Archive of SID

نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

IERPS نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

ISSN: 2345-2269

سال چهارم شماره هفتم بهار و تابستان ۱۳۹۵، صفحه ۹۳-۱۰۳

www.ier.basu.ac.ir

مدل تصمیم‌گیری سازشی گروهی فازی تردیدی با در نظر گرفتن وزن تصمیم‌گیران به‌منظور ارزیابی ریسک‌های ایمنی در پروژه‌های تولیدی (صنعت کشتی سازی)

سعید گلزار راغب[۱]، سیدمیثم موسوی[۲،*]، حسین گیتی نورد[۳]، بهنام وحدانی[۴]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران

۲. استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران

۳. دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

۴. استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، گروه مهندسی صنایع، قزوین

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۵/۰۱/۲۲

پذیرش ۱۳۹۵/۰۶/۱۶

کلمات کلیدی:

ریسک‌های ایمنی تولید

ارزیابی ریسک

مجموعه‌های فازی تردیدی

تصمیم‌گیری سازشی گروهی

پروژه‌های ساخت کشتی

خلاصه

صنعت کشتی‌سازی دارای نقش بسیار مهمی در تجارت و حمل‌ونقل‌های بین‌المللی است. پروژه‌های تولید کشتی به‌دلیل استفاده از تجهیزات سنگین و فرآیندهای تولید پیچیده، به‌عنوان یکی از خطرناک‌ترین صنایع جهان شناخته شده است. به همین دلیل، در این‌گونه پروژه‌ها نیاز است که یک مدل مناسب برای ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌های ایمنی تدوین شود که ریسک‌هایی که بیشترین آسیب را به فرآیند تولید و نیروی انسانی وارد می‌کنند، شناسایی شوند. به همین منظور در این مطالعه، یک مدل تصمیم‌گیری سازشی گروهی بر اساس مجموعه‌های فازی تردیدی برای ارزیابی ریسک‌های ایمنی در پروژه‌های تولید کشتی، ارائه می‌گردد. ازآنجایی‌که وقوع ریسک‌های ایمنی از عدم قطعیت بسیار بالایی برخوردار هستند، در این مطالعه از مجموعه‌های فازی تردیدی به منظور ارزیابی آن‌ها استفاده می‌شود. در رویکرد فازی تردیدی، به‌جای در نظر گرفتن یک درجه عضویت، می‌توان چند درجه عضویت برای یک عنصر در نظر گرفت و عدم قطعیت بیشتری را پوشش داد و این کار کمک می‌کند خطای حاصل از عدم قطعیت کاهش یابد. در مدل پیشنهادی ابتدا برای هر یک از کارشناسان بر اساس روش پیشنهادی شاخص انتخاب اولویت فازی تردیدی وزن مناسب به دست آورده می‌شود و سپس ریسک‌های شناسایی‌شده رتبه‌بندی می‌شوند. در پایان به منظور نشان دادن اعتبار مدل، یک مثال کاربردی از صنعت کشتی سازی حل شده است و نتایج رتبه‌بندی حاصل از آن با دو روش متداول در ادبیات موضوع تصمیم‌گیری، مقایسه گردیده است. بعلاوه، مقایسه‌ی نتایج محاسباتی نشان داد که مدل پیشنهادی در شرایط عدم قطعیت، عملکرد مناسبی دارد.

۱- مقدمه

نیروی انسانی به‌عنوان مهم‌ترین عامل در تولید و خدمات، همواره توسط عوامل متعددی تهدید می‌شود که یکی از مهم‌ترین آن‌ها، حوادث ناشی از کار می‌باشد [۱]. درواقع حوادث ناشی از کار علاوه بر ایجاد بار مالی و اجتماعی بر فرد حادثه‌دیده، باعث تحمیل هزینه‌های متعدد به سازمان می‌گردد. آمارها نشان می‌دهد هزینه متوسطی که جوامع انسانی به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در قبال حوادث می‌پردازند در حدود دو الی سه درصد از متوسط تولید ناخالص ملی کشورهای جهان است. این نرخ چیزی در حدود رشد اقتصادی یک‌ساله برخی کشورها است [۲]. همچنین مطالعات نشان می‌دهد هزینه‌های ناشی از حوادث و بیماری‌های ناشی از کار در برخی کشورهای درحال‌توسعه در حدود پنج الی ده درصد از کل

* نویسنده مسئول: سیدمیثم موسوی

تلفن: ۰۲۱۵۱۲۱۲۰۹۱؛ پست الکترونیک: sm.mousavi@shahed.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

سود کارخانه است [۳]. ازاین‌رو یکی از عوامل اصلی در کاهش هزینه‌های مالی و جانی در بخش صنعت، تدوین و اجرای روش‌های مختلف، در ارزیابی ریسک‌های مربوط به حوزه‌ی ایمنی است.

از طرف دیگر، صنعت کشتی‌سازی داری نقش بسیار مهمی در تجارت و حمل‌ونقل‌های بین‌المللی است. صنعت کشتی‌سازی به‌دلیل استفاده از تجهیزات سنگین و فرایندهای تولید پیچیده و همچنین کار کردن نیروی انسانی در شرایط سخت و در معرض مواد خطرناک، به یکی از خطرناک‌ترین صنایع جهان تبدیل شده است و به گزارش اداره آمار کار ایالت متحده، یکی از سه صنایع خطرناک موجود در جهان است [۴]. فرایند تولید کشتی شامل انواع خطرات شغلی نظیر: سقوط از ارتفاع، سقوط اشیا، قرار گرفتن در معرض شوک الکتریکی، انفجار، آتش‌سوزی و غیره می‌باشد که سالانه صدها نفر براثر این حوادث جان خود را از دست می‌دهند. از این گذشته به دلیل قرار گرفتن نیروی انسانی در معرض گازهای سمی ناشی از فرایندهای جوشکاری و نقاشی، آسیب‌های جدی به‌سلامت کارگران وارد می‌شود [۵]. ازاین‌رو به دلیل محدودیت منابع و بودجه سازمان‌ها، نیاز است که یک مدل مناسب برای ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌های ایمنی، در این صنعت تدوین شود که بتوان بهترین پاسخ‌ها را برای ریسک‌هایی که احتمال وقوع بالا و شدت تخریب سنگینی دارند، در نظر گرفت.

در حقیقت، ارزیابی ریسک به‌طور سیستماتیک تعیین می‌کند که چه خطرات و حوادثی در محیط کار وجود دارد و احتمال رخ دادن خطر به چه میزان است و همچنین چه آسیب‌هایی و با چه شدتی ممکن است به وجود آید که در اکثر منابع به‌منظور رتبه‌بندی ریسک‌ها تنها از حاصل‌ضرب دو شاخص احتمال و شدت اثر استفاده شده است درحالی‌که در دنیای واقعی، در رتبه‌بندی ریسک، شاخص‌های دیگری وجود دارد و نمی‌توان تنها به نتایج مقایسه دو شاخص فوق اکتفا نمود. ازاین‌رو استفاده از رویکردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره، می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مناسب برای حل مسائل ارزیابی ریسک در نظر گرفته شود.

در همین راستا، تعدادی از محققان بر روی این زمینه تمرکز کرده‌اند. برگلیا و همکاران [۶] یک مدل ارائه نمودند که با استفاده از روش تاپسیس، حالات خرابی را اولویت‌بندی می‌نمود. ونگ و الهاگ [۷]، یک مدل تصمیم‌گیری گروهی فازی برای ارزیابی ریسک‌های احداث پل ارائه نمودند. گورکانلی و مانگن [۸] با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی و قوانین فازی، ریسک‌های ایمنی شغلی را تحلیل و اولویت‌بندی نمودند. سیلوستری و همکاران [۹] یک روش ارزیابی ریسک برای بهبود ایمنی ارائه نمودند که در این روش با ترکیب شاخص نمره اولویت ریسک با فرایند تحلیل سلسله مراتبی و فرایند تحلیل شبکه، به تصمیم‌گیران در حوزه تولید کمک می‌کرد که خطرات و ریسک‌های ایمنی را طبقه‌بندی و تجزیه‌وتحلیل کنند. زنگ و همکاران [۱۰] با استفاده از رویکرد تجزیه و تحلیل حالات خطا و اثرات ناشی از آن، ریسک های ایمنی، محیط زیست و کیفیتی پروژه‌های ساخت را تجزیه و تحلیل نمودند.

