روش تصمیم گیری مبتنی بر تحلیل روابط خاکستری و مدل تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی ریسک در فرآیندهای لجستیکی

ساموئل یوسفی[1] ، سید هادی حسینی[2]

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۲۷ تاریخ پذیرش:۹۶/۰۳/۲۹

چکیده

انحراف در اجرای فرآیندهای لجستیکی سازمان می‌تواند منجر به ضعف عملکردی و از دست دادن سهم بازار گردد. به همین دلیل در گام اول تحقیق سعی می‌شود روش تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن در فرآیند، در یک سازمان تولیدی فعال در صنعت قطعات خودرویی اجرا گردیده و ریسک‌های بالقوه لجستیکی شناسایی گردند. از آنجایی که این ریسک‌ها در آینده رخ داده و بر پایه پیش‌بینی‌های تیم خبرگان بررسی می‌شوند؛ سه معیار شدت، احتمال وقوع و تشخیص ریسک در شرایط عدم اطمینان در نظر گرفته شده و امتیازدهی به آن‌ها به صورت بازه‌ای انجام می‌شود تا در برابر اظهار نظر افراد مختلف استوارتر باشند. در همین راستا، اولویت‌بندی ریسک‌های لجستیکی با استفاده از امتیاز حاصل از روش تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای بدون خروجی مبتنی بر سه معیار تعیین کننده عدد اولویت ریسک که نقش ورودی‌های روش مذکور را دارند، انجام می‌گیرد. سپس، با استفاده از امتیاز حاصل از روش تحلیل روابط خاکستری مبتنی بر معیارهای بازه‌ای فوق الذکر، فرآیندهای لجستیکی بر حسب میزان بحرانی بودنشان رتبه بندی شده و در نهایت، اقداماتی جهت کاهش اثرگذاری ریسک‌های بالقوه در فرآیندهای بحرانی ارائه می‌شود.

واژگان کلیدی: مدیریت ریسک، ارزیابی فرآیندهای لجستیکی، روش تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن در فرآیند، تحلیل پوششی داده‌ها، تحلیل روابط خاکستری.

طبقه‌بندی JEL: R41, D81, C61.

---

۱. کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه (نویسنده مسئول). Email: s.yousefi@ine.uut.ac.ir

۲. استاد دانشگاه جامع علمی و کاربردی استان آذربایجان غربی. Email: s.h.hoseini@gmail.com

۱. مقدمه

در دنیای رقابتی امروزی، لجستیک و مدیریت آن در زنجیره تأمین وظیفه‌دار طراحی، نحوه اجرا، کنترل و افزایش بهره وری تمامی فرآیندهای مرتبط با ذخیره‌سازی کالا و جریان‌های مؤثر آن و همچنین ارائه سرویس‌ها و یا اطلاعات مرتبط از محل تولید تا نقطه مصرف است به صورتی که نیازهای مشتریان را بر آورده سازد. علاوه بر این، به دلیل اهمیت طراحی و تولید از یک سو و چگونگی تأمین مواد و توزیع تولیدات مطابق با نیاز بازار از سوی دیگر، اجرای کارآمد فرآیند لجستیک در سازمان‌های تولیدی را به امری ضروری تبدیل نموده است. نکته حائز اهمیت این است که به منظور اجرای مؤثر و یکپارچه فرآیندهای لجستیکی بایستی ریسک‌های موجود در مسیر اجرای آن شناسایی گردیده و کنترل گردند. دلیل این امر، بهینه‌سازی و بهبود فرآیند لجستیک است؛ زیرا از دیدگاه جامع نگر لجستیک، بررسی تنها یک فرآیند فرعی نمی‌تواند منجر به راه حل بهینه برای سازمان گردد. از سوی دیگر، صنعت خودروسازی و صنایع وابسته آن با ارتقا توان تولید و ساخت داخل در سایه اجرای فرآیند لجستیک، موفق به قرارگیری در فهرست صادرکنندگان مطرح غیرنفتی کشور شده‌اند که این موضوع نشان دهنده اهمیت بهبود فرآیند لجستیک و شناسایی ریسک‌های لجستیکی در این صنایع تولیدی است. علاوه بر شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌ها، مدیران سازمان‌ها نیازمند روشی برای تصمیم گیری واقع گرایانه در خصوص فرآیندهای لجستیکی هستند تا با توجه به محدودیت منابع، تصمیمات بهینه در زمینه بهبود فرآیندهای بحرانی را اتخاذ نمایند. بنابراین در این تحقیق سعی شده است تا اهداف مذکور با ارئه یک روش تصمیم گیری سه مرحله‌ای تحقق یابد.

بدین ترتیب، در مرحله اول این تحقیق و با توجه به عدم بررسی یکپارچه فرآیند لجستیکی، شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های موجود در اجرای این فرآیند در سازمان تولیدی فعال در صنعت تولید قطعات خودرویی با استفاده از روش تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن در فرآیند[1] انجام می‌گیرد. این روش به طور عمده بر آثار و حالات بالقوه ریسک‌های هر مرحله از

1. Process Failure Mode and Effects Analysis (PFMEA)

فرآیند تمرکز دارد. به نحوی که در آنالیز کمی، سه معیار شدت، احتمال وقوع و همچنین احتمال تشخیص ریسک توسط این روش در نظر گرفته می‌شود. حاصلضرب این سه معیار کمیتی به نام عدد اولویت ریسک[1] را به وجود می‌آورد که در تحلیل‌های بعدی می‌تواند مفید باشد و تصمیم گیری بر این اساس صورت پذیرد. اما با توجه به وجود نظرات مختلف تیم خبرگان در امتیازدهی به سه معیار مذکور، بررسی این معیارها در شرایط عدم اطمینان جهت اولویت بندی ریسک‌ها از موارد حائز اهمیت به ویژه در فرآیندهای لجستیکی صنعت خودروسازی می‌باشد. بنابراین، با توجه به اینکه در ایجاد مدارکی همچون طرح کنترل و انواع روش‌های تجزیه و تحلیل حالات خطا نیاز به تیم‌های چند تخصصی و کارشناسان فنی مختلفی می‌باشد، لازم است تا امتیازدهی به ریسک‌های فرآیندی به صورت بازه‌ای در نظر گرفته شود تا به حالت واقعی نزدیکتر بوده و در برابر اظهار نظر افراد مختلف استوارتر باشند. بنابراین در مرحله دوم این تحقیق، پس از شناسایی ریسک‌های موجود، از روش تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای جهت اولویت‌بندی ریسک‌های موجود در فرآیند لجستیک استفاده می‌گردد. از مزایای این روش نسبت به شاخص سنتی عدد اولویت ریسک این است که اولویت بندی ریسک‌ها را بر اساس داده‌های بازه‌ای تخصیص داده شده به سه معیار شدت، احتمال وقوع و تشخیص به ازای هر ریسک انجام داده و امتیاز بازه‌ای هر ریسک به صورت بهترین و بدترین حالت در نظر گرفته می‌شود.

در نهایت در مرحله سوم این تحقیق، از روش تحلیل روابط خاکستری مبتنی بر معیارهای بازه‌ای تعیین کننده عدد اولویت ریسک، برای رتبه‌بندی فرآیندهای لجستیکی بر حسب میزان بحرانی بودنشان استفاده می‌گردد. به نحوی که میانگین وزنی معیارهای بازه‌ای مقداردهی شده برای ریسک‌های موجود در هر فرآیند، به عنوان شاخص‌های روش تحلیل روابط خاکستری جهت بررسی فرآیندها در نظر گرفته می‌شوند. از مزایای این روش این است که روش تحلیل روابط خاکستری با توجه به اینکه در میان روش‌های تصمیم گیری چند معیاره، عدم قطعیت بیشتری را به دلیل بازه‌ای در نظر گرفتن اعداد پوشش می‌دهد،

1. .Risk Priority Number (RPN)

جهت ارزیابی بحرانی بودن فرآیندهای لجستیکی استفاده می‌شود. ساختار پژوهش حاضر بدین صورت است که در بخش دوم، پیشینه تحقیق مورد بررسی قرار خواهد گرفت. سپس در بخش سوم، مدل تحقیق و توضیحات تکمیلی در خصوص معرفی روش تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن در فرآیند، روش تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای و تحلیل روابط خاکستری شرح داده می‌شود. در بخش چهارم، مطالعه موردی معرفی شده و در ادامه‌ی آن، تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش تصمیم‌گیری ترکیبی ارائه می‌گردد. در نهایت در بخش پنجم، نتیجه گیری و پیشنهاداتی برای توسعه تحقیق ارائه می‌شود.

