

## طراحی مدل چند هدفه برای ارزیابی ریسک اختلال زنجیره تامین با استفاده از الگوریتم ترکیبی ژنتیک و شبیه سازی تبرید

فریبا صلاحی<sup>۱</sup>، رضا رادفر<sup>۲\*</sup>، عباس طلوعی اشقی<sup>۳</sup>، محمود البرزی<sup>۴</sup>

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 زنجیره تامین و هزینه‌های بالایی که خرابی‌ها بر زنجیره تامین 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 ارائه 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 ارائه می‌شود و ریسک اختلالات زنجیره تامین ارزیابی می‌گردد. یک مدل ریاضی با تاکید بر کاهش هزینه و مقدار کمبود، با در نظر گرفتن 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 زنجیره تامین 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 ارائه شده، چارچوب کارآمدی برای شناسایی پارامترهای موثر و اولویت‌بندی ریسک اختلالات زنجیره تامین می‌باشد.

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

### ۱ مقدمه

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

\* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: radfar@gmail.com

کنند. توجه به این عدم قطعیت ها و عوامل ایجادکننده ریسک ها موجب شد تا مساله مدیریت ریسک در زنجیره تامین مطرح شود [۱]. وجود ریسک و نیز ایجاد شکست در زنجیره تامین می تواند اثر معنی داری بر عملکرد کوتاه مدت و نیز اثر منفی بلندمدت بر عملکرد مالی سازمان داشته باشد؛ لذا مدیریت ریسک زنجیره تامین برای کاهش شکست های ناشی از ریسک های مختلفی نظیر: چرخه های نامطمئن اقتصادی، تقاضای نامطمئن مشتری، حوادث طبیعی و انسانی غیرقابل پیش بینی و سایر موارد ضروری است [۲]. ریسک اختلال به اختلالاتی اشاره دارد که غالباً ناشی از بلایای طبیعی، ورشکستگی تامین کننده، جنگ، حملات تروریستی، تحریم، بی ثباتی اجتماعی، سیاسی و قانونی است. نتایج منفی این حوادث بر زنجیره تامین بسیار روشن و واضح است؛ زیرا تسهیلات تولیدی و حمل و نقل به شدت در برابر این بلایا آسیب پذیر هستند. در سال های اخیر اختلالات به طور مداوم در حال رخداد هستند که این خود منجر به کاهش بهره وری، کیفیت، سهم بازار و بدنامی برای تامین کننده و زنجیره تامین خواهد بود [۳]. مدیریت اختلال مستلزم شناسایی، ارزیابی و رتبه بندی اختلال های مختلف است. ارزیابی اختلال یکی از ارکان مدیریت اختلال است و هدف آن اندازه گیری ریسک اختلال ها بر اساس شاخص های مختلف از قبیل میزان تاثیر و احتمال وقوع می باشد و هر چه نتایج این مرحله دقیق تر باشد می توان گفت که فرایند مدیریت اختلال با درجه اطمینان بالاتری انجام می گیرد. رتبه بندی اختلال ها، قسمت کلیدی این فرایند به شمار می روند. زیرا با انجام رتبه بندی، برتری هر اختلال در مقابل سایر اختلال ها مشخص و در نتیجه تصمیم گیرنده می تواند در مورد میزان تخصیص منابع موجود برای مقابله با هر اختلال برنامه ریزی نماید [۴]. زنجیره های تامین ناب و کارا بیش تر با اختلال مواجه می شوند. سازمان ها نمی توانند مدت زیادی فقط روی کاهش هزینه تمرکز کنند و سرمایه گذاران زنجیره تامین باید توجه داشته باشند که چگونه این سرمایه ها و تغییرات، ریسک های اختلالات زنجیره تامین را تحت تاثیر قرار می دهند [۵].

در تحقیقات متعددی به بحث مدیریت و ارزیابی ریسک به طور عام و در زنجیره تامین به طور خاص پرداخته شده است. این تحقیقات را می توان به چند دسته تقسیم کرد: مطالعاتی که در آن ها ادبیات مدیریت ریسک زنجیره تامین مرور شده است [۶، ۳، ۷]. در مطالعاتی، ریسک زنجیره تامین به عنوان حاصل ضرب احتمال در اثر یک رخداد محسوب می شود و دو شاخص «میزان تاثیر» و «احتمال وقوع» ریسک در قالب ماتریس احتمال - اثر ریسک مورد استفاده قرار می گیرد [۸-۹] و همچنین در تحقیقاتی نیز از برخی روش های دیگر ارزیابی ریسک، نظیر FMEA استفاده می شود که میزان بزرگی ریسک بر اساس حاصل ضرب سه شاخص شدت، میزان کشف و احتمال وقوع ریسک محاسبه می شود [۱۰، ۱۱]. در تحقیقاتی دیگر به برخی از ضعف ها در خصوص روش اندازه گیری ریسک در مطالعات فوق اشاره و بر غیرقابل اطمینان بودن این روش ها و موارد مشابه تأکید شده است [۱۲]. در مواردی که با مجموعه قابل توجهی از متغیرها سر و کار و نیاز به اولویت بندی واحدهای تصمیم گیری بر اساس اهمیت نسبی شان داشته باشیم، بر روش ساختار شکست ریسک تکیه می کنیم و ضمن طراحی یک ساختار جامع و سلسله مراتبی ریسک های زنجیره تامین، از افراد مختلف با تخصص ها، تجربیات و دیدگاه های علمی گوناگون، بهره می گیریم و از روش تحلیل تاکسونومی ارزیابی و رتبه بندی استفاده می کنیم، در این صورت تصمیم گیری صحیح تر و علمی تر به شمار می رود [۲].