همچنین برخی از محققان از روش‌های احتمالی و کیفی برای ارزیابی ریسک استفاده نمودند. فنگ و مارل [۱۱] یک سیستم پشتیبان از تصمیم برای مدل‌سازی و مدیریت ریسک‌های پروژه و اثر متقابل این ریسک‌ها بر پروژه ارائه نمودند. در حقیقت بر اساس مفاهیم سیستم پشتیبان از تصمیم برای و گام‌های مدیریت ریسک، یک چهارچوب یکپارچه شامل شناسایی، ارزیابی و آنالیز شبکه ریسک توسعه داده شده است. همچنین این روش با استفاده از ابزار شبیه‌سازی، برای انتخاب صحیح اقدامات کاهش ریسک نیز موثر بود. امین بخش و همکاران [۱۲] عنوان کردند که اولویت‌بندی و ارزیابی مناسب ریسک‌های ایمنی، برای برنامه‌ریزی، بودجه‌بندی و مدیریت پروژه‌های ساخت امری حیاتی است. ازاین‌رو یک چارچوب، برای ارزیابی ریسک‌های شناسایی‌شده، با استفاده از نظریه هزینه‌های ایمنی و روش تحلیل سلسله مراتبی ارائه نمودند. لامبرت و همکارانش [۱۳] روشی کیفی را برای رتبه‌بندی منابع ریسک‌ها ارائه کرده‌اند. آن‌ها برای این کار از سه شاخص احتمال وقوع، تاثیر بالقوه بر پروژه و کارآمدی و سرعت در مقابله با ریسک استفاده کرده‌اند. وو و همکاران [۱۴] یک مدل معادله ساختاری سیستماتیک با رویکرد مبتنی بر ارزیابی آینده‌نگر ارائه نمودند که در آن سطح عملکرد ایمنی سه نوع مختلف از شرکت‌های دولتی، شرکت‌های خصوصی و شرکت‌های سرمایه‌گذاری مشترک را اندازه‌گیری می‌نماید. پرلمن و همکاران [۱۵] در یک پژوهش، به بررسی میزان درک سرپرستان کارگاه‌های ساختمانی از خطرات و ریسک‌های ایمنی و چگونگی ارزیابی این ریسک‌ها توسط آن‌ها پرداختند.

از طرف دیگر، با توجه به اینکه ریسک، به‌صورت تصادفی و ناگهانی اتفاق می‌افتند و اطلاعاتی از پیش در مورد آن‌ها در دست نیست، هم‌چنین به دلیل استفاده از قضاوت‌های خبرگان در ارزیابی ریسک‌ها و مبهم و گنگ بودن نظرات، بکار بردن مجموعه‌های فازی در تحلیل ریسک‌ها ضرورت پیدا می‌کند[۷]. منطق فازی در ۱۹۶۵ برای اولین بار در مقاله‌ای به همین نام، توسط پروفسور لطفی عسگر زاده ارائه شد [۱۶] و در حال حاضر کاربردهای فراوانی دارد و در حیطه مدیریت نیز جای خاصی را به خود اختصاص داده است و برای داده‌هایی که دارای ابهام و عدم قطعیت در ارزیابی ریسک هستند بسیار مناسب است. لیو و تسای [۱۷]، برای کاهش یا جلوگیری از خطرات شغلی در صنعت ساخت‌وساز، روش ارزیابی خطر فازی پیشنهاد نمودند. روش پیشنهادی شامل دو مرحله است. مرحله اول دربرگیرنده‌ی فرآیند تجزیه‌وتحلیل شبکه‌ای فازی برای شناسایی انواع ریسک‌های پرخطر است و در مرحله دوم، بر اساس روش تحلیل حالات شکست و آثار، ارزیابی ارزش ریسک‌های پرخطر انجام شد. روش پیشنهادی برای شرکت مهندسی مخابرات در جنوب تایوان استفاده شد. کاوو و لو [۱۸] یک رویکرد قابل‌اعتماد برای ارزیابی ریسک پروژه‌های ساخت بر اساس نظریه مستقیم و قضاوت خبرگان ارائه نمودند که در آن با استفاده از مفهوم احتمال و اثر در ریسک و استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی، ریسک‌های پروژه‌های

www.SID.ir

Archive of SID

ساخت به‌طور سیستماتیک مورد ارزیابی قرار گرفت. ژانگ و همکاران [۱۹] نیز یک رویکرد سیستماتیک پشتیبان تصمیم برای تجزیه و تحلیل ریسک‌های ایمنی در پروژه‌های ساخت تونل تحت شرایط عدم اطمینان ارائه نمودند. در این رویکرد پیشنهادی، با استفاده از شبکه‌های بیزی فازی، روابط علی بین ریسک‌های ایمنی تونل و متغیرهای موثر بر آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته شده است و ارزیابی ریسک در کل چرخه حیات پروژه مورد توجه قرار داده شده است.

علیرغم کاربرد بسیار نظریه فازی کلاسیک که پروفسور زاده ارائه نمودند، در طی سالیان اخیر اقداماتی برای توسعه این نظریه انجام شده است که به توسعه‌های نوین فازی مشهورند. در دنیای واقعی، وقتی در مورد درجه مطلوبیت یک موضوع سؤال می‌شود، علاوه بر عدم قطعیت، یک شک یا تردیدی در مورد آن وجود دارد که در تئوری مجموعه‌های فازی کلاسیک ابزاری برای تعریف این عدم قطعیت در درجه‌های عضویت تعریف نشده است. یکی از توسعه‌های جدید مجموعه‌های فازی، فازی تردیدی است که این مفهوم اولین بار توسط تورا [۲۰] پدید آمد. در رویکرد فازی تردیدی، به‌جای در نظر گرفتن یک درجه عضویت، می‌توان چند درجه عضویت برای یک عنصر در نظر گرفت و عدم قطعیت بیشتری پوشش داد و این کار کمک می‌کند که محاسبات انعطاف‌پذیری بیشتری از لحاظ مفهومی داشته باشند و در مسائل تصمیم‌گیری و مسائلی که نیاز به قضاوت انسان است، واقع‌بینانه‌تر و کاربردی‌تر است. در این مورد، فرهادنیا [۲۱] و همچنین یو و همکاران [۲۲] بیان نمودند که مجموعه‌های فازی تردیدی می‌تواند در دنیای واقعی و کاربردهای عملی، از برخی از مشکلات تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه نظیر گمنامی، حفظ حریم شخصی و سرایت روانی تصمیم‌گیرندگان جلوگیری نماید. وانگ و همکاران [۲۳] عنوان نمودند که در نظر گرفتن مجموعه‌های فازی تردیدی، برای رسیدگی به مشکلات تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه، در شرایط مبهمی که تصمیم‌گیرنده بین چند مقدار مختلف مردد می‌باشد؛ مفید هستند. همچنین ژانگ و همکاران [۲۴] توضیح می‌دهند که مجموعه‌های فازی تردیدی، یک راه موثر در ارتباط با مشکلات تصمیم‌گیری تحت شرایط عدم‌قطعیت ارائه می‌دهند؛ زمانی که چندین درجه عضویت برای یک شی یا یک معیار ممکن است.

با بررسی ادبیات مرتبط به ارزیابی ریسک مشاهده شد که با توجه به وقوع حوادث شغلی خطرناک و بالا بودن میزان ریسک‌های ایمنی در صنعت تولید کشتی، هیچ مطالعه‌ای تاکنون به بررسی و اولویت‌بندی این ریسک‌ها، از طریق مدل‌های تصمیم‌گیری و یا مدل‌های ریاضی، نپرداخته است و تنها ییلماز و همکاران [۵]، ازطریق یک مطالعه موردی به بررسی آماری، ریسک‌های ایمنی تولید کشتی پرداخته‌اند. بدین منظور، در مطالعه حاضر یک روش جدید تصمیم‌گیری سازشی گروهی تحت مجموعه‌های فازی تردیدی به منظور شناسایی و ارزیابی ریسک‌های با درجه اهمیت بالا در صنعت تولید کشتی ارائه گردیده است. همچنین در سایر مطالعاتی که در حوزه ارزیابی ریسک صورت گرفته است، غالباً وزن تصمیم گیران یکسان در نظر گرفته شده است؛ درحالی‌که در شرایط واقعی و عملیاتی، معمولاً ارزش و وزن خبرگان با توجه به دانش و تجربه آن‌ها، با یکدیگر متفاوت است. یکی دیگر از نوآوری‌های این مطالعه، ارائه یک روش جدید شاخص انتخاب اولویت فازی تردیدی برای تخصیص وزن (درجه اهمیت) مناسب برای خبرگان است. همچنین در مطالعات گذشته در حوزه ارزیابی ریسک، از توسعه‌های نوین فازی استفاده نشده است و فقط نظریه فازی کلاسیک در مطالعات گذشته بکار رفته است که در این مطالعه برای نخستین بار در محیط ریسک‌های ایمنی در صنعت تولید کشتی از توسعه‌های نوین مجموعه های فازی (فازی تردیدی) برای ارزیابی ریسک و همچنین وزن دهی به خبرگان و تصمیم‌گیران استفاده می‌شود که در مقایسه با فازی کلاسیک توانایی پوشش بیشتر عدم قطعیت و کاهش خطای حاصل از عدم قطعیت را دارا می‌باشد. از طرف دیگر، اکثر مطالعاتی که در حوزه ارزیابی ریسک صورت گرفته است از دو شاخص احتمال وقوع و شدت اثر ریسک، برای ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌ها استفاده شده است که در مطالعه حاضر، معیار های جدید جهت ارزیابی و رتبه بندی ریسک های ایمنی در صنعت تولید کشتی معرفی شده است که ارزیابی جامع‌تر و دقیق‌تری در حوزه ریسک‌های ایمنی پروژه‌های تولید کشتی صورت گیرد. همچنین در این مطالعه برای کاهش خطر ریزش اطلاعات، برخلاف روش‌های معمول، نظرات کارشناسان و تصمیم‌گیران در پایان مدل ادغام می شود.