۲. پیشینه تحقیق

روش تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن، روش نظام یافته‌ای است که در وهله اول، نواقص و خطاهایی که در سیستم، فرآیند، محصول و خدمت به صورت نهفته و آشکار وجود دارند را شناسایی کرده و ثانیاً با اتخاذ تدابیر صحیح درصدد حذف آن‌ها بر می‌آید. در سالیان اخیر، این روش به دلیل توجه مدیران و نواقص موجود در شاخص سنتی مورد استفاده در این روش جهت اولویت‌بندی ریسک‌ها، به زمینه‌ای مناسب برای تحقیقات دانشگاهیان مبدل شده است. در همین راستا محققانی نظیر چین و همکاران[1] (۲۰۰۹)، چانگ و پاول سانگ[2] (۲۰۰۹)، چانگ و همکاران[3] (۲۰۱۲)، گاریکا و همکاران[4] (۲۰۱۳) و رضایی و همکاران[5] (۲۰۱۷) به طرق مختلف اقدام به ترکیب این روش با سایر روش‌های تصمیم‌گیری از جمله تحلیل پوششی داده‌های سنتی نموده‌اند. روش تحلیل روابط خاکستری نیز یکی از روش‌های ریاضی است که با توجه به رشد مطالعات در حوزه عدم قطعیت و سیستم‌های با اطلاعات ناقص، به طور گسترده در روش‌های تصمیم گیری چند معیاره استفاده می‌شود. ترکیب روش تحلیل روابط خاکستری با روش تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن نیز در جهت مد نظر قرار دادن عدم قطعیت مورد بررسی قرار گرفته است. در همین

1. Chin et al.
2. Chang and Paul Sun
3. Chang et al.
4. Garcia et al.
5. Rezaee at al.

راستا محققانی نظیر گوم و همکاران[1] (۲۰۱۱)، چانگ و همکاران[2] (۲۰۱۳)، اوه و همکاران[3] (۲۰۱۳) و لیو و همکاران[4] (۲۰۱۴) به طرق مختلف اقدام به ترکیب روش تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن و روش تحلیل روابط خاکستری نموده‌اند. همچنین، گیرگینر و همکاران[5] (۲۰۱۵) با استفاده از روش‌های تحلیل پوششی داده‌های سنتی و تحلیل روابط خاکستری به ارزیابی و اولویت‌بندی خدمات جراحی ارائه شده در یک بیمارستان دولتی پرداخته‌اند. در تحقیقی دیگر، باقری و همکاران[6] (۲۰۱۶) با بهره‌گیری از ترکیب دو روش مذکور، ارزیابی و اولویت‌بندی خرابی‌های موجود در فرآیندهای تولید قطعات مختلف خودرویی را مورد بررسی قرار دادند.

از سوی دیگر، استفاده روش تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن برای ارزیابی ریسک‌های موجود در اجرای فرآیند لجستیک می‌تواند منجر به برنامه‌ریزی صحیح در راستای بیشینه‌سازی یکپارچگی فرآیند مذکور و فراهم‌سازی امکان مدیریت تقاضا گردد. در همین راستا در پژوهشی، از روش تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن برای ارزیابی و بهبود فرآیند برنامه‌ریزی منابع سازمانی در واحد تولیدی قطعات نیمه هادی واقع در کشور تایوان بهره گرفته شده است (یانگ و همکاران[7]، ۲۰۰۶). در پژوهشی دیگر، یک سیستم تصمیم‌گیری برای ایجاد لجستیک حمل و نقل مطلوب بر اساس اطلاعات یکپارچه مربوط به ریسک پیشنهاد شده است. سیستم مذکور شامل تجزیه و تحلیل ریسک، ارزیابی ریسک، اولویت‌بندی و انتخاب می‌باشد (تی سای[8]، ۲۰۰۶). در مطالعه‌ای نیز به بررسی کاربردهای تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن در فرآیندهای لجستیک در سازمان‌ها پرداخته شده است؛ به نحوی که در ابتدا شاخص‌های ارزیابی ریسک برای ریسک‌های احتمالی در حمل و نقل مواد تعریف شده و اقدامات اصلاحی در راستای کاهش این ریسک‌ها و اثرات آن‌ها پیشنهاد شده است (اسلاک[9]، ۲۰۱۲). کیم و کیم[10] (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای به

1. Geum et al.
2. Chang et al.
3. Oh et al.
4. Liu et al.
5. Girginer et al.
6. Baghery et al.
7. Yang et al.
8. Tsai
9. Šolc
10. Kim and Kim

اندازه‌گیری قابلیت اطمینان حمل و نقل در لجستیک با استفاده از روش تجزیه و تحلیل درخت خطا و روش تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن پرداخته‌اند. ایشان با شناسایی ریسک‌ها و تعیین عوامل ارزیابی، میزان کمی قابلیت اطمینان را محاسبه نمودند. در پژوهشی دیگر، یک چهارچوب پشتیبانی تصمیم‌گیری برای ارزیابی ریسک فرآیند تأمین در لجستیک سبز توسعه داده شده است. در این ارزیابی، ترکیبی از چند مدل نظیر تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن، ارزیابی کمی ریسک، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شده است (کنگپول و توآمی[1]، ۲۰۱۶). با بررسی تحقیقات صورت پذیرفته در حوزه ارزیابی ریسک در فرآیندهای لجستیکی می‌توان بیان نمود که این مطالعات تا کنون تنها به بررسی یک فرآیند زیر مجموعه از لجستیک یکپارچه سازمان یعنی فرآیندهای تأمین یا حمل و نقل یا برنامه‌ریزی منابع سازمانی پرداخته و هیچ کدام از این تحقیقات، اقدام به شناسایی فرآیندهای لجستیکی بحرانی نکرده‌اند. همچنین این تحقیقات، نواقص شاخص سنتی اولویت‌بندی عدد اولویت ریسک را از جمله وجود عدم اطمینان در معیارهای سه‌گانه تعیین کننده این شاخص (شدت، احتمال وقوع و تشخیص) و اولویت بندی فرآیندها را در نظر نگرفته‌اند. به همین دلیل در این تحقیق سعی بر آن است که علاوه بر بررسی یکپارچه ریسک‌های فرآیند لجستیکی سازمان تولیدی، از امتیاز حاصل از روش تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای برای در نظر گرفتن عدم اطمینان در معیارهای سه گانه جهت اولویت بندی ریسک‌ها و از روش تحلیل روابط خاکستری برای ارزیابی و اولویت بندی فرآیندهای لجستیکی استفاده گردد.

۳. مدل تحقیق و روش برآورد

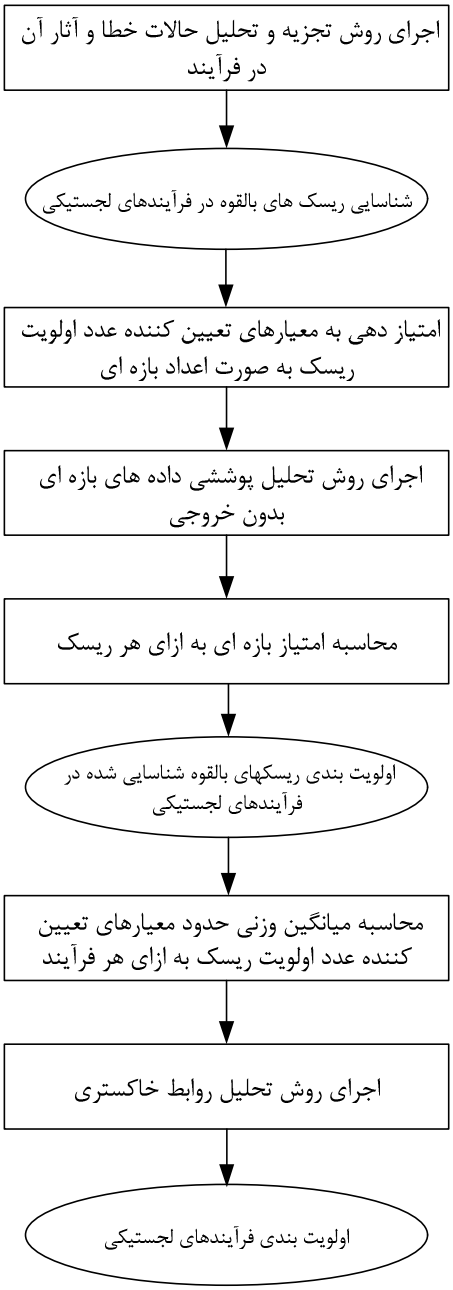
روش تصمیم گیری مورد استفاده در این تحقیق از سه روش تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن در فرآیند، تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای و تحلیل روابط خاکستری تشکیل شده است. به نحوی که در مرحله اول این روش تصمیم گیری، شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های موجود در اجرای فرآیند لجستیکی با استفاده از روش تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن در فرآیند انجام می‌گیرد. سپس در مرحله دوم و در شرایط عدم اطمینان، اولویت بندی ریسک‌ها به جای

