دسترسی در سایتِ http://jnrm.srbiau.ac.ir
سال نهم، شماره چهل دوم، خرداد و تیر ۱۴۰۲
شماره شاپا: ۵۸۸-۲۵۸۸X

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

پژوهش‌های نوین در ریاضی

رتبه بندی اختلالات زنجیره تامین با استفاده از روش ترکیبی دیمتل فازی و الگوریتم‌های فراابتکاری

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

(۱و۲و۳و۴) مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۰۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۱۷

چکیده

در میان انواع ریسک های زنجیره تامین، اختلالات گروهی از انواع ریسک هستند که از بلایای طبیعی، تحریم، مشکلات حمل و نقل و خرابی تجهیزات حاصل می‌شوند. این ریسک ها بطور جدی می‌توانند موجب اخلال در جریان مواد، اطلاعات و جریان نقد گردند. این مطالعه یک مدل ترکیبی را برای مدیریت، ارزیابی و رتبه بندی اختلالات پیشنهاد می‌کند. در این تحقیق با ارایه یک مدل ریاضی با در نظر گرفتن پارامتر اختلال به ارزیابی ریسک اختلالات زنجیره تامین پرداخته شده است . در ابتدا روابط بین اختلالات از طریق تکنیک دیمتل فازی فرموله شده، و خروجی دیمتل به عنوان پارامتر وزن وارد مدل شده و سپس مدل با استفاده از الگوریتم های فراابتکاری ژنتیک و روش‌های جستجوی محلی حل شده است. نهایتا اختلالات براساس هزینه‌هایی که به زنجیره اعمال می‌کنند ارزیابی و رتبه بندی شده اند و سپس تعداد تامین کننده مناسب به ازای هر اختلال مشخص گردیده است.

واژه‌های کلیدی: رتبه بندی اختلالات، دیمتل فازی، زنجیره تامین، الگوریتم فراابتکاری.

*. عهده‌دار مکاتبات: Email: salahi_en@yahoo.com

۱. مقدمه

زنجیره‌های تامین به طور فزاینده‌ای در حال پذیرش اختلالات هستند. در میان مخاطرات زنجیره تامین انواع اختلالات ناشی از بلایای طبیعی، ورشکستگی تامین کننده، اختلافات کارگری، جنگ، تکه تکه شدن اطلاعات، جرائم اینترنتی، بی ثباتی اقتصادی، اجتماعی، سیاسی دیده می شود. با توجه به پیچیدگی و پویایی طبیعت زنجیره تامین نیازمند درک تاثیر اختلالات بر عملکرد سیستم هستیم [۱]. وجود ریسک و نیز ایجاد شکست در زنجیره تامین می‌تواند اثر معنی داری بر عملکرد کوتاه مدت و نیز اثر منفی بلند مدت بر عملکرد مالی سازمان داشته باشد. لذا مدیریت ریسک زنجیره تامین برای کاهش شکست‌های ناشی از ریسک‌های مختلفی نظیر چرخه های نامطمئن اقتصادی، تقاضای نامطمئن مشتری و حوادث طبیعی و انسانی غیرقابل پیش بینی و ... 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 هستند. نتایج منفی این حوادث بر زنجیره تامین بسیار روشن و واضح است زیرا تسهیلات تولیدی و حمل ونقل به شدت در برابر این بلایا آسیب پذیر هستند. در سال های اخیر اختلالات بطور مداوم در حال رخداد هستند که این خود منجر به کاهش بهره وری، کیفیت، سهم بازار و بد نامی برای تامین کننده و زنجیره تامین خواهد بود[۳]. مدیریت اختلال مستلزم شناسایی، ارزیابی و رتبه‌بندی اختلال‌های مختلف است. ارزیابی اختلال یکی از ارکان مدیریت اختلال بوده و هدف آن اندازه-گیری ریسک اختلال ها 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 اختلال ها، قسمت کلیدی این فرایند به شمار می‌روند. زیرا با انجام رتبه‌بندی، برتری هر اختلال در مقابل سایر اختلال ها مشخص و در نتیجه تصمیم‌گیرنده می‌تواند در مورد میزان تخصیص منابع موجود برای مقابله با هر اختلال برنامه‌ریزی نماید [۴].

مدیریت زنجیره تامین امروزه به یکی از پایه ای ترین فرآیندهای کسب کار تبدیل شده است و در این میان بررسی و تحلیل تک تک مراحل آن و انتخاب بهترینهای هر مرحله یکی مهمترین چالش های مدیران استراتژیک می‌باشد[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 می‌توان به چند دسته تقسیم نمود: مطالعاتی که در آن‌ها به مرور ادبیات مدیریت ریسک زنجیره تامین پرداخته‌اند [۳، ۶ و ۷]. در مطالعاتی، ریسک زنجیره تامین به‌عنوان حاصل‌ضرب احتمال در اثر یک رخداد محسوب شده و دو شاخص «میزان تاثیر» و «احتمال وقوع» ریسک در قالب ماتریس احتمال - اثر ریسک مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۸-۹] و همچنین در تحقیقاتی نیز از برخی روش‌های دیگر ارزیابی ریسک، استفاده شده است که میزان بزرگی ریسک بر اساس حاصل ضرب سه شاخص شدت، میزان کشف و احتمال وقوع ریسک محاسبه می‌شود [۱۰ و ۱۱]. در تحقیقاتی دیگر به برخی از ضعف‌ها در خصوص روش اندازه‌گیری ریسک در مطالعات فوق اشاره شده است و بر غیرقابل اطمینان بودن این روش‌ها و موارد مشابه تأکید شده است [۱۲]. علاوه بر این در ارزیابی اختلالات زنجیره تامین باید این موضوع در نظر گرفته شود که اختلالات مجموع ساده از اختلال در بخش های مختلف نمی باشد و همپوشانی اختلالات باید مورد توجه قرار گیرد. کلیه چارچوب های مطرح شده برای تحلیل و مدیریت اختلال در مسیر بررسی خود به هر اختلال، مستقل از دیگری پرداخته اند. حال آنکه رخداد اختلال ممکن است منجر به رخداد دیگری و یا افزایش احتمال رخداد دیگر می شود که در چارچوب

پیشنهادی این ویژگی خاص مد نظر قرار گرفته است.
با توجه به اهمیت موضوع ریسک اختلال و اثرات آن بر روی زنجیره تامین، در این تحقیق به منظور ارزیابی اختلال‌های مختلف زنجیره تامین، در ابتدا یک مدل ریاضی دو هدفه با تاکید بر کاهش هزینه و مقدار کمبود طراحی گردیده ، سپس با استفاده از تکنیک دیمتل فازی روابط علت و معلولی بین اختلالات و میزان تاثیرگذاری و تاثیرپذیری آنها شناسایی شده و خروجی آن در قالب وزن هریک از اختلالات به عنوان پارامتر وزن وارد مدل ریاضی شده و مدل با استفاده از الگوریتم-های فراابتکاری ژنتیک و شبیه سازی تبرید حل شده است که در نتیجه آن تاثیر چهار اختلال بر روی هزینه های زنجیره تامین بررسی شده و اختلال ها براساس هزینه هایی که به زنجیره اعمال می کنند ارزیابی و رتبه بندی شده‌اند.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۲-۱ پیشینه نظری تحقیق