برای مشخص شدن جایگاه مطالعه فعلی، طبقه‌بندی مطالعات پیشین در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱): طبقه‌بندی مطالعات پیشین

محقق	سال	رویکرد مدل‌سازی				رویکرد قطعیت و عدم‌قطعیت	
		تصمیم‌گیری چند معیاره	تصمیم‌گیری سازشی گروهی	ضرب احتمال در شدت اثر	در نظر گرفتن وزن خبرگان	سایر روش‌ها (کیفی، FMEA و...)	فازی کلاسیک	توسعه‌های نوین فازی	احتمالی قطعی
لامبرت و همکاران [۱۳]	۲۰۰۱					✓			✓ ✓
برگلیا و همکاران [۶]	۲۰۰۳	✓							✓
ونگ و الهاگ [۷]	۲۰۰۷			✓			✓		
گورکانلی و مانگن [۸]	۲۰۰۹	✓					✓		
لیو و تسای [۱۷]	۲۰۱۲	✓				✓	✓		
فنگ و مارل [۱۱]	۲۰۱۲					✓			✓
سیلوستری و همکاران [۹]	۲۰۱۲	✓				✓			✓
کاوو و لو [۱۸]	۲۰۱۳	✓		✓			✓		
امین بخش و همکاران [۱۲]	۲۰۱۳	✓				✓			✓
پرلمن و همکاران [۱۵]	۲۰۱۴					✓			✓
ژانگ و همکاران[۱۹]	۲۰۱۴					✓	✓		
وو و همکاران [۱۴]	۲۰۱۵					✓			✓
زنگ و همکاران [۱۰]	۲۰۱۵			✓		✓			✓
مدل پیشنهادی	۲۰۱۶	✓	✓		✓			✓	

www.SID.ir

Archive of SID

ساختار کلی مقاله به‌صورت مقابل سازمان‌دهی شده است؛ در بخش ۲، به بررسی و توصیف مفاهیم و عملگرهای موردنیاز مجموعه‌های فازی تردیدی به‌منظور توسعه‌ی مدل پیشنهادی می‌پردازیم. در بخش ۳، مدل پیشنهادی تصمیم‌گیری گروهی با محاسبه‌ی وزن تصمیم‌گیران تحت مجموعه‌های فازی تردیدی ارائه می‌گردد. در بخش ۴، با استفاده از یک مطالعه‌ی کاربردی فرآیند گام‌های مدل پیشنهادی نشان داده می‌شود. همچنین، نتایج رتبه‌بندی به‌دست‌آمده از این تحقیق با نتایج حاصل از یک روش تاپسیس پایه‌ای، به‌منظور نشان دادن اعتبار مدل پیشنهادی تحقیق، موردقیاس قرار می‌گیرد. در پایان، نتایج حاصل از تحقیق و مطالعات آتی در بخش ۵ ارائه‌شده است.

۲- مفاهیم و عملگرهای پایه‌ای

تعریف ۱. متغیر X را به‌عنوان مجموعه جهانی در نظر بگیرید؛ سپس مجموعه فازی تردیدی E روی X به‌وسیله تابع $h_E(x)$ نشان داده می‌شود که متغیر x را به عددی در بازه [۱،۰] تبدیل می‌کند [۲۵].

$$E=\{<x,h_E(x)>|x\in X\} \quad (۱)$$

در این رابطه $h_E(x)$ به مجموعه درجه عضویت‌ها برای عناصر در بازه [۱،۰] دلالت می‌کند و نشان‌دهنده تبدیل درجه عضویت عناصر از $x\in X$ به E است.

تعریف ۲. تعدادی از روابط پایه‌ای به‌صورت زیر تعریف می‌شوند [۲۶, ۲۰]:

$$h^{-}(x)=min\ h(x) \quad (۲)$$

$$h^{+}(x)=max\ h(x) \quad (۳)$$

$$h^{c}(x)=\cup_{\gamma\in h(x)}\{1-\gamma\} \quad (۴)$$

$$h_1\cup h_2=\cup_{\gamma_1\in h_1,\gamma_2\in h_2}\max\{\gamma_1,\gamma_2\} \quad (۵)$$

$$h_1\cap h_2=\cup_{\gamma_1\in h_1,\gamma_2\in h_2}\min\{\gamma_1,\gamma_2\} \quad (۶)$$

تعریف ۳. تعدادی از عملیات‌ها در مورد رابطه بین مجموعه‌های فازی شهودی و عناصر فازی تردیدی به‌صورت زیر تعریف می‌گردند [۲۵]:

$$h_1\oplus h_2=\cup_{\gamma_1\in h_1,\gamma_2\in h_2}\{\gamma_1+\gamma_2-\gamma_1.\gamma_2\} \quad (۷)$$

$$h_1\otimes h_2=\cup_{\gamma_1\in h_1,\gamma_2\in h_2}\{\gamma_1.\gamma_2\} \quad (۸)$$

$$h^{\lambda}=\cup_{\gamma\in h}\{\gamma^{\lambda}\} \quad (۹)$$

$$\lambda h=\cup_{\gamma\in h}\{1-(1-\gamma)^{\lambda}\} \quad (۱۰)$$

تعریف ۴. بر اساس رابطه بین مجموعه‌های فازی شهودی و مجموعه فازی تردیدی رابطه‌های تفریق و تقسیم برای مجموعه‌های فازی تردیدی به‌صورت زیر نشان داده می‌شوند [۲۷]:

$$h_1-h_2=\cup_{\gamma_1\in h_1,\gamma_2\in h_2}\begin{Bmatrix}\frac{\gamma_1-\gamma_2}{1-\gamma_2} & if\ \gamma_1\geq\gamma_2\ and\ \gamma_2\neq 1;\\ 0 & otherwise\end{Bmatrix} \quad (۱۱)$$

$$\frac{h_1}{h_2}=\cup_{\gamma_1\in h_1,\gamma_2\in h_2}\begin{Bmatrix}\frac{\gamma_1}{\gamma_2} & if\ \gamma_1\leq\gamma_2\ and\ \gamma_2\neq 0;\\ 1 & otherwise\end{Bmatrix} \quad (۱۲)$$

تعریف ۵. در نظر بگیرید h_M و h_N دو مجموعه فازی تردیدی باشند، رابطه فاصله عمومی به‌صورت زیر تعریف می‌شود [۲۸].

$$d_{gh}(h_M,h_N)=\left(\frac{1}{l_{x_i}}\sum_{j=1}^{l_{x_i}}\left|h_M^{\sigma(j)}(x_i)-h_N^{\sigma(j)}(x_i)\right|^{\lambda}\right)^{\frac{1}{\lambda}} \quad (۱۳)$$

در این رابطه $h_M^{\sigma(j)}$ و $h_N^{\sigma(j)}$ ، به ترتیب j امین عدد بزرگ در h_M و h_N هستند. همچنین اگر $\lambda=1$ در نظر گرفته شود، مقیاس فاصله همینگ به دست می‌آید، اگر $\lambda=2$ در نظر گرفته شود آنگاه مقیاس فاصله اقلیدسی می‌شود.

تعریف ۶. در مجموعه‌های فازی تردیدی عملگر میانگین وزنی فازی تردیدی عمومی شده به‌صورت زیر تعریف می‌شود [۲۵].

$$GHFA_{\lambda}(h_1,h_2,...,h_n)=\overset{n}{\underset{j=1}{\oplus}}\left(h_j^{\lambda}\right)=\cup_{\gamma_1\in h_1,\gamma_2\in h_2,...,\gamma_n\in h_n}\left\{\left(1-\prod_{j=1}^{n}\left(1-\gamma_j^{\lambda}\right)\right)^{\frac{1}{\lambda}}\right\} \quad (۱۴)$$

که در آن اگر $\lambda=1$ میانگین فازی تردیدی به دست خواهد آمد.

تعریف ۷. در مجموعه‌های فازی تردیدی عملگر هندسی وزنی فازی تردیدی به‌صورت زیر تعریف می‌شود [۲۵].

$$HFWG(h_1,h_2,...,h_n)=\overset{n}{\underset{j=1}{\otimes}}h_j^{w_j}=\cup_{\gamma_1\in h_1,\gamma_2\in h_2,...,\gamma_n\in h_n}\left\{\prod_{j=1}^{n}\gamma_j^{w_j}\right\} \quad (۱۵)$$

که اگر در رابطه فوق به ازای تمامی w_j ها، $w_j=\frac{1}{n}$ باشد، رابطه فوق به عملگر هندسی فازی تردیدی تبدیل می‌شود.

$$HFG(h_1,h_2,...,h_n)=\overset{n}{\underset{j=1}{\otimes}}h_j^{\frac{1}{n}}=\cup_{\gamma_1\in h_1,\gamma_2\in h_2,...,\gamma_n\in h_n}\left\{\prod_{j=1}^{n}\gamma_j^{\frac{1}{n}}\right\} \quad (۱۶)$$

تعریف ۸. عملگر هندسی وزنی فازی تردیدی عمومی شده، در مجموعه‌های فازی تردیدی به‌صورت زیر تعریف می‌شود [۲۵].

$$GHFWG_{\lambda}(h_1,h_2,...,h_n)=\cup_{\gamma_1\in h_1,\gamma_2\in h_2,...,\gamma_n\in h_n}\left\{1-\left(1-\prod_{j=1}^{n}(1-(1-\gamma_j)^{\lambda})^{w_j}\right)^{\frac{1}{\lambda}}\right\} \quad (۱۷)$$

که در آن اگر $\lambda=1$ باشد عملگر هندسی وزنی فازی تردیدی به دست خواهد آمد.