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 در نظر 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 الگوریتم ژنتیک ایجاد می‌شود. پس از فرآیند جستجوی سراسری توسط الگوریتم ژنتیک، راه‌حل نهایی الگوریتم ژنتیک به‌عنوان جواب اولیه برای الگوریتم تبرید در نظر گرفته می‌شود تا از قابلیت جستجوی محلی الگوریتم تبرید برای دستیابی به جواب بهتر استفاده شود. با توجه به ساختار ترکیبی جستجوی سراسری-محلی در روش پیشنهادی، به تعداد تکرار کم‌تری در الگوریتم ژنتیک و تبرید برای دستیابی به جواب نیاز است؛ بنابراین علاوه بر بهبود دقت، با کاهش زمان اجرای کلی الگوریتم نیز مواجه می‌شویم.

## ۲ مبانی نظری و پیشینه پژوهش

### ۲-۱ پیشینه نظری 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 این حال 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 عدم وجود 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

اختلال ناتوانی آن‌ها در تخمین هزینه‌های حاصله از آن می‌باشد. با وجود تمام آسیب‌های هنگفتی که اختلال برای زنجیره‌های تامین به دنبال دارد هنوز هم مطالعات صورت گرفته در این حوزه بسیار ناچیز است [۵]. انواع تحقیقات در حوزه اختلالات زنجیره‌تأمین 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 زنجیره‌تأمین بنگاه‌های تولیدی داشته است. یکی از مقوله‌هایی که تحت تأثیر این تغییر و تحول قرار گرفته است، نحوه پیکربندی زنجیره‌تأمین است که با رویکردهای مختلفی می‌تواند صورت پذیرد. افزایش در تعداد اعضا، 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 زنجیره‌تأمین کارا نمی‌باشند [۱۵]. در این تحقیق نیز مدل ریاضی ارائه شده برای زنجیره‌تأمین با سیاست چندمنبعی و داشتن انتقال جانبی با استفاده از الگوریتم فراابتکاری ترکیبی ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید حل شده و مقدار بهینه تابع هدف محاسبه گردیده است. الگوریتم‌های فرا ابتکاری یا مبتنی بر جمعیت بوده و مکانیزم جستجوی سراسری خوبی دارند و یا تک-جمعیتی هستند و قابلیت بالایی برای جستجوی محلی دارند.

## ۲-۲-۲ پیشینه تحقیقات انجام شده

در تحقیقات متعددی به بحث مدیریت و ارزیابی ریسک به طور عام و در زنجیره‌تأمین به طور خاص پرداخته شده است. در این راستا می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: در پژوهش لاله (۱۳۹۱) هدف اصلی مدلی برای یک زنجیره‌تأمین 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 ارائه یک مدل جامع و سلسله‌مراتبی برای ارزیابی ریسک، ضمن شناسایی ریسک‌های اصلی زنجیره‌تأمین با تکیه بر روش ساختار شکست ریسک و تعیین معیارهای اندازه‌گیری، پرسشنامه جامعی تهیه کرده و براساس آن اهمیت نسبی هر ریسک را در شرکت ذوب آهن 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 ارائه مدلی برای طراحی چندهدفه زنجیره‌تأمین 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 گو (۲۰۱۶) یک مدل چند-هدفه MILP را برای تامین بهترین تامین‌کننده و نقطه سفارش تحت شرایط ریسک فرموله کردند. تامین‌کننده‌ها

بر پایه 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 متاهیورستیکی در واحدهای چند بخشی یافتند [۲۰]. راجش و راوی (۲۰۱۵) یک مدل جدید را برای کاهش ریسک زنجیره‌تامین معرفی کردند. آن‌ها بر روی توانمندسازهای 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 به کار گرفته 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 به طور 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 پتری نت 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 عدم قطعیت 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 ارائه کردند و آن را برای یک زنجیره‌تامین روغن به کار بردند [۲۵]. ساویک (۲۰۱۱) یک مدل را برای انتخاب بهینه پورفولیوی تامین در یک محیط سفارشی با وجود ریسک اختلال زنجیره‌تامین ارائه داد. او یک مدل چندهدفه با ترکیب برنامه‌ریزی عدد صحیح فرموله کرد و آن را برای کنترل ریسک و اختلال زنجیره به کار برد. نگرش پورفولیوی پیشنهادی بر پایه بهینه‌سازی پورفولیوی 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 و رشکستگی تامین‌کننده با توجه به اختلال حوادث تصادفی مطالعه نمودند و یک مدل تحلیلی برای تعیین تعداد بهینه تامین‌کنندگان با توجه به احتمالات متفاوت و رشکستگی 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، تامین‌کنندگان پشتیبان و تامین‌کنندگان محافظت شده برای مقابله با دو نوع اختلال، اختلال عرضه و اختلال زیست محیطی پرداخته‌اند. آن‌ها یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح دو هدفه را برای انتخاب تامین‌کننده و سفارش ارائه دادند و به تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان،