1. Kengpol and Tuammee

بهره‌گیری از شاخص سنتی عدد اولویت ریسک، بر اساس امتیاز حاصل از روش تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای بدون خروجی مبتنی بر داده‌های بازه‌ای تخصیص داده شده به سه معیار شدت، احتمال وقوع و تشخیص به ازای هر ریسک انجام می‌شود. در مرحله سوم این تحقیق، از روش تحلیل روابط خاکستری مبتنی بر میانگین وزنی معیارهای بازه‌ای مقداردهی شده برای ریسک‌های موجود در هر فرآیند، جهت اولویت بندی فرآیندهای لجستیکی بر حسب میزان بحرانی بودنشان استفاده می‌گردد. در ادامه، روش تصمیم‌گیری مورد استفاده در این تحقیق در شکل (۱) ارائه شده و توضیحات تکمیلی در خصوص سه روش مورد استفاده در این مطالعه و چگونگی کاربرد آن‌ها در روش تصمیم‌گیری سه مرحله‌ای توضیح داده می‌شود.

۳-۱. شناسایی ریسک‌ها با استفاده از روش تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن

روش تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن یکی از روش‌های تجربه شده و بسیار مفید برای شناسایی، طبقه‌بندی، تجزیه و تحلیل ریسک‌ها و ارزیابی اثرات ناشی از آن‌هاست که در سالیان اخیر، در چهار نوع کلی تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن در زمینه‌های طراحی، سیستم، فرآیند و خدمات توسعه یافته است. روش تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن در فرآیند اغلب زمانی توسعه می‌یابد که یک محصول و یا فرآیند جدید معرفی می‌شود. روش تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن در فرآیند با تأکید برروی سیستم جلوگیری از بروز ریسک به عنوان یکی از اهداف اولیه خود به بهبود فرآیند کمک می‌کند. به نحوی که مهمترین ریسک‌ها با توجه به نظر اعضاء تیم مشخص شده و یک برنامه اجرایی به منظور جلوگیری از بروز آن‌ها ارائه می‌شود. به همین دلیل، روش تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن در فرآیند مدرکی زنده در سازمان بوده و تمامی اقدامات صورت پذیرفته و اعداد اولویت ریسک جدید را در نظر می‌گیرد. در واقع، هر تغییر که بر فرآیند تولید اثر می‌گذارد بهتر است در مدارک تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن در فرآیند به روز شود. تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن در فرآیند به وسیله شناسایی ریسک‌های بالقوه در فرآیند مرتبط با محصول، ارزیابی شدت اثرات ریسک‌ها بر مشتری، شناسایی علل بالقوه ریسک‌های فرآیندها، ایجاد فهرست مرتب شده از ریسک‌های بالقوه برای در نظر گرفتن اقدامات اصلاحی و مستند نمودن نتایج، خطرات ناشی از ریسک‌ها را در فرآیند کاهش می‌دهد.



شکل ۱. روش تصمیم گیری مورد استفاده در این تحقیق

گام‌های اجرایی رویکرد تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن در فرآیند عبارتند از: تعریف محدوده فرآیند تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن در فرآیند، انتخاب تیم مربوطه، تعریف فرآیند/تابع، تعریف حالات و اثرات شکست، محاسبه عدد اولویت ریسک، اقدامات اصلاحی، بازرسی اثرات اقدام انجام گرفته و ارزیابی برای اقدامات مضاعف. لازم به ذکر است حاصلضرب سه معیار کمیتی شدت[1]، احتمال وقوع[2] و تشخیص[3]، امتیازی به نام عدد اولویت ریسک را به وجود می‌آورد. همچنین، تمامی معیارهای مذکور به صورت رتبه‌ای از ۱ تا ۱۰ بیان می‌گردند، به گونه‌ای که امتیاز ۱۰ برای یک ریسک از نظر معیار شدت به معنی بسیار خطرناک، از نظر معیار احتمال وقوع به معنی یقینا رخ می‌دهد و از نظر احتمال تشخیص خطا ریسک معنی غیرقابل شناسایی است (چین و همکاران[4]، ۲۰۰۹). این نحوه امتیازدهی به معیارهای تعیین کننده عدد اولویت ریسک می‌تواند به تناسب هر سازمان مورد تنظیم قرار گیرد که در این تحقیق به دلیل بهره‌گیری از تیم چند تخصصی و ضرورت بررسی در شرایط عدم اطمینان، از اعداد بازه‌ای بر اساس محدوده امتیازات مذکور به ازای معیارهای سه گانه استفاده شده است.

۳-۲. اولویت‌بندی ریسک‌های لجستیکی با روش تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای

روش تحلیل پوششی داده‌ها از مهم ترین روش‌های ناپارامتریک برای ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم گیری[5] است که اساس این روش توسط فارل[6] در سال ۱۹۵۷ ارائه شد. وی با استفاده از این روش، به اندازه‌گیری عملکرد یک واحد تولیدی پرداخت و این روش را در مباحث مهندسی به کار گرفت. از آنجایی که مدل مورد بررسی وی، تنها یک ورودی و یک خروجی را در نظر می‌گرفت، وی نتوانست مدل خود را در حالت چند ورودی و چند خروجی توسعه دهد (فارل، ۱۹۵۷). در ادامه، چارنز و همکاران[7] (۱۹۸۷) دیدگاه فارل را توسعه داده و

1. Severity (S)
2. Occurrence (O)
3. Detection (D)
4. Chin et al.
5. Decision making units (DMU)
6. Farrell
7. Charnes, Cooper and Rhodes (CCR)

مدلی را تحت عنوان تحلیل پوششی داده‌ها ارائه نمودند که توانایی اندازه‌گیری کارایی با چندین ورودی و چندین خروجی را داشت. این مدل با فرض بازده به مقیاس ثابت بنا شد و مدل CCR معرفی گردید. از آنجایی که روش تحلیل پوششی داده‌ها برای اندازه‌گیری عملکرد در زمینه‌های مختلف استفاده شده است، در این تحقیق نیز به عنوان روشی کاربردی برای اولویت بندی ریسک‌ها به کار گرفته می‌شود؛ زیرا شاخص سنتی عدد اولویت ریسک قابلیت اولویت‌بندی ریسک‌ها در شرایط وجود معیارهای بازه‌ای را دارا نیست. بدین منظور روش تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای با رویکرد تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن در فرآیند مورد ترکیب قرار می‌گیرد. به نحوی که ریسک‌های بالقوه و معیارهای سه گانه (شدت، احتمال وقوع و تشخیص) تعیین شده به وسیله روش تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن در فرآیند به ترتیب به عنوان واحدهای تصمیم‌گیری و ورودی‌های روش تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای بدون خروجی در نظر گرفته می‌شوند. لازم به توضیح است بهره گیری از نوع بدون خروجی این روش به دلیل نبود معیارهایی می‌باشد که مدیریت به دنبال افزایش آن‌ها است. حال، امتیازات کارایی به دست آمده از این روش بر خلاف عدد اولویت ریسک سنتی، قابلیت اولویت‌بندی ریسک‌ها در شرایط عدم اطمینان را دارا می‌باشند. با توجه به توضیحات ذکر شده، مدل‌های نهایی مورد استفاده در این تحقیق به شرح زیر خواهند بود (باقری و همکاران، ۲۰۱۶):

رابطه (۱)

$$
\begin{aligned}
&Min\,\theta_k^L = \alpha \\
&\sum_{j=1}^{n} \beta_j x_{ij}^L \le \alpha x_{ik}^U \qquad i = 1,\ldots,m \\
&\sum_{j=1}^{n} \beta_j = 1 \\
&\alpha, \beta_j \ge 0, \qquad j = 1,\ldots,n
\end{aligned}
$$