مدیریت زنجیره تامین، شامل مجموعه روش‌هایی است که برای یکپارچه‌سازی مؤثر تامین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و فروشگاه ها 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 زنجیره تامین به حداقل برسد و نیاز مشتریان با سطح خدمت‌رسانی بالایی برآورده شود[۱۳]. کارخانه ای 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 هم چنان 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].
پیدا کردن بهترین تامین کننده با بهترین سناریوها یکی از نقطات بحرانی در مدیریت زنجیره تامین و تصمیم گیرندگانی است که میخواهند این مشکل را با کمترین خطر حل کنند. تامین کنندگان می-توانند براساس نوع درخواستهای متفاوت مرحله بعد انعطاف پذیر بوده و تغییرات از قبل پیش بینی شده را ارائه نمایند. در این راستا، برای هر تامین کننده، تمام سناریوها باید مشخص شود و با توجه به اولویت تصمیم‌ها در سازمان، وزن برای هر معیار باید محاسبه شود. بنابراین داشتن سیاست‌هایی برای کنترل و کاهش اختلالات برای شرکت‌ها امری مهم و ضروری است[۵].
یکی از مقوله هایی که طی سالیان اخیر تحت تأثیر تغییر سریع تکنولوژی اطلاعات قرار گرفته است، نحوه پیکربندی زنجیره عرضه است که با رویکرد های مختلفی می تواند صورت پذیرد. افزایش در تعداد اعضاء متقاضی و ریسک در زنجیره تأمین از یک سو و گسترش ارتباطات از طریق تکنولوژی‌های نوین اطلاعات از سوی دیگر، آنرا جزو مسایل سخت قرار داده است. در این گونه مسایل دیگر روش ها ی کلاسیک قدیمی درخصوص پیکره بندی زنجیره عرضه کارا نمی باشند[۱۵]. با مرور تحقیقات صورت گرفته در این حوزه می‌توان خلاء های موجود در ادبیات را شناسایی نمود، از جمله اینکه در اکثر موارد آنچه به عنوان هدف در کلیه برنامه ریزی ها مورد توجه قرار گرفته حداکثر کردن سود با در نظر گرفتن سنجه های مربوط به موجودی است و توجه چندانی به مواردی چون تاثیرات متقابل ریسک های اختلال بر یکدیگر نیست. این ارتباط از نکات مهمی است که از دید مراجع دور مانده است در حالیکه توجه به این مسائل می تواند تاثیر به سزایی بر استراتژی انتخابی برای کاهش اثرات یا مقابله با اختلال داشته باشد.
بنابراین در این تحقیق روابط علت و معلولی بین اختلالات و نحوه تاثیرگذاری و تاثیرپذیری آنها مد نظر قرار گرفته و با استفاده از مدل دیمتل فازی این مقدار محاسبه گردیده و دیاگرام علی آها رسم شده است و نیز مدل ریاضی ارایه شده برای زنجیره تامین

با سیاست چند منبعی و داشتن انتقال جانبی با استفاده از الگوریتم فراابتکاری ترکیبی ژنتیک و جستجوی محلی حل شده و مقدار بهینه تابع هدف محاسبه گردیده است.

۲-۲ پیشینه تحقیقات انجام شده

تحقیقات در حوزه اختلالات زنجیره تامین را می‌توان به دو دسته تحقیقات کمی و کیفی دسته بندی کرد. تحقیقات کمی بیشتر در حوزه، مدلسازی اختلالات، اثرات آنها و استراتژی های کاهش اختلال می‌باشد و تحقیقات کیفی درزمینه بررسی ماهیت پدیده اختلال و توسعه تئوریهایی برای کاهش اختلال است.، این دسته از مطالعات منجر به مدلسازی یک الگوی ریاضی نگردیده است. در تحقیقات متعددی به بحث مدیریت و ارزیابی ریسک به طور عام و در زنجیره تامین به طور خاص پرداخته شده است. در این راستا می توان به موارد زیر اشاره کرد: لاله (۱۳۹۱) مدلی برای اندازه گیری ریسک در هر یک از این بخش ها از طریق معیار ارزش ریسک شرطی در یک زنجیره تامین سه سطحی با در نظر گرفتن انواع عدم قطعیت در تقاضای مشتری و هزینه حمل و نقل و ... ارائه کرده بود[۱۶]. حیاتی و همکاران (۱۳۹۲) با ارایه یک مدل جامع و سلسله مراتبی به شناسایی ریسک‌های اصلی زنجیره تامین با تکیه بر روش ساختار شکست ریسک و تعیین معیارهای اندازه‌گیری، پرسشنامه جامعی تهیه کرده و بر اساس آن اهمیت نسبی هر ریسک را در شرکت ذوب آهن اصفهان محاسبه کردند. لذا ریسک‌های مربوط به فرایند تامین و تامین کننده به‌عنوان بحرانی‌ترین ریسک‌ها در این مجتمع شناخته شدند.[۱۷]. جان نثاری و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از تکنیک های تصمیم گیری چند معیاره به ارزیابی و اولویت بندی اختلالات پرداخته اند بدین منظور از روش ترکیبی پرومته فازی و ANPفازی استفاده شده است نتایج این تحقیق نشان داد که اختلال در کمبود مواد اولیه، اختلال در بسته بندی مواد از لحاظ ایمنی و بهداشت، مشکلات در طراحی سیستم وب سایت استعلام، افزایش هزینه نیروی کار و اختلالات برنامه ریزی تامین از جمله مهمترین اختلالات زنجیره تامین کارخانه فولاد آلیاژی اصفهان میباشد[۱۸]. ربانی و همکاران (۱۳۹۴) مدلی چند هدفه ای را با در نظر گرفتن ریسک اختلال در زمینه تسهیلات، عرضه و تقاضا در شرایط غیر قطعی بودن پارامترهای اقتصادی طراحی نمودند و به علت پیچیده بودن مدل آن را از طریق الگوریتم ژنتیک حل نمودند[۱۹]. پدرام بهارستانی و همکاران(۱۳۹۶) مدلی را برای ارزیابی و رتبه بندی پاسخ ریسک های زنجیره تامین با استفاده از روش DEMATEL و ANP در محیط فازی ارائه نمودندو و پس از تحلیل نتایج، از میان مهمترین ریسکها، ریسکهای رقابتی در رتبه اول قرار گرفت[۲۰] پراسانا و گوه (۲۰۱۶) یک مدل چند هدفه را برای تامین بهترین تامین کننده و نقطه سفارش تحت شرایط ریسک فرموله کردند. تامین کننده ها برپایه یک معیار ترجیحی توسط مدل ترکیبی AHP و PROMETHEE فازی ارزیابی و رتبه بندی شده بودند[۲۱]. همچنین اسمیت و همکاران (۲۰۱۶) کاهش اختلال را در یک زنجیره تامین چند بخشی با استفاده از تطبیق سفارشی بررسی نمودند. آنها فواید را در سیاست‌های پویا از ترکیب یک پارامتر متاهیوریستیک در واحدهای چند بخشی یافتند[۲۲]. راجش و راوی (۲۰۱۵)یک مدل جدید را برای کاهش ریسک زنجیره تامین معرفی کردند. آنها بر روی توانمندسازها ی عمده کاهش ریسک زنجیره تامین با تمرکز روی زنجیره های تامین الکترونیکی تاکید کردند. در این تحقیق ترکیبی از تئوری خاکستری و DEMATEL برای یافتن رابطه علت و معلولی بین توانمند سازهای کاهش ریسک زنجیره تامین بکار گرفته شده است [۲۳]. کو و همکاران(۲۰۱۳) یک مکانیزم هماهنگ را برای یک زنجیره تامین که شامل یک تولید کننده و چندین خرده فروش رقیب می باشد را زمانی که