ریسک، وابستگی و هزینه‌ها بر روی هر یک از استراتژی‌ها پرداختند که برای انتخاب تامین کننده و تخصیص تقاضا و توانایی توسعه زنجیره تامین تحت ریسک‌های زنجیره تامین بود [۲۹]. همچنین بهدانی و سرینی [۳۰] یک چارچوب مدل سازی عامل گرا برای کنترل اختلالات در زنجیره تامین ارائه کردند. این چارچوب شامل جنبه‌های اصلی مفاهیم اختلال زنجیره و یک روش شبیه سازی برای مدیریت اختلال‌ها در زنجیره تامین روغن های نفتی است [۳۰]. ونگ و همکاران [۳۱] نیز در مقاله‌ای به اندازه گیری پیچیدگی و تجزیه و تحلیل شبکه زنجیره تامین تحت ریسک‌های اختلال پرداختند و یک روش اندازه گیری 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 شبیه سازی عامل گرا برای کنترل و مدیریت اختلالات برای مقابله با افزایش آسیب پذیری کسب و کارهای جهانی به ویژه در شرکت‌های تولید مواد شیمیایی ارائه کردند؛ لذا نتیجه مرور مطالعات و تحقیقات گذشته و بررسی‌های به عمل آمده نشان می‌دهد که بیش تر مقالات و تحقیقات انجام شده (بیش از ۷۰ درصد آن‌ها) به موضوعات مفاهیم مدیریت ریسک زنجیره تامین، ارائه مطالعات میدانی و موردی و مرور ادبیات پرداخته‌اند و موضوعاتی از قبیل کاربرد رویکردهای مدل سازی و شبیه سازی بسیار محدود می‌باشد؛ لذا با توجه به این که مساله ریسک اختلالات زنجیره تامین جز مسایل سخت می‌باشد، در این تحقیق سعی شده است که مدل ریاضی ارائه شده برای ارزیابی اختلال زنجیره با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری حل گردد.

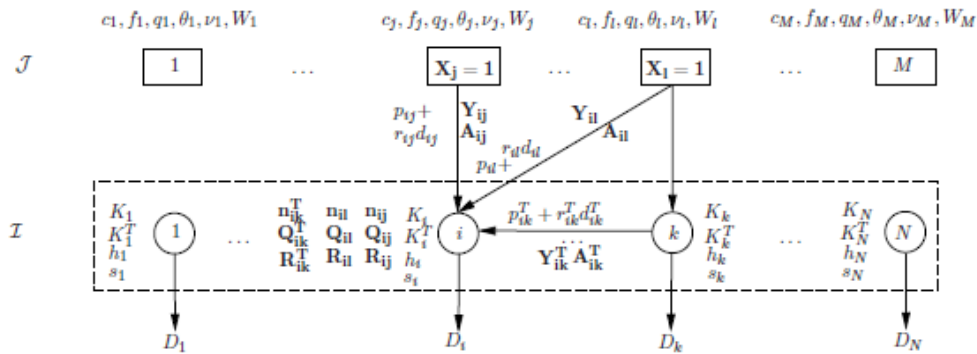
### ۳-ارایه مدل پژوهش

با توجه به اهمیت مساله اختلال در زنجیره تامین و در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت پارامترهای این مساله در صنعت، در این بخش یک مدل ریاضی یکپارچه‌ی انتخاب چند تامین کننده برای هر کارخانه و دارای حالت انتقال جانبی بین کارخانه‌ها برای شبکه زنجیره تامین با پارامترهای تصادفی ارائه شده است که تابع هدف آن، کمینه سازی مجموعه هزینه‌های زنجیره تامین است. مدلی که در این تحقیق بررسی نموده ایم حالتی است که هر کارخانه بتواند از چندین تامین کننده استفاده کند و نیز قابلیت انتقال جانبی داشته باشد.

