام می‌شود. بعد از دستیابی به جواب نزدیک به بهینه، برای صرفه‌جویی در زمان، افزایش سرعت الگوریتم و دستیابی به دقت بالاتر، الگوریتم زمان‌بر مبتنی بر جمعیت متوقف شده و ادامه فرآیند بهینه‌سازی بر عهده الگوریتم تک-جمعیتی تبرید قرار می‌گیرد که قابلیت جستجوی محلی بالایی دارد.

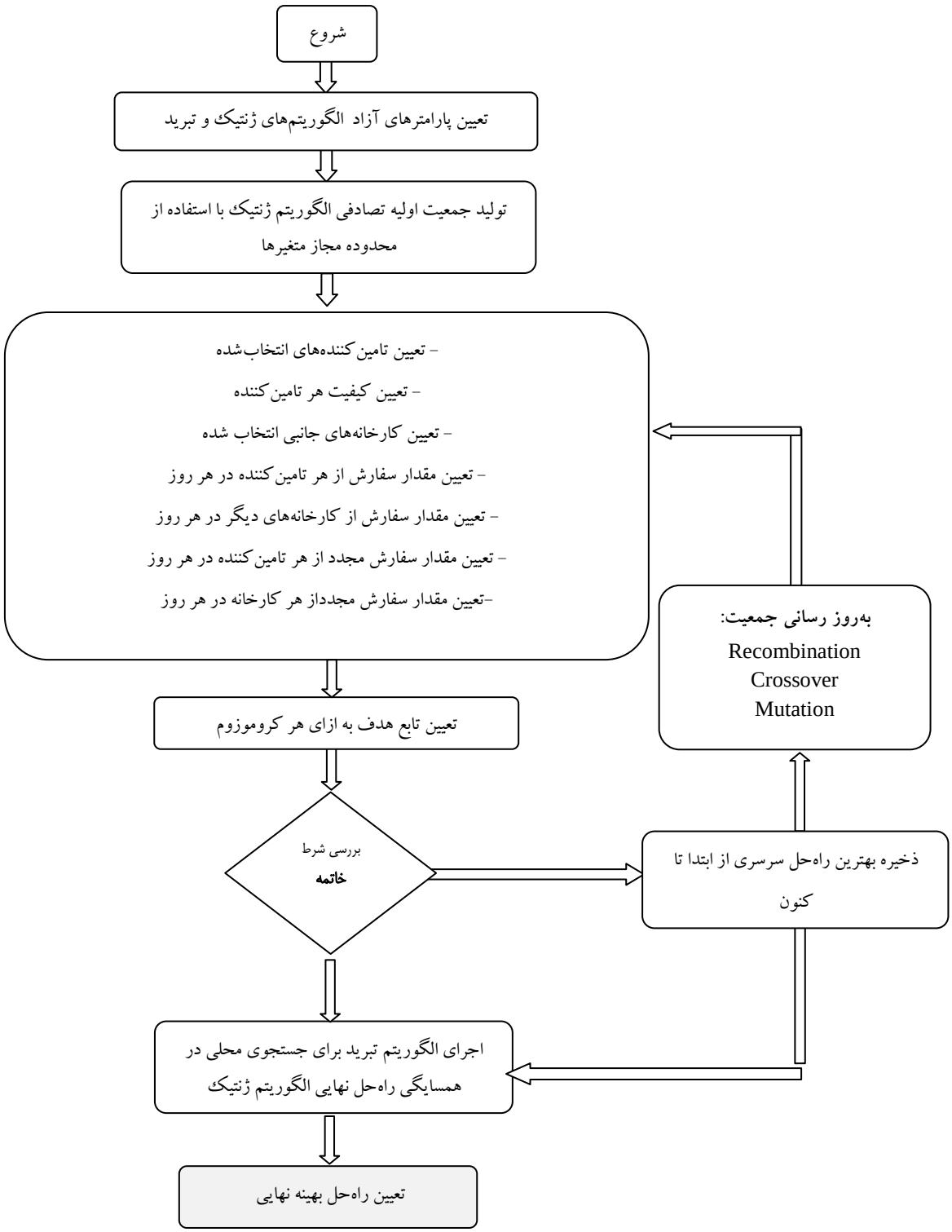
در روش GASA پیشنهادی ابتدا یک جمعیت اولیه تصادفی در محدوده مجاز متغیرها برای الگوریتم ژنتیک ایجاد می‌شود. سپس از الگوریتم ژنتیک برای جستجوی سراسری در کل فضای جستجو استفاده می‌شود. پس از اتمام تعداد تکرارهای الگوریتم ژنتیک، بهترین راه‌حل سراسری الگوریتم ژنتیک به‌عنوان جواب اولیه الگوریتم شبیه‌سازی تبرید قرار می‌گیرد. سپس الگوریتم تبریدبرای جستجوی‌محلی و بهبود محلی در همسایگی جواب الگوریتم ژنتیک اجرا می‌گردد. فلوچارت کلی روش پیشنهادی در شکل ۲ قابل مشاهده است.

