

ارائه مدل جامع ترکیبی ارزیابی ریسک شبکه مبتنی بر تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره و مدل‌سازی بیزین (مطالعه موردی: نیروگاه برق)

ناهید خدای بردی^۱، علی اکبر حسنی^{۲*}، محمد قدوسی^۳

^۱ کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت، دانشگاه صنعتی شاهرود (ایمیل:

khodaiberdy@gmail.com)

^{۲*} دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت، دانشگاه صنعتی شاهرود (نویسنده مسئول:

aa.hasani@shahroodut.ac.ir)

^۳ مربی گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربت حیدریه (ایمیل: m.ghodoosi@torbath.ac.ir)

چکیده

در این مطالعه یک روش ارزیابی ریسک ترکیبی مبتنی بر فرایند با قابلیت تحلیل داده‌های کمی و کیفی با بهره‌گیری از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره مکبث و آمار بیزین ارائه شده است. ابتدا خطرات حاضر در فرآیند و عوامل مرتبط با آن از طریق رویکرد هدفمند ارزیابی ریسک، شناسایی و سپس با استفاده از شبکه بیز روابط مابین آن‌ها مدل‌سازی می‌شود تا ریسک موجود در این فرآیند ارزیابی شوند. سپس، سناریوهای فرآیند تولید با استفاده از شبکه تحلیل بیزین تجزیه و تحلیل می‌شوند. در نهایت، هر یک از سناریوهای فرآیند تولید بر اساس شاخص مطلوبیت، توسط روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مکبث ارزیابی و رتبه‌بندی می‌شوند. مدل پیشنهادی جهت تحلیل ریسک فرآیند در یک نیروگاه برق حرارتی به عنوان نمونه موردی پیاده‌سازی شده است. نتایج تحقیق حاکی از کارایی روش پیشنهادی جهت تحلیل ریسک با توجه به دستاوردهای آن است.

کلیدواژه:

ارزیابی ریسک، تصمیم‌گیری چندمعیاره، مدل‌سازی فرآیند، مکبث، شبکه بیزین

۱. مقدمه

در فضای حاضر مدیریت کسب‌وکار شاهد افزایش تعداد ریسک‌ها و در عین حال شدت یافتن آثار آن‌ها هستیم که این مساله مواجهه کارا با این پدیده را با چالش همراه ساخته است. پیچیدگی فضای امروز کسب‌وکار و لزوم حفظ مزیت رقابتی پایدار برای سازمان‌ها بر اهمیت مقوله نظام ارزیابی عملکرد افزوده است. این ضرورت به گونه‌ای خود را نمایان ساخته است که عدم وجود نظام ارزیابی عملکرد جامع، به عنوان یکی از نقاط ضعف سازمان شناخته می‌شود [۱]. افزایش میزان پیچیدگی در فضای تصمیم‌سازی و رشد فزاینده عدم قطعیت‌ها در برابر برنامه‌ریزان سبب گشته است تا مدیریت ریسک‌های تخصصی بیش از گذشته دشوارتر شود و در عین حال محدوده مجاز برای شکست در مدیریت ریسک از سوی ذینفعان سازمان همچون جامعه و سهامداران به شدت کاهش یابد [۲]. از سوی دیگر، شاهد آن هستیم که قوانین و مقررات حاکم بر فضای مدیریت کسب‌وکار همچون استانداردهای مدیریتی نیز به نوبه خود اقدام به وضع الزامات سخت‌گیرانه‌تری نموده‌اند [۳]. از این رو، مدیریت ریسک یک مقوله مدیریتی مهم

و ضروری محسوب می‌شود که نیاز به تصمیم‌گیری دقیق را بر اساس میزان ریسک و خطر میسر می‌سازد. به عبارت دیگر کلیه فرآیندهای مرتبط با شناسایی، تحلیل و پاسخگویی به هرگونه عدم اطمینان که شامل حداکثرسازی نتایج رخدادهای مطلوب و به حداقل رساندن نتایج وقایع نامطلوب است را دربر می‌گیرد [۴]. ریسک در معنای عام عبارت است از تاثیر منفی ناشی از یک آسیب پذیری و در نظر گرفتن احتمال وقوع و اثر آن در فرآیندهای یک سیستم. لذا بایستی سطح ریسک پایین، متوسط، بالا و احتمال وقوع و پیامدهای آن مورد شناسایی قرار گیرند تا بتواند برای رفع آن تصمیم‌گیری شود. مدیریت ریسک می‌تواند تضمین‌کننده افزایش کارایی، موثر بودن، روان سازی، کاهش هزینه، سرعت عمل و کاهش زمان انجام عملیات باشد [۵]. فرآیند ارزیابی ریسک به‌عنوان اولین فاز از مجموعه فعالیت‌های مدیریت ریسک، این امکان را فراهم می‌سازد تا با توجه به ویژگی‌های خاص هر فرآیند و ارتباط آن با دیگر فرآیندها و اهداف مدنظر، زمینه مناسبی جهت دسترسی به داده‌های موردنیاز به منظور تحلیل فراهم شود. از این‌رو هدف از ارزیابی ریسک، اندازه‌گیری ریسک‌ها بر اساس شاخص‌های مختلف از قبیل میزان تأثیر، احتمال وقوع و احتمال کشف هر ریسک خواهد بود [۵-۶]. نتایج ارزیابی ریسک نیز به جهت‌گیری صحیح در انتخاب راه حل‌ها (همان دفع‌کننده تهدیدهای اصلی) کمک می‌کند و همچنین می‌تواند در تولید و اصلاح خط‌مشی‌های مرتبط با پایداری عملکرد سازمان نیز استفاده شود. ریسک در زمینه مدیریت فرآیند، ناشی از عدم اطمینان در مورد توانایی یک فرآیند برای ارائه «ارزش پیشنهادی» و پیامدهای آن است. ارزش پیشنهادی اشاره به وعده ضمنی یا صریح به ذینفعان خود دارد تا ترکیب خاصی از ارزش‌ها را به آن‌ها ارائه دهند [۶]. ارزش پیشنهادی ترکیبی متمایز از عناصری است که نیازهای بخشی از مشتریان را برآورده کرده و از این طریق خلق ارزش می‌کند. ارزش‌ها ممکن است کمی (نظیر قیمت، سرعت و خدمات‌رسانی) و یا کیفی (نظیر طراحی و تجربه مشتری) باشند. ریسک در فرآیند باید مدل‌سازی و ارزیابی شود تا عدم قطعیت و عواقب آن در ارزش پیشنهادی موردتوجه قرار گیرد. مدیریت ریسک جهت محافظت و به حداکثر رساندن ارزش فرآیند برای ذینفعان انجام می‌شود [۷ و ۸].