هزینه تولید و تقاضا بطور همزمان اختلال ایجاد می کنند را توسعه دادند. آنها استراتژی های بهینه تولید را برای سطوح اختلال مختلف تحت تصمیم گیری متمرکز پیشنهاد دادند[۲۴]. زگردی و داورزنی (۲۰۱۲) یک مدل پتری نت را به عنوان ابزاری برای تشخیص انتشار اختلال و اثر آن روی عملکرد تولید زنجیره تامین توسعه دادند، مدل نشان می دهد که چگونه تغییرات در زنجیره گسترش می یابند و اثر اختلالات را بر روی زنجیره تامین محاسبه می‌کند [۲۵]. اسمیت و سینگ (۲۰۱۲)شرح می دهند که چگونه انعطاف پذیری و حالت ارتجاعی سیستم می تواند با تمرکز بر روی شبکه زنجیره تامین به عنوان یک کل بهبود یابد. آنها جایگاه موجودی و روش های پشتیبان گیری در یک شبکه چند بخشی را تحلیل کردند و اثرات آنها را روی کاهش ریسک زنجیره تامین مشاهده نمودند. آنها روی ریسک در دو بخش اختلالات تامین و عدم قطعیت تقاضا تمرکز کردند و اثرات آنها و استراتژی های کاهش را مقایسه کردند[۲۶]. ساویک (۲۰۱۱) یک مدل چند هدفه با ترکیب برنامه ریزی عدد صحیح فرموله کرد و آنرا برای کنترل ریسک و اختلال زنجیره بکار برد. نگرش پورتفولیوی پیشنهادی بر پایه بهینه سازی پورتفولیوی تامین براساس محاسبه هزینه ارزش ریسک هر بخش و کاهش هزینه مورد انتظار بد ترین حالت در هر بخش بوده است [۲۷]. داورزنی و همکاران (۲۰۱۱)، اثرات سه استراتژی (تک، دو و سه منبعی) را برای کنترل اختلالات در زنجیره تامین مقایسه کردند. تمرکز اصلی این کار روی تعیین سهم هر تامین کننده و پیدا کردن سیاست های منبع یابی مناسب با توجه به احتمالات مختلف از اختلال بوده است[۲۸] . میناو همکاران(۲۰۱۱) مدل تحلیلی برای تعیین تعداد بهینه تامین کنندگان با توجه به احتمالات متفاوت ورشکستگی و اختلال حوادث تصادفی توسعه دادند[۲۹]. کمال احمدی و دولت پرست (۲۰۱۷) یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح دو هدفه را برای انتخاب تامین کننده و سفارش ارائه داده و به تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان، ریسک، وابستگی و هزینه ها بر روی هر یک از استراتژی ها برای انتخاب تامین کننده و تخصیص تقاضا و توانایی توسعه زنجیره تامین تحت ریسک های زنجیره تامین پرداختند[۳۰]. ونگ و همکاران (۲۰۱۸) نیز در مقاله ای به اندازه گیری پیچیدگی و تجزیه و تحلیل شبکه زنجیره تامین تحت ریسک های اختلال پرداختند[۳۱].بهدانی و همکاران (۲۰۱۹) با توجه به پیچیدگی های زنجیره عرضه جهانی یک چارچوب شبیه سازی عامل گرا برای کنترل و مدیریت اختلالات برای مقابله با افزایش آسیب پذیری کسب و کارهای جهانی بویژه در شرکت های تولید مواد شیمیایی ارائه کردند[۳۲].لذا با توجه به نتیجه مرور مطالعات و تحقیقات گذشته و بررسی-های به عمل آمده در این تحقیق سعی بر این بوده است که روابط علی بین اختلالات مورد توجه قرار گیرد و با استفاده از مدل ریاضی ارائه شده ارزیابی اختلال زنجیره صورت گیرد.

۳. ارائه مدل پژوهش

بطور کلی مدل از سه بخش تشکیل شده است. در بخش اول با استفاده از تکنیک گروه اسمی اختلالات موجود در زنجیره شناسایی شده اند، در بخش دوم برای تعیین ارتباط بین اختلالات و میزان تاثیر آنها بر روی یکدیگر از مدل دیمتل فازی استفاده شده است. در بخش سوم برای رتبه بندی اختلال الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک و جستجوی محلی بکاربرده می شود. در شکل شماره (۱) مدل پیشنهادی تحقیق نمایش داده شده است.

با توجه به اهمیت مساله روابط بین اختلالال در زنجیره تامین و در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت پارامترهای این مساله، در ادامه یک مدل ریاضی یکپارچه ی انتخاب چند تامین‌کننده برای هر کارخانه و دارای حالت انتقال جانبی بین کارخانه‌ها برای

شبکه زنجیره تامین با پارامترهای تصادفی ارائه شده است که تابع هدف آن، کاهش هزینه های 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 کارخانه های تولیدی بصورت و سطح دوم تامین کننده ها بصورت قرار دارند. در این مدلسازی تقاضای هر کارخانه بصورت تصادفی و روزانه تعریف و فرض گردیده است که تامین کنندگان و کارخانه ها با اختلالات روبرو هستند. در مدل طراحی شده اختلالات با دو پارامتر تناوب خرابی و مدت زمان خرابی، وهمچنین یک پارامتر وزن که خروجی مدل دیمتل می باشد، تعریف شده اند که بر روی ظرفیت، کمبود موجودی، عملکرد حمل ونقل تامین کنندگان، میزان تقاضای روزانه کارخانه و هزینه ها تاثیر خواهند داشت.

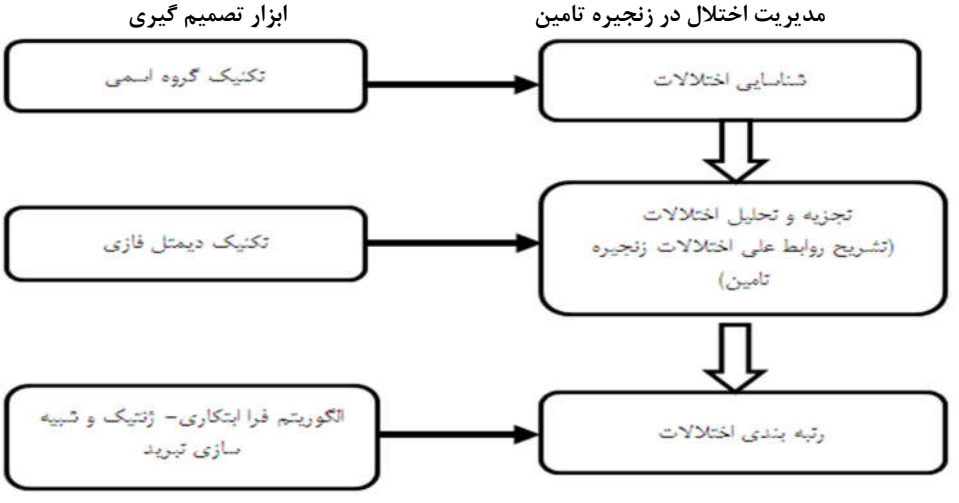
هدف اصلی پژوهش ارزیابی اختلالات و حداقل سازی هزینه ها و مقدار کمبود است. مولفه های هزینه شامل: هزینه خرید، هزینه سفارش، هزینه بستن قرارداد، هزینه نگهداری، هزینه حمل و نقل و هزینه کمبود می باشند. هزینه‌های سیستم چند منبعی نیز بصورت زیر تعریف می گردند:

به‌طورکلی هزینه‌های سیستم در سه دسته جای می‌گیرند.