[1] Global Search
[2] Local Search
[3] near optimal



[ Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.4.8.3 ]




**شکل۲.** فلوچارت کلی الگوریتم ترکیبی GASA پیشنهادی.

## ۳-۱ فاز الگوریتم ژنتیک

در الگوریتم ژنتیک فرآیند جستجو با تولید یک جمعیت اولیه تصادفی از کروموزوم‌ها آغاز می‌گردد. یک کروموزوم کدگذاری می‌شود. برای تولید یک کروموزوم اولیه در روش پیشنهادی، ۳ ساختار باینری به‌صورت تصادفی ایجاد می‌شوند. همچنین مقادیر هر کدام از ۴ ساختار مقداری به‌صورت تصادفی در محدوده مجاز



[ Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.4.8.3 ]

انتخاب می‌گردد. پس از ایجاد جمعیت اولیه، در هر تکرار از الگوریتم ژنتیک دو مرحله کلی وجود دارد: مرحله اول ارزیابی خطای راه‌حل‌های تولید شده و مرحله دوم به‌روز رسانی جمعیت. این دو مرحله پی‌درپی به صورت تکراری اجرا می‌شوند، تا زمانی که شرط خاتمه الگوریتم (به اتمام رسیدن تعداد تکرارهای الگوریتم) فرا برسد. به‌روز رسانی جمعیت شامل سه فاز است: بازترکیبی[1] ، ترکیب[2] و جهش[3] ، که به ترتیب Pr ، Pc و Pm درصد از نسل بعد را ایجاد می‌کنند. در اینجا این مقادیر به ترتیب ۱۰٪ و ۵۰٪ و ۴۰٪ تعیین شدند. در فاز بازترکیبی به تعداد Pr درصد از بهترین کروموزوم‌های نسل جاری (که کم‌ترین خطای تابع هدف را حاصل کرده‌اند) مستقیما به نسل بعد منتقل می‌شوند. در این تحقیق از اپراتورهای مختلفی برای ترکیب و جهش استفاده شده است که در ادامه بررسی می‌شوند.

- عملگر ترکیب

برای تولید یک فرزند[4] با استفاده از عملگر ترکیب، ابتدا دو والد از بین کروموزوم‌های جاری با استفاده از روش چرخ رولت با ضریب توانی ۲ انتخاب می‌شوند. در این تحقیق از عملگر ترکیب یکنواخت[5] برای تمامی ساختارهای باینری و مقداری استفاده شده است. برای تولید هر فرزند با استفاده از عملگر ترکیب یکنواخت، هر ژن فرزند (در هر کدام از ۷ ساختار مختلف) به‌صورت تصادفی از همان ژن والد اول یا والد دوم منتقل می‌شود.

- عملگر جهش

برای تولید یک کروموزوم با استفاده از عملگر جهش، ابتدا یک کروموزوم با استفاده از روش چرخ رولت با ضریب توانی ۲ انتخاب می‌شود. سپس یکی از ۷ ساختار آن به‌صورت تصادفی انتخاب شده و جهش بر روی آن انجام می‌شود. در این مقاله از دو روش جهش باینری[6](معاوضه، تغییر) ودو روش جهش مقداری[7](معاوضه، تغییر) استفاده شده است. درصورتی که ساختار انتخاب شده یکی از ۳ ساختار باینری باشد، جهش باینری و درغیراین صورت جهش مقداری انجام می‌شود. در روش جهش معاوضه باینری[8] یک ژن به‌صورت تصادفی در ساختار انتخاب شده و مقدار آن متمم می‌شود (اگر صفر باشد به یک و اگر یک باشد به صفر تغییر می‌یابد). همچنین در روش جهش معاوضه مقداری[9] یک ژن به‌صورت تصادفی در ساختار مقداری انتخاب شده و مقدار آن در بازه مجاز برای آن ژن به‌صورت تصادفی تغییر می‌کند. در روش جهش تغییری باینری[10] دو ژن به‌صورت تصادفی در ساختار انتخاب شده و جای صفر و یک عوض می شود. همچنین در روش جهش تغییر مقداری[11] دو ژن به‌صورت تصادفی در ساختار مقداری انتخاب شده و مقدار آن ها با هم جا به‌جا می‌شود.