تعریف ۹. ماتریس تصمیم فازی تردیدی $H=\left(h_{ij}\right)_{m\times n}$ در نظر بگیرید سپس ماتریس تصمیم فازی تردیدی نرمال شده $\left(B=\left(b_{ij}\right)_{m\times n}\right)$ به‌صورت زیر به دست می‌آید [۲۹]:

www.SID.ir

Archive of SID

$$b_{ij} = \cup_{t_{ij} \in b_{ij}} = \begin{cases} \{\gamma_{ij}\} & \text{for positive criteria} \\ \{1-\gamma_{ij}\} & \text{for negative criteria} \end{cases} \quad \forall i = 1,...,m; j = 1,...,n \tag{۱۸}$$

تعریف ۱۰. فاصله هاسدورف فازی تردیدی عمومی به‌صورت زیر تعریف می‌شود [۲۸]. در واقع، فاصله هاسدورف فازی تردیدی به‌دلیل ماهیت وجودی آن که به دنبال محاسبه‌ی فاصله‌ی تمام زیرمؤلفه‌های دو مجموعه از یکدیگر است، می‌تواند در مجموعه‌های فازی تردیدی که تحت مفاهیم مجموعه‌ها ارائه گردیده است، به درستی مورد استفاده قرار گیرد.

$$d_{hhg}(h_M, h_N) = \left(\sum_{i=1}^{n} \max_j \left| h_M^{\sigma(j)}(x_i) - h_N^{\sigma(j)}(x_i) \right|^{\lambda} \right)^{\frac{1}{\lambda}} \tag{۱۹}$$

در رابطه (۱۹) اگر $\lambda = 2$ باشد، آنگاه رابطه فوق به فاصله اقلیدسی- هاسدورف فازی تردیدی به صورت زیر تبدیل می شود.

$$d_{heh}(h_M, h_N) = \sum_{i=1}^{n} \sqrt{\max_j \left| h_M^{\sigma(j)}(x_i) - h_N^{\sigma(j)}(x_i) \right|^2} \tag{۲۰}$$

۳- ارائه‌ی روش ارزیابی پیشنهادی

در این بخش یک مدل تصمیم‌گیری گروهی سازشی بر اساس مجموعه‌های فازی تردیدی به‌منظور ارزیابی ریسک‌های ایمنی در صنعت تولید کشتی، ارائه شده است. در روش پیشنهادی، یک گروه از خبرگان (کارشناسان) در نظر گرفته شده است که در شرایط عدم اطمینان، در مورد ریسک‌های ایمنی موجود در پروژه‌های ساخت تحت معیارهای شناسایی‌شده، قضاوت می‌کنند. در این راستا کارشناسان نظرات و قضاوت‌های خود را به‌وسیله متغیرهای زبانی بیان نموده‌اند که این متغیرهای زبانی به اعداد فازی تردیدی تبدیل شده است. همچنین برای کارشناسان درجه‌ی ریسک پذیری تعریف شده است و نظرات آن‌ها براساس متغیرهای زبانی به سه گروه خوش‌بین، میانه‌رو و بدبین تقسیم بندی می شود.

مدل پیشنهادی به سه بخش اصلی تقسیم شده است که شامل محاسبه‌ی وزن کارشناسان، محاسبه وزن معیارها و رتبه بندی گزینه‌های ریسک می‌باشد. در این روش ابتدا یک شاخص انتخاب اولویت فازی تردیدی جدید برای تخصیص وزن مناسب برای کارشناسان ارائه گردیده است؛ سپس از طریق عملگر ادغام هندسی و با توجه به وزن خبرگان، اهمیت نسبی گزینه‌ها بدست آورده می شود. سرانجام به‌وسیله یک شاخص راه حل توافقی و براساس این منطق که گزینه‌های ریسک تا حد امکان باید به گزینه ایده‌آل مثبت نزدیک و از گزینه ایده‌آل منفی دور باشند، ریسک‌های ایمنی صنعت تولید کشتی اولویت‌بندی می شوند.

در مدل مذکور $A_i = \{1,2,...,m\}$ مجموعه آلترناتیو (ریسک) های موجود، $C_j = \{1,2,...,n\}$ مجموعه معیارها، $k_k = \{k_1, k_2, ..., k_K\}$ مجموعه‌ی تصمیم‌گیران و $\lambda_k = \{\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_k\}$ مجموعه وزن تصمیم‌گیران که از مدل به دست می‌آید؛ می‌باشد و مراحل رتبه‌بندی ریسک‌ها با در نظر گرفتن وزن تصمیم‌گیران و معیارها به‌صورت زیر است:

گام اول: ایجاد ماتریس تصمیم گروهی فازی تردیدی ($\wp_{ij}$)، براساس قضاوت‌های گروه خبرگان.

$$\wp_{ij}^{k} = \begin{array}{c} \\ A_1 \\ \vdots \\ A_m \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} C_1 & C_2 & \cdots & C_n \end{array} \\ \begin{pmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \cdots & \mu_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{m1} & \mu_{m2} & \cdots & \mu_{mn} \end{pmatrix}_{m \times n} \end{array} \quad \forall k \tag{۲۱}$$

گام دوم: محاسبه اهمیت نسبی برای هر خبره بر اساس روش شاخص انتخاب اولویت فازی تردیدی.

گام ۲,۱: هر ماتریس تصمیم فازی تردیدی که توسط خبرگان شکل گرفت، باید توسط تعریف ارائه‌شده در تعریف ۹ نرمالایز شود و با $\left[\wp_{ij}^{Nk} \right]_{m \times n}$ نمایش داده شود.

گام ۲,۲: محاسبه ارزش اولویت فازی تردیدی ($HFPV^{\,k}$) برای هر خبره مانند زیر:

$$HFPV^{\,k} = \sqrt{\frac{1}{l_{x_i}} \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} \sum_{\lambda=1}^{l_{x_i}} \left| \wp_{ij}^{Nk\sigma(\lambda)}(x_i) - \bar{\wp}_{ij}^{\sigma(\lambda)}(x_i) \right|^2} \quad \forall k \tag{۲۲}$$

که در آن میانگین ماتریس ارزش نرمالایز شده ($\left[\bar{\wp}_{ij} \right]_{m \times n}$) به‌صورت زیر محاسبه شده است:

$$\bar{\wp}_{ij} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^{K} \wp_{ij}^{Nk} \quad \forall i, j \tag{۲۳}$$

گام ۲,۳: تعیین ارزش اولویت کلی فازی تردیدی (ξ_k) برای هر خبره، با توجه به انحراف در ارزش اولویت فازی تردیدی به شرح زیر:

$$\xi^k = \frac{1 - HFPV^{\,k}}{\sum_{k=1}^{K} 1 - HFPV^{\,k}} \quad \forall k$$
$$\sum_{k=1}^{K} \xi^k = 1 \ \forall k \tag{۲۴}$$

گام ۲,۴: تشکیل ماتریس انتخاب اولویت فازی تردیدی (φ_{ij}^{k}) برای خبرگان به شرح زیر:

$$\varphi_{ij}^{k} = \left(\xi^k, \wp_{ij}^{Nk} \right)_{m \times n} = \begin{array}{c} \\ A_1 \\ \vdots \\ A_m \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} C_1 & C_2 & \cdots & C_n \end{array} \\ \begin{pmatrix} \varphi_{11}^{k} & \varphi_{12}^{k} & \cdots & \varphi_{1n}^{k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \varphi_{m1}^{k} & \varphi_{m2}^{k} & \cdots & \varphi_{mn}^{k} \end{pmatrix}_{m \times n} \end{array} \tag{۲۵}$$

گام ۲,۵: تشکیل ماتریس ارزش نرمالایز شده حداقل (η_{ij}) به شرح زیر است:

www.SID.ir

Archive of SID

$$\eta_{ij}=\left(\mu_{ij}^{-}\right)_{m\times n}=\begin{array}{c} \\ A_1\\ \vdots\\ A_m\end{array}\begin{array}{c}\begin{array}{cccc} C_1 & C_2 & \cdots & C_n\end{array}\\ \begin{pmatrix}\mu_{11}^{-} & \mu_{12}^{-} & \cdots & \mu_{1n}^{-}\\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ \mu_{m1}^{-} & \mu_{m2}^{-} & \cdots & \mu_{mn}^{-}\end{pmatrix}_{m\times n}\end{array} \qquad (۲۶)$$

$$\mu_{ij}^{-}=\underset{k}{\mathrm{Min}}\left\{\mathrm{Score}\left(\mu_{ij}^{k}\right)\right\}\quad \forall i,j \qquad (۲۷)$$