رابطه (۲)

$$
\begin{aligned}
&Min\,\theta_k^U = \alpha \\
&\sum_{j=1}^{n} \beta_j x_{ij}^L \le \alpha x_{ik}^L, \qquad i = 1,\ldots,m \\
&\sum_{j=1}^{n} \beta_j = 1 \\
&\alpha, \beta_j \ge 0, \qquad j = 1,\ldots,n
\end{aligned}
$$

در مدل‌های فوق، x_{ik}^{U} و x_{ik}^{L} به ترتیب نشانگر مقادیر حدود بالا و پایین میزان ورودی iام به ازای واحد تصمیم‌گیری k ام هستند. همچنین، α و β_j به ترتیب نشان دهنده متغیرهای دوگان مدل ثانویه می‌باشند. مدل‌های (۱) و (۲) به ازای هر واحد تصمیم‌گیری $(j=1,...,n)$ توسط نرم افزار *GAMS 24.1.2* اجرا گردیده و نتایج حاصل از آن به عنوان حدود بالا و پایین کارایی به ازای هر واحد تصمیم گیری در نظر گرفته می‌شود: $\left[\theta_j^L, \theta_j^U\right]$. به بیان دیگر، حدود محاسبه شده به عنوان یک بازه‌ی امتیازی برای هر ریسک محسوب می‌شود که در فرآیند اولویت بندی ریسک‌ها در روش تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن در فرآیند استفاده خواهد شد. این اولویت بندی ریسک‌ها با توجه به رتبه بندی اعداد فازی مثلثی انجام می‌شود. با فرض این که $\overline{\theta}_j = \frac{1}{2}(\theta_j^L + \theta_j^U)$ و $\tilde{\theta}_j$ نشانگر امتیاز ریسک jام و یک عدد فازی مثلثی به صورت $\tilde{\theta}_j = (\theta_j^L, \overline{\theta}_j, \theta_j^U)$ باشد، روابط زیر تعریف خواهند شد:

$$\overline{X}(\tilde{\theta}_j) = \frac{1}{3}(\theta_j^L + \overline{\theta}_j + \theta_j^U) \qquad \text{رابطه (۳)}$$

$$\sigma(\tilde{\theta}_j) = \frac{1}{18}\left[(\theta_j^L)^2 + (\overline{\theta}_j)^2 + (\theta_j^U)^2 - (\theta_j^L\overline{\theta}_j) - (\theta_j^L\theta_j^U) - (\overline{\theta}_j\theta_j^U)\right] \qquad \text{رابطه (۴)}$$

اکنون فرض کنید که مقدار میانگین ($\overline{X}(\tilde{\theta})$) و انحراف استاندارد ($\sigma(\tilde{\theta})$) برای دو ریسک $\tilde{\theta}_j$ و $\tilde{\theta}_{j'}(j' = 1,\ldots,n \text{ and } j' \neq j)$ محاسبه شده است. قاعده مورد استفاده برای اولویت بندی آن‌ها به صورت جدول (۱) می‌باشد (زیمرمن[1]، ۲۰۱۱):

جدول ۱. قاعده مورد استفاده جهت اولویت بندی ریسک‌ها

نتیجه اولویت‌بندی ریسک	مقایسات	
	انحراف استاندارد	میانگین
اولویت ریسک j'ام > اولویت ریسک jام	-	$\overline{X}(\tilde{\theta}_j) > \overline{X}(\tilde{\theta}_{j'})$
اولویت ریسک j'ام > اولویت ریسک jام	$\sigma(\tilde{\theta}_j) < \sigma(\tilde{\theta}_{j'})$	$\overline{X}(\tilde{\theta}_j) = \overline{X}(\tilde{\theta}_{j'})$

1. Zimmermann

با توجه به جدول (۱) بایستی این نکته را بیان نمود، زمانی که یک واحد تصمیم گیری یا ریسک شناسایی شده در مقایسه با ریسک دیگر دارای میانگین کارایی بالاتری باشد، دارای اولویت پایین‌تری است. یعنی ریسکی که کمترین میانگین کارایی را به دست آورد دارای رتبه اول در رویکرد ترکیبی مورد استفاده در این تحقیق بوده و اولویت رسیدگی بالاتری را داراست. دلیل این امر این است که در روش تحلیل پوششی داده‌های بدون خروجی، ریسکی که دارای میزان ورودی‌های (معیارهای تعیین کننده عدد اولویت ریسک) کمتری است می‌تواند میزان کارایی بالاتری را با توجه به فرض وجود یک خروجی با میزان ثابت برابر یک، به ازای هر واحد تصمیم‌گیری کسب کند. بنابراین، ریسک‌هایی که دارای میزان میانگین کارایی پایین‌تری با توجه به بالا بودن میزان عوامل تعیین کننده عدد اولویت ریسک هستند در اولویت بالایی برای رسیدگی توسط مدیریت قرار خواهند داشت.

۳-۳. اولویت‌بندی فرآیندهای لجستیکی با روش تحلیل روابط خاکستری

تحلیل رابطه خاکستری به عنوان روشی برای حل مسائل مختلف تصمیم‌گیری چند شاخصه تا کنون در حوزه‌های متعدد تخصصی و عمومی مدیریت به کار گرفته شده است (وو[1]، ۲۰۰۲). در این پژوهش نیز برای مواجهه با عدم قطعیت تصمیم‌گیری، از تحلیل روابط خاکستری استفاده شده است. تحلیل رابطه خاکستری، مسأله تصمیم گیری چندشاخصه را در قالب سیستمی شامل m دنباله به طول n تعریف می‌نماید (چن و زنگ[2]، ۲۰۰۴). مزیت تئوری خاکستری نسبت به تئوری فازی این است که می‌تواند به خوبی در شرایط فازی عمل نماید (دنگ[3]، ۱۹۸۹). به کارگیری تئوری فازی مستلزم تشخیص تابع عضویت مربوط بر اساس نظر خبرگان است، اما تئوری خاکستری بدون در نظر داشتن تابع عضویت و بر اساس محدوده اطلاعات در دسترس نیز به خوبی عمل می‌نماید (لیو و لین[4]، ۲۰۰۶). در حالت کلی فرض می‌شود که $A = \{A_1, A_2, ..., A_m\}$ مجموعه گسسته گزینه‌ها و $Q = \{Q_1, Q_2, ..., Q_k, Q_{k+1},$

1. Wu
2. Chen and Tzeng
3. Deng
4. Liu and Lin

Q_m ... مجموعه n تایی از شاخص‌های مستقل بوده و این شاخص‌ها می‌توانند شامل k شاخص کیفی و $(n-k)$ شاخص کمی باشند. بدین ترتیب می‌توان مرحله سوم از روش تصمیم‌گیری جامع این تحقیق را در قالب گام‌های زیر ارائه نمود:

گام اول، تشکیل ماتریس تصمیم گیری: برای ارزیابی هر یک از گزینه‌ها با توجه به شاخص‌های کیفی یا شاخص‌هایی که اندازه گیری آن‌ها در شرایط عدم قطعیت مطرح می‌شود از اعداد خاکستری $\otimes G_{ij}$ استفاده شده است که i و j به ترتیب بیانگر گزینه i ام و شاخص تصمیم‌گیری j ام می‌باشد. به این ترتیب ماتریس تصمیم‌گیری زیر دارای درایه‌های قطعی و خاکستری است.

$$D = \begin{bmatrix} \otimes G_{11} & \otimes G_{12} & \otimes G_{1n} & R_{1,k+1} & R_{1,k+2} & R_{1,n} \\ \otimes G_{21} & \otimes G_{22} & \otimes G_{2n} & R_{2,k+1} & R_{2,k+2} & R_{2n} \\ & & & & & \\ \otimes G_{m1} & \otimes G_{m2} & \otimes G_{mn} & R_{m,k+1} & R_{2,k+2} & R_{mn} \end{bmatrix} \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \\ A_m \end{matrix}$$

رابطه (۵)