در این تحقیق یک شبکه زنجیره تامین دو سطحی در نظر گرفته شده است که در سطح اول کارخانه‌های تولیدی را به صورت  $(N \geq 2)$  و در سطح دوم تامین کننده‌ها به صورت  $(M \geq 2)$  قرار دارند. در این مدل سازی تقاضای هر کارخانه به صورت تصادفی و روزانه تعریف و فرض گردیده است که تامین کنندگان 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 و نقل تامین کنندگان، 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 تامین کننده و یا چندین کارخانه دیگر تامین نماید. در استراتژی انتقال جانبی هنگامی که تامین کننده‌ها قادر به تامین مواد اولیه مورد نیاز کارخانه نباشند، کارخانه مجبور خواهد بود برای تامین مواد اولیه مورد نیاز خود از سایر کارخانه‌ها کمک گیرد. در این صورت کارخانه قادر خواهد بود از این طریق کمبود کالای خود را جبران

نماید؛ ولی متحمل هزینه‌های اضافی خواهد شد. استراتژی چندمنبعی می‌تواند مسایل مربوط به کمبود و سایر اختلالات مربوط به تامین کنندگان 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 تامین کنندگان پیش گزیده
- $c_j$  : هزینه خرید هر واحد کالا از تامین کننده  $j$
- $f_j$  : هزینه ثابت قرارداد با تامین کننده  $j$
- $s_i$  : هزینه هر واحد سفارش معوق در کارخانه  $i$
- $K_i$  : هزینه ثابت سفارش کارخانه  $i$  از تامین کنندگان
- $h_i$  : هزینه نگهداری هر واحد موجودی در کارخانه  $i$
- $p_{ij}$  : هزینه ثابت حمل سفارش به کارخانه  $i$  از تامین کننده  $j$  توسط هر کامیون
- $r_{ij}$  : هزینه متغیر حمل موجودی به کارخانه  $i$  از تامین کننده  $j$  توسط هر کامیون
- $d_{ij}$  : فاصله بین کارخانه  $i$  و تامین کننده  $j$
- $LT_{ij}$  : مدت زمان تحویل سفارش تامین کننده  $i$  به کارخانه  $j$
- $p_{ij}^T$  : هزینه ثابت حمل سفارش به کارخانه  $i$  از کارخانه  $k$  توسط هر کامیون
- $r_{ij}^T$  : هزینه متغیر حمل موجودی به کارخانه  $i$  از کارخانه  $k$  توسط هر کامیون
- $d_{ij}^T$  : فاصله بین کارخانه  $i$  و کارخانه  $k$
- $LTT_{ik}$  : مدت زمان تحویل سفارش کارخانه  $i$  به کارخانه  $k$
- $\lambda_i$  : نرخ تقاضا برای کارخانه  $i$



$K_i^T$ : هزینه ثابت سفارش دهی کارخانه  $i$  از دیگر کارخانه ها

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

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

$W_j$ : ظرفیت خروجی سالانه تأمین کننده  $j$

$q_j$ : درصد محصولات با کیفیت خوب توسط تأمین کننده  $j$

$\theta_j$ : نرخ فراوانی اختلال تأمین کننده  $j$

$V_j$ : بازه اختلال تأمین کننده  $j$

$\varphi_j$ : شدت اثر اختلال تأمین کننده  $j$

$\theta_i$ : 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 کامیون ها

$WC_i$ : 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 تأمین کننده  $j$  در انتهای روز  $t$

متغیرهای تصمیم نیز شامل موارد زیر می باشد:

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

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

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

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

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

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

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



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

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

$B_{ikt}$ : اگر در روز  $t$  کارخانه  $i$  از کارخانه  $k$  خریداری کند برابر ۱ و در غیر این صورت 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 به صورت زیر تعریف می‌گردند:

به‌طور کلی هزینه‌های سیستم در سه دسته جای می‌گیرند.

۱- هزینه‌های انتخاب تامین کنندگان و بستن قرارداد با آنها

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

۳- هزینه‌های حمل و نقل بین کارخانه و تامین 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.

$$\begin{aligned} \min S &= \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} [MAX(0, (+D_{it} - PW_{it}))] \\ \min G(X, Y, Q, R) &= \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_j Q_{ij} Y_{ij} B_{ijt} + \sum_{j \in J} f_j X_j + \\ &\sum_{t \in T} \sum_{i \in I} \left[ \sum_{j \in J, Q_{ij} \neq 0} \left\{ (p_{ij} + r_{ij} d_{ij}) Y_{ij} B_{ijt} \left[ \frac{Q_{ij}}{M} \right] \right\} + \right. \\ &\left. \sum_{k \in I, Q_{ik}^T \neq 0} \left\{ (p_{ik}^T + r_{ik}^T d_{ik}^T) Y_{ik}^T B_{ikt}^T \left[ \frac{Q_{ik}^T}{M} \right] \right\} \right] + \tag{1} \\ &\sum_{t \in T} \sum_{i \in I} \left[ \sum_{j \in J, Q_{ij} \neq 0} K_i Y_{ij} B_{ijt} + \sum_{k \in I, Q_{ik}^T \neq 0} K_i^T Y_{ik}^T B_{ikt}^T \right] + \\ &\sum_{t \in T} \sum_{i \in I} h_i \left[ PW_{i0} - \sum_{t \in T} D_{it} - \sum_{k \in I, k \neq i} \sum_{t \in T} Q_k^T B_{kit}^T Y_{ki}^T + \sum_{t \in T} \sum_{j \in J, Q_{ij} \neq 0} Q_i Y_{ij} B_{ijt} + \sum_{k \in I, k \neq i} \sum_{t \in T} Q_k^T B_{ikt}^T Y_{ik}^T \right] + \\ &\sum_{i \in I} WC_i * \frac{\max(PW_{it})}{W - cap_i} + \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} S_i [MAX(0, (+D_{it} - PW_{it}))] \end{aligned}$$

s.t.