گام ۲،۶: اهمیت نسبی هر خبره (λ_k) به‌صورت زیر محاسبه شده است.

$$\lambda_k=\frac{\sqrt{\frac{1}{l_{x_i}}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\sum_{\lambda=1}^{l_{x_i}}\left(\left|\varphi_{ij}^{k\sigma(\lambda)}(x_i)-\eta_{ij}^{\sigma(\lambda)}(x_i)\right|^2\right)}}{\sum_{k=1}^{K}\sqrt{\frac{1}{l_{x_i}}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\sum_{\lambda=1}^{l_{x_i}}\left(\left|\varphi_{ij}^{k\sigma(\lambda)}(x_i)-\eta_{ij}^{\sigma(\lambda)}(x_i)\right|^2\right)}}\ \forall k \qquad (۲۸)$$

گام سوم: تعیین وزن هر معیار بر اساس عملگر ادغام هندسی که در تعریف ۷ آمده است:

$$\vartheta_j=HFG\left(\omega_j^1,\omega_j^2,...,\omega_j^K\right)=\cup_{\gamma_1\in h_1,\gamma_2\in h_2,...,\gamma_n\in h_n}\left\{\prod_{k=1}^{K}\left(\omega_j^k\right)^{\lambda_k}\right\}\quad \forall j \qquad (۲۹)$$

که در آن ω_j^k نظر k امین تصمیم‌گیرنده برای j امین معیار است و ϑ_j وزن نهایی معیار براساس اولویت‌های قضاوت تصمیم‌گیرندگان است.

گام چهارم: ساخت ماتریس تصمیم فازی تردیدی نرمالایز شده وزن دهی شده برای هر خبره $\left(\left[\alpha_k\right]_{m\times n}\right)$. مانند زیر:

$$\alpha_k=\begin{array}{c} \\ A_1\\ A_2\\ \vdots\\ A_m\end{array}\begin{array}{c}\begin{array}{cccc} C_1 & C_2 & \cdots & C_n\end{array}\\ \begin{bmatrix}\vartheta_1.\mu_{A_1}(x_1) & \vartheta_2.\mu_{A_1}(x_2) & \cdots & \vartheta_n.\mu_{A_1}(x_n)\\ \vartheta_1.\mu_{A_2}(x_1) & \vartheta_2.\mu_{A_2}(x_2) & \cdots & \vartheta_n.\mu_{A_2}(x_n)\\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ \vartheta_1.\mu_{A_m}(x_1) & \vartheta_2.\mu_{A_m}(x_2) & \cdots & \vartheta_n.\mu_{A_m}(x_n)\end{bmatrix}\end{array}\quad \forall k \qquad (۳۰)$$

گام پنجم: ماتریس راه حل ایده آل مثبت / منفی فازی تردیدی توسط روابط زیر ایجاد شده است:

$$\zeta^{*}=\left(\mu_{ij}^{*}\right)_{m\times n}=\begin{array}{c} \\ A_1\\ \vdots\\ A_m\end{array}\begin{array}{c}\begin{array}{cccc} C_1 & C_2 & \cdots & C_n\end{array}\\ \begin{pmatrix}\mu_{11}^{*} & \mu_{12}^{*} & \cdots & \mu_{1n}^{*}\\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ \mu_{m1}^{*} & \mu_{m2}^{*} & \cdots & \mu_{mn}^{*}\end{pmatrix}_{m\times n}\end{array} \qquad (۳۱)$$

$$\zeta^{-}=\left(\mu_{ij}^{-}\right)_{m\times n}=\begin{array}{c} \\ A_1\\ \vdots\\ A_m\end{array}\begin{array}{c}\begin{array}{cccc} C_1 & C_2 & \cdots & C_n\end{array}\\ \begin{pmatrix}\mu_{11}^{-} & \mu_{12}^{-} & \cdots & \mu_{1n}^{-}\\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ \mu_{m1}^{-} & \mu_{m2}^{-} & \cdots & \mu_{mn}^{-}\end{pmatrix}_{m\times n}\end{array} \qquad (۳۲)$$

که در ماتریس فوق داریم:

$$\mu_{ij}^{*}=\underset{k}{Max}\left\{\mu_{ij}^{k}\right\} \qquad (۳۳)$$

$$\mu_{ij}^{-}=\underset{k}{Min}\left\{\mu_{ij}^{k}\right\} \qquad (۳۴)$$

گام ششم: فاصله ماتریس راه حل ایده آل مثبت / منفی و ماتریس تصمیم فازی تردیدی نرمالایز شده وزن دهی شده، برای هر خبره (به‌صورت جداگانه) براساس اندازه فاصله اقلیدسی- هاسدورف فازی تردیدی به شرح زیر تعیین شده است:

$$\psi_i^{*k}=\sum_{j=1}^{n}\sqrt{\max_{\lambda}\left|\alpha_{ij}^{k\sigma(\lambda)}-\zeta_{ij}^{*\sigma(\lambda)}\right|^2}\quad \forall i,k \qquad (۳۵)$$

$$\psi_i^{-k}=\sum_{j=1}^{n}\sqrt{\max_{\lambda}\left|\alpha_{ij}^{k\sigma(\lambda)}-\zeta_{ij}^{-\sigma(\lambda)}\right|^2}\quad \forall i,k \qquad (۳۶)$$

گام هفتم: شاخص راه‌حل توافقی ($\Im_i$) به‌صورت زیر معرفی شده است:

$$\Im_i=\frac{\left(\prod_{i=1}^{K}\left(\sum_{j=1}^{n}\sqrt{\max_{\lambda}\left|\alpha_{ij}^{k\sigma(\lambda)}-\zeta_{ij}^{*\sigma(\lambda)}\right|^2}\right)^{\lambda_k}\right)}{\left(\prod_{i=1}^{K}\left(\sum_{j=1}^{n}\sqrt{\max_{\lambda}\left|\alpha_{ij}^{k\sigma(\lambda)}-\zeta_{ij}^{*\sigma(\lambda)}\right|^2}\right)^{\lambda_k}+\prod_{i=1}^{K}\left(\sum_{j=1}^{n}\sqrt{\max_{\lambda}\left|\alpha_{ij}^{k\sigma(\lambda)}-\zeta_{ij}^{-\sigma(\lambda)}\right|^2}\right)^{\lambda_k}\right)}\quad \forall i \qquad (۳۷)$$

گام هشتم: مرتب‌سازی شاخص راه حل توافقی بر اساس بیشترین مقدار که بهترین گزینه است به کمترین مقدار که بدترین گزینه انتخاب می‌شود.

۴- مطالعه‌ی کاربردی

در این بخش، از مدل پیشنهادی برای ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌های ایمنی موجود در پروژه‌های تولید کشتی استفاده شده است. ازآنجایی‌که در ادبیات موضوع، مثال مشابهی یافت نشد، در این بخش یک مطالعه کاربردی که داده‌های آن از کارشناسان خبره حوزه ایمنی شاغل در کارخانه کشتی‌سازی بوشهر گرفته شده است، بررسی می‌شود. کارخانه کشتی‌سازی بوشهر از قدیمی‌ترین مجموعه ساخت شناورهای فولادی در ایران می‌باشد و با بیش از ۴۳ سال تجربه و برخورداری از تجهیزات پیشرفته صنعتی، سابقه‌ای درخشان در ساخت شناورهای کوچک مانند یدک کش، ماهی گیری، لندینگ کرافت، بویه گذار و فله برهای کوچک دارد. برای این منظور از سه کارشناس ($K=1,2,3$) با تجربه بیش از ۱۵ سال در این صنعت، خواسته شد که نظرات خود را نسبت به ریسک‌های ایمنی شناسایی‌شده ($A_i;i=1,2,...,7$) بر اساس پنج معیار ($C_j;j=1,2,...5$) که به شرح زیر است؛ بیان نمایند:

- امکان وقوع ریسک (C_1) : به این معنی که امکان به وجود آمدن ریسک iام به چه میزان است.

www.SID.ir

Archive of SID

- نیروی انسانی (C_2): به این معنی که در صورت وقوع ریسک iام، چه میزان به باعث صدمه و آسیب به نیروی انسانی مشغول به کار می‌شود.
- هزینه (C_3): به این معنی که در صورت وقوع ریسک iام، چه میزان به سازمان هزینه متحمل می‌گردد.
- توانایی سازمان در واکنش به ریسک (C_4): به این معنی که در صورت وقوع ریسک iام، سازمان مربوطه چه میزان آمادگی لازم برای مقابله با وقوع و یا کاهش اثرات ریسک دارا می‌باشد.
- زمان توقف تولید (C_5): به این معنی که در صورت وقوع ریسک iام، برای چه مدتی باعث از کار افتادن خط تولید مربوطه خواهد شد.