گام دوم، نرمال سازی ماتریس تصمیم گیری: با توجه به یکسان نبودن جنس و ماهیت شاخص‌ها پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری، بایستی نسبت به بی مقیاس سازی آن‌ها اقدام نمود تا امکان ارزیابی و مقایسه از منظر همه شاخص‌ها فراهم گردد. ارائه روشی جامع، مستلزم ارائه روابطی است که بتواند مقادیر ماتریس را با در نظر گرفتن انواع مختلف شاخص‌های مربوطه اعم از مثبت، منفی، بهینه، کمی و کیفی بی مقیاس نماید. بی مقیاس سازی بازه امتیازی ریسک‌ها توسط روابط (۷) و (۸) انجام می‌شود که در آن α_{ij} و β_{ij} به ترتیب حد پایین و بالای بازه گزینه i ام (فرآیند مورد بررسی) در شاخص jام (معیار تعیین کننده عدد اولویت ریسک) می‌باشد و $G_j^{\max}$ بزرگترین مقدار موجود در تمامی بازه های فرآیندهای شاخص jام است.

$$D^* = \begin{bmatrix} \otimes G_{11}^* & \otimes G_{12}^* & \otimes G_{1n}^* \\ \otimes G_{21}^* & \otimes G_{22}^* & \otimes G_{2n}^* \\ & & \vdots \\ \otimes G_{m1}^* & \otimes G_{m2}^* & \otimes G_{mn}^* \end{bmatrix}$$

رابطه (۶)

$$\otimes G_{ij}^{*}=\left[\frac{\alpha_{ij}}{G_j^{\max}},\frac{\beta_{ij}}{G_j^{\max}}\right],\quad i=1,...,m,\ \ j=1,...,n$$ رابطه (۷)

$$G_j^{\max}=\max_i\{\beta_{ij}\},\quad i=1,...,m,\ \ j=1,...,n$$ رابطه (۸)

از آنجایی که R_{ij} اعدادی قطعی هستند، R_{ij}^{*} میزان نرمال شده برای شاخص‌های مثبت با استفاده از رابطه (۹) محاسبه می‌شود:

$$R_{ij}^{*}=\frac{R_{ij}}{R_j^{\max}},\ \ R_j^{\max}=\max_i\{R_{ij}\},\quad i=1,...,m,\ \mathrm{j}=k+1,...,n$$ رابطه (۹)

میزان نرمال شده برای شاخص‌های منفی نیز با استفاده از رابطه (۹) محاسبه می‌شود:

$$R_{ij}^{*}=\frac{R_j^{\min}}{R_{ij}},\ \ R_j^{\min}=\min_i\{R_{ij}\},\quad i=1,...,m,\ \mathrm{j}=k+1,...,n$$ رابطه (۱۰)

گام سوم، تعریف گزینه مرجع: یک دنباله مرجع که در حقیقت گزینه ایده آل مفروض است با استفاده از رابطه (۱۱) تعریف می‌شود تا مبنایی برای ارزیابی و مقایسه دنباله متناظر با هر یک از گزینه‌ها فراهم گردد. بدین صورت که طبق رابطه (۱۱) در ابتدا بیشینه حد بالا و بیشینه حد پایین در کل فرآیندها را به ازای هر شاخص بدست آورده سپس فاصله هر گزینه از فرآیندها از آن محاسبه می‌شود. در این رابطه $\underline{G}_{i1}^{*}$ و $\overline{G}_{i1}^{*}$ به ترتیب مقدار حد پایین و حد بالا به ازای هر شاخص در کل فرآیندها بوده و A_0 نشانگر گزینه مرجع می‌باشد.

رابطه (۱۱)

$$A_0=\{[\max_i \underline{G}_{i1}^{*},\max_i \overline{G}_{i1}^{*}],...,[\max_i \underline{G}_{ik}^{*},\max_i \overline{G}_{ik}^{*}],\max_i R_{i,k+1}^{*},...,\max_i R_{im}^{*}\},\quad i=1,...,m$$

گام چهارم، محاسبه ضریب رابطه خاکستری: ضریب نسبی خاکستری که با $\xi_{0i(j)}$ نمایش داده می شود، بین گزینه A_i و گزینه مرجع با در نظر گرفتن شاخص jام با استفاده از رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود (کائو و همکاران[1]، ۲۰۰۸):

1. Kuo et al.

$$\xi_{0i(j)} = \frac{\min_i \min_j \{d_{0i(j)}\} + \rho \max_i \max_j \{d_{0i(j)}\}}{d_{0i(j)} + \rho \max_i \max_j \{d_{0i(j)}\}}, \quad i = 1,...,m, \ j = 1,...,n \qquad \text{رابطه (۱۲)}$$

در رابطه فوق، $\rho \in [0,1]$ ضریب تفکیک است که معمولا ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود (لین و همکاران[1]، ۲۰۰۷). در این رابطه عبارت $d_{0i(j)}$ فاصله یا اختلاف بین گزینه A_i و گزینه مرجع با در نظر گرفتن شاخص jام است که از رابطه (۱۳) محاسبه می‌گردد.

$$d_{0i(j)} = [\max_i \underline{G}^*_{i1} - \underline{r}_{ij}, \max_i \overline{G}^*_{i1} - \overline{r}_{ij}], \quad i = 1,...,m, \ j = 1,...,n \qquad \text{رابطه (۱۳)}$$

در این رابطه $\underline{r}_{ij}$ حد پایین و $\overline{r}_{ij}$ حد بالای بازه است.

گام پنجم، محاسبه امتیاز رابطه خاکستری: امتیاز رابطه خاکستری بین گزینه A_i و گزینه مرجع از رابطه (۱۴) بدست می آید.

$$\gamma_{0i} = \sum_{i=1}^{n} w_j . \xi_{0i(j)}, \quad i = 1,...,m \qquad \text{رابطه (۱۴)}$$

در این رابطه w_j وزن بین شاخص‌هاست، به گونه ای که $w_j > 0$ و $\sum_j^n w_j = 1$.

امتیاز رابطه خاکستری در حقیقت بیانگر تشابه میان هریک از گزینه‌ها با گزینه مرجع (ایده آل) است. بدیهی است به هر میزانی که امتیاز رابطه خاکستری محاسبه شده برای گزینه iام یعنی γ_{0i} مقدار بیشتری داشته باشد آن گزینه دارای اولویت بالاتری بوده و بحرانی‌تر محسوب می‌گردد.

٤. داده‌ها و نتایج تجربی

در این بخش از تحقیق، شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های موجود بر سر راه اجرای صحیح فرآیند لجستیک و رتبه‌بندی فرآیندهای بحرانی در سازمان تولیدی فعال در صنعت قطعات خودرویی واقع در شمال کشور انجام می‌شود. به نحوی که در گام اول، روش تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن اجرا گردیده و ۳۸ ریسک در ۸ فرآیند شناسایی گردیده است. در ادامه، ریسک‌های شناسایی شده به ازای فرآیندهای فرعی لجستیکی در جدول (۲) ارائه شده است.

1. Lin et al.

جدول ۲. ریسک‌های شناسایی شده در فرآیند لجستیک

فرآیند	ردیف	ریسک بالقوه شناسایی شده
برنامه‌ریزی منابع	۱	نبود فضا جهت انبارش اقلام
	۲	کمبود تجهیزات تولیدی
	۳	توقف خط تولید به دلیل خرابی تجهیزات تولید
تأمین	۴	خرید کالاهای نامطبق
	۵	عدم امکان تأمین از تأمین‌کننده
	۶	عدم گشایش اعتبار بانکی
	۷	عدم سفارش به موقع جهت خرید
	۸	عدم ترخیص کالا از کمرگ
دریافت	۹	در دسترس نبودن تجهیزات دریافت مانند لیفتراک
	۱۰	نبودن تست رپیورت همراه بار
	۱۱	ایراد در نحوه بسته بندی بار ورودی
	۱۲	عدم تخلیه به موقع محموله
	۱۳	آسیب محموله در هنگام دریافت
	۱۴	عدم وجود پرسنل مربوطه جهت تخلیه بار
	۱۵	عدم انجام تخلیه بار در شرایط اضطراری از قبیل روزهای تعطیل و شرایط بد آب و هوایی
برنامه‌ریزی تولید	۱۶	مغایرت برنامه تولید با سفارش مشتری
	۱۷	مغایرت برنامه تولید با تولید واقعی
	۱۸	عدم دستیابی به برنامه تولید
	۱۹	عدم پاسخگویی به نیاز مشتری
بسته بندی	۲۰	عدم انطباق در بسته بندی
	۲۱	عدم بسته بندی به دلیل نبودن پالت
	۲۲	عدم بسته بندی به دلیل نبودن لوازم بسته بندی
	۲۳	عدم یکنواختی پالت‌های موجود و وجود پالت‌های متفاوت جهت ارسال
حمل و نقل	۲۴	تأخیر در تحویل کالا به مشتری و یا به انبار شرکت
	۲۵	عدم ارسال و یا دریافت در زمان مقرر به دلیل نبود وسیله نقلیه
	۲۶	عدم جابه جایی قطعات به دلیل نبودن پالت
	۲۷	خرابی و ضرب خوردگی و زنگ زدگی قطعات در حین حمل
انبارش	۲۸	زنگ زدگی و آسیب دیدن قطعات در انبار
	۲۹	عدم گزارش به موقع به تأمین کننده در مورد ارسال‌های قبلی و احتمال خرابی قطعات ارسالی
	۳۰	اشتباه در استفاده از قطعات مشابه
	۳۱	ایجاد کسری در انبار
	۳۲	وجود قطعات بلاتکلیف با وضعیت نامعلوم
ارسال	۳۳	در دسترس نبودن تجهیزات بارگیری از قبیل لیفتراک
	۳۴	کامل نبودن مدارک مورد نیاز جهت ارسال از قبیل بارنامه‌ها، تست رپیورت و غیره
	۳۵	عدم بارگیری به موقع محصولات
	۳۶	عدم ارسال بار در شرایط اضطراری از قبیل حجم کم بار، روزهای تعطیل و بد آب و هوا
	۳۷	عدم بارگیری به دلیل نبود پرسنل مربوطه فرآیند ارسال
	۳۸	ایجاد خسارت به محموله در هنگام بارگیری