[1] Recombination
[2] Crossover
[3] Mutation
[4] Offspring
[5] Uniform
[6] Binary Swap Mutation & Binary Exchange Mutation
[7] Value Swap Mutation & Value Exchange Mutation
[8] Binary Swap Mutation
[9] Value Swap Mutation
[10] Binary Exchange Mutation
[11] Value Exchange Mutation



[ Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.4.8.3 ]

### ۳-۲ فاز الگوریتم تبرید

پس از اجرای الگوریتم ژنتیک، جواب نهایی آن به‌عنوان راه‌حل اولیه الگوریتم تبرید در نظر گرفته می‌شود و سپس در یک حلقه تکراری به جواب‌های همسایه حرکت می‌کند. در هر تکرار الگوریتم تبرید، یک راه‌حل در همسایگی راه‌حل قبلی ایجاد می‌شود. سپس با استفاده از چک کردن قانون پذیرش[1] بررسی می‌شود که آیا راه‌حل جدید جایگزین راه‌حل فعلی شود یا نه.

با توجه به اینکه هر عملگر جستجوی محلی توانایی غلبه بر یک نوع مینیمم محلی دارد؛ بنابراین برای بهبود قابلیت جستجوی محلی در فاز الگوریتم تبرید، در هر تکرار برای ایجاد یک راه‌حل جدید در همسایگی راه‌حل فعلی، بین ۱ تا ۷ ساختار مختلف به‌صورت تصادفی تحت جستجوی محلی قرار می‌گیرند. در این مقاله از دو فرآیند جستجوی محلی معاوضه باینری و تغییر باینری برای هر کدام از ۳ ساختار باینری و از دو فرآیند جستجوی محلی معاوضه مقداری و تغییر مقداری برای ساختارهای مقداری استفاده شده است.

هر ساختاری که برای جستجوی محلی انتخاب شود، در صورتی که جز ساختارهای باینری باشد، به‌صورت تصادفی یکی از عملگرهای معاوضه باینری یا تغییر باینری بر روی آن اعمال می‌شود. همچنین درصورتی که ساختار انتخاب شده جزء ساختارهای مقداری باشد، به‌صورت تصادفی یکی از عملگرهای معاوضه مقداری یا تغییر مقداری بر روی آن اجرا می‌گردد. با توجه به مدل مساله، گاهی تغییر در ژن یک ساختار ممکن است منجر به بهبود نتایج نشود و جابه‌جایی مقادیر دو ژن کارسازتر باشد.

در هر تکرار اگر جواب همسایه بهتر از جواب فعلی باشد، الگوریتم قطعا آن را به عنوان جواب جدید در نظر می‌گیرد. در غیر این صورت، الگوریتم آن جواب را با احتمال $\exp(-\Delta E/T)$ به عنوان جواب جدید می‌پذیرد. در این رابطه $\Delta E = E^{new} - E^{old}$ تفاوت بین تابع هدف جواب فعلی و جواب همسایه بوده و $T$ یک پارامتر به نام دما است. در ابتدا دما خیلی بالا قرار داده می‌شود تا احتمال بیش‌تری برای پذیرش جواب‌های بدتر وجود داشته باشد. با کاهش تدریجی دما در انتها احتمال کم‌تری برای پذیرش جواب‌های بدتر وجود خواهد داشت و بنابراین الگوریتم به سمت یک جواب خوب همگرا می‌شود. در این تحقیق، دما مطابق رابطه(۲)، به‌صورت خطی از دمای اولیه $T_{initial}$ (در تکرار اول) تا دمای نهایی $T_{final}$ (در تکرار آخر) در طول اجرای الگوریتم کاهش می‌یابد:

$$T = T_{initial} + \frac{t}{I_{SA}} \times \left(T_{final} - T_{initial}\right) \qquad (۲)$$

که در رابطه بالا، $t$ شماره تکرار جاری الگوریتم تبرید، و $I_{SA}$ تعداد کل تکرارهای الگوریتم تبرید است.