همچنین ریسک‌های ایمنی شناسایی‌شده عبارتند از :

- سقوط از ارتفاع (A_1) ؛
- خطرات حمل‌ونقل و جرثقیل (A_2)؛
- گازهای سمی (A_3)؛
- قرار گرفتن بین دستگاه (A_4)؛
- انفجار و آتش‌سوزی (A_5) ؛
- شوک الکتریکی (A_6)؛
- سقوط اشیاء (A_7) .

از این‌رو، نظرات کارشناسان نسبت به گزینه‌های مختلف ریسک، با استفاده از متغیرهای زبانی مجموعه‌های فازی تردیدی که در جدول (۲) آورده شده، در جدول (۳) بیان می‌شود. همچنین وزن معیارها براساس متغیرهای زبانی توسط تصمیم‌گیران در جدول (۴) آورده شده است که به‌وسیله‌ی جدول (۵) به مجموعه‌های فازی تردیدی تبدیل می‌شوند.

جدول (۲): متغیرهای زبانی برای بیان اهمیت نسبی گزینه‌ها

متغیرهای زبانی	عناصر فازی با ارزش بازه‌ای	درجه‌ی ریسک پذیری خبره		
		بدبین	میانه‌رو	خوش‌بین
Extremely High (EH)	[1.00, 1.00]	1	1	1
Very very High (VVH)	[0.90, 0.90]	0.90	0.90	0.90
Very High (VH)	[0.80, 0.90]	0.80	0.85	0.90
High (H)	[0.70, 0.80]	0.70	0.75	0.80
Moderately High (MH)	[0.60, 0.70]	0.60	0.65	0.70
Moderate (M)	[0.50, 0.60]	0.50	0.55	0.60
Moderately low (ML)	[0.40, 0.50]	0.40	0.45	0.50
low (L)	[0.25, 0.40]	0.25	0.325	0.40
Very low (VL)	[0.10, 0.25]	0.10	0.175	0.25
Very very low (VVL)	[0.10, 0.10]	0.10	0.10	0.10

جدول (۳): ماتریس تصمیم‌گیری بر اساس نظرات کارشناسان

A_i	K	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
A_1	k_1	VVH	EH	VH	L	H
	k_2	VH	H	VH	L	H
	k_3	H	H	H	M	H
A_2	k_1	H	VH	VVH	M	VH
	k_2	H	H	VH	M	H
	k_3	VH	VH	VH	M	VH
A_3	k_1	H	H	L	MH	VH
	k_2	H	VH	M	H	H
	k_3	H	H	L	H	H
A_4	k_1	M	VVH	H	ML	VVH
	k_2	M	VH	VH	L	VH
	k_3	MH	H	H	M	H
A_5	k_1	ML	EH	VVH	ML	VH
	k_2	M	EH	H	M	H
	k_3	M	H	VVH	ML	H
A_6	k_1	L	VH	MH	L	M
	k_2	M	H	H	ML	M
	k_3	M	H	H	L	M
A_7	k_1	MH	H	MH	M	VL
	k_2	M	H	MH	M	L
	k_3	MH	MH	MH	ML	VL

گام بعدی بدست آوردن وزن تصمیم‌گیران، طبق گام دوم است. در این گام ابتدا از طریق فرمول (۲۲) ارزش اولویت فازی تردیدی برای هر کارشناس محاسبه شده، سپس ارزش اولویت کلی فازی تردیدی (ξ_k) برای هر خبره با توجه به فرمول (۲۴) به دست می‌آید و درنهایت اهمیت نسبی هر کارشناس (λ_k) از طریق فرمول (۲۸) به دست آورده شده است که نتایج آن در جدول (۶) نشان داده شده است و در گام سوم وزن هر معیار بر اساس عملگر ادغام هندسی که در فرمول (۲۹) تعریف شده است، محاسبه شده و در جدول (۷) نشان داده شده است. در گام چهارم، ماتریس تصمیم فازی تردیدی نرمالایز شده وزن‌دهی شده برای هر خبره با توجه به فرمول (۳۰) به دست آورده می‌شود و بر اساس گام پنجم ماتریس راه‌حل ایده‌آل مثبت و ماتریس راه‌حل ایده‌آل منفی بر اساس فرمول‌های (۳۱) و (۳۲) محاسبه می‌گردد که نتایج آن به‌ترتیب در جداول (۸) و (۹) نشان داده شده است.

جدول (۴): اهمیت نسبی معیارها براساس نظرات کارشناسان

C_j	$k=1$	$k=2$	$k=3$
C_1	VH	VH	M
C_2	VH	H	VH
C_3	H	VH	H
C_4	M	VL	H
C_5	H	VH	M

جدول (۵): متغیرهای زبانی برای بیان وزن معیارها

متغیرهای زبانی	عناصر فازی با ارزش بازه‌ای	درجه ریسک پذیری خبره		
		بدبین	میانه‌رو	خوش بین
Very high (VH)	[0.90, 0.90]	0.90	0.90	0.90
High (H)	[0.75, 0.80]	0.75	0.775	0.80
Medium (M)	[0.50, 0.55]	0.50	0.525	0.55
Low (L)	[0.35, 0.40]	0.35	0.375	0.40
Very low (VL)	[0.10, 0.10]	0.10	0.10	0.10

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۶): نتایج محاسبات برای به دست آوردن وزن تصمیم‌گیران

تصمیم‌گیرندگان	$HFPV^{k}$	ξ^{k}	λ_k
k=1	0.27048	0.33276	0.30859
k=2	0.24755	0.34321	0.34874
k=3	0.28963	0.32402	0.34265

جدول (۷): ادغام نظرات تصمیم‌گیران به‌منظور تعیین وزن معیارها

معیارها	ω^1	ω^2	ω^3	ϑ_j
C_1	0.9	0.9	0.55	0.76374
C_2	0.9	0.775	0.9	0.85624
C_3	0.775	0.9	0.8	0.82327
C_4	0.525	0.1	0.8	0.34760
C_5	0.775	0.9	0.55	0.72661

سرانجام در گام ششم میزان فاصله از راه حل ایده آل مثبت و منفی براساس فرمول‌های (۳۵) و (۳۶) محاسبه شده است که نتایج آن به ترتیب در جداول (۱۰) و (۱۱) نشان داده شده است و بر اساس راه حل شاخص توافقی ارائه‌شده در گام هفتم، گزینه‌های مختلف ریسک رتبه‌بندی شده‌اند که نتایج این رتبه‌بندی در جدول (۱۲) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، گزینه دوم یعنی خطرات حمل‌ونقل و جرثقیل به‌عنوان پرخطرترین ریسک شناسایی شده است و خطر سقوط از ارتفاع در جایگاه دوم قرار گرفته است. رتبه‌بندی ریسک‌ها به شرح زیر است:

$$A_2 \succ A_1 \succ A_5 \succ A_4 \succ A_3 \succ A_6 \succ A_7$$

برای اعتبار سنجی مدل پیشنهادی، مثال فوق با یک روش تاپسیس متداول حل شد و نتایج آن با مدل پیشنهادی مقایسه گردید. همان‌طور که در جدول (۱۳) مشاهده می‌شود، رتبه‌بندی ریسک‌ها در مدل پیشنهادی و روش تاپسیس معمولی تنها در ریسک‌های A_1 و A_2 متفاوت است که این اختلاف در رتبه‌بندی به خاطر ریزش اطلاعات در روش تاپسیس متداول است؛ زیرا در تاپسیس متداول در گام اول نظرات ادغام شده است. برای رفع این مشکل از یک روش تاپسیس که نظرات را در گام آخر ادغام می‌کند، استفاده شده است که نتایج آن با نتایج مدل پیشنهادی در مقاله یکسان می‌باشد. نتایج مقایسه روش‌های مذکور با مدل پیشنهادی، در جدول (۱۳) و نمودار (۱) آورده شده است.