صرف‌نظر از هدف، اغلب روش‌های تجزیه و تحلیل خطر به‌منظور مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل خطرات از منظر زیرسیستم توسعه داده شده‌اند [۹]. یک سیستم به زیرسیستم‌ها یا اجزای سازنده کاهش می‌یابد و هر بخش به‌طور مستقل موردبررسی قرار می‌گیرد. برای نمونه، در روش تجزیه و تحلیل حالت‌ها و اثرات شکست^۱، در یک زمان فقط یک جزء از سیستم در نظر گرفته می‌شود و فرض می‌شود که سایر اجزا به‌طور کامل کار می‌کنند. بنابراین، این روش برای مدل‌سازی ترکیبات بحرانی شکست‌های جزئی مناسب نیست [۱۰]. ممکن است یک شکست ناشی از یک رویداد خطر باشد، یا ترکیبی از رویدادهای خطرناک فراگیر که ممکن است به یک یا چند شکست منجر شود [۱۱]. برای رسیدگی به مسئله رویکرد جزئی در تجزیه و تحلیل ریسک، یکی از راه‌های حل مسئله ارزیابی ریسک از طریق مدل‌سازی است. در برخی از مطالعات، مدیریت ریسک و در نتیجه تکنیک‌های آن به‌طور جداگانه از جهت دغدغه‌های

^۱ Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)

عملیاتی در مدیریت فرآیندهای کسب و کار همچون مدیریت تولید، فروش و موجودی توسعه یافته است [۱۲]. اگرچه، خطر یک عنصر است که می تواند هر یک از فرآیندهای کسب و کار را به طور ناگهانی تحت تأثیر خود قرار دهد، اما در عمده مطالعات این مساله به عنوان یک پدیده مستقل مدیریت شده است و بسیاری از وابستگی های ممکن نادیده گرفته شده اند. از این رو شاهد آن هستیم که نیاز به یک پیوند مناسب مابین فرآیند و مدل های کمی ریسک وجود دارد [۱۳]. برای مدیریت بهتر ریسک در یک فرآیند، باید به صورت پویا و یکپارچه اقدام به ارزیابی ریسک ها شود تا عدم اطمینان و زنجیره ای از حوادث مرتبط با فعالیت های فرآیند در نظر گرفته شوند. در این راستا، شناسایی عوامل خطر برای نظارت و کنترل خطر ضروری است. برای به حداقل رساندن احتمال وقوع خطر، عوامل خطر باید شناسایی و اولویت بندی شوند و خطرات رفع شوند. سلسله مراتب خطر و شبکه های فاکتور ریسک کافی است تا تمامی خطرات مربوط به آن و دلایل آن ها در هر سناریوی مشخصی را نشان دهند. با این وجود، خطرات شناسایی شده با عوامل خطر آن ها نمی توانند مورد ارزیابی قرار گیرند زیرا اطلاعات دقیقی از آن ها در دست نیست. اهمیت این مسئله در محیط مدیریت فرآیندهای کسب و کار با توجه به پیچیدگی های ذاتی آن دو چندان خواهد بود.

در این مقاله جهت ارزیابی ریسک فرایندها از یک رویکرد ترکیبی جامع جدید با قابلیت تحلیل داده های کمی و کیفی به صورت توانمند بهره گرفته شده است. نوآوری اصلی تحقیق حاضر معرفی و پیاده سازی رویکرد ترکیبی مذکور مبتنی بر تکنیک تصمیم گیری چندمعیاره و مدل سازی بیزین برای مساله ارزیابی ریسک فرایند است. برای این منظور، در گام نخست اقدام به شناسایی مجموعه خطرات بالقوه درگیر در فرآیند و عوامل مرتبط با آن از طریق رویکرد هدفمند ارزیابی ریسک مبتنی بر نظرات خبرگان شده است. با استفاده از شبکه بیزین روابط ممکن مابین ریسک ها با هدف ارزیابی ریسک فرایند تحلیل شده است. سپس، طرح های فرآیند تولید با استفاده از شبکه تحلیل بیزین تجزیه و تحلیل خواهند شد. در گام پایانی روش ترکیبی پیشنهادی، مجموعه سناریوهای فرآیند تولید بر اساس شاخص مطلوبیت کل با استفاده از روش تصمیم گیری چندمعیاره مکث ارزیابی و رتبه بندی خواهند شد. در نهایت، ارزیابی ریسک عملکرد یک توربین گازی در یک نیروگاه برق به عنوان نمونه موردی بررسی شده است.

۲. پیشینه تحقیق

از جمله رویکردهای رایج برای ارزیابی ریسک، پرداختن به مساله ارزیابی ریسک با استفاده از مدل سازی فرایند و شبیه سازی است. اعمال نگاه فرایندی در ارزیابی ریسک سبب خواهد شد تا دامنه کاربرد رویکرد یاد شده با توجه به زمینه بسیار گسترده و عام فرایند در حوزه های کارکردی بسیار گسترده شود [۱۱]. برخی از مزیت های رویکرد ارزیابی ریسک مبتنی بر فرایند عبارت است از بهبود فرایند، تحلیل فرایند برای مشکلات و مسایل ممکن و اندازه گیری فرایند [۱۲]. جهت مدیریت بهتر ریسک یک فرایند، نیاز است تا فرایند مدیریت ریسک به صورت یکپارچه با فرایند و ارزیابی نیز به صورت پویا در نظر گرفته شود. این اقدام می تواند مجموعه عدم قطعیت ها و زنجیره حوادث درهم تنیده با فعالیت های یک فرایند را لحاظ نماید. در طی سال های اخیر، برخی از مطالعات در راستای

بهبود ریسک فرایند و یا یکپارچه نمودن ریسک در جنبه فرایند انجام شده‌اند. از این‌رو شاهد ایجاد دو جریان از مطالعات خواهیم بود که عبارتند از مدیریت ریسک در فرایند [۸-۱۱] و مدیریت ریسک مبتنی بر فرایند [۱۳]. دسته نخست مدیریت فرایند کسب‌وکار آگاه از خطر و دسته دوم مدیریت ریسک مبتنی بر فرایند نامیده می‌شود. در تمامی موارد یاد شده، همگرایی ایجاد شده در مدیریت ریسک و مدیریت فرایند یک توسعه مطلوب برای حداکثرسازی ارزش فرایند خواهد بود. در طی سال‌های اخیر شاهد رشد فزاینده تمایل به طراحی سازمان مبتنی بر فرایند و سیستم‌های نرم‌افزاری شامل مدیریت یکپارچه فرایندها در سطح سازمان هستیم [۱۴ و ۱۵]. این در حالی است که همچنان نیاز به مطالعه و توسعه مدیریت ریسک در ارتباط با فرایند احساس می‌گردد و علیرغم اهمیت موضوع یاد شده، تعداد مطالعات محدودی به این مساله پرداخته‌اند.