[1] Acceptance Rule Checking



[ Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.4.8.3 ]

## ٤ مثال عددی

از آنجا که اعتبار و استحکام هر پژوهش، به کاربردی کردن آن می‌باشد. با توجه به مدل ارایه شده و تعریف مربوط به هر یک از پارامترها و متغیرهای مساله در بخش قبلی، در این بخش مقادیر کمی در نظر گرفته شده برای پارامترهای مدل در جدول ۱ تعریف شده و مدل مورد نظر با استفاده از نرم افزار متلب حل شده است.

**جدول ۱.** مقادیر کمی پارامترهای مساله

| | |
|---|---|
| I=[5 10 20 10 20];<br>J=[5 10 10 20 20];<br>Duration: 365 day<br>$c_j$ : (5-10)<br>$f_j$ : rand [1,2]*w<br>$s_i$ : rand [30,50]<br>$K_i$ : rand [10000,20000]<br>$h_i$ : (0.05-0.1)<br>$p_{ij}$ : rand [100,200]<br>$r_{ij}$ : (5-10)<br>$p^T{}_{ij}$ : rand [50,100]<br>$r^T{}_{ij}$:(1-2)<br>$\lambda_i$: rand [50, 100]<br>$K_i^T$ : rand [1000,2000]<br>$Q_j^{min}$: round(D/50)<br>$q_i^{min}$:(0.6-0.8)<br>$W_j$:( 365*(7-weekend)/7)*pc<br>$WC_i$: 5000<br>$CAP_i$:10000 | $q_j$:(0.7- 0.9)<br>$\theta_j$ : rand [0,5](num/ year)<br>$V_j$:(1-5) day<br>$\varphi_j$:100000<br>$\theta_i$ : rand [0,3](num/ year)<br>$V_i$:(1-5) day<br>$\varphi_i$:50000<br>$\theta_t$ : rand [0,2](num/ year)<br>$V_t$:(1-21) day<br>$\varphi_t$ :100000<br>$\theta_{nd}$ : rand [0,1](num/ year)<br>$V_{nd}$ :(1-5) day<br>$\varphi_{nd}$:10000000<br>$D_i$:تصادفی با تابع توزیع پواسون<br>M: 500<br>Driving hour: 8 h<br>Ave truck speed: 50(km/h)<br>$PW_{it}$: 1000<br>$VW_{jt}$:2000 |

### ٤-١ ارزیابی اختلال‌ها

در این تحقیق برای تعیین چگونگی تاثیر بروز اختلال‌های مختلف بر زنجیره‌تامین به بررسی تاثیر اختلال بر روی هزینه‌های زنجیره‌تامین پرداخته‌ایم. آن چیزی که به عنوان اختلالات در این تحقیق در نظر گرفته شده است عبارتند از:

اختلال تامین‌کننده اختلال اضافه تقاضا (تقاضای روزانه ممکن است به دلیل اختلالات به‌وجود آمده، در یک روز خاص دچار افزایش لحظه‌ای تقاضا گردد)، اختلال فاجعه عملیاتی– تصادف کامیون و اختلال فاجعه بلایای طبیعی. در این بخش برای بررسی اختلالات سه پارامتر:

(۱) فرکانس اختلال $\theta$ ، (تعداد اختلالات در سال)، یا به عبارتی تعداد اختلالاتی در سال (که می‌تواند منجر به توقف خطوط تولید گردد)، (۲) بازه اختلال $V$(مدت زمانی است که اختلال طول می‌کشد) و (۳) شدت اثر اختلال $\varphi$ در نظر گرفته شده است. فرکانس اختلال به‌صورت تصادفی در سال تعریف شده است، بازه اختلال حداکثر زمان را خرابی در سال نشان می‌دهد و شدت اثر اختلال میزان زیان مالی را برحسب میلیون ریال نشان می‌دهد.



[ Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.4.8.3 ]

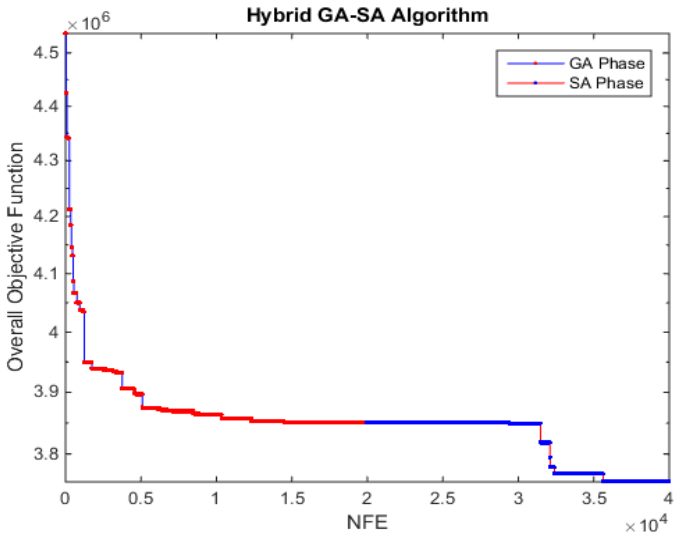
به این صورت که ابتدا مساله در حالت پایه، حالتی که ۴ اختلال به‌طور همزمان بر روی زنجیره اثر می‌گذارند حل شده که نتایج آن در جدول ۲ آمده است، همچنین خروجی نرم‌افراز در حالت پایه و نمودار گرافیکی مساله در حالت پایه در جدول ۳ و شکل ۳ نمایش داده شده‌اند، در ادامه به بررسی تاثیر هریک از اختلالات به‌صورت مستقل بر روی مدل پرداخته که نتایج در جدول ۴ ارایه شده است.

**جدول ۲.** نتایج مربوط به تاثیرگذاری ۴ اختلال به‌طور هم‌زمان بر زنجیره تامین

| | انواع اختلال / پارامتر | تامین | تقاضا | تصادف کامیون | بلایای طبیعی |
|---|---|---|---|---|---|
| **پایه** | θ | [۵،۰] | [۳،۰] | [۲،۰] | [۱،۰] |
| | V | ۵ | ۵ | ۱۴ | ۶۰ |
| | φ | ۱۰۰۰۰۰ | ۵۰۰۰۰ | ۱۰۰۰۰۰ | ۱۰۰۰۰۰۰۰ |
| | مقدار تابع هدف | ۶/۲۰E+۰۶ | | | |

**جدول ۳.** خروجی نرم‌افزار در حالت پایه

*=solotion*
*X:* [۰ ۱ ۱ ۰ ۰]
Y: [5x5 double]
YT: [5x5 double ]
R:[۲۸۰ ۵۷۶ ۶۴۲ ۵۵۸ ۵۸۲ ]
Q:[۲۴۱۷ ۱۹۷۳ ۲۵۹۹ ۳۱۰۸ ۲۹۴۱ ]
RTind:[۰.۳ ۰.۳ ۰.۳ ۰.۳ ۰.۳ ]
QTind:[۰.۴ ۰.۴ ۰.۴ ۰.۴ ۰.۴ ]
Cost:۶/۲۰E+۰۶




**شکل ۳.** خروجی گرافیکی نرم‌افزار در حالت پایه



[ Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29 ]
[ DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.4.8.3 ]

**جدول ٤.** نتایج مربوط به مقایسه چهار شکل اختلال

| انواع اختلال / پارامتر | تامین | تقاضا | تصادف کامیون | بلایای طبیعی |
|---|---|---|---|---|
| Θ | [۵،۰] | [۳،۰] | [۲،۰] | [۱،۰] |
| V | ۵ | ۵ | ۱۴ | ۶۰ |
| Φ | ۱۰۰۰۰۰ | ۵۰۰۰۰ | ۱۰۰۰۰۰ | ۱۰۰۰۰۰۰۰ |
| مقدار تابع هدف | ۳/۷۶E+۰۶ | ۶/۰۹E+۰۵ | ۳/۵۶E+۰۶ | ۵/۱۸E+۰۶ |