جدول (۸): راه حل ایده آل مثبت

گزینه‌ها	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
A_1	0.07637	0.00001	0.12349	0.20856	0.14532
A_2	0.07637	0.08562	0.08232	0.20856	0.07266
A_3	0.15275	0.12843	0.37047	0.27808	0.10899
A_4	0.22912	0.08562	0.12349	0.20856	0.07266
A_5	0.30549	0.00001	0.08232	0.19118	0.10899
A_6	0.30549	0.12843	0.20581	0.20856	0.29064
A_7	0.22912	0.21406	0.24698	0.19118	0.49046

جدول (۹): راه حل ایده آل منفی

گزینه‌ها	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
A_1	0.07637	0.00001	0.12349	0.20856	0.14532
A_2	0.07637	0.08562	0.08232	0.20856	0.07266
A_3	0.15275	0.12843	0.37047	0.27808	0.10899
A_4	0.22912	0.08562	0.12349	0.20856	0.07266
A_5	0.30549	0.00001	0.08232	0.19118	0.10899
A_6	0.30549	0.12843	0.20581	0.20856	0.29064
A_7	0.22912	0.21406	0.24698	0.19118	0.49046

جدول(۱۰): فاصله از راه حل ایده آل مثبت

گزینه‌ها	ψ_i^{*1}	ψ_i^{*2}	ψ_i^{*3}
A_1	0.31526	0.56751	0.47213
A_2	0.36622	0.56567	0.15514
A_3	0.89047	0.65751	0.73192
A_4	0.59808	0.63835	0.54850
A_5	0.50167	0.58669	0.57731
A_6	1.19283	0.98083	0.85253
A_7	1.22450	1.19189	1.15085

جدول (۱۱): فاصله از راه حل ایده آل منفی

گزینه‌ها	ψ_i^{-1}	ψ_i^{-2}	ψ_i^{-3}
A_1	1.54604	1.29379	1.38918
A_2	1.49508	1.29563	1.70616
A_3	0.97083	1.20379	1.12939
A_4	1.26322	1.22296	1.31280
A_5	1.35963	1.27461	1.28401
A_6	0.66847	0.88047	1.00878
A_7	0.63680	0.66942	0.71045

جدول (۱۲): رتبه‌بندی نهایی گزینه‌های ریسک

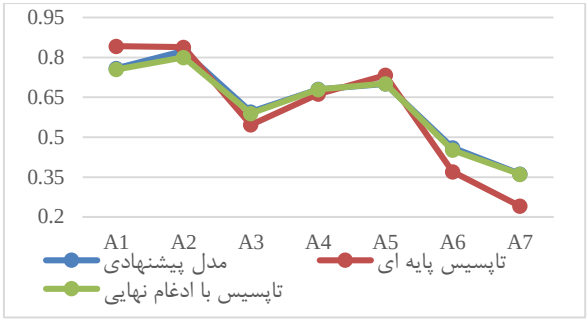
ریسک‌های ایمنی	ادغام ایده آل مثبت	ادغام ایده آل منفی	شاخص توافقی	رتبه‌بندی نهایی
A_1	0.44443	1.40063	0.75912	2
A_2	0.31752	1.48810	0.82414	1
A_3	0.74904	1.10213	0.59536	5
A_4	0.59395	1.26562	0.68059	4
A_5	0.55594	1.30354	0.70102	3
A_6	0.99302	0.84731	0.46041	6
A_7	1.18752	0.67275	0.36164	7

جدول (۱۳): مقایسه نتایج مدل پیشنهادی با روش تاپسیس قطعی

ریسک های ایمنی	مدل پیشنهادی		تاپسیس پایه‌ای		تاپسیس ادغام نهایی	
	شاخص توافقی	رتبه گزینه‌ها	ضریب نزدیکی	رتبه گزینه‌ها	ضریب نزدیکی	رتبه گزینه‌ها
A_1	0.75912	2	0.84245	1	0.75531	2
A_2	0.82414	1	0.83910	2	0.80027	1
A_3	0.59536	5	0.54661	5	0.58933	5
A_4	0.68059	4	0.66244	4	0.68005	4
A_5	0.70102	3	0.73355	3	0.70140	3
A_6	0.46041	6	0.37037	6	0.45155	6
A_7	0.36164	7	0.24042	7	0.36079	7

www.SID.ir

Archive of SID



نمودار(۱): مقایسه جواب های نهایی براساس ۳ روش

در پایان، تحلیل حساسیت براساس تغییر وزن کارشناسان برای بررسی اثر درجه اهمیت آن‌ها بر روی رتبه‌بندی گزینه‌های ریسک انجام شده است. همان‌طور که در جدول (۱۴) مشاهده می‌شود، تحلیل حساسیت انجام شده نشان می‌دهد که رتبه‌بندی ریسک‌ها نسبت به وزن کارشناسان حساس است و با تغییر اوزان کارشناسان در تغییر پنجم و ششم، جایگاه ریسک اول و دوم در رتبه‌بندی تغییر داده شده است. همچنین در تغییر وزن هفتم، جایگاه ریسک چهارم و پنجم و با تغییر هشتم، جایگاه ریسک چهارم و سوم تغییر یافته است.

جدول (۱۴): تحلیل حساسیت وزن کارشناسان

تغییرات وزن‌دهی	$k=1$	$k=2$	$k=3$	رتبه‌بندی ریسک‌ها
وزن به دست آمده از مدل	0.30859	0.34874	0.34265	$A_2 \succ A_1 \succ A_5 \succ A_4 \succ A_3 \succ A_6 \succ A_7$
تغییر اول	0.4	0.3	0.3	$A_2 \succ A_1 \succ A_5 \succ A_4 \succ A_3 \succ A_6 \succ A_7$
تغییر دوم	0.5	0.25	0.25	$A_2 \succ A_1 \succ A_5 \succ A_4 \succ A_3 \succ A_6 \succ A_7$
تغییر سوم	0.6	0.2	0.2	$A_2 \succ A_1 \succ A_5 \succ A_4 \succ A_3 \succ A_6 \succ A_7$
تغییر چهارم	0.7	0.15	0.15	$A_2 \succ A_1 \succ A_5 \succ A_4 \succ A_3 \succ A_6 \succ A_7$
تغییر پنجم	0.8	0.1	0.1	$A_1 \succ A_2 \succ A_5 \succ A_4 \succ A_3 \succ A_6 \succ A_7$
تغییر ششم	0.9	0.05	0.05	$A_1 \succ A_2 \succ A_5 \succ A_4 \succ A_3 \succ A_6 \succ A_7$
تغییر هفتم	0.1	0.1	0.8	$A_2 \succ A_1 \succ A_4 \succ A_5 \succ A_3 \succ A_6 \succ A_7$
تغییر هشتم	0.1	0.8	0.1	$A_2 \succ A_1 \succ A_5 \succ A_3 \succ A_4 \succ A_6 \succ A_7$

در این مقاله یک مدل تصمیم‌گیری سازشی گروهی برای ارزیابی ریسک‌های ایمنی پروژه‌های تولیدی با تمرکز بر صنعت کشتی‌سازی در نظر گرفته شده است. مزیت مدل پیشنهادی در مقایسه با دو روش موجود در ادبیات موضوع که در جدول (۱۳) آورده شده است، این است که در آن یک روش جدید شاخص انتخاب اولویت فازی تردیدی برای تخصیص وزن (درجه اهمیت) مناسب برای خبرگان ارائه شده است. بعلاوه، وزن خبرگان در محاسبه وزن معیارها اثرگذار است تا از خطاهای حاصل از نظردهی خبرگان جلوگیری شود. همچنین، برای کارشناسان درجه‌ی ریسک‌پذیری تعریف شده است که نظرات آن‌ها براساس متغیرهای زبانی به سه گروه خوش‌بین، میانه‌رو و بدبین تقسیم‌بندی می‌شود. از طرفی، مدل پیشنهادی با به‌کارگیری رویکرد ادغام نهایی توسعه یافته است. به عبارت دیگر، نظرات کارشناسان تا حد امکان برای جلوگیری از ریزش اطلاعات در گام‌های نهایی مدل ادغام می‌شود. برای محاسبه اندازه فاصله ماتریس تصمیم از ماتریس ایده آل مثبت و ایده آل منفی از اندازه فاصله اقلیدسی- هاسدورف فازی تردیدی استفاده شده است که یکی از عملگرهای مناسب در محاسبه‌ی فواصل در مجموعه‌ها شناخته می‌شود. از دیگر مزایای مدل پیشنهادی نسبت به مطالعات پیشین، استفاده از توسعه‌های نوین فازی برای اولین بار و همچنین معرفی معیارهای جدید برای ارزیابی ریسک‌های ایمنی در صنعت تولید کشتی می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مقاله با توجه به وقوع حوادث شغلی خطرناک و بالا بودن میزان وقوع ریسک‌های ایمنی در صنعت تولید کشتی، یک مدل تصمیم‌گیری گروهی جدید براساس مجموعه‌های فازی تردیدی به‌منظور ارزیابی ریسک‌های ایمنی در پروژه‌های تولید کشتی، ارائه شده است. در روش پیشنهادی، یک گروه از کارشناسان در نظر گرفته شده است که در شرایط عدم قطعیت، در مورد ریسک‌های موجود در پروژه‌های تولید کشتی تحت معیارهای شناسایی‌شده، قضاوت می‌کنند. در این راستا کارشناسان نظرات و قضاوت‌های خود را به‌وسیله متغیرهای زبانی بیان نمودند که این متغیرهای زبانی به اعداد فازی تردیدی تبدیل گردیدند. علاوه بر این، ازآنجایی‌که در دنیای واقعی معمولاً ارزش و وزن خبرگان با توجه به دانش و تجربه آن‌ها، با یکدیگر متفاوت است، در این مطالعه روش شاخص انتخاب اولویت فازی تردیدی برای تخصیص وزن مناسب برای کارشناسان ارائه گردیده است. از طرف دیگر، برخلاف مطالعات پیشین که غالبا از دو معیار احتمال وقوع و شدت اثر برای ارزیابی ریسک استفاده می‌کنند، در این مطالعه معیارهای جدید جهت ارزیابی جامع و رتبه-بندی ریسک‌های ایمنی در صنعت تولید کشتی معرفی شده است. با اجرای مدل پیشنهادی مشاهده شد که ریسک حمل‌ونقل و جرثقیل و ریسک سقوط از ارتفاع به‌عنوان ریسک‌های با درجه اهمیت بالا انتخاب گردیدند که نیاز به توجه بیشتر و تدوین اقدامات واکنشی مناسب می‌باشد. در پایان، نتایج مدل پیشنهادی، با یک روش تاپسیس پایه‌ای و یک تاپسیس با ادغام نهایی که نظرات را در گام آخر ادغام می‌کند، مقایسه شد و اعتبار مدل پیشنهادی تایید گردید. از تحلیل حساسیت انجام شده روی وزن کارشناسان، می‌توان به این نتیجه رسید که مدل ارائه شده برای ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌های ایمنی تولید کشتی، نسبت به وزن کارشناسان حساس است و در نظر گرفتن شاخص انتخاب اولویت فازی تردیدی برای تخصیص وزن مناسب برای کارشناسان، منجر به بهتر شدن نتایج رتبه‌بندی می-