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

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

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

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

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

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

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

$$X_j \in \{0, 1\}, \forall j \in J$$

$$Y_{ij} \in \{0, 1\}, \forall i \in I, \forall j \in J$$

$$Y_{ik}^T \in \{0, 1\}, \forall i \in I, \forall j \in J$$

$$B_{ijt}^T \in \{0, 1\}, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T$$

$$B_{ikt}^T \in \{0, 1\}, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T$$

متغیرهای تصمیم در این تحقیق شامل ۷ نوع متغیر هستند. انتخاب تامین کنندگان یک بردار باینری با ابعاد  $1 \times M$  می باشد. تعیین اینکه در هر روز حمل کالا از تامین کننده به هر کارخانه انجام شود یا نه، یک مساله انتخاب باینری با ابعاد  $N \times M$  است که  $N$  تعداد کارخانه ها و  $M$  تعداد تامین کننده ها است. 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 ذکر شده، متغیرهای دیگر شامل مقدار کالای سفارش داده شده در هر روز به تامین کنندگان، تعیین نقطه سفارش مجدد هر تامین کننده، مقدار سفارش داده شده به سایر کارخانه ها و تعیین نقطه سفارش مجدد هر کارخانه در هر روز هستند. در مدل فوق، پارامترهای مختلفی برای عدم قطعیت سیستم در نظر گرفته شده که به صورت تصادفی تعریف شده اند.

همچنین اختلال در کل سیستم به صورت عدم تامین کالا، اضافه تقاضا، حوادث عملیاتی و حوادث طبیعی مانند سیل و زلزله و ... در نظر گرفته شده است که با سه فاکتور تناوب رخداد اختلال، طول زمانی اختلال و شدت اثر اختلال تعریف شده اند. در این مساله تقاضای کارخانه ها به صورت غیر قطعی و تصادفی با توزیع پواسون ( $\lambda$ ) و به صورت 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<sup>۲</sup> و الگوریتم شبیه سازی تبرید<sup>۳</sup>) مبتنی بر جستجوی هیوریستیک و متاهیوریستیک برای دستیابی به تعادل مناسب بین دقت و سرعت در مساله زنجیره تامین ارائه شده

<sup>1</sup> Genetic Algorithm Simulated Annealing (GASA)

<sup>2</sup> Genetic Algorithm (GA)

<sup>3</sup> Simulated Annealing (SA)

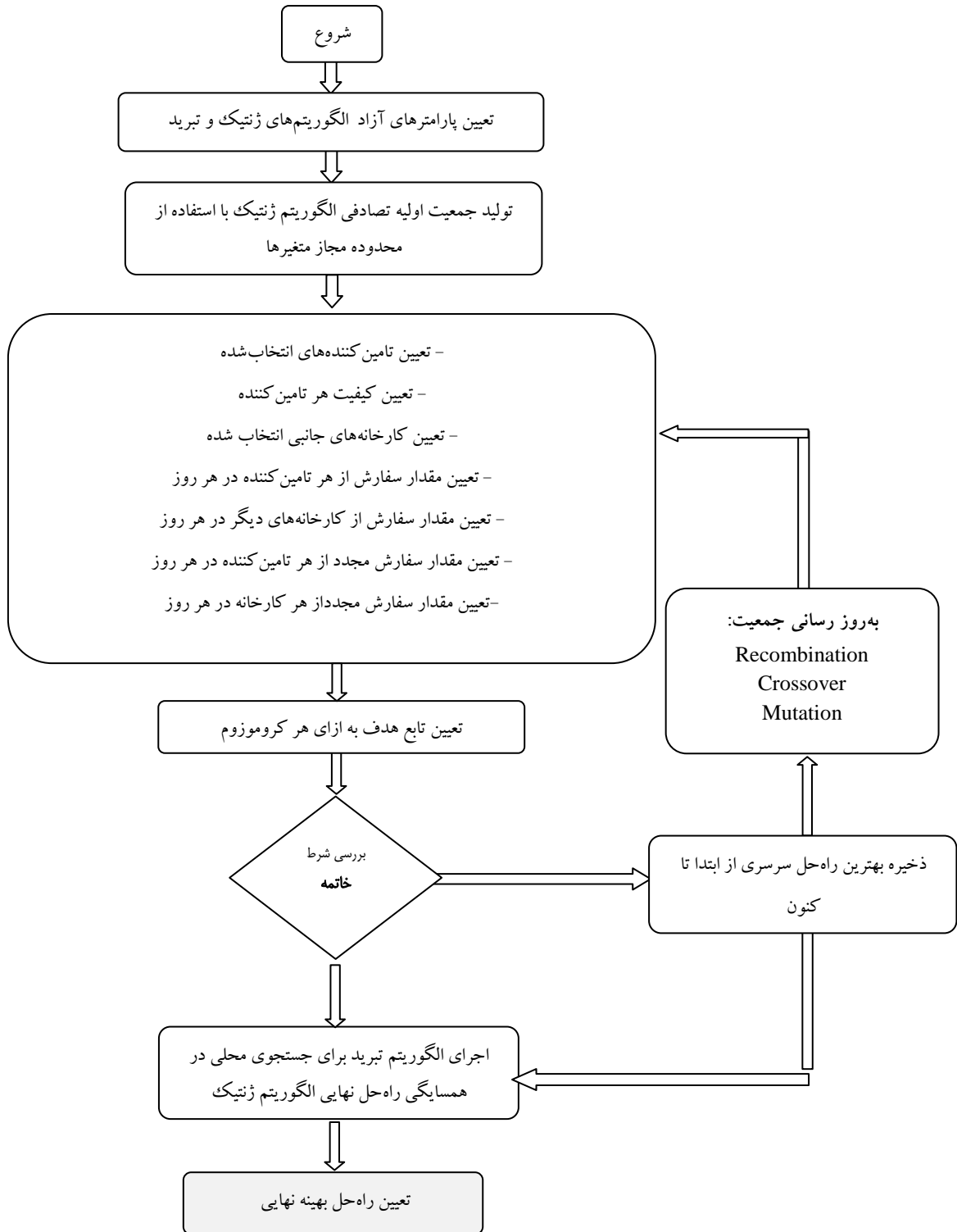
است. الگوریتم‌های متاهیوریستیک یا مبتنی بر جمعیت بوده و مکانیزم جستجوی سراسری خوبی دارند، و یا تک-جمعیتی هستند و قابلیت بالایی برای جستجوی محلی هستند. الگوریتم ژنتیک متداول‌ترین الگوریتم تکاملی مبتنی بر جمعیت است. این الگوریتم علاوه بر استراتژی جستجوی سراسری<sup>۱</sup> قوی (با استفاده از عملگر ترکیب) دارای قابلیت فرار از مینیمم‌های محلی (با استفاده از عملگر جهش ژنی) می‌باشد. از طرفی، الگوریتم شبیه‌سازی تبرید یک الگوریتم تک جمعیه با توانایی جستجوی محلی<sup>۲</sup> 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<sup>۳</sup> 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 تبرید برای جستجوی محلی و بهبود محلی در همسایگی جواب الگوریتم ژنتیک اجرا می‌گردد. فلوچارت کلی روش پیشنهادی در شکل ۲ قابل مشاهده است.