۱- هزینه‌های انتخاب تأمین‌کنندگان و بستن قرارداد با آن‌ها

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

۳- هزینه‌های حمل‌ونقل بین کارخانه و تأمین کنندگان.



شکل۱. فلوچارت کلی مدل پیشنهادی

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 تأمین کنندگان

$_i$: 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

$p^T{}_{ik}$: هزینه ثابت حمل سفارش به کارخانه i از کارخانه k توسط هر کامیون

$r^T{}_{ik}$ هزینه متغیر حمل موجودی به کارخانه i از کارخانه k توسط هر کامیون

$d^T{}_{ik}$: فاصله بین کارخانه i و کارخانه k

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

λ_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 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

θ_j : نرخ فراوانی اختلال تامین کننده j

V_j : بازه اختلال تامین کننده j

w_j: وزن اختلال تامین کننده j

θ_i : نرخ فراوانی اختلال کارخانه i

V_i : بازه اختلال اختلال کارخانه i

w_i: وزن اختلال کارخانه i

θ_t: نرخ فراوانی اختلال خرابی یا تصادف کامیون

V_t: نرخ فراوانی اختلال خرابی یا تصادف کامیون

w_t: وزن اختلال خرابی یا تصادف کامیون

θ_{nd}: نرخ فراوانی اختلال بلایای طبیعی

V_{nd}: نرخ فراوانی اختلال بلایای طبیعی

w_{nd} وزن اختلال بلایای طبیعی

D_i : مقدار تقاضای کارخانه i

M: ظرفیت کامیون‌ها

CAP_i : ظرفیت هر انبار در کارخانه i

PW_{it} : موجودی انبار کارخانه i از 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 می شود.

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

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

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 می باشند.

با توجه به تعریف پارامترها، متغیرهای تصمیم و هزینه های سیستم، مدل حاصله مطابق رابطه ۱ فرموله گردیده است.

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

$$\min G\left(X,Y,Q,R\right) = \sum_{t\in T}\sum_{i\in I}\sum_{j\in J} c_j Q_{ij} Y_{ij} B_{ijt} + \sum_{j\in J} f_j X_j +$$

$$\sum_{t\in T}\sum_{i\in I}\left[\begin{array}{l}\displaystyle\sum_{j\in J, Q_{ij}\neq 0}\left\{\left(p_{ij} + r_{ij} d_{ij}\right) Y_{ij} B_{ijt}\left[\frac{Q_{ij}}{M}\right]\right\} + \\ \displaystyle\sum_{k\in I, Q^T_{ik}\neq 0}\left\{\left(p^T_{ik} + r^T_{ik} d^T_{ik}\right) Y^T_{ik} B^T_{ikt}\left[\frac{Q^T_{ik}}{M}\right]\right\}\end{array}\right] +$$

$$\sum_{t\in T}\sum_{i\in I}\left[\sum_{j\in J, Q_{ij}\neq 0} K_i Y_{ij} B_{ijt} + \sum_{k\in I, Q^T_{ik}\neq 0} K^T_i Y^T_{ik} B^T_{ikt}\right] +$$

$$\sum_{t\in T}\sum_{i\in I} h_i\left[PW_{i0} - \sum_{t\in T} D_{it} - \sum_{k\in I, k\neq i}\sum_{t\in t} Q^T_k B^T_{kit} Y^T_{ki} + \sum_{t\in T}\sum_{j\in J, Q_{ij}\neq 0} Q_i Y_{ij} B_{ijt} + \sum_{k\in I, k\neq i}\sum_{t\in t} Q^T_k B^T_{iKt} Y^T_{ik}\right] +$$

$$\sum_{i\in I} WC_i * \frac{\max\left(PW_{it}\right)}{W - cap_i} + \sum_{t\in T}\sum_{i\in I} s_i\left[MAX(0,\left(+D_{it} - PW_{it}\right)\right] \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

$$st:$$

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

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

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

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

$$Y^T_{ik} \le \left(D_i\right),\ \forall i,k\in I,\ i\neq k$$

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

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

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

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

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

متغیرهای تصمیم در این تحقیق شامل هفت نوع متغیر هستند. انتخاب تامین کنندگان یک بردار باینری با ابعاد $1\times M$ می‌باشد. تعیین اینکه در هر روز حمل کالا از تامین کننده به هر کارخانه انجام شود یا نه، یک مسئله انتخاب 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 مسئله انتخاب 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 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 بصورت تصادفی تعریف شده اند.

همچنین اختلال در کل سیستم بصورت 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 معیاری به عنوان وزن اختلال که توسط تکنیک دیمتل محاسبه می‌گردد، تعریف شده اند. در این مساله تقاضای کارخانه ها بصورت غیر قطعی و تصادفی با توزیع پواسون (λ) و بصورت روزانه تعریف شده است

در این مقاله یک روش ترکیبی دیمتل فازی و ژنتیک -تبرید[1] مبتنی بر جستجوی متاهیوریستیک ارائه شده 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. در این مقاله از یک روش ترکیبی مبتنی بر دیمتل فازی، الگوریتم ژنتیک[2] و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید[3] برای حل مسئله SC استفاده شده است. روش دیمتل فازی به بررسی روابط بین معیارها و زیرمعیارها می پردازد و توسط ماتریس ارتباط کل معیارهای تاثیرگذار و تاثیرپذیر (یا به عبارتی دیگر معیارهای علی و معلول) را مشخص می سازد. این روش از روشهای تصمیم گیری چند شاخصه می باشد. همان طور که از نام این روش پیداست تمامی محاسبات در محیط فازی صورت می گیرد. الگوریتم ژنتیک متداولترین الگوریتم تکاملی مبتنی بر جمعیت است. این الگوریتم علاوه بر استراتژی جستجوی سراسری[4] 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[5] بسیار قوی است. به‌طور کلی برای حل هر مسئله 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[6] سروکار دارد. در چنین حالتی به منظور افزایش سرعت و دقت، بهتر است که جستجوی محلی پیرامون جواب(های) نزدیک به بهینه انجام شود. بنابراین به منظور 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، به منظور صرفه‌جویی در

[1] Genetic Algorithm Simulated Annealing (GASA)

[2] Genetic Algorithm (GA)
[3] Simulated Annealing (SA)
[4] Global Search
[5] Local Search
[6] near optimal

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 که قابلیت جستجوی محلی بالایی دارد قرار می‌گیرد. در روش 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 بعنوان جواب اولیه الگوریتم شبیه‌سازی تبرید قرار می‌گیرد. سپس الگوریتم تبریدبرای جستجوی محلی و بهبود محلی در همسایگی جواب الگوریتم ژنتیک اجرا می‌گردد.

۳-۱ تکنیک دیمتل فازی

در بخش اول برای تعیین ارتباط بین اختلالات و میزان تاثیر آنها بر روی یکدیگر از مدل دیمتل فازی استفاده شده است. روش دیمتل فازی یک روش گسترده برای تحلیل یک ساختار براساس روابط علی بین مولفه های مهم است. دیمتل از انواع روش های تصمیم گیری بر پایه مقایسات زوجی می‌باشد، با بهره‌مندی از قضاوت خبرگان در استخراج عوامل یک سیستم و ساختاردهی سیستماتیک به آنها توسط به کارگیری اصول تئوری گراف، ساختار سلسله مراتبی از عوامل موجود در سیستم همراه با روابط تاثیرگذاری و تاثیرپذیری متقابل عناصر مذکور به دست می دهد به گونه ای که شدت اثر روابط مذکور و اهمیت آنها را بصورت امتیاز عددی معین می‌کند.