در طی سال‌های اخیر، جهت مواجهه کارا با مقوله ریسک در زمینه‌های کارکردی مختلف همچون ارائه محصول، مدیریت سیستم و پروژه، مجموعه‌ای متنوع و گسترده از تکنیک‌ها در ادبیات موضوع توسعه یافته است [۱۶ و ۱۷]. اهداف گوناگونی را برای تکنیک‌های یادشده می‌توان بیان نمود که از جمله می‌توان به مواردی همچون ارزیابی کلی ریسک مانند تحلیل مبتنی بر سناریو [۱۸]. برخی از تکنیک‌های معمول استفاده شده در تحلیل ریشه و پیامدهای ریسک عبارت است از حالت‌های شکست و تجزیه و تحلیل اثرات [۱۹ و ۲۰]، حالت و اثرات شکست و تجزیه و تحلیل بحرانی [۲۱]، تجزیه و تحلیل درخت خطا [۲۲] و تجزیه و تحلیل درخت رویداد [۱۰]. رویکردهای مبتنی بر شبیه‌سازی نیز همچون تکنیک شبیه‌سازی مونت کارلو به عنوان یک رویکرد آماری، زمینه را برای ارزیابی ریسک نیز فراهم می‌کند [۲۳ و ۲۴]. با توجه به اهمیت مسئله ارزیابی ریسک، مطالعات متعددی در زمینه ادبیات موضوع در طی سال‌های اخیر انجام شده است. به‌طور کلی مطالعات پیشین را می‌توان در دو دسته کلی مدیریت ریسک در فرآیندهای کسب‌وکار [۷ و ۲۵] و مدیریت ریسک مبتنی بر فرآیند [۲۶ و ۲۷] مورد بررسی قرار داد. دو جریان تحقیقاتی به وجود آمده است که در ابتدا مدیریت ریسک فرآیند کسب‌وکار و سپس مدیریت ریسک فرآیند گرا نامیده شده است. در هر صورت، این همگرایی مدیریت ریسک و مدیریت فرآیند یک پیشرفت مثبت و حائز اهمیت برای به حداکثر رساندن ارزش فرآیند است [۲۸ و ۲۹]. لارسون و کوسیاک یک رویکرد ارزیابی ریسک را پیشنهاد داده‌اند اما، تنها ساختار تصمیم‌گیری کلان در فرآیند طراحی هم‌زمان را مدل نموده‌اند [۳۰ و ۳۱]. در جدول ۱، مروری بر مطالعات انجام‌شده در ادبیات موضوع در حوزه ارزیابی ریسک فرآیند انجام شده است. نتایج جدول ۱ حاکی از آن است که اگرچه مطالعات گسترده‌ای در حوزه ارزیابی ریسک انجام شده است، اما با توجه به تنوع و پیچیدگی فرآیندها در سطح سازمان و نیاز به لحاظ نمودن ویژگی‌های خاص مرتبط با ارتباطات فرآیندی نظیر وابستگی ریسک‌ها، همچنان نیاز به توسعه مدل‌های ارزیابی و لحاظ نمودن بستر مناسب جهت دریافت نظرات و ترجیحات خبرگان جهت ارزیابی کمی و کیفی احساس می‌گردد. از این‌رو در این مطالعه اقدام به توسعه یک مدل جهت مدیریت ریسک مبتنی بر مدیریت فرایند شده است. برای این منظور، مجموعه‌ای از بازارها و تکنیک‌های آماری و

تصمیم‌گیری چندمعیاره جهت ارزیابی و مدیریت ریسک مبتنی بر فرایند در سطح سازمان در یک ساختار یکپارچه به کار گرفته شده است.

۳. مدل جامع ارزیابی ریسک

از دیدگاه فرآیند، عامل خطر (منبع خطر)، عاملی بالقوه است که می‌تواند منجر به وقوع رویداد خطر شود. شناسایی و سپس ارزیابی تأثیرات رویدادهای خطر، ناشی از عوامل خطر (داخلی و خارجی)، بر اهداف فرآیند تعریف‌شده ضروری است [۳۲]. برای نمونه، برخی از مهم‌ترین عوامل خطرساز خارجی عبارت‌اند از: استفاده بیش از حد دستگاه، تأخیر در تعمیر و نگهداری، تأمین‌کننده غیرقابل اعتماد و فاجعه طبیعی. عوامل خطرساز داخلی به عدم اطمینان در مورد برآورد محتوای مدنظر فرآیند مربوط می‌شود [۹]. همانطور که در شکل ۱ دیده می‌شود، عامل خطر می‌تواند وقایع نامطلوبی را ایجاد کند که در نهایت بر پیشرفت فعالیت به‌سوی تحقق اهداف تأثیر می‌گذارد. بنابراین، شناسایی، مدل‌سازی و ارزیابی ریسک جهت برآوردن اهداف سازمان حائز اهمیت است. فرضیه اساسی برای ارزیابی ریسک مبتنی بر فعالیت این است که هر فعالیتی در فرآیند به‌صورت بالقوه در معرض عوامل خطر قرار می‌گیرد و می‌تواند اتفاقات خطرناکی را به وجود آورد که به‌نوبه خود بر اهداف فرآیند تأثیر می‌گذارد. مراحل مدل به این صورت است که ابتدا خطرات درگیر در فرآیند و عوامل مرتبط با آن از طریق رویکرد هدفمند ارزیابی ریسک، شناسایی می‌شوند. خطرات شناسایی شده ابتدا به‌صورت کیفی و در نهایت به‌صورت کمی و با استفاده از شبکه بیز، روابط بین آن‌ها مدل‌سازی می‌شود تا ریسک موجود در این فرآیند مورد ارزیابی قرار گیرد. در پایان، سناریوهای (طرح‌های) فرآیند تولید با استفاده از شبکه تحلیل بیزین تجزیه و تحلیل می‌شوند و بر اساس مطلوبیت، توسط روش مکبث توسعه‌یافته و رتبه‌بندی می‌شوند. در شکل ۲، نمایی کلی از پیاده‌سازی روش تحلیل پیشنهادی ارائه شده است.

۴. روش پیشنهادی ارزیابی ریسک جامع مبتنی بر تحلیل بیزین و تصمیم‌گیری چندمعیاره

با تعریف مدل جهت اندازه‌گیری ریسک، روش ارزیابی ریسک در این بخش ارائه شده است. در این پژوهش هدف بر آن است تا با توسعه متدولوژی ارائه شده جهت ارزیابی ریسک، امکان در نظر گرفتن وابستگی میان ریسک‌ها مدنظر قرار گیرد. روش پیشنهادی مبتنی بر مدل‌سازی و رویکرد تصمیم‌گیری است و فرآیند مدیریت ریسک را که شامل چهار مرحله زیر است ایجاد می‌کند:

(۱) ایجاد زمینه

(۲) مدل‌سازی و تحلیل ریسک

۳) تجزیه و تحلیل ریسک مبتنی بر فرآیند

۴) ارزیابی و جمع‌آوری ریسک از طریق تصمیم‌گیری چند معیاره

مرحله نظارت و کنترل ریسک در این روش گنجانده نمی‌شود، زیرا مسئله فعلی صرفاً بر ارزیابی ریسک متمرکز است.

۴.۱. گام یک: مرحله ایجاد زمینه

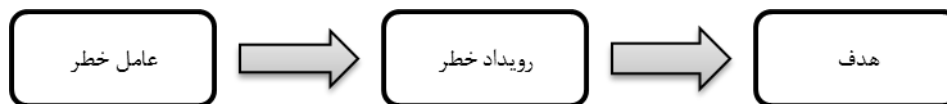
شناسایی و تعریف پارامترهای داخلی و خارجی موردنیاز جهت مدیریت ریسک و تعیین محدوده و شاخص‌های ریسک شامل این مرحله است. در چارچوب روش‌شناسی فعلی، مرحله تشکیل زمینه، حوزه کاربرد، ذینفعان فرآیند، نقش‌ها و مسئولیت‌های آن‌ها و همچنین حد بالا و پایین برای هر انتظارات و نگرانی‌های ذینفع را شناسایی می‌کند. علاوه بر این، تمرکز ارزیابی ریسک نیز در این مرحله، خواه ارزیابی مربوط به یک پروژه یا فعالیت تجاری، ادغام یا خرید یا نظارت بر تأسیسات جدید باشد [۲۸-۳۳]، تعیین می‌شود. زمینه مدیریت ریسک با استفاده از مدل‌های فرآیند تنظیم می‌شود، که بیشتر با اظهارات در مورد دارایی‌ها (ارزش، نوع و تحمل خطر)، ذینفعان و روابط بین دارایی‌ها و ریسک‌پذیری آن‌ها غنی می‌شود [۳۳ و ۳۴].