پس از شناسایی ریسک‌های فرآیند لجستیک، میزان شدت، احتمال وقوع و تشخیص به ازای این ریسک‌ها با کمک تیم چندتخصصی تعیین گردیده است. همانطور که بیان گردید معیارهای سه گانه مذکور با توجه به شرایط عدم اطمینان به صورت بازه‌ای در نظر گرفته شده و به ازای ریسک‌های شناسایی شده در فرآیندهای فرعی لجستیکی در جدول (۳) ارائه شده است. با توجه به جدول (۳) مشاهده می‌شود که ۳۸ ریسک شناسایی گردیده و میزان معیارهای شدت، احتمال وقوع و احتمال تشخیص به وسیله تیم مذکور با اعدادی بازه‌ای بین ۱ الی ۱۰ به ازای هر ریسک بالقوه امتیازدهی شده است. لازم به توضیح است که این امتیازدهی به نحوی انجام می‌گیرد که امتیاز ۱۰ برای یک ریسک بالقوه از نظر معیار شدت به معنی بسیار خطرناک، از نظر معیار احتمال وقوع به معنی یقینا رخ می‌دهد و از نظر احتمال تشخیص خطا ریسک معنی غیرقابل شناسایی است. در ادامه، برای اولویت‌بندی ریسک‌های شناسایی شده از امتیاز حاصل از روش تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای بدون خروجی استفاده می‌شود. دلیل این امر، عدم قابلیت شاخص سنتی عدد اولویت ریسک برای اولویت‌بندی ریسک‌ها در شرایط عدم اطمینان و بازه‌ای بودن معیارهای سه‌گانه است. بنابراین ریسک‌های شناسایی شده به عنوان واحدهای تصمیم‌گیری و معیارهای سه‌گانه به عنوان ورودی‌های روش تحلیل پوششی داده‌های مذکور در نظر گرفته می‌شوند. سپس بازه‌های کارایی به دست آمده به ازای هر ریسک با استفاده از رویکرد ارائه شده در جدول (۱) برای اولویت‌بندی ریسک‌های لجستیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به توضیحات ارائه شده در این جدول مشخص می‌شود که ریسک هایی که دارای میزان میانگین کارایی پایین‌تری با توجه به بالا بودن میزان معیارهای سه‌گانه هستند در اولویت بالایی برای رسیدگی توسط مدیریت قرار دارند. بر همین اساس، اولویت‌بندی ریسک‌های شناسایی شده در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳. اولویت بندی ریسک‌های شناسایی شده بر اساس امتیاز کارایی

فرآیند	ردیف	شدت	وقوع	تشخیص	میانگین امتیاز	انحراف معیار	اولویت
برنامه‌ریزی منابع	۱	[۲،۴]	[۱،۳]	[۴،۶]	۰/۵۹۵	۰/۰۱۱	۱۰
	۲	[۳،۵]	[۵،۴]	[۴،۶]	۰/۴۶۷	۰/۰۰۷	۴
	۳	[۴،۷]	[۲،۵]	[۲،۴]	۰/۴۴۹	۰/۰۰۷	۳
تأمین	۴	[۳،۵]	[۲،۴]	[۱،۳]	۰/۵۹۰	۰/۰۱۱	۹
	۵	[۴،۶]	[۲،۴]	[۱،۳]	۰/۵۹۰	۰/۰۱۱	۹
	۶	[۴،۴]	[۱،۲]	[۱،۳]	۰/۷۵۰	۰/۰۱۰	۱۷
	۷	[۵،۶]	[۱،۳]	[۲،۴]	۰/۵۳۳	۰/۰۰۷	۷
	۸	[۳،۵]	[۱،۲]	[۲،۳]	۰/۷۵۰	۰/۰۱۰	۱۷
دریافت	۹	[۱،۳]	[۲،۳]	[۱،۳]	۰/۷۲۲	۰/۰۱۳	۱۶
	۱۰	[۲،۴]	[۲،۴]	[۱،۳]	۰/۶۱۰	۰/۰۱۰	۱۱
	۱۱	[۳،۵]	[۲،۳]	[۱،۳]	۰/۶۴۰	۰/۰۱۳	۱۳
	۱۲	[۲،۳]	[۳،۵]	[۱،۲]	۰/۷۵۰	۰/۰۱۰	۱۷
	۱۳	[۳،۵]	[۱،۳]	[۲،۳]	۰/۶۴۰	۰/۰۱۳	۱۳
	۱۴	[۳،۴]	[۱،۳]	[۱،۳]	۰/۶۶۲	۰/۰۱۱	۱۴
	۱۵	[۲،۵]	[۲،۳]	[۱،۳]	۰/۶۴۰	۰/۰۱۳	۱۳
برنامه‌ریزی تولید	۱۶	[۴،۷]	[۲،۴]	[۱،۳]	۰/۵۹۰	۰/۰۱۱	۹
	۱۷	[۵،۶]	[۳،۵]	[۱،۲]	۰/۷۵۰	۰/۰۱۰	۱۷
	۱۸	[۴،۶]	[۳،۴]	[۳،۵]	۰/۴۳۳	۰/۰۰۵	۲
	۱۹	[۵،۷]	[۳،۵]	[۳،۶]	۰/۳۶۱	۰/۰۰۳	۱
بسته بندی	۲۰	[۴،۶]	[۱،۳]	[۲،۴]	۰/۵۳۳	۰/۰۰۷	۷
	۲۱	[۳،۵]	[۲،۴]	[۲،۳]	۰/۵۹۰	۰/۰۱۱	۹
	۲۲	[۲،۴]	[۱،۳]	[۳،۴]	۰/۶۱۰	۰/۰۱۰	۱۱
	۲۳	[۲،۵]	[۳،۴]	[۴،۶]	۰/۴۶۷	۰/۰۰۷	۵
حمل و نقل	۲۴	[۳،۵]	[۲،۵]	[۲،۴]	۰/۴۷۶	۰/۰۰۶	۶
	۲۵	[۳،۴]	[۲،۴]	[۱،۳]	۰/۶۱۰	۰/۰۱۰	۱۱
	۲۶	[۴،۶]	[۳،۶]	[۱،۳]	۰/۵۳۳	۰/۰۰۷	۷
	۲۷	[۳،۵]	[۱،۳]	[۲،۳]	۰/۶۴۰	۰/۰۱۳	۱۳
انبارش	۲۸	[۲،۴]	[۱،۳]	[۴،۶]	۰/۵۹۵	۰/۰۱۱	۱۰
	۲۹	[۲،۳]	[۲،۴]	[۳،۴]	۰/۶۸۲	۰/۰۱۷	۱۵
	۳۰	[۲،۴]	[۱،۳]	[۱،۴]	۰/۶۱۰	۰/۰۱۰	۱۱
	۳۱	[۳،۵]	[۱،۳]	[۲،۳]	۰/۶۴۰	۰/۰۱۳	۱۳
	۳۲	[۴،۵]	[۲،۳]	[۲،۴]	۰/۵۴۲	۰/۰۰۷	۸
ارسال	۳۳	[۲،۳]	[۱،۳]	[۱،۳]	۰/۷۲۲	۰/۰۱۳	۱۶
	۳۴	[۲،۴]	[۲،۳]	[۱،۳]	۰/۶۶۲	۰/۰۱۱	۱۴
	۳۵	[۲،۴]	[۱،۳]	[۲،۳]	۰/۶۶۲	۰/۰۱۱	۱۴
	۳۶	[۴،۶]	[۲،۳]	[۱،۳]	۰/۶۲۵	۰/۰۱۴	۱۲
	۳۷	[۳،۵]	[۲،۳]	[۱،۳]	۰/۶۴۰	۰/۰۱۳	۱۳
	۳۸	[۱،۴]	[۱،۳]	[۲،۳]	۰/۶۶۲	۰/۰۱۱	۱۴