مراحل روش دیمتل فازی:

مرحله اول: با توجه به جدول ۱ می‌توان از اعداد فازی مثلثی برای قضاوت استفاده کرد [۳۳].

مرحله دوم: ماتریس فازی اولیه روابط مستقیم بصورت زیر تکمیل می گردد که در آن $\tilde{z}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ مقادیر فازی مثلثی می باشند.

رابطه(۲)
$$\tilde{Z} = \begin{bmatrix} 0 & \tilde{z}_{12} & \tilde{z}_{1n} \\ \tilde{z}_{21} & 0 & \tilde{z}_{2n} \\ \tilde{z}_{n1} & \tilde{z}_{n2} & 0 \end{bmatrix}$$

مرحله سوم: از طریق نرمال کردن مقادیر ماتریس فازی اولیه، ماتریس فازی نرمال شده را بصورت زیر خواهد بود.

رابطه(۳)
$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} 0 & \tilde{x}_{12} & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & 0 & \tilde{x}_{2n} \\ \tilde{x}_{n1} & \tilde{x}_{n2} & 0 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{\tilde{z}_{ij}}{\tilde{R}} = \left(\frac{\tilde{z}_{ij,l}}{r_l}, \frac{\tilde{z}_{ij,m}}{r_m}, \frac{\tilde{z}_{ij,u}}{r_u} \right)$$

$$r_s = \max_{1 \le i \le n} \left(\sum_{j=1}^{n} \tilde{z}_{ij,s} \right), (s = l, m, u)$$

مرحله چهارم: در این مرحله ماتریس نهایی روابط را از رابطه ۴ بدست می آید که درآن $\tilde{t}_{ij}$ نرخ تاثیر تصمیم گیرنده برای هر معیار i در مقابل هر معیار J خواهد بود.

رابطه(۴)
$$\tilde{T} = \lim_{n \to \infty} (\tilde{X} + \tilde{X}^2 + \quad + \tilde{X}^w) = \tilde{X}(1 \quad \tilde{X})^{-1}$$

$$\tilde{T} = \begin{bmatrix} \tilde{t}_{11} & \tilde{t}_{12} & \tilde{t}_{1n} \\ \tilde{t}_{21} & \tilde{t}_{12} & \tilde{t}_{2n} \\ \tilde{t}_{n1} & \tilde{t}_{n2} & \tilde{t}_{nn} \end{bmatrix}$$

مرحله پنجم: در ادامه می توان از طریق محاسبه جمع سطری و ستونی ماتریس t_l , t_m, t_u مقادیر $\widetilde{D}_i$ و $\widetilde{R}_i$ را بدست آورد.

رابطه(۵)
$$\tilde{D}_i = \sum_{i=1}^{n} \tilde{t}_{ij} \text{ and } \tilde{R}_i = \sum_{j=1}^{n} \tilde{t}_{ij}$$

مرحله ششم: در پایان مقادیر $\tilde{R}_i$ و $\tilde{D}_i$ را بااستفاده از روش مناسب دیفازی می گردیده سپس دو مقدار $\tilde{D}_i^{def}$ $\tilde{R}_i^{def}$ و $\tilde{D}_i^{def} + \tilde{R}_i^{def}$ که نشان دهنده میزان تاثیرگذاری و تاثیر پذیری متغیرها خواهند بود را محاسبه می‌شوند.

مرحله هفتم: برای محاسبه ارزش اختلال در مدل

ریاضی، نیاز به وزن اختلال‌ها (نرخ تاثیر گذاری) داریم که با استفاده از رابطه ۶ این مقدار را محاسبه می‌گردد.

$$w_i = \{(\widetilde{D}_i^{\,def} + \widetilde{R}_i^{\,def})^2 + (\widetilde{D}_i^{\,def} \widetilde{R}_i^{\,def})^2\}^{1/2}$$ رابطه(۶)

در ادامه با استفاده از رابطه ۷ مقادیر وزن را نرمال می شود.

$$\mathrm{w_i} = \frac{\mathrm{w_i}}{\sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{n}} \mathrm{w_i}}$$ رابطه(۷)

در الگوریتم ژنتیک فرآیند جستجو با تولید یک جمعیت اولیه تصادفی از کروموزوم‌ها آغاز می‌گردد.

جدول ۱: طیف مورد استفاده در تکنیک دیمتل

۳-۲ فاز الگوریتم ژنتیک

یک کروموزوم کدگذاری می‌شود. برای تولید یک کروموزوم اولیه در روش پیشنهادی،ساختار مقداری هر یک از متغیرها به‌صورت تصادفی در محدوده مجاز انتخاب می‌شوند. 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 بروز 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. بروز 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.

جدول۱: طیف مورد استفاده در تکنیک دیمتل

مقدار فازی	عبارت کلامی
(0, 0.1, 0.3)	بدون تاثیر
(0.1, 0.3, 0.5)	تاثیر خیلی کم
(0.3,0.5, 0.7)	تاثیرکم
(0.5, 0.7, 0.9)	تاثیر زیاد
(0.7, 0.9, 1)	تاثیر خیلی زیاد

[1] Recombination
[2] Crossover
[3] Mutation
[4] Offspring
[5] Uniform

• 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[1](معاوضه، تغییر) ودو روش جهش مقداری[2] (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[3] 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[4] 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[5] دو ژن به‌صورت تصادفی در ساختار انتخاب شده و جای صفر و یک عوض می شود. همچنین در

روش جهش تغییر مقداری[6] دو ژن به‌صورت تصادفی در ساختار مقداری انتخاب شده و مقدار آن ها با هم جا بجا می‌شود.

۳-۳- فاز الگوریتم تبرید

پس از اجرای الگوریتم ژنتیک، جواب نهایی آن بعنوان 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[7] 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 می‌گیرنددر این مقاله از دو فرآیند جستجوی محلی معاوضه باینری و تغیر 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 جزء ساختارهای باینری باشد، به‌صورت تصادفی یکی از عملگرهای معاوضه باینری یا تغیر 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 مسئله، گاهی تغییر در یک ژن یک ساختار ممکن است منجر به بهبود نتایج نشود، و جابجایی 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

[1] Binary Swap Mutation & Binary Exchange Mutation
[2] Value Swap Mutation & Value Exchange Mutation
[3] Binary Swap Mutation
[4] Value Swap Mutation
[5] Binary Exchange Mutation
[6] Value Exchange Mutation
[7] Acceptance Rule Checking

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 رابطه۸ ، به‌صورت خطی از دمای اولیه $T_{initial}$ (در تکرار اول) تا دمای نهایی T_{final} (در تکرار آخر) در طول اجرای الگوریتم کاهش می‌یابد:

$$T = T_{initial} + \frac{t}{I_{SA}} \times (T_{final} \quad T_{initial}) \quad \text{(رابطه ۸)}$$

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

۴. مثال عددی

از آنجا که اعتبار و استحکام هر پژوهش، به کاربردی کردن آن می‌باشد، در ابتدای تحقیق ضروری بود که مجموعه اختلال هایی که در این تحقیق مطرح هستند شناسایی شوند. به دلیل تکامل نسبی صنعت خودرو در موضوع مورد بحث نسبت به سایر صنایع و امکان دسترسی به اعضای آن، زنجیره تامین صنعت خودرو به عنوان بستر مناسب این تحقیق انتخاب گردید. در این تحقیق در ابتدا از طریق مطالعه سوابق موجود و مصاحبه های متعدد با افراد متخصص و برگزاری جلسات طوفان فکری در زنجیره تامین مورد بررسی چهار اختلال شناسایی شد. آن چیزی که به عنوان اختلالات در این تحقیق در نظر گرفته شده است عبارتند از:

C1: اختلال تامین کننده

C2: اختلال اضافه تقاضا (تقاضای روزانه ممکن است به دلیل اختلالات بوجود آمده ،در یک روز خاص دچار افزایش لحظه ای تقاضا گردد)

C3: اختلال حمل و نقل (خرابی و تصادف کامیون)

C4: اختلال فاجعه بلایای طبیعی.