<sup>1</sup> Global Search

<sup>2</sup> Local Search

<sup>3</sup> near optimal



شکل ۲. 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 می گردد. یک کروموزوم کدگذاری می شود. برای تولید یک کروموزوم اولیه در روش پیشنهادی، ۳ ساختار باینری به صورت تصادفی ایجاد می شوند. همچنین مقادیر هر کدام از ۴ ساختار مقداری به صورت تصادفی در محدوده مجاز

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: باز ترکیبی<sup>۱</sup>، ترکیب<sup>۲</sup> و جهش<sup>۳</sup>، 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 باز ترکیبی به تعداد Pr درصد از بهترین کروموزوم‌های نسل جاری (که کم‌ترین خطای تابع هدف را حاصل کرده‌اند) مستقیماً 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<sup>۴</sup> با استفاده از عملگر ترکیب، ابتدا دو والد از بین کروموزوم‌های جاری با استفاده از روش چرخ رولت با ضریب توانی<sup>۲</sup> انتخاب می‌شوند. در این تحقیق از عملگر ترکیب یکنواخت<sup>۵</sup> 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) به صورت 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<sup>۲</sup> انتخاب می‌شود. سپس یکی از ۷ ساختار آن به صورت تصادفی انتخاب شده و جهش بر روی آن انجام می‌شود. در این مقاله از دو روش جهش باینری<sup>۶</sup> (معاوضه، تغییر) و دو روش جهش مقداری<sup>۷</sup> (معاوضه، تغییر) استفاده شده است. در صورتی که ساختار انتخاب شده یکی از ۳ ساختار باینری باشد، جهش باینری و در غیر این صورت جهش مقداری انجام می‌شود. در روش جهش معاوضه باینری<sup>۸</sup> یک ژن به صورت 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<sup>۹</sup> یک ژن به صورت تصادفی در ساختار مقداری انتخاب شده و مقدار آن در بازه مجاز برای آن ژن به صورت تصادفی تغییر می‌کند. در روش جهش تغییری باینری<sup>۱۰</sup> دو ژن به صورت تصادفی در ساختار انتخاب شده و جای صفر و یک عوض می‌شود. همچنین در روش جهش تغییر مقداری<sup>۱۱</sup> دو ژن به صورت تصادفی در ساختار مقداری انتخاب شده و مقدار آن‌ها با هم جا به جا می‌شود.