با توجه به نتایج حاصل از اولویت بندی بر اساس روش تصمیم‌گیری مورد استفاده در این تحقیق مشاهده می‌شود که ریسک "عدم پاسخگویی به نیاز مشتری" از فرآیند برنامه‌ریزی تولید با دارا بودن امتیاز ۰/۳۶۱ در اولویت اول رسیدگی برای بهبود فرآیند لجستیک قرار گرفته است که این موضوع نشانگر اهمیت رضایت مشتری به عنوان هدف اصلی لجستیک و صحت نتایج مذکور است. از سوی دیگر، ریسک "عدم دستیابی به برنامه تولید" از فرآیند برنامه‌ریزی تولید با امتیاز ۰/۴۳۳ در اولویت دوم و ریسک‌های "توقف خط تولید به دلیل خرابی تجهیزات تولید" و "کمبود تجهیزات تولیدی" از فرآیند برنامه‌ریزی منابع به ترتیب با دارا بودن امتیاز ۰/۴۴۹ و ۰/۴۶۷ در اولویت‌های سوم و چهارم رسیدگی قرار گرفته‌اند. در ادامه و در مرحله سوم این تحقیق، از روش تحلیل روابط خاکستری مبتنی بر میانگین وزنی معیارهای بازه‌ای مقداردهی شده برای ریسک‌های موجود در هر فرآیند، جهت اولویت‌بندی فرآیندهای لجستیکی بر حسب میزان بحرانی بودنشان استفاده می‌گردد. به نحوی که در ابتدا، حدود بالای معیار مورد بررسی در تمامی ریسک‌های موجود در یک فرآیند با هم جمع شده و بر تعداد ریسک‌های آن فرآیند تقسیم می‌گردد و همین موضوع برای حد پایین تکرار می‌شود. بدین ترتیب مقادیر میانگین وزنی معیارهای بازه‌ای برای هر فرآیند به عنوان ورودی ماتریس اولیه روش تحلیل روابط خاکستری محاسبه گردیده و در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ٤. اولویت بندی فرآیندهای فرعی لجستیکی بر اساس امتیاز خاکستری

فرآیند	شدت	وقوع	تشخیص	امتیاز خاکستری	اولویت
برنامه‌ریزی منابع	[۳ ، ۵/۳۳]	[۲/۶۷ ، ۴]	[۳/۳۳ ، ۵/۳۳]	۰/۷۵۵۶	۲
تأمین	[۳/۸ ، ۵/۲]	[۱/۴ ، ۳]	[۱/۴ ، ۳/۲]	۰/۴۵۰۸	۶
دریافت	[۲/۲۹ ، ۴/۱۴]	[۱/۸۶ ، ۳/۴۳]	[۱/۱۴ ، ۲/۸۶]	۰/۴۰۴۷	۷
برنامه‌ریزی تولید	[۴/۵ ، ۶/۵]	[۲/۷۵ ، ۴/۵]	[۲ ، ۴]	۰/۸۲۲۳	۱
بسته بندی	[۲/۷۵ ، ۵]	[۱/۷۵ ، ۳/۵]	[۲/۷۵ ، ۴/۲۵]	۰/۵۱۳۲	۴
حمل و نقل	[۳ ، ۵/۳۳]	[۲ ، ۴/۵]	[۱/۵ ، ۳/۲۵]	۰/۵۲۹۵	۳
انبارش	[۳/۲۵ ، ۵]	[۱/۴ ، ۳/۲]	[۲/۴ ، ۴/۲]	۰/۴۵۱۸	۵
ارسال	[۲/۳۳ ، ۴/۳۳]	[۱/۵ ، ۳]	[۱/۳۳ ، ۳]	۰/۳۸۵۹	۸

همانطور که بیان گردید میانگین وزنی معیارهای بازه‌ای مقداردهی شده برای ریسک‌های موجود در هر فرآیند به عنوان شاخص‌های روش تحلیل روابط خاکستری برای بررسی فرآیندها (گزینه‌ها) در نظر گرفته می‌شوند. با توجه به نتایج حاصل از اجرای روش تحلیل روابط خاکستری در جدول (۴) مشاهده می‌شود که فرآیند برنامه‌ریزی تولید با امتیاز ۰/۸۲۲۳ در اولویت اول قرار گرفته و این نکته نشان دهنده این می‌باشد که فرآیند مذکور قلب حرکت و موتور محرکه سازمان مورد مطالعه همچون سایر سازمان‌های تولیدی است. برنامه‌ریزی منابع و حمل و نقل نیز به ترتیب با دارا بودن امتیازهای ۰/۷۵۵۶ و ۰/۵۲۹۵ در اولویت‌های دوم و سوم فرآیندهای بحرانی موجود در لجستیک مورد مطالعه، قرار گرفته‌اند. با توجه به اولویت‌بندی ریسک‌ها نیز می‌توان مشاهده نمود که دو ریسک "عدم پاسخگویی به نیاز مشتری" و "عدم دستیابی به برنامه تولید" از فرآیند برنامه‌ریزی تولید در اولویت‌های اول و دوم قرار گرفته که این موضوع می‌تواند تأیید کننده بحرانی بودن این فرآیند باشد. همچنین ریسک‌های "توقف خط تولید به دلیل خرابی تجهیزات تولید" و "کمبود تجهیزات تولیدی" از برنامه‌ریزی منابع با قرارگیری در اولویت سوم رسیدگی نشانگر از اهمیت این فرآیند دارد. در ادامه، اقدامات پیشنهادی در خصوص اصلاح و بهبود ریسک‌های لجستیکی موجود در سه فرآیند بحرانی شناسایی شده در جدول (۵) ارائه شده است. برای مثال، برای رفع آثار ریسک "مغایرت برنامه تولید با سفارش مشتری" از فرآیند برنامه‌ریزی تولید، "تهیه برنامه تولید مطابق فرم کنترل سفارشات" پیشنهاد شده است. همچنین برای رفع آثار سایر ریسک‌های موجود در این فرآیند یعنی "مغایرت برنامه تولید با تولید واقعی"، "عدم دستیابی به برنامه تولید" و "عدم پاسخگویی به نیاز مشتری" به ترتیب "انجام محاسبات برآورد صحیح از توان تولید و تهیه برنامه تولید قابل اجرا"، "تهیه طرح‌های اضطراری مانند پرسنل جایگزین، تأمین‌کنندگان جایگزین، دستگاه‌های جایگزین و غیره" و "پیش بینی منابع مورد نیاز جهت تغییر نیاز مشتری از قبیل نیاز به تغییر مواد اولیه، خرید ماشین‌آلات و ساخت تجهیزات جدید" به عنوان اقدامات اصلاحی پیشنهاد شده است.