این رخدادها از یکدیگر مستقل نیستند و یک رخداد می تواند عاملی برای رخداد دیگری باشد و این اختلالات دارای ارتباط متقابلی با یکدیگر می باشند. برای مثال، در مواقعی ممکن است سازمان و تامین کنندگان شرکت خودرو سازی از تامین قطعات تحت قرارداد خود سر باز زنند و یا قراردادها را تمدید نکنند، وجود چنین مشکلاتی باعث عدم دریافت به موقع قطعات و محصولات توسط شرکت اصلی می-گردد و میزان عرضه محصولات کاهش خواهد یافت. که این مساله بلافاصله بر بازار تاثیر منفی می‌گذارد و قیمت ها را بی دلیل بالا می‌برد، و تقاضا در بازار بطور لحظه ای یا دوره ای افزایش می‌یابد. مساله دیگری که بارها در خلال مصاحبه به آن پرداخته شد تغییر ناگهانی برنامه تولید و یا عدم اطمینان به سیستم لجستیک و احتمال بروز اختلال‌های حمل و نقل بود که این اختلال می تواند مستقیماً بر روی عرضه و تقاضای محصول اثر بگذارد. لذا در این تحقیق با استفاده از تکنیک دیمتل فازی تاثیر ارتباط متقابل بین این اختلالات مورد بررسی قرار گرفت که خروجی مدل دیمتل در جدول ۲ تا ۸ ارائه گردیده است. دیاگرام علی بین اختلالات و نقشه روابط شبکه به ترتیب در شکل ۲و۳ ارائه شده است. کلیه مقادیر بدست آمده D+R و D-R اعداد فازی هستند که برای بدست آوردن نمودار علی باید دفازی گردند لذا برای دیفازی کردن از روشی به نام مرکز ناحیه استفاده گردیده است.

جدول ۲: میانگین نظرات خبرگان

میانگین نظرات	C1			C2			C3			C4			
	L	M	U	l	M	U	L	M	u	l	M	u	Uj
C1	0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.56	0.76	0.93	0.23	0.43	0.63	3.26
C2	0.56	0.76	0.93	0	0.1	0.3	0.7	0.9	1	0.3	0.5	0.7	3.43
C3	0.56	0.76	0.93	0.63	0.82	0.96	0	0.1	0.3	0.23	0.36	0.56	3.25
C4	0.63	0.82	0.96	0.63	0.82	0.96	0.63	0.82	0.96	0	0.1	0.3	3.81

جدول ۳: ماتریس نرمالیزه شده

ماتریس نرمالیزه شده	C1			C2			C3			C4		
	L	M	U	L	M	U	L	m	U	L	M	U
C1	0	0.03	0.08	0.13	0.18	0.24	0.15	0.2	0.24	0.06	0.11	0.17
C2	0.15	0.2	0.24	0	0.03	0.08	0.18	0.24	0.26	0.03	0.13	0.18
C3	0.15	0.2	0.24	0.17	0.22	0.25	0	0.03	0.08	0.06	0.09	0.15
C4	0.17	0.22	0.25	0.17	0.22	0.25	0.17	0.22	0.25	0	0.03	0.08

جدول۴: ماتریس روابط کل

ماتریس روابط کل	C1	C2	C3	C4
C	(0.08,0.34,1.99)	(0.19,0.46,2.07)	(0.22,0.5,2.16)	(0.08,0.29,1.55)
C2	(0.08,0.52,2.17)	(0.2,0.35,1.97)	(0.24,0.56,2.22)	(0.06,0.33,1.6)
C3	(0.22,0.49,2.12)	(0.23,0.49,2.07)	(0.1,0.35,2.1)	(0.09,0.28.1.53)
C4	(0.27,0.58,2.43)	(0.27,0.57,2.36)	(0.28,0.6,2.46)	(0.05,0.27,1.69)

جدول۵: دیفازی، ماتریس روابط کل

دیفازی ، ماتریس روابط کل	C1	C2	C3	C4
C1	0.68	0.79	0.84	0.55
C2	0.82	0.72	0.89	0.58
C3	0.83	0.82	0.72	0.54
C4	0.96	0.94	0.98	0.57

شدت آستانه0.628 =

جدول۶: تعیین نحوه تاثیرگذاری

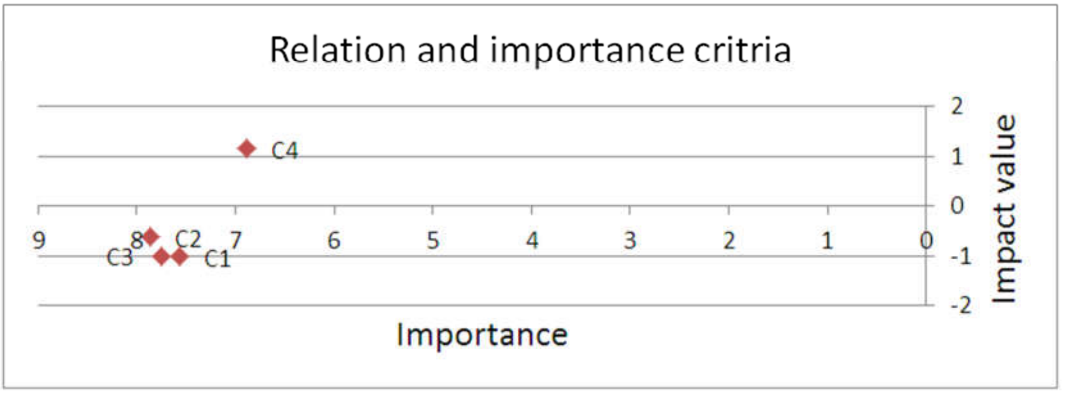
تاثیرگذاری	C1	C2	C3	C4
C1	0	0.79	0.84	0
C2	0.82	0.72	0.89	0
C3	0.83	0.82	0.72	0
C4	0.96	0.94	0.98	0

جدول۷: ماتریس نتایج فازی

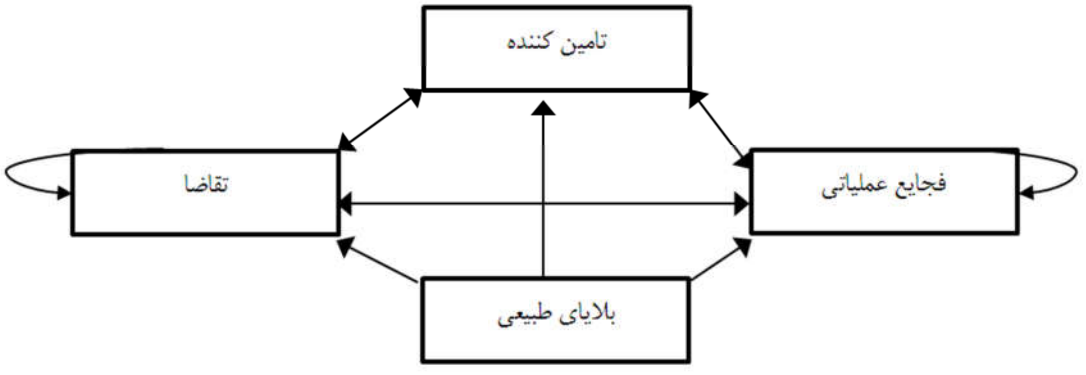
	D+R	D-R
C1	(1.53,4.29,20.14)	(-0.29,-0.67,-2.52)
C2	(2.43,4.34,20.37)	(-0.45,-0.36,-1.4)
C3	(1.81,4.39,20.43)	(-0.37,-0.73,-2.19)
C4	(1.36,3.82,18.55)	(0.56,0.8,2.37)