۴.۲. گام دو: مدل‌سازی و تحلیل ریسک

جهت مدل‌سازی و تحلیل ریسک فرآیندها، روش فعلی از شبکه آماری بیزین استفاده می‌کند. شبکه‌های بیز به عنوان یک روش قوی در مدل‌سازی تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان در حوزه‌های مختلف، توجه زیادی را به خود جلب نموده‌اند. شبکه‌های بیز برای بسیاری از مسائل همراه با عدم قطعیت و استدلال احتمالی یک سیستم پشتیبانی تصمیم فراهم می‌آورند. در این مقاله، ابتدا فاکتورهای ریسک موجود در توربین گازی نیروگاه برق شناسایی شده و سپس با استفاده از شبکه‌های بیز روابط بین آن‌ها مدل‌سازی شده تا ریسک موجود در این فرآیند مورد ارزیابی قرار گیرد.

جدول (۱) مروری بر مطالعات انجام شده در حوزه ارزیابی ریسک فرآیند

منبع	مدیریت ریسک			رویکرد	نمونه موردی	نتیجه
	شناسایی	تحلیل	پاسخ گویی			
شاه [۱۱]	*	*		مدل مفهومی با استفاده از سیستم اندازه‌گیری پیشرفت پروژه مبتنی بر ارزش برند	عمومی	مقابله با عدم اطمینان و معرفی چارچوب روش‌شناختی جهت ارزیابی ریسک
آون [۱۵]	*	*	*	ارزیابی بر اساس اطلاعات پشتیبانی شده توسط تحلیلگران	صنایع خدماتی	پیچیدگی ارزیابی ریسک با توجه به احتمالات خلاصه‌شده و ارزش‌های مورد انتظار
مولر [۱۶]	*	*		تکنیک مقابله با ریسک در زمینه محصول، سیستم و پروژه	صنایع خدماتی	معرفی مقدماتی در مورد چالش‌های مدیریت ریسک در سطح سازمانی
تکسیر و همکاران [۱۷]	*	*	*	تحلیل ریسک سلسله‌مراتبی	صنایع تولیدی	عدم وجود یک روش کلی جهت مقابله با ریسک
کلیانا و همکاران [۱۸]	*	*		تجزیه و تحلیل تکنیک‌های ارزیابی ریسک	عمومی	ارائه چارچوب نظری برای طبقه‌بندی تکنیک‌های ارزیابی ریسک
کیس، نور و تتو [۱۹]	*	*		تکنیک تجزیه و تحلیل حالت و اثرات شکست	صنایع خدماتی	شرح کاربرد تکنیک تجزیه و تحلیل در مراحل اولیه توسعه سیستم
براکسما و همکاران [۲۰]	*	*	*	تکنیک حالت‌های شکست و تجزیه و تحلیل اثرات	صنایع تولیدی	احتمال خرابی به‌عنوان یک عامل از متغیرهایی مانند سن و شرایط کار
کتلانی و همکاران [۲۱]	*	*		تحلیل حالت‌های بحرانی، اثرات و نقاط ضعف با هدف طبقه‌بندی وقایع، شدت و تأثیر مکانیسم‌های شکست احتمالی	عمومی	جلوگیری از ریسک‌های احتمالی
چنگ و همکاران [۲۲]	*	*	*	تحلیل درخت رویداد برای اولویت‌بندی گزینه‌های بهبود جهت کاهش ریسک	صنایع هوا و فضا	کاهش موجودی و میزان گردش آن
مون [۲۳]	*			تجزیه و تحلیل ریسک	صنایع تولیدی	شرح کاربرد عملی تجزیه و تحلیل ریسک
مقدم [۲۴]	*			مدل بهینه‌سازی چند هدفه توسط شبیه‌سازی مونت کارلو	عمومی	فراهم شدن رویکرد آماری نسبت به ارزیابی ریسک
چمپمن [۲۸]	*	*	*	تکنیک جهت بهبود مدیریت ریسک	عمومی	ارائه تکنیک جهت پیاده‌سازی رویکرد روشمند برای بهبود مدیریت ریسک
ریکاردسون و همکاران [۲۹]	*	*	*	تجزیه و تحلیل مدیریت ریسک فرآیند کسب و کار	عمومی	ارائه رویکردی جهت به حداکثر رساندن ارزش فرآیند
لارسون و کوسیاک [۳۰]	*	*		مدل‌سازی فرآیند و تحلیل روابط منطقی مابین فعالیت‌ها	صنایع تولیدی	تعیین قابلیت اطمینان کلی سیستم و شناسایی مسیرهای تصمیم‌گیری در فرآیند
بکر و همکاران [۳۱]	*	*		تکنیک مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل روند کسب و کار	صنایع خدماتی	نگاه کلی به وضعیت فرآیند مدل‌سازی
لیاقت و همکاران [۳۲]	*	*		ارزیابی ریسک مبتنی بر فرآیند با استفاده از مدل‌سازی، شبیه‌سازی و تکنیک‌های تصمیم‌گیری	سناریو تولیدی	ایجاد فرآیند شناسایی و ارزیابی ریسک و ابزار و تکنیک‌هایی برای توسعه ریسک کلی
لی و همکاران [۳۳]	*	*	*	رویکرد آماری نسبت به ارزیابی ریسک	صنایع تولیدی	شناسایی و ارزیابی خطرات کیفیت بالقوه در سیستم‌های تولیدی
داس ادهیکاری و همکاران [۳۴]	*	*		تحلیل ریسک با تمرکز بر ریشه رویدادهای خطر	نیروگاه حرارتی زغال‌سنگ	ارائه چند حالت اثر تجزیه و تحلیل بحرانی، جایگزینی روش ارزیابی اولویت خطر سنتی
مطالعه حاضر	*	*	*	ارزیابی ریسک مبتنی بر شبکه بیزین و تصمیم‌گیری چندمعیاره	فرایند	ارائه یک مدل ارزیابی کارا جهت ارزیابی ریسک فرایند



شکل (۱) عامل ریسک و رابطه آن با هدف [۳۵]



شکل (۲) نمایی کلی از گام‌های اجرایی روش پیشنهادی

۴.۲.۱. شناسایی ریسک هدف

رویکرد کلی برای شناسایی ریسک، از شناسایی اهداف شروع می‌شود [۱۶]. بر اساس این نظریه، رویکرد مبتنی بر هدف، دستیابی به عاملی است که مانع رسیدن به اهداف می‌شود. یک روش تصمیم‌گیری توسعه‌یافته به نام تفکر متمرکز بر ارزش^۱ وجود دارد که بسیاری از ابعاد احتمالی ریسک کلی به وسیله تجزیه آن به ریسک جزئی شناسایی می‌شود [۳۵ و ۳۶]. تفکر ارزشی یک پارادایم تصمیم‌گیری و تصمیم‌سازی است که هدف عمده آن افزایش خلاقیت و کمک به شناسایی فرصت‌های تصمیم به جای مسئله‌های تصمیم است. این پارادایم در تقابل با پارادایم رایج تفکر گزینه‌ای قرار می‌گیرد و رویکرد آن به تصمیم‌گیری، بیشتر پیش‌دستانه است تا منفعلانه. در تفکر ارزشی بر این نکته تأکید می‌شود که در هر موقعیت تصمیم، ارزش‌ها اهمیت بنیادی دارند و موضوعیت گزینه‌ها فقط به این خاطر است که ابزاری برای تحقق ارزش‌ها هستند. بنابراین هنگام تفکر درباره مسئله‌ها یا فرصت‌های تصمیم باید بر ارزش‌ها تمرکز کرد، نه به گزینه‌هایی که احتمالاً آن ارزش‌ها را محقق می‌سازند. در روش تفکر ارزش محور، یک هدف، "عبارت است از چیزی است که می‌خواهید به سوی آن تلاش کنید" [۳۶]، اهداف را به اهداف