با توجه به جداول ۲و ۴ و مقایسه هزینه‌ها با هزینه حالت پایه می‌توان دید که در حالت پایه با بیش‌ترین مقدار تابع هدف روبه‌رو هستیم. همچنین در مقایسه بین اختلال‌ها با توجه به مقدار تابع هدف، می‌توان دید که اختلال مربوط به بلایای طبیعی دارای کم‌ترین مقدار تناوب اختلال در سال می‌باشد؛ اما منجر به بیش‌ترین مقدار خسارت به زنجیره تامین می‌گردد و اختلال مربوط به اضافه تقاضا دارای کم‌ترین هزینه بر روی زنجیره‌تامین می‌باشد. در ادامه در جدول ۵ با ارایه چهار سناریو، به بررسی و مقایسه میزان تاثیرگذاری پارامترهای مختلف اختلال پرداخته‌ایم. در ابتدا در سناریو ۱و ۲ به بررسی تاثیر و مقایسه دو پارامتر فرکانس اختلال و مدت زمان اختلال بر روی مدل پرداخته‌ایم. همان‌طور که نتایج نشان می دهد، اختلال با فرکانس بالاتر می‌تواند هزینه بیش‌تری نسبت به به اختلال با فرکانس کوتاه‌تر داشته باشند و اختلالات با بازه رخداد بالاتر نیز هزینه بیش‌تری نسبت به اختلالات با بازه رخداد کم‌تر دارند.

**جدول ۵.** نتایج مربوط به سناریوهای مختلف تغییر پارامترهای اختلال

| سناریوها | $\theta_j$ | $V_j$ | $\varphi_j$ | مقدار تابع هدف |
|---|---|---|---|---|
| پایه | Rand[۰,۵] | ۵ | ۱۰۰۰۰۰ | ۳/۷۵۵E+۰۶ |
| سناریو۱ | Rand[۰,۱۰] | ۵ | ۱۰۰۰۰۰ | ۳/۸۷۴E+۰۶ |
| سناریو۲ | Rand[۰,۵] | ۳۰ | ۱۰۰۰۰۰ | ۳/۷۹۹E+۰۶ |
| سناریو۳ | Rand[۰,۵] | ۵ | ۵۰۰۰۰۰ | ۴/۲۵۳E+۰۶ |
| سناریو۴ | Rand[۰,۱۰] | ۳۰ | ۱۰۰۰۰۰ | ۳/۹۱۰E+۰۶ |

در ادامه با ارایه سناریو ۳ و ۴ به بررسی و مقایسه میزان تاثیر دوپارامتر تناوب اختلال (که خود شامل فرکانس اختلال و مدت زمان اختلال) و شدت اثر اختلال پرداخته‌ایم. می‌توان گفت که یک اختلال می‌تواند با احتمال بیش‌تری نسبت به یک رخداد دیگر که به ندرت ایجاد می‌شود، رخ دهد؛ ولی اثرات کم‌تری را به دنبال داشته باشد.

## ۵ نتیجه‌گیری

فقدان یا مدیریت ناقص ریسک در زنجیره‌تامین منجر به پیامدهای منفی از جمله طولانی شدن زمان‌بندی‌ها و تاخیرها، افزایش هزینه‌ها و ... می‌گردد. رتبه‌بندی ریسک‌ها از ارکان اصلی مدیریت ریسک بوده و امکان ارایه



[ Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.4.8.3 ]

پاسخ مناسب و به‌موقع به ریسک‌ها را فراهم می‌کند. در این تحقیق با معرفی مجموعه‌ای از پارامترهای ارزیابی ریسک اختلال در زنجیره‌تامین چندمنبعی، برای بهینه‌سازی مساله با هدف توامان کمینه کردن هزینه و مقدار کمبود، یک مدل ریاضی که شامل ۲ تابع‌هدف و ۱۲ محدودیت و ۷ متغیر می‌باشد برای ارزیابی اختلال طراحی شد و با الگوریتم فراابتکاری GASA حل شده است.

در این مقاله برای تعیین چگونگی تاثیر بروز اختلال‌های مختلف بر زنجیره‌تامین به بررسی تاثیر چهار اختلال، اختلال تامین‌کننده، اختلال اضافه تقاضا، اختلال فاجعه عملیاتی– تصادف کامیون، اختلال فاجعه بلایای طبیعی بر روی هزینه‌های زنجیره‌تامین پرداخته شده است. با توجه به نتایج دیده شد که اختلال مربوط به بلایای طبیعی دارای کم‌ترین مقدار تناوب اختلال در سال می‌باشد؛ اما منجر به بیش‌ترین مقدار خسارت به زنجیره‌تامین می‌گردد و اختلال مربوط به اضافه تقاضا دارای کم‌ترین اثر بر روی زنجیره تامین می‌باشد. در ادامه با ارایه چهار سناریو، به بررسی و مقایسه میزان تاثیرگذاری پارامترهای مختلف ارزیابی اختلال پرداخته شده است. همان‌طور که نتایج نشان داد، در مقایسه بین افزایش فرکانس خرابی و افزایش بازه رخداد خرابی می‌توان گفت که افزایش فرکانس خرابی به‌عبارتی افزایش تعداد خرابی‌ها در سال هزینه بالاتری برای سیستم به‌دنبال دارد. همچنین در مقایسه بین افزایش تناوب اختلال و شدت اثر اختلال می‌توان گفت که افزایش شدت اثر اختلال به‌عبارتی افزایش زیان مالی، هزینه بالاتری برای سیستم به‌دنبال دارد.