جدول ۵. اقدامات اصلاحی پیشنهادی برای مدیریت ریسک در فرآیندهای بحرانی

فرآیند	ریسک بالقوه	شرح اقدام
برنامه‌ریزی تولید	مغایرت برنامه تولید با سفارش مشتری	تهیه برنامه تولید مطابق فرم کنترل سفارشات
	مغایرت برنامه تولید با تولید واقعی	انجام محاسبات برآورد صحیح از توان تولید و تهیه برنامه تولید قابل اجرا
	عدم دستیابی به برنامه تولید	تهیه طرح‌های اضطراری مانند پرسنل جایگزین، تأمین‌کنندگان جایگزین، دستگاه‌های جایگزین و غیره
	عدم پاسخگویی به نیاز مشتری	پیش بینی منابع مورد نیاز جهت تغییر نیاز مشتری از قبیل نیاز به تغییر مواد اولیه، خرید ماشین آلات و ساخت تجهیزات جدید
برنامه‌ریزی منابع	نبود فضا جهت انبارش اقلام	محاسبه و تخصیص فضای مورد نیاز
	کمبود تجهیزات تولیدی	برآورد درست از تجهیزات و برنامه‌ریزی جهت تأمین تجهیزات مورد نیاز
	توقف خط تولید به دلیل خرابی تجهیزات تولید	تهیه فهرست تجهیزات جایگزین
حمل و نقل	تأخیر در تحویل کالا به مشتری و یا به انبار شرکت	تعریف مسیرهای بهینه هماهنگی جهت انتقال بار درمسیر از وسیله خراب به وسیله جایگزین توسط جرثقیل
	عدم ارسال و یا دریافت در زمان مقرر به دلیل نبود وسیله نقلیه	تهیه لیست وسایل نقلیه جایگزین
	عدم جابه جایی قطعات به دلیل نبودن پالت	پیاده‌سازی مدیریت پالت
	خرابی و ضرب خوردگی و زنگ زدگی قطعات در حین حمل	تهیه چک لیست ارسال

۵. نتیجه‌گیری

تصمیم‌گیری با توجه به تعدد معیارها و پیچیدگی شرایط تصمیم‌گیری، به عنوان یکی از وظایف اصلی مدیریت در حوزه‌های مختلف پژوهشی و کاربردی مورد توجه قرار دارد. از

سوی دیگر، هر سازمان تولیدی برای جلب رضایت مشتری به دنبال اجرای مناسب لجستیک است تا بتواند قدرت عملکرد سازمان را در زمینه‌های مذکور بهبود بخشد که این امر نیز نیازمند تصمیم‌گیری در خصوص نحوه شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های موجود بر سر راه اجرای صحیح لجستیک و تعیین فرآیندهای بحرانی است. به همین دلیل در پژوهش حاضر، با تشکیل تیم چند تخصصی و استفاده از روش تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار آن در فرآیند، ریسک‌های موجود در فرآیند لجستیک به صورت یکپارچه در سازمان تولیدی فعال در صنعت قطعات خودرویی و با در نظر گرفتن شرایط عدم اطمینان مورد بررسی قرار گرفته‌اند. سپس به جای استفاده از شاخص عدد اولویت ریسک از امتیاز حاصل از روش تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای مبتنی بر معیارهای شدت، احتمال وقوع و احتمال تشخیص (معیارهای تعیین کننده عدد اولویت ریسک) برای اولویت بندی ریسک‌های لجستیکی استفاده شده است. در ادامه و در مرحله سوم این تحقیق به دلیل عدم قابلیت شاخص سنتی جهت اولویت بندی فرآیندهای فرعی لجستیکی، از روش تحلیل روابط خاکستری مبتنی بر میانگین وزنی معیارهای بازه‌ای مقداردهی شده برای ریسک‌های موجود در هر فرآیند، جهت اولویت‌بندی فرآیندهای لجستیکی بر حسب میزان بحرانی بودنشان بهره گرفته شد. نتایج روش تصمیم‌گیری مبتنی بر مدل تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای بدون خروجی نشان داد که ریسک‌های عدم پاسخگویی به نیاز مشتری، عدم دستیابی به برنامه تولید و توقف خط تولید به دلیل خرابی تجهیزات تولید در فرآیندهای لجستیک دارای اولویت رسیدگی بالاتری هستند. همچنین خروجی روش تحلیل روابط خاکستری نشان داد که فرآیندهای برنامه‌ریزی تولید، برنامه‌ریزی منابع و حمل و نقل به عنوان فرآیندهای لجستیکی بحرانی تعیین شده‌اند. اولویت‌بندی ریسک‌های لجستیکی بر اساس روابط علی و معلولی و استفاده از ترکیب روش‌های نقشه شناختی فازی و تکنیک‌های تصمیم‌گیری برای شناسایی فرآیندهای بحرانی از پیشنهادات توسعه این تحقیق می‌باشد.

منابع

1- Baghery, M., Yousefi, S., & Rezaee, M. J. (2016). Risk measurement and prioritization of auto parts manufacturing processes based on process failure analysis, interval data envelopment analysis and grey relational analysis. *Journal of Intelligent Manufacturing*, doi: 10.1007/s10845-016-1214-1.

2- Chang, D. S., Chung, J. H., Sun, K. L., & Yang, F. C. (2012). A novel approach for evaluating the risk of health care failure modes. *Journal of medical systems*, 36(6), 3967-3974.

3- Chang, D. S., & Paul Sun, K. L. (2009). Applying DEA to enhance assessment capability of FMEA. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 26(6), 629-643.

4- Chang, K. H., Chang, Y. C., & Tsai, I. T. (2013). Enhancing FMEA assessment by integrating grey relational analysis and the decision making trial and evaluation laboratory approach. *Engineering Failure Analysis*, 31, 211-224.

5- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444.

6- Chen, M. F., & Tzeng, G. H. (2004). Combining grey relation and TOPSIS concepts for selecting an expatriate host country. *Mathematical and Computer Modelling*, 40(13), 1473-1490.

7- Chin, K. S., Wang, Y. M., Poon, G. K. K., & Yang, J. B. (2009). Failure mode and effects analysis by data envelopment analysis. *Decision Support Systems, 48(1),* 246-256.

8- Deng, J. L. (1989). Introduction to grey system theory. *The Journal of Grey System*, 1(1), 1-24.

9- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*. Series A (General), 120(3), 253-290.

10- Garcia, P. A. D. A., Junior, L., Curty, I., & Oliveira, M. A. (2013). A weight restricted DEA model for FMEA risk prioritization. *Production*, 23(3), 500-507.

11- Geum, Y., Cho, Y., & Park, Y. (2011). A systematic approach for diagnosing service failure: Service-specific FMEA and grey relational analysis approach. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(11), 3126-3142.

12- Girginer, N., Köse, T., & Uçkun, N. (2015). Efficiency Analysis of Surgical Services by Combined Use of Data Envelopment Analysis and Gray Relational Analysis. *Journal of Medical Systems*, 39(5), 1-9.

13- Kengpol, A., & Tuammee, S. (2016). The development of a decision support framework for a quantitative risk assessment in multimodal green logistics: an empirical study. *International Journal of Production Research, 54(4),* 1020-1038.
14- Kim, E., & Kim, H. A Reliability Model of Truck Transportation Using FMEA and FTA. Proceedings of the World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering (MCM 2015), 256, 1-5.
15- Kuo, Y., Yang, T., & Huang, G. W. (2008). The use of grey relational analysis in solving multiple attribute decision-making problems. *Computers & Industrial Engineering*, 55(1), 80-93.
16- Lin, S. J., Lu, I. J., & Lewis, C. (2007). Grey relation performance correlations among economics, energy use and carbon dioxide emission in Taiwan. *Energy Policy*, 35(3), 1948-1955.
17- Liu, H. C., You, J. X., Fan, X. J., & Lin, Q. L. (2014). Failure mode and effects analysis using D numbers and grey relational projection method. *Expert Systems with Applications*, 41(10), 4670-4679.
18- Liu, S., & Lin, Y. (2006). *Grey information: theory and practical applications*. Springer Science & Business Media.
19- Oh, H. S., Moon, S. K., & Yoo, J. S. (2013). Service-Oriented FMEA and Grey Relational Analysis Based Approach to Service Reliability Assessment. *International Journal of Advancements in Computing Technology*, 5(12), 225.
20- Rezaee, M. J., Salimi, A., & Yousefi, S. (2017). Identifying and managing failures in stone processing industry using cost-based FMEA. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *88(9),* 3329–3342.
21- Šolc, M. (2012). Applying of Method FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) in the logistics process. *Proceedings in ARSA-Advanced Research in Scientific Areas, 1(1),* 1906-1911.
22- Tsai, M. C. (2006). Constructing a logistics tracking system for preventing smuggling risk of transit containers. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 40(6),* 526-536.
23- Wu, H. H. (2002). A comparative study of using grey relational analysis in multiple attribute decision making problems. *Quality Engineering*, 15(2), 209-217.
24- Yang, C. C., Lin, W. T., Lin, M. Y., & Huang, J. T. (2006). A study on applying FMEA to improving ERP introduction: An example of semiconductor related industries in Taiwan. *International Journal of Quality & Reliability Management, 23(3),* 298-322.
25- Zimmermann, H. J. (2011). *Fuzzy set theory—and its applications*. Springer Science & Business Media.