^۱ Value Focused Thinking (VFT)

اساسی و مؤثر طبقه‌بندی می‌کند. در زمینه مدیریت ریسک، اهداف اساسی روش تفکر ارزش محور، اهداف ریسک هستند، در حالی که معنی اهداف، عوامل ریسک است. از آنجا که موضوع مدیریت ریسک "به حداقل رساندن خطر خاصی است" در اینجا به حداقل رساندن دارای جهت‌گیری ترجیحی است، به‌طوری که یک هدف در این تکنیک است. همچنین عوامل خطرساز راه‌هایی برای رسیدن به اهداف اساسی هستند که احتمال وقوع خطر را تعیین می‌کنند. یک زنجیره/شبکه عوامل خطر، به اهداف خطر در سلسله‌مراتب خطر کمک می‌کند. جهت ساده‌سازی، هدف ریسک به‌عنوان ریسک در مطالعه فعلی در نظر گرفته می‌شود. برای به‌کارگیری روش تفکر ارزش محور جهت شناسایی ریسک، از اصل مشخصات استفاده می‌کنیم. به‌طور کلی، تجزیه اهداف به بخش‌های منطقی، هدف این اصل است [۳۶]. شناسایی عوامل ریسک برای نظارت و کنترل ریسک ضروری است. برای به حداقل رساندن احتمال وقوع ریسک، عوامل ریسک باید شناسایی، اولویت‌بندی شوند و اقدامات جهت رفع موانع توسعه یابد. سلسله‌مراتب ریسک و شبکه‌های فاکتور ریسک کافی است تا تمامی ریسک‌های مربوط به آن و دلایل آن‌ها در هر سناریوی مشخص را نشان دهند. با این حال، ریسک شناسایی شده با عوامل ریسک آن‌ها نمی‌توانند مورد ارزیابی قرار گیرند زیرا از آن‌ها اطلاعاتی در دست ندارند، برای این منظور در محیط فرآیند مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۳.۴. گام سه: تجزیه و تحلیل ریسک مبتنی بر فرآیند

خطرات شناسایی شده در سلسله‌مراتب خطر با استفاده از آمار بیزین مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. یکی از فرآیندهای اصلی در مدیریت ریسک و عدم قطعیت، تحلیل آن است. برای تحلیل دقیق‌تر عدم قطعیت در مسئله یادشده، نیازمند ابزارهای پیشرفته‌تری هستیم تا بتوانیم ارتباط بین متغیرهای دنیای واقعی را بهتر مدل کنیم. تاکنون بحث‌های زیادی در مورد بهترین روش صورت گرفته است که بتواند عدم قطعیت‌ها را مدل کند. اغلب روش‌های پیشنهادی در این زمینه مبتنی بر تئوری احتمالات و منطق فازی هستند. از بین این دو روش نیز روش احتمالاتی از اساس تئوری قوی‌تری برخوردار است. یکی از جدیدترین روش‌های احتمالاتی، شبکه‌های بیز هستند. شبکه‌های بیز یک نوع خاص از مدل‌های گرافیکی هستند که نماینده ساختار گرافیکی بین چندین متغیر اثرگذار بر هم به شمار می‌روند. شبکه‌های بیز به‌عنوان رویکردی باارزش برای مدل‌سازی ریسک و مدیریت عدم قطعیت شناخته می‌شوند [۳۷]. این رویکرد در طیف وسیعی از مسائل شامل عدم قطعیت و استدلال احتمالی، یک سیستم پشتیبان تصمیم فراهم می‌آورد. در این رویکرد، می‌توان از هر دو منبع اصلی اطلاعات، یعنی نظر خبره و سوابق گذشته بهره گرفت. رویکرد جدید این تحقیق نسبت به روش‌های موجود (فازی و شبیه‌سازی مونت کارلو) دارای مزایای زیر است:

(۱) خاصیت یادگیری دارد

(۲) خاصیت تشخیصی دارد

در شرایط کمبود داده و اطلاعات ناقص کارکردی است و از طریق استنتاج، اطلاعات را به روزآوری می‌کند.

۱.۳.۴. تجزیه و تحلیل ریسک از طریق شبکه بیزین

شبکه‌های بیزین: شبکه‌های بیز (شبکه‌های اعتقادی بیز، شبکه‌های احتمالی علی، نمودارهای تأثیر احتمالی)^۱، ساختارهایی نموداری برای نمایش روابط احتمالی میان تعداد زیادی متغیر و انجام استنباط احتمالی با آن متغیرها هستند. شبکه‌های بیز گراف‌های غیرسیکلی مستقیم است که گره‌ها در مفهوم قاعده بیز، نشان‌دهنده متغیرها هستند. این گره‌ها می‌توانند مقادیر قابل مشاهده، متغیرهای پنهان، پارامتر یا فرض‌های نامعلوم باشند. یال‌های این شبکه بیانگر وابستگی‌های شرطی هستند. هر گره دارای یک تابع احتمال است که شامل احتمال اولیه (برای گره‌های بدون والدین) و یا احتمالات شرطی مربوط به حالات مختلف گره‌های والدین است.

تعیین کمیت‌های شبکه: کمی سازی شبکه به معنی تخمین توزیع احتمالات برای هر گره در شبکه است. برای تخمین احتمالات، اگر داده‌های عینی گذشته در دسترس باشد، می‌توانیم از آن‌ها استفاده کنیم. همچنین، می‌توانیم احتمالات را از کارشناسان آن حوزه استخراج کنیم. هر دو نوع داده می‌توانند به صورت مجزا یا ترکیب با یکدیگر استفاده شوند. از ابزار مدل‌سازی شبکه بیزین با نرم‌افزار Agena Risk به عنوان روشی کارا در پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است.

۴.۴. گام چهار: ارزیابی و جمع‌آوری ریسک از طریق تصمیم‌گیری چند معیاره

ارزیابی ریسک به معنی ارزیابی اهمیت یا قضاوت در مورد پذیرش خطر است. اهمیت یا قضاوت یک ریسک تنها زمانی می‌تواند مشخص شود که در برابر ارزش هدف، حدهای بالایی و پایینی آن مقایسه شود. از این رو، مطلوب است که روش تصمیم‌گیری چند معیاره را بررسی کنیم که یک تابع ارزش نرمال (تابع مطلوبیت) را برای اندازه‌گیری ریسک ایجاد می‌کند. این کار با مقایسه هر معیار ریسک در برابر حد بالا و پایین انجام می‌شود. همچنین مرحله‌ای را برای جمع‌آوری ریسک‌های نرمال شده (از این پس، عبارات ریسک) برای تسهیل روند تصمیم‌گیری تعیین می‌کند. در مدل چند معیاره روش‌شناسی فعلی، ریسک‌ها با استفاده از روش (اندازه‌گیری جذابیت با روش ارزیابی مبتنی بر طبقه‌بندی)^۲ نرمال می‌شوند. تعیین تعامل بین معیارهای خطر با استفاده از ظرفیت چوکت انجام می‌شود در حالی که تجمیع با استفاده از انتگرال چوکت انجام می‌شود.