<sup>1</sup> Recombination

<sup>2</sup> Crossover

<sup>3</sup> Mutation

<sup>4</sup> Offspring

<sup>5</sup> Uniform

<sup>6</sup> Binary Swap Mutation & Binary Exchange Mutation

<sup>7</sup> Value Swap Mutation & Value Exchange Mutation

<sup>8</sup> Binary Swap Mutation

<sup>9</sup> Value Swap Mutation

<sup>10</sup> Binary Exchange Mutation

<sup>11</sup> Value Exchange Mutation

### ۳-۲ فاز الگوریتم تبرید

پس از اجرای الگوریتم ژنتیک، جواب نهایی آن به عنوان راه حل اولیه الگوریتم تبرید در نظر گرفته می شود و سپس در یک حلقه تکراری به جواب های همسایه حرکت می کند. در هر تکرار الگوریتم تبرید، یک راه حل در همسایگی راه حل قبلی ایجاد می شود. سپس با استفاده از چک کردن قانون پذیرش<sup>۱</sup> بررسی می شود که آیا راه حل جدید جایگزین راه حل 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 راه حل جدید در همسایگی راه حل فعلی، بین ۱ تا ۷ ساختار مختلف به صورت تصادفی تحت جستجوی محلی قرار می گیرند. 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، به صورت تصادفی یکی از عملگرهای معاوضه باینری یا تغییر باینری بر روی آن اعمال می شود. همچنین در صورتی که ساختار انتخاب شده جزء ساختارهای مقداری باشد، به صورت تصادفی یکی از عملگرهای معاوضه مقداری یا تغییر مقداری بر روی آن اجرا می گردد. با توجه به مدل مساله، گاهی تغییر در ژن یک ساختار ممکن است منجر به بهبود نتایج نشود و جابه جایی مقادیر دو ژن کارسازتر باشد.

در هر تکرار اگر جواب همسایه بهتر از جواب فعلی باشد، الگوریتم قطعاً آن را به عنوان جواب جدید در نظر می گیرد. در غیر این صورت، الگوریتم آن جواب را با احتمال  $\exp(-\Delta E/T)$  به عنوان جواب جدید می پذیرد. 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 می شود تا احتمال بیش تری برای پذیرش جواب های بدتر وجود داشته باشد. با کاهش تدریجی دما در انتها احتمال کم تری برای پذیرش جواب های بدتر وجود خواهد داشت و بنابراین الگوریتم به سمت یک جواب خوب همگرا می شود. در این تحقیق، دما مطابق رابطه (۲)، به صورت خطی از دمای اولیه  $T_{initial}$  (در تکرار اول) تا دمای نهایی  $T_{final}$  (در تکرار آخر) در طول اجرای الگوریتم کاهش می یابد:

$$T = T_{initial} + \frac{t}{I_{SA}} \times (T_{final} - T_{initial}) \quad (2)$$

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

<sup>1</sup> Acceptance Rule Checking

### ۴ 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

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

### ۴-۱ ارزیابی اختلال‌ها

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

اختلال تامین کننده اختلال اضافه تقاضا (تقاضای روزانه ممکن است به دلیل اختلالات به وجود 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 به صورت 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.



به این صورت که ابتدا مساله در حالت پایه، حالتی که ۴ اختلال به طور همزمان بر روی زنجیره اثر می گذارند حل شده که نتایج آن در جدول ۲ آمده است، همچنین خروجی نرم افزار در حالت پایه و نمودار گرافیکی مساله در حالت پایه در جدول ۳ و شکل ۳ نمایش داده شده اند، در ادامه به بررسی تاثیر هر یک از اختلالات به صورت مستقل بر روی مدل پرداخته که نتایج در جدول ۴ ارایه شده است.

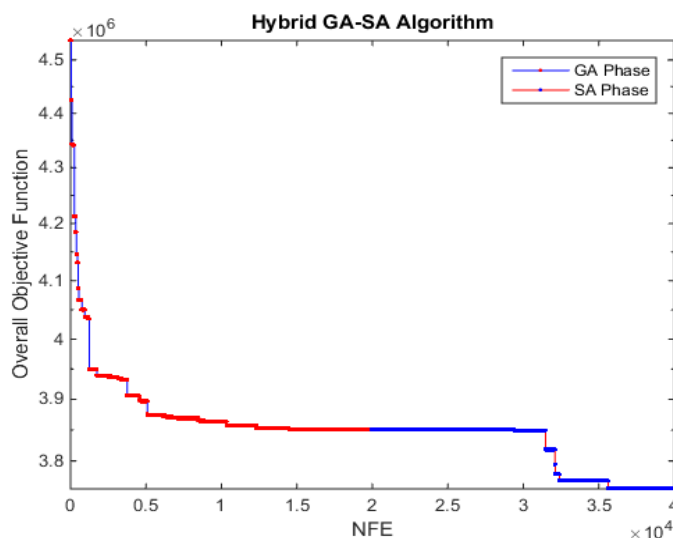
جدول ۲. نتایج مربوط به تاثیر گذاری ۴ اختلال به طور همزمان بر زنجیره تامین

انواع اختلال پارامتر	تامین	تقاضا	تصادف کامیون	بلاای طبیعی	پایه	
						$\theta$
	[۵,۰]	[۳,۰]	[۲,۰]	[۱,۰]		
	۵	۵	۱۴	۶۰		
	۱۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰۰		
مقدار تابع هدف	$6/20E+06$					