با توجه به نتایج تحقیق پیشنهاد می‌شود که: موضوع شناسایی و ارزیابی اختلال با توجه به هزینه‌های بالایی که بر زنجیره‌تامین وارد می‌کند در اولویت برنامه‌های مدیریت ریسک در سازمان‌ها قرار گیرد. همچنین می‌توان در تحقیقات آتی ارتباط متقابل اختلال‌ها را به صورت احتمال شرطی مورد بررسی قرار داد. با توجه به اینکه روش‌های متنوعی برای رفع ابهام پارامترهای غیر قطعی وجود دارد که در این تحقیق از بهینه‌سازی تصادفی برای این منظور بهره برده شده است، می‌توان برخی پارامترهای مدل ریاضی ارایه شده را به صورت فازی لحاظ نمود.

## منابع

[۲] حیاتی، م.، عطایی، م.، خالو کاکایی، ر.، صیادی، ا.، (۱۳۹۳)، ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک در زنجیره تامین با استفاده از روش تحلیل تاکسونومی (مطالعه موردی: مجتمع ذوب آهن اصفهان). مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن، ۱، ۸۵-۱۰۳.

[۱۳] همایون فر، م.، گودرزوند چگینی، م.، دانشور، ا.، (۱۳۹۶)، الویت‌بندی تامین‌کنندگان زنجیره تامین سبز با استفاده از رویکرد ترکیبی MCDM فازی.مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن، ۱۴ (۱)، ۷۷-۹۳.

[۱۴] محمدنژادچاری، ف.، صفایی قادیکلایی، ع.، (۱۳۹۵)، شناسایی و رتبه بندی معیارهای انتخاب تامین‌کنندگان در زنجیره تامین لارج. مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن، ۱۳ (۴)، ۱۰۳-۱۲۰.

[۱۵] چراغعلی، آ.، پایدار، م.، حاجی آقاکشتلی، م.، (۱۳۹۶)، طراحی شبکه زنجیره تامین چنددوره ای و سه سطحی برای محصولات زارعی فاسدشدنی با استفاده از الگوریتم های فراابتکاری. مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن، ۱۴ (۳)، ۳۴-۱۵.

[۱۶] لاله، م.، شفائی، ر.، (۱۳۹۱)، رویکردی یکپارچه برای طراحی و مدیریت زنجیره های تامین تحت ریسک با استفاده از مقیاس cvar. نهمین کنفرانس بین المللی مدیریت ریسک.



[ Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.4.8.3 ]

[۱۷] حیاتی، م.، عطایی، م.، خالو کاکایی، ر.، صیادی، ا.، (۱۳۹۲)، ارایه مدلی برای ارزیابی ریسک های زنجیره تامین با استفاده از تکنیک های تصمیم گیری چند شاخصه. فصلنامه علمی – پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی، ۱۲(۳۴)، ۱۹-۴۰.

[۱۸] ربانی، م.، معنوی زاده، ن.، فرشباف گرانمایه، ا.، (۱۳۹۴)، طراحی چندهدفه زنجیره تأمین با در نظر گرفتن ریسک اختلال تسهیلات، عرضه و تقاضا در شرایط غیر قطعی بودن پارامترهای اقتصادی. فصلنامه علمی – پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی، ۱۳(۷۳)، ۵-۳۵.

[1] Vanany, I., Zailani, S., Pujawan, N., (2009). Supply Chain Risk Management: Literature Review and Future Research. 16 Int'l Journal of Information Systems and Supply Chain Management, January-March, 2(1), 16-33.

[3] Chopra, S., Sodhi, M.S., (2014). Reducing the risk of supply chain disruption. MIT Sloan Manage, 55, 73-80.