^۱ Bayesian Networks (Bayesian Belief Networks, Causal Probabilistic Networks, Probabilistic Influence Diagrams)

^۲ MACBETH

۱.۴.۴. روش تصمیم‌گیری چند معیاره مکبث

در طی سال‌های اخیر، توسعه روش‌های تصمیم‌گیری با هدف ارتقای کارایی تصمیمات در حوزه‌های عملکردی مختلف مورد توجه محققان واقع شده است. این روش از تکنیک‌های جبرانی تصمیم‌گیری چند معیاره بوده و در گروه تکنیک‌های امتیازدهی (تجمیعی) قرار می‌گیرد. اساساً مکبث یک تکنیک تعاملی بوده و برای قضاوت در مورد عملکرد گزینه‌ها با توجه به مجموعه‌ای از معیارها و در قالب عبارات و مقادیر کیفی (رتبه‌ای) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تکنیک تصمیم‌گیرنده باید تفاوت جذابیت دو عامل را با استفاده از قضاوت‌های کیفی و بر اساس مقیاس کلامی از پیش تعریف‌شده، مورد قضاوت قرار دهد. این تکنیک نه تنها امکان سنجش سازگاری قضاوت‌های تصمیم‌گیرنده را فراهم می‌آورد، بلکه در صورت ناسازگاری، پیشنهادهایی نیز در زمینه رفع ناسازگاری ارائه می‌نماید. با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی، قضاوت‌های کلامی سازگار به مقادیر عددی، متناسب با مقیاس تعریف‌شده توسط مکبث تبدیل می‌شوند. در نهایت مجموع وزنی امتیاز گزینه‌ها در تمامی معیارها که نشان‌دهنده جذابیت کلی گزینه‌هاست، با استفاده از مدل ادغام جمعی محاسبه‌شده و برای رتبه‌بندی گزینه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع مکبث یک رویکرد تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره است که برای تعیین توابع ارزش و همچنین ترکیب آن‌ها در مقایسه با سناریوهای مختلف استفاده می‌شود [۳۸]. همانند توابع ارزش، یک تابع ریسک مجموعه‌ای از ترجیحات تصمیم‌گیرنده یا قواعد معیارهای خطر را با اشاره به موقعیت‌های ساختگی نشان می‌دهد. دو حالت برای معیار ریسک مقایسه شده‌اند و به همین ترتیب اطلاعات مختصری به دست می‌آید و سپس از طریق «تفاوت جذابیت» به اطلاعات اصلی تبدیل می‌شود. اولویت‌بندی به خاطر تفاوت در جذابیت برای تصمیم‌گیرنده کاملاً طبیعی است که معمولاً بر سطح کلامی جذابیت تکیه می‌کند مانند {صفر، بسیار ضعیف، ضعیف، متوسط، قوی، بسیار قوی، حداکثر} [۳۸]. علاقه‌مندان به جزئیات تکمیلی پیرامون روش مکبث می‌توانند به مطالعه انجام‌شده توسط کلیو و همکاران [۳۹] مراجعه نمایند. بنابراین در این تکنیک لازم است تصمیم‌گیرنده مجموعه معیارهای مؤثر بر انتخاب مناسب‌ترین گزینه را تعریف نماید [۴۰].

مراحل این تکنیک به شرح زیر است:

(۱) تعیین معیارهای مؤثر بر تصمیم‌گیری: در این تکنیک معیارهای مؤثر بر تصمیم‌گیری در قالب درخت ارزش نمایش داده می‌شوند.

(۲) بعد از ترسیم درخت ارزش سطح عملکرد کیفی (رتبه‌ای) گزینه‌ها در معیارهای مختلف تعیین می‌گردد که نشان‌دهنده عملکرد ممکن گزینه‌ها با توجه به معیارهای مختلف است.

(۳) در این مرحله تصمیم‌گیرنده باید یک مجموعه سطوح مرجع برای عملکرد گزینه‌ها نسبت به هر معیار مشخص نماید. سطح مرجع بالایی به عنوان سطح خوب مشهور بوده و نشان‌دهنده بیشترین امتیاز جذابیت عملکرد (۱۰۰) و سطح مرجع پایینی به عنوان سطح هیچ و نشان‌دهنده کمترین امتیاز جذابیت عملکرد (۰) است.

(۴) در این مرحله، تبدیل مقیاس عملکرد کیفی به مقیاس عملکرد کمی صورت می‌گیرد. در این تکنیک تفاوت و اختلاف جذابیت بین دو گزینه بر اساس یک مقیاس کلامی در هفت سطح به شرح جدول ۲ سنجیده می‌شود.

(۵) در این مرحله، گزینه‌های تصمیم‌گیری تعیین شده و جدول تصمیم تشکیل و سطوح عملکرد گزینه‌ها در تمامی معیارها تعیین می‌گردد.

در مطالعه حاضر، روش مکبث به منظور توسعه عبارات خطر r_i (ارزش عادی خطر متعلق به R_i) با حل مسئله مرتبط بودن معیارهای مرجع و استفاده آن‌ها در مقیاس $\{0/1\}$ استفاده می‌شود. از آنجا که مکبث به میانگین مجموع عبارات ریسک متکی است که اغلب نمونه‌هایی واقعی زندگی که معیارها ممکن است در تعامل باشند، وجود ندارند، به عنوان اپراتور برای تجمع عبارات ریسک انتخاب شده است. مکبث می‌تواند از طریق تابع ظرفیت چوکت به وابستگی ما بر ریسک‌های مختلف رسیدگی کند.

جدول (۲) اختلاف جذابیت بین دو گزینه با مقیاس کلامی در هفت سطح

مفهوم	مقیاس عددی معادل	مقیاس کلامی میزان ارجحیت
عدم تفاوت بین گزینه‌ها	۰	هیچ
یک گزینه دارای جذابیت بسیار ضعیفی نسبت به دیگری است.	۱	بسیار ضعیف
یک گزینه دارای جذابیت ضعیفی نسبت به دیگری است.	۲	ضعیف
یک گزینه دارای جذابیت متوسطی نسبت به دیگری است.	۳	متوسط
یک گزینه دارای جذابیت قوی نسبت به دیگری است.	۴	قوی
یک گزینه دارای جذابیت بسیار قوی نسبت به دیگری است	۵	بسیار قوی
یک گزینه نسبت به دیگری کاملاً جذاب‌تر است.	۶	بی‌نهایت

۲.۴.۴. انتگرال چوکت

برای جمع کردن توابع ریسک r_i از رابطه ریاضی C_i از معادله ۱ استفاده می‌شود:

$$R_{ag} = \sum_{i=1}^n v_i r_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_{ij} |r_i - r_j| \quad (۱)$$

جایی که R_{ag} برابر است با مجموع نمره ریسک، r برابر است با تابع ریسک، مقدار ریسک به دست آمده از طریق