جدول ۳. خروجی نرم افزار در حالت پایه

```

=solution
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:6/20E+06
    
```



شکل ۳. خروجی گرافیکی نرم افزار در حالت پایه

## جدول ۴. نتایج مربوط به مقایسه چهار شکل اختلال

انواع اختلال پارامتر	تامین	تقاضا	تصادف کامیون	بلاهای طبیعی
$\Theta$	[۵,۰]	[۳,۰]	[۲,۰]	[۱,۰]
V	۵	۵	۱۴	۶۰
$\Phi$	۱۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰۰
مقدار تابع هدف	$3/76E+06$	$6/09E+05$	$3/56E+06$	$5/18E+06$

با توجه به جداول ۲ و 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 بلاهای 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 زنجیره تامین می‌باشد. در ادامه در جدول ۵ با ارایه چهار سناریو، به بررسی و مقایسه میزان تاثیرگذاری پارامترهای مختلف اختلال پرداخته‌ایم. در ابتدا در سناریو ۱ و ۲ به بررسی تاثیر و مقایسه دو پارامتر فرکانس اختلال و مدت زمان اختلال بر روی مدل پرداخته‌ایم. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، اختلال با فرکانس بالاتر می‌تواند هزینه بیش‌تری نسبت 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	$3/755E+06$
سناریو ۱	Rand[۰,۱۰]	۵	۱۰۰۰۰۰	$3/874E+06$
سناریو ۲	Rand[۰,۵]	۳۰	۱۰۰۰۰۰	$3/799E+06$
سناریو ۳	Rand[۰,۵]	۵	۵۰۰۰۰۰	$4/253E+06$
سناریو ۴	Rand[۰,۱۰]	۳۰	۱۰۰۰۰۰	$3/910E+06$

در ادامه با ارایه سناریو ۳ و ۴ به بررسی و مقایسه میزان تاثیر دو پارامتر 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 زنجیره‌تأمین 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

پاسخ مناسب و به موقع به ریسک ها را فراهم می کند. در این تحقیق با معرفی مجموعه ای از پارامترهای ارزیابی ریسک اختلال در زنجیره تامین چندمنبعی، برای بهینه سازی مساله با هدف توامان کمینه کردن هزینه و مقدار کمبود، یک مدل ریاضی که شامل ۲ تابع هدف و ۱۲ محدودیت و ۷ متغیر می باشد برای ارزیابی اختلال طراحی شد و با الگوریتم فراابتکاری GASA حل شده است.

در این مقاله برای تعیین چگونگی تاثیر بروز اختلال های مختلف بر زنجیره تامین به بررسی تاثیر چهار اختلال، اختلال تامین کننده، اختلال اضافه تقاضا، اختلال فاجعه عملیاتی - تصادف کامیون، اختلال فاجعه بلایای طبیعی بر روی هزینه های زنجیره تامین پرداخته شده است. با توجه به نتایج دیده شد که اختلال مربوط به بلایای طبیعی دارای کم ترین مقدار تناوب اختلال در سال می باشد؛ اما منجر به بیش ترین مقدار خسارت به زنجیره تامین می گردد و اختلال مربوط به اضافه تقاضا دارای کم ترین اثر بر روی زنجیره تامین می باشد. در ادامه با ارایه چهار سناریو، به بررسی و مقایسه میزان تاثیر گذاری پارامترهای مختلف ارزیابی اختلال پرداخته شده است. همان طور که نتایج نشان داد، در مقایسه بین افزایش فرکانس خرابی و افزایش بازه رخداد خرابی می توان گفت که افزایش فرکانس خرابی به عبارتی افزایش تعداد خرابی ها در سال هزینه بالاتری برای سیستم به دنبال دارد. همچنین در مقایسه بین افزایش تناوب اختلال و شدت اثر اختلال می توان گفت که افزایش شدت اثر اختلال به عبارتی افزایش زیان مالی، هزینه بالاتری برای سیستم به دنبال دارد.

با توجه به نتایج تحقیق پیشنهاد می شود که: موضوع شناسایی و ارزیابی اختلال با توجه به هزینه های بالایی که بر زنجیره تامین وارد می کند در اولویت برنامه های مدیریت ریسک در سازمان ها قرار گیرد. همچنین می توان در تحقیقات آتی ارتباط متقابل اختلال ها را به صورت احتمال شرطی مورد بررسی قرار داد. با توجه به اینکه روش های متنوعی برای رفع ابهام پارامترهای غیر قطعی وجود دارد که در این تحقیق از بهینه سازی تصادفی برای این منظور بهره برده شده است، می توان 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 رتبه بندی 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)، الویت بندی تامین کنندگان 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 تامین کنندگان در زنجیره تامین لارج. مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن، ۱۳ (۴)، ۱۰۳-۱۲۰.
- [۱۵] چراغعلی، آ.، پایدار، م.، حاجی آقا کشتلی، 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.

[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.، فرشاف گرانمایه، ا.، (۱۳۹۴)، طراحی چندهدفه زنجیره تامین 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.

- [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.