www.SID.ir

Archive of SID

گردد. به‌منظور پژوهش‌های آتی، برای نزدیک شدن به شرایط واقعی می‌توان ارزیابی ریسک‌ها را با در نظر گرفتن اثرات متقابل آن‌ها بر روی یکدیگر از طریق تکنیک‌هایی نظیر فرایند تحلیل شبکه در محیط فازی تردیدی استفاده نمود. همچنین ازآنجایی‌که مطالعات اندکی تاکنون در حوزه پاسخگویی به ریسک‌ها صورت گرفته است، می‌توان برای ریسک‌های پرخطر شناسایی‌شده، مجموعه‌ای از پاسخ‌ها و واکنش‌های مناسب را شناسایی نمود، سپس از طریق یک مدل ریاضی و با توجه به محدودیت‌های موجود، بهترین پاسخ را برای هر یک از ریسک‌های پرخطر، ارائه نمود.

مراجع

[۱] ابوترابی، م.، مهرنو، ح.، امیدواری، م.، (۱۳۹۳)، "ارایه مدلی جهت ارزیابی ریسک ایمنی در صنعت ساختمان با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره خاکستری". بهداشت و ایمنی کار ۴(۳)، ۶۷-۷۴.

[2] Gharib, M.R., Sebt M., (2011), "Design of HSE Model for construction in Iran", Department of civil and environment engineering, Amirkabir University of Technology.Iran (Thesis).

[3] Hanifi Yazdi S, G.Y., (2012), "Study risk bodily injuries in the construction", 7th congress of civil engineering. Isfahan.

[4] Stellman, J. M., (1998), "Encyclopaedia of occupational health and safety", International Labour Organization.

[5] Yilmaz, A.I., Yilmaz, F., Celebi, U.B., (2015), "Analysis of Shipyard Accidents in Turkey", British Journal of Applied Science & Technology 5(5): 472-481.

[6] Braglia, M. M., (2003), "Frosolini, and R. Montanari, Fuzzy TOPSIS approach for failure mode, effects and criticality analysis", Quality and Reliability Engineering International 19(5): 425-443.

[7] Wang, Y. M., Elhag, T.M., (2007), "A fuzzy group decision making approach for bridge risk assessment", Computers & Industrial Engineering 53(1): 137-148.

[8] Gürcanli, G.E., Müngen, U., (2009), "An occupational safety risk analysis method at construction sites using fuzzy sets", International Journal of Industrial Ergonomics 39(2): 371-387.

[9] Silvestri, A., Felice, F. D. Petrillo, A., (2012), "Multi-criteria risk analysis to improve safety in manufacturing systems", International Journal of Production Research 50(17): 4806-4821.

[10] Zeng, S.X., Tam, C.M., Tam, V.W., (2010), "Integrating safety, environmental and quality risks for project management using a FMEA method", Engineering Economics 21(1): 44-52.

[11] Fang, C., Marle, F., (2012), "A simulation-based risk network model for decision support in project risk management", Decision Support Systems 52(3): 635-644.

[12] Aminbakhsh, S., Gunduz و M. Sonmez, R., (2013), "Safety risk assessment using analytic hierarchy process (AHP) during planning and budgeting of construction projects", Journal of safety research, 46: 99-105.

[13] Lambert, J.H., Haimes, Y., Li, D., Schooff, R., Tulsiani, V., (2001), "Identification, ranking, and management of risks in a major system acquisition", Reliability Engineering & System Safety 72(3): 315-325.

[14] Wu, X., Liu, Q., Zhang, L., Skibniewski, M., Wang, M., (2015), "Prospective safety performance evaluation on construction sites", Accident Analysis & Prevention 78: 58-72.

[15] Perlman, A., R. Sacks, Barak, R., (2014), "Hazard recognition and risk perception in construction", Safety science 64: 22-31.

[16] Zadeh, L.A., (1965), "Fuzzy sets", Information and control, 8(3): 338-353.

[17] Liu, H.T., Y.l., Tsai., (2012), "A fuzzy risk assessment approach for occupational hazards in the construction industry", Safety science 50(4): 1067-1078.

[18] Kuo, Y.C., Lu, S.T., (2013), "Using fuzzy multiple criteria decision making approach to enhance risk assessment for metropolitan construction projects", International Journal of Project Management 31(4): 602-614.

[19] Zhang, L., Wu, X., Skibniewski, M., Zhong, J., Lu, Y., (2014), "Bayesian-network-based safety risk analysis in construction projects", Reliability Engineering & System Safety 131: 29-39.

[20] Torra, V., (2010), "Hesitant fuzzy sets", International Journal of Intelligent Systems, 25(6): 529-539.

[21] Farhadinia, B., (2013), "A Novel Method of Ranking Hesitant Fuzzy Values for Multiple Attribute Decision-Making Problems", International Journal of Intelligent Systems, 28(8): 752-767.

[22] Yu, D., Zhang, W., Xu, Y., (2013), "Group decision making under hesitant fuzzy environment with application to personnel evaluation", Knowledge-Based Systems 52: 1-10.

[23] Wang, J.Q., Wang, D., Zhang, H., Chen, X, (2014), "Multi-criteria outranking approach with hesitant fuzzy sets", OR Spectrum 36(4): 1001-1019.

[24] Zhang, Y., Wang, Y., Wang, J., (2014), "Objective attributes weights determining based on shannon information entropy in hesitant fuzzy multiple attribute decision making", Mathematical Problems in Engineering, 1-7.

[25] Xia, M., Xu, Z., (2011), "Hesitant fuzzy information aggregation in decision making", International Journal of Approximate Reasoning 52(3): 395-407.

[26] Torra, V., Narukawa, Y., (2009), "On hesitant fuzzy sets and decision in Fuzzy Systems", IEEE International Conference on. 2009: IEEE.

[27] Liao, H., Xu, Z., (2014), "Subtraction and division operations over hesitant fuzzy sets", Journal of Intelligent & Fuzzy Systems 27(1): 65-72.

[28] Xu, Z., Xia, M., (2011), "Distance and similarity measures for hesitant fuzzy sets", Information Sciences, 181(11): 2128-2138.

[29] Zhu, B., Z. Xu, Xia, M., (2012), "Hesitant fuzzy geometric Bonferroni means" Information Sciences 205: 72-85.

www.SID.ir

Archive of SID

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2269

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Spring and Summer 2016 Volume 4. No.7. pp. 93-103
www.ier.basu.ac.ir

Hesitant Fuzzy Compromise Group Decision-Making Model by Considering the Weight of Decision-Makers to Assess Safety Risks of Production Projects (Shipbuilding Industry)

S. Golzar Ragheb[1], S.M. Mousavi[1,*], H. Gitinavard[2], B.Vahdani[3]

1. Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Shahed University, Tehran, Iran.
2. Department of Industrial Engineering and Management Systems, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.
3. Faculty of Industrial and Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.

ARTICLE INFO

***Article history*:**

Received 2 March 2016
Accepted 6 September 2016

***Keywords*:**

Production safety risks
Risk assessment
Hesitant fuzzy sets
Group decision-making
Shipbuilding projects

ABSTRACT

Shipbuilding industry plays a main role in trade and international transportation. Ship production projects known as one of the most dangerous industries due to use of heavy equipment and complex manufacturing processes. Thus, elaborating an appropriate model is more required to assess the safety risks and for identifying the most dangerous risks for human resources and production processes. In this study, a group decision-making model is proposed based on hesitant fuzzy sets to evaluate the safety risks in ship production projects. The hesitant fuzzy set theory is considered because of the increasing uncertainty in recognizing the safety risks. In the hesitant fuzzy approach, a set of membership degrees is considered instead of taking a membership degree for an element to cover the existed uncertainty and to decrease the errors. In the proposed model, the weight of each expert is obtained based on proposed preference selection index method and then the identified risks are ranked. Finally, an application example in shipbuilding industry is considered to demonstrate the validity of the proposed model by comparing the proposed approach with two decision-making methods from the literature. In addition, the comparing of computational results indicates that the proposed model has high performance in imprecise situations.

* Corresponding author. Seyyed Meysam Mousavi
Tel.: *02151212091*; *E-mail address:* sm.mousavi@shahed.ac.ir

www.SID.ir