روش مکبث، v_i برابر است با شاخص شفافیت با $\sum_{i=1}^n v_i = 1$ که نشان‌دهنده اهمیت بیان ریسک r_i نسبت به سایر

خطرات دیگر است، I_{ij} برابر است با تعامل بین عبارات خطر (r_i و r_j) در دامنه (۱،۱-). برای محاسبه پارامترهای ناشناخته C_i (V_i و I_{ij})، دو حالت تشریحی علاوه بر فرایندهای جایگزین در نظر گرفته می‌شوند و به صورت متقاطع و جداگانه رتبه‌بندی می‌شوند [۹ و ۳۹]. اولویت رتبه در این شرایط همراه با مزیت برتری، یک سیستم معادلات را ارائه می‌دهد که راه حل آن پارامترهای C_i را تعیین می‌کند. اپراتورهای C_i به تعریف دو سطح مرجع نیاز دارند [41]:

✓ سطح مرجع بالا (U): عنوان مثال خوب یا بهتر

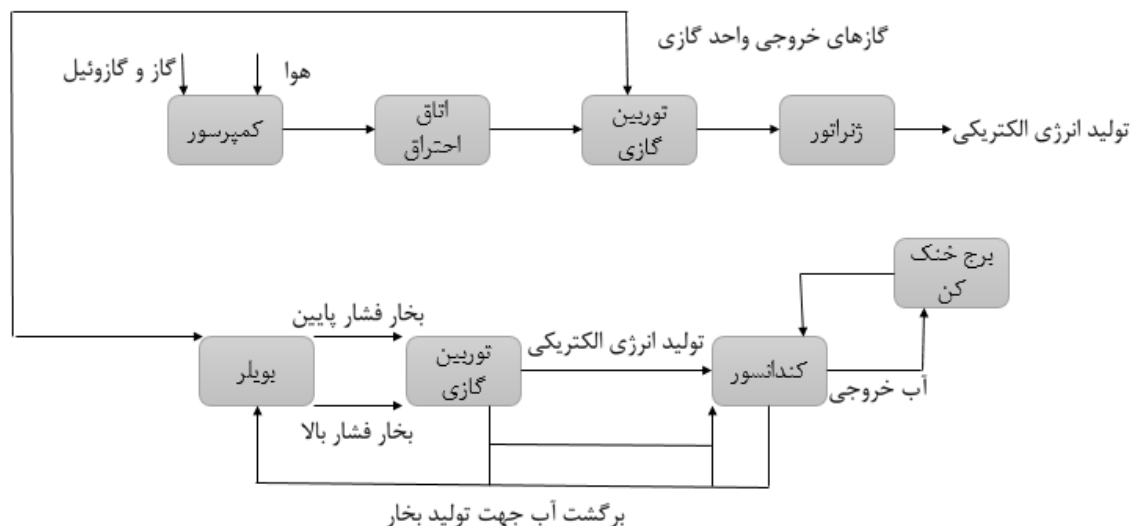
✓ سطح مرجع پایین (L): به عنوان مثال خنثی یا بدتر

۵. مطالعه موردی: ارزیابی ریسک فرآیند در نیروگاه برق شهید بسطامی شاهرود

با گسترش سطح زندگی در جوامع امروزی، نیاز به منابع انرژی در شکل‌های جدیدتر بیشتر نمایان می‌شود. تقریباً در تمام مواقع، هدف، تبدیل سایر اشکال انرژی به انرژی برق است. با پیشرفت فناوری و ظهور تجهیزات و ابزارهای الکتریکی و الکترونیکی شدن خیلی از ابزارها در زندگی روزمره، نیاز به انرژی برق نیز افزایش یافته و ارائه انرژی برق به صورت مستمر و پایدار اهمیت بیشتری یافته است. یکی از مکان‌های تبدیل انرژی به انرژی الکتریکی، نیروگاه برق است. برای پایداری و استمرار تولید انرژی برق و همچنین افزایش روزافزون هزینه دستگاه‌ها و ماشین‌آلات و لزوم دستیابی به سطح بالایی از قابلیت اطمینان در آن‌ها جهت جلوگیری از حوادث و ریسک‌های ناشی از آن، اهمیت وجود رویکردی برای ارزیابی ریسک را روز به روز در این حوزه بیشتر می‌کند. مطالعه حاضر با شناسایی و تجزیه و تحلیل ریسک‌های موجود در فرآیندهای نیروگاه برق و تعیین روابط موجود در بین ریسک‌ها، به ارزیابی آن می‌پردازد.

نیروگاه سیکل ترکیبی برق

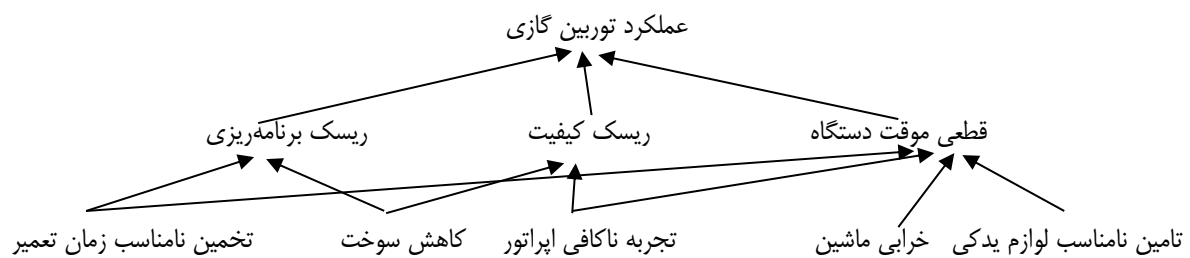
نیروگاه‌ها از مهم‌ترین زیرساخت‌های توسعه‌ی اقتصادی محسوب می‌شوند که با پیشرفت‌های فنی و پیچیده شدن فناوری، در معرض خطرات و حوادث متعدد قرار می‌گیرند. ارائه راهکاری که با وجود عدم اطمینان‌ها، ابهامات و با ترکیب اطلاعات، بتواند ریسک‌ها را مورد شناسایی، ارزیابی و رتبه‌بندی قرار دهد، در کنترل و کاهش خطرات مؤثر است. به طور کلی نیروگاه یک مجموعه از چندین بخش است از جمله: بخش گاز و گازوئیل، روغن هیدرولیک، ترانس، ژنراتور، توربین گاز، برج خنک‌کننده و غیره که خرابی هرکدام از این بخش‌ها ممکن است باعث مختل شدن فرآیند و خروج اضطراری و خسارت زیاد به واحد شود. پس شناسایی و ارزیابی ریسک در این مجموعه اهمیت فراوانی دارد. تحقیق حاضر با هدف شناسایی و ارزیابی ریسک خطرات و تعیین ریسک‌های مؤثر در نیروگاه برق، در راستای کاهش عدم اطمینان‌های موجود، انجام شده است.