جدول۸: ماتریس نتایج دیفازی

	D+R	D-R	w_i	W_I(وزن نرمالیز شده)
C1	7.56	-1.03	7.629843	0.25
C2	7.87	-0.64	7.89598	0.26
C3	7.75	-1.005	7.814891	0.26
C4	6.88	1.13	6.97218	0.23



شکل ۲. روابط علی بین اختلالات



شکل ۳. نقشه روابط شبکه(Network Relationship Map(NRP

در شکل شماره ۲ (نمودار علی)، محور X ها شامل $(D+R)^{def}$ است که مقدار آن همیشه مثبت بوده و وزن یا اهمیت آن عامل در سیستم را نشان می‌دهد و محور Y ها شامل $(D \quad R)^{def}$ می‌باشد که اگر مثبت باشد عامل تاثیرگذار قطعی بوده و در غیر اینصورت تاثیر پذیر قطعی است که از آن با نام نسبت اثرگذاری در سیستم یاد می شود. نمودار علی این مساله نشان می‌دهد که اختلال چهارم به عنوان عامل تاثیر گذار قطعی می باشد و اختلال های اول و دوم و سوم تاثیرپذیر می باشند. همچنین با محاسبه شدت آشتانه در جدول شماره ۵ و ۶ و شکل شماره ۳ روابط درونی بین اختلال‌ها و نحوه تاثیرگذاری و تاثیر پذیری هر یک از اختلال ها مشخص گردیده است، به گونه‌ای که مقادیر بالاتر از شدت آستانه نشان دهنده تاثیر گذاری عوامل بر روی یکدگیر و یا تاثیرگذاری عوامل بر روی خودشان را می باشد. بطور مثال عدد ۰/۷۹ در جدول شماره ۶ به دلیل مقدار عددی بالاتر از شدت آستانه بودن نشان دهنده تاثیر گذاری C1 بر C2 می‌باشد.

در ادامه با توجه به مدل ارائه 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 شماره ۹ تعریف شده و مدل مورد نظر با استفاده از الگوریتم های فراابتکاری حل شده است.

جدول ۹. 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 : rand [1,2]*w s_i : rand [30,50] K_i : rand [10000,20000] $_i$: (0.05-0.1) p_{ij} : rand [100,200] r_{ij} : (5-10) $p^T{}_{ij}$: rand [50,100] $r^T{}_{ij}$:(1-2) λ_i: rand [50, 100] K_i^T : rand [1000,2000] Q_j^{min}: round(D/50) q_i^{min}:(0.6-0.8) W_j:(365*(7-weekend)/7)*pc WC_i: 5000 CAP_i:10000	q_j:(0.7- 0.9) θ_j : rand [0,5](num/ year) V_j:(1-5) day w_j:0.25 θ_i : rand [0,3](num/ year) V_i:(1-5) day w_i:0.26 θ_t : rand [0,2](num/ year) V_t:(1-21) day w_t :0.26 θ_{nd} : rand [0,1](num/ year) V_{nd} :(1-5) day w_{nd}:0.23 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 اختلال ها

در این بخش برای بررسی اختلالات سه پارامتر: (۱) فرکانس اختلال θ ، (تعداد اختلالات در سال)، یا به عبارتی تعداد اختلالاتی در سال، که می تواند منجر به توقف خطوط تولید گردد)، (۲) بازه اختلال V (مدت زمانی است اختلال طول می کشد) و (۳) وزن یا میزان تاثیر گذاری هر اختلال w (با استفاده از تکنیک دیمتل و روابط بین اختلالات) در نظر گرفته شده است.

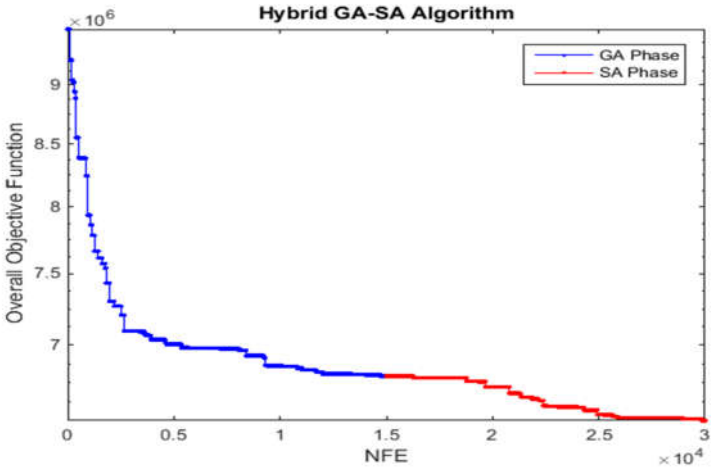
به این صورت که ابتدا مساله در حالتی که ۴ اختلال بطور همزمان بر روی زنجیره اثر می گذارند حل شده که نتایج آن در جدول شماره۱۰ آمده است، همچنین خروجی نرم افراز و نمودار گرافیکی مساله در حالت پایه در جدول شماره ۱۱ و نمودار شماره ۱ نمایش داده شده اند، در ادامه به بررسی تاثیر هریک از اختلالات بر روی مدل پرداخته شده است که نتایج در جدول شماره ۱۲ ارائه شده است.

جدول ۱۰. حالت پایه با در نظر گرفتن ۴ اختلال بطور همزمان

پایه	انواع اختلال / پارامتر	تامین	تقاضا	تصادف کامیون	بلایای طبیعی
	θ	Rand[0,5]	Rand[0,3]	Rand[0,2]	Rand[0,1]
	V	5	5	14	60
	W	0.25	0.26	0.26	0.23
	مقدار تابع هدف	6.5089e+06			

جدول ۱۱. خروجی نرم افزار در حالت پایه

```
=SOLUTIONSolution =
X: [0 1 0 1 0 0 1 0 1 0]
Y: [10x10 double]
YT: [1x1 double]
R: [2229 320 396 546 1680 970 472 1070 783 740]
Q: [979 2731 2052 1883 3275 3415 1474 3013 2868 1977]
RTind: [0.3000]
QTind: [0.4000]
Cost: 6.5089e+06
```



نمودار۱. خروجی گرافیکی نرم افزار در حالت پایه

جدول ۱۲. مقایسه چهار شکل اختلال

انواع اختلال / پارامتر	تامین	تقاضا	تصادف کامیون	بلایای طبیعی
θ	Rand[0,5]	Rand[0,3]	Rand[0,2]	Rand[0,1]
V	5	5	14	60
W	0.25	0.26	0.26	0.23
مقدار تابع هدف	5.4365e+06	7.2952e+05	3.8571e+06	6.3473e+06