[4] PMI (Project Management Institute), (2004). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide), Pennsylvania, Newtown Square.

[5] Hendricks, K. & Singhal, V. R. (2005). The effect of supply chain disruptions on longterm Shareholder value, profitability, and share price volatility. Atlanta: Researchreport, Georgia Institute of Technology, 153, 575-588.

[6] Tang, O., Musa, S. N., (2011). Identifying risk issues and research advancements in supply chain risk management. Int. J. Production Economics, 133(1), 25–34.

[7] Olson, D. L., Wu, D. D., (2010). A review of enterprise risk management in supply chain. Kybernetes, 39 (5), 694-706.

[8] Thun, J. H., Hoenig, D., (2011). An empirical analysis of supply chain risk management in the German automotive industry. Production Economics, 131 (1), 242-249.

[9] Jia, F., Rutherford, C., (2010). Mitigation of supply chain relational risk caused by cultural differences between China and the West. International Journal of Logistics Management, 21 (2), 251-270.

[10] Tuncel, G., Alpan, G., (2010). Risk assessment and management for supply chain networks: A case study. Computers in Industry, 61 (3), 250-259.

[11] Matook, S., Lasch, R., Tamaschke, R., (2009). Supplier development with benchmarking as part of a comprehensive supplier risk management framework. International Journal of Operations & Production Management, 29 (3), 241-267.

[12] Chapman, C. B., Ward, S. C., (2003). Project Risk Management: Processes, Techniques and Insights. John Wiley, Second edition. UK: Chichester, 105-117.

[19] PrasannaVenkatesan, S., Goh, M., (2016). Multi-objective supplier selection and order allocation under disruption risk. Transportation Research Part E, 95, 124-142.

[20] Schmitt, T.G., Kumar, S., Stecke, K.E., Glover, F.G., & Ehlen, M.A., (2016). Mitigating Disruptions in a Multi-echelon Supply Chain using Adaptive Ordering. Omega, 106, 72-78.

[21] Rajesh, R., Ravi, V., (2015).Modeling enablers of supply chain risk mitigation in electronic supply chains: A grey-dematel approach. Computers & Industrial Engineering, 110, 102-118.

[22] Cao, E., Wan, C., & Lai, M., (2013). Coordination of a supply chain with one manufacturer and multiple competing retailers under simultaneous demand and cost disruptions. International Journal Production Economics, 141, 425-433.

[23] Zegordi, S.H., Davarzani, H., (2012). Developing a supply chain analysis model: Application of colored Petri-nets. Expert Systems with Applications, 39, 2102-2111.

[24] Schmitt, A., Singh, M., (2012). A quantitative analysis of disruption risk in a multi-echelon supply chain. Int. J. Production Economics, 139, 22-32.

[25] Behdani, B., Adhitya, A., Lukszo, Z., Srinivasan, R., (2012). Mitigating Supply Disruption for a Global Chemical Supply Chain- Application of Agent based Modeling. International Symposium on Process Systems Engineering. 163, 575-588.

[26] Sawik, T., (2011). Selection of supply portfolio under disruption risks. Omega, 39, 194-208.

[27] Zegordi, S.H., Davarzani, H., Norrman, A., (2011). Contingent management of supply chain disruption: Effects of dual or triple sourcing. Scientia Iranica E, 18, 1517-1528

[28] Meena, P.L., Sarmah, S.P., & Sarkar, A., (2011). Sourcing decisions under risks of catastrophic event disruptions. Transportation Research Part E, 47, 1058-1074.

[29] Kamalahmadi, M., Mellat Parast, m., (2017). An assessment of supply chain disruption mitigation strategies. International Journal of Production Economics, 184, 210-230.

[30] Behdani, B., Srinivasan, R., (2017). Managing Supply Chain disruptions: an integrated agent-oriented approach. Computer Aided Chemical Engineering. 40, 595-600.



[ Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.4.8.3 ]

[31] Wang, H., GU, T., Jin, M., Zhao .R. Wang, G.U., (2018). The Complexity measurement and evolution analysis of supply chain network under disruption risks. Chaos, Solation's & Fractals, 116, 72-78.
[32] Behdani, B., Lukszo, Z., Srinivasan, R., (2019). Agent- oriented simulation framework for handling disruptions in chemical supply chains. Computers& Chemical Engineering, 122, 306-325.

[ Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29 ]

[ DOR: 20.1001.1.22517286.2019.16.4.8.3 ]