با توجه به جداول بالا و مقایسه هزینه‌ها با حالت پایه دیده شد که در حالت پایه با بیشترین مقدار تابع هدف روبرو هستیم به عبارت دیگر زمانی که تاثیر چهار اختلال را بطور همزمان بر روی زنجیره تامین بررسی می‌نماییم به دلیل تاثیرات متقابلی که اختلالات بر روی یکدیگر می‌گذارند مقدار هزینه تحمیلی به زنجیره بیشتر از مواقعی خواهد بود که رفتار هر اختلال را به تنهایی بر روی زنجیره بررسی می‌نماییم. جدول شماره ۱۲ نشان دهنده میزان هزینه ناشی از تاثیرگذاری هر یک از اختلالات براساس میزان تناوب و فرکانس رخداد اختلال و شدت اثر آنها بر روی زنجیره تامین است. در مقایسه بین اختلال ها با توجه به مقادیر تابع هدف، می‌توان دید که اختلال مربوط به بلایای طبیعی اگرچه دارای کمترین مقدار تناوب و رخداد اختلال در سال می باشد اما منجر به بیشترین مقدار خسارت به زنجیره تامین می‌گردد و اختلال مربوط به اضافه تقاضا دارای کمترین اثر بر روی زنجیره تامین می‌باشد، به عبارتی اختلال چهارم بیشترین مقدار تاثیرگذاری را بر روی زنجیره تامین دارد.

در ادامه، با توجه به اینکه در تحقیقات موجود، استفاده از یک تامین کننده از عواملی است که سبب تشدید اختلال در زنجیره می گردد بنابراین یکی از دغدغه های ما در این راستا تعیین تعداد مناسب تامین کنندگان می باشد. که نتایج حاصل از بررسی و تعیین تعداد تامین کنندگان با توجه به انواع اختلالات موجود در جدول شماره۱۳ آمده است.با توجه به خروجی جدول فوق و مقدار هزینه حاصله از افزایش تامین کنندگان می توان به این نتیجه رسید که تعداد مناسب تامین کننده عدد ثابتی نمی باشد و با توجه به نوع اختلال ان چیزی که به عنوان تعداد مناسب تامین کننده تعریف می گردد متفاوت می‌باشد در این تحقیق برای اختلال تامین وجود ۱۰ تامین کننده و برای اختلال های تقاضا، حمل و نقل و بلایای طبیعی وجود ۵ تامین کننده مناسب شناسایی شده است.

جدول۱۳. تعداد مناسب تامین کننده

انواع اختلال / تعداد تامین کننده	تامین	تقاضا	حمل و نقل	بلایای طبیعی
۵	3.7555e+06	6.0943e+05	3.5563e+06	5.1753e+06
۱۰	3.6385e+06	6.4947e+06	6.6029e+06	6.4111e+06
۲۰	6.6029e+06	6.8433e+06	1.3808e+07	1.6157e+07

۵. نتیجه‌گیری

زنجیره های تامین بطور فزاینده ای نسبت به اختلالات حساس هستند. و بررسی سیاست‌های ارزیابی و کنترل اختلال برای شرکت‌ها امری ضروری است. فقدان یا مدیریت ناقص ریسک در زنجیره تامین 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 به‌موقع به ریسک‌ها را فراهم می‌کند. در این تحقیق با ارائه یک مدل تصمیم گیری و با معرفی مجموعه‌ای از پارامترهای ریسک به ارزیابی اختلال پرداخته شده است. با توجه به مدل پیشنهادی ، پس از شناسایی اختلالات مورد بررسی به ارزیابی کیفی اقدام شد و روابط بین اختلالات و اثرات آنها روی عملکرد توسط مدل دیمتل فازی تعیین گردید. جهت بهینه سازی مسئله با هدف توامان کاهش هزینه و مقدار کمبود ، یک مدل ریاضی طراحی شده و با الگوریتم فراابتکاری حل شده است.

در این مقاله به منظور تعیین چگونگی تاثیر بروز اختلال های مختلف بر یکدیگر و بر زنجیره تامین به بررسی تاثیر چهار اختلال، اختلال تامین کننده ؛ اختلال اضافه تقاضا، اختلال فاجعه عملیاتی – تصادف کامیون، اختلال فاجعه بلایای طبیعی با استفاده از تکنیک دیمتل فازی پرداخته شده است و خروجی مدل دیمتل در به عنوان پارامتر وزن برای اختلالات در نظر گرفته شده است. و سپس مدل با الگوریتم ترکیبی ژنتیک و جستجوی محلی حل گردیده است. با توجه به نتایج دیده شد که اختلال مربوط به بلایای طبیعی اگرچه دارای کمترین مقدار تناوب اختلال در سال می باشد اما منجر به بیشترین مقدار خسارت به زنجیره تامین می گردد و اختلال مربوط به اضافه تقاضا دارای کمترین اثر بر روی زنجیره تامین می باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، اثراتی که هر یک از این اختلالات بر زنجیره می گذارند متفاوت می باشد و توجه به اختلال ها و ارزیابی آنها بایستی از اولویت-های کار در بحث مدیریت ریسک باشد.

فهرست 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، شماره۱،ص ۸۵-۱۰۳.

[۵] مقدس، ز.، واعظ قاسمی، م.، رحمانی پرچکلایی، ب.، (۱۳۹۶)، انتخاب بهترین تامین کننده با ورودی و خروجی های انعطاف پذیر در مدیریت زنجیره تامین با تحلیل پوششی داده ها، پژوهش های نوین در ریاضی، سال ۳، شماره ۱۱.

[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، سال چهاردهم، شماره۱،ص 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، سال سیزدهم، شماره۴، ص 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، سال چهارهم، شماره۳،ص ۱۵-۳۴.

[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)، ارائه مدلی برای ارزیابی ریسک های زنجیره تامین با استفاده از تکنیک های تصمیم گیری چند شاخصه. فصلنامه علمی – پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی، سال دوازدهم، شماره ۳۴.

[۱۸] جان نثاری، م.، کرباسیان، م.، یوسفی، ا.، (۱۳۹۳)، شناسایی و اولویت بندی اختلالات زنجیره تامین با استفاده از روش ترکیبی PROMETHEE و ANP فازی. دومین همایش ملی مهندسی صنایع و مدیریت پایدار.

[۱۹] 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، سال سیزدهم، شماره ۷۳.

[۲۰] بهارستانی، پ.، رضایی نیک، ا.، (۱۳۹۶)، ارائه مدلی برای ارزیابی و رتبه بندی پاسخ های ریسک زنجیره تامین با استفاده از روش ترکیبی DEMATEL-ANP در محیط فازی. اولین کنفراس بین المللی بهینه سازی سیستم ها و مدیریت کسب و کار.

[1] Marchese, K, Paramasivam, S, (2013). The Ripple Effects How Manufacturing and Retail Executives View the Growing Challenge of Supply Chain Risk Retrieved.

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

and order allocation under disruption risk. Transportation Research Part E, 95, 124-142.

[22] 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.

[23] 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.

[24] 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. Int. J. Production Economics, 141, 425-433.

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

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

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

[28] 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

[29] Meena, P.L., Sarmah, S.P., & Sarkar, A., (2011). Sourcing decisions under risks of catastrophic event disruptions.

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

[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

[21] PrasannaVenkatesan, S., Goh, M., (2016). Multi-objective supplier selection

Transportation Research Part E, 47, 1058-1074.

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

[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.

[33] Faeezi-Rad, M.A., Khatami, M.A., (2014). Positioning business in uncertain condition by weighing a competitive profile matrix using the fuzzy DEMATEL. Management Science Letters, 4, 1425-1432.