شکل (۳) شرح فرآیند تولید برق در نیروگاه سیکل ترکیبی

در نیروگاه سیکل ترکیبی دو نوع توربین مورد استفاده قرار می‌گیرد که عبارت است از: توربین گاز و توربین بخار. توربین گازی به‌طور کلی از سه فرآیند کمپرسور (فرآیند ۱)، توربین (فرآیند ۲) و محفظه احتراق (فرآیند ۳) تشکیل می‌شود. در توربین گاز هوا از محیط وارد کمپرسور توربین شده و هوای فشرده‌شده در محفظه احتراق برای کمک به سوخت گاز (سوخت مایع) وارد می‌شود و گاز حاصل از احتراق به توربین هدایت شده و در آنجا منبسط می‌شود و انرژی گرمایی آن به انرژی مکانیکی تبدیل می‌شود و انرژی مکانیکی تولیدشده در توربین، ژنراتور را به گردش درمی‌آورد و انرژی الکتریکی تولید می‌شود. در این مقاله سعی شده است تا با استفاده از مدل ارزیابی ریسک موردنظر، ریسک‌های اساسی این قسمت که شامل: قطعی موقت دستگاه، ریسک کیفیت و ریسک برنامه‌ریزی است را در قسمت فرآیندهای توربین گاز شناسایی کرده و از احتمال وقوع خطر در این قسمت جلوگیری کنیم. جهت شناسایی ریسک و عوامل مرتبط با آن در سناریو توربین گاز، رویکرد شناسایی ریسک اهداف مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این بخش، مدل پیشنهادی در یک فرآیند با سه ریسک مرتبط، به‌عنوان مطالعه موردی پیاده‌سازی می‌شود. اطلاعات موردنیاز از طریق حداکثر خبره موجود در سطوح مختلف صنعت مورد مطالعه استخراج شد. به دلیل نبودن امکان دسترسی به اطلاعات دقیق و تاریخی مرتبط با فرآیند موردنظر و سایر متغیرهای مرتبط با حوزه مورد بررسی در مطالعه موردی، همه اطلاعات مرتبط با متغیرهای به کاررفته در مدل بر مبنای نظرات خبرگان و کارشناسان حوزه مذکور گردآوری شده و در مدل به کار رفته است. با توجه به قابلیت شبکه‌های بیزین در آمار بیز، پایایی نظرات ارزیابی نمی‌شود، زیرا مدل بیز به‌مرور خود را به‌روز و اصلاح می‌کند. ریسک‌های شناسایی شده در فرآیند توربین گازی و ساختار گرافیکی مدل یکپارچه در نمودار ۳ ارائه شده است. خطرات شناسایی شده در سلسله‌مراتب خطر با استفاده از آمار بیزین مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. برای جمع‌آوری احتمالات و داده‌های موردنیاز در شبکه بیز مربوطه، از قضاوت کارشناسان و افراد خبره این حوزه استفاده شده است. از تبیین موضوع برای افراد موردنظر، جداول احتمالات اولیه و شرطی در اختیار آنان قرار داده

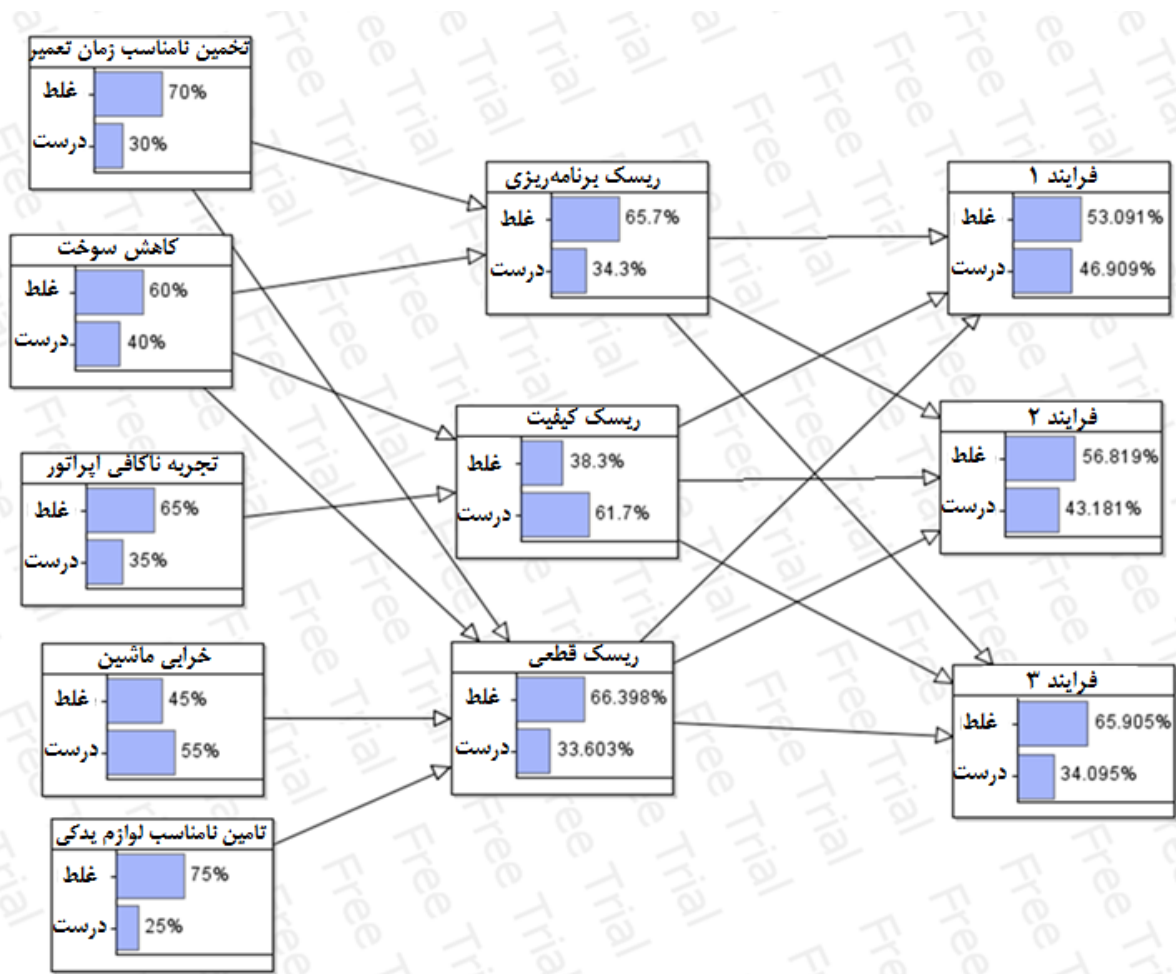
شد که از این احتمالات به عنوان ورودی مدل استفاده می شود. از ابزار مدل سازی شبکه بیزین با نرم افزار Agena Risk به عنوان روشی کارا در پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. پس از مدل سازی در نرم افزار و ورود اطلاعات هر گره، برنامه اجرا و نتایج برآورد نهایی اندازه گیری ریسک در جدول ۳ ارائه شده است. اطلاعاتی که در شبکه بیزین مدل سازی شده اند، با استفاده از روش مکبث نرمال می شوند. خروجی نهایی نرم افزار در شکل ۴ نمایش داده شده است در نتیجه ریسک های بیان شده در جدول ۴ ارائه می شود.



نمودار (۱) نمودار مرتبط با ریسک عملکرد توربین گازی (به عنوان یک زیرسیستم مهم در نیروگاه) مبتنی بر نظرات خبرگان

جدول (۳) نتایج نرم افزار Agena Risk برای طرح های فرآیند تولید

	ریسک برنامه ریزی (R_1)	ریسک کیفیت (R_2)	ریسک قطعی (R_3)
فرآیند ۱	۰/۱۶	۰/۲۸	۰/۱۵
فرآیند ۲	۰/۱۴	۰/۲۶	۰/۱۴
فرآیند ۳	۰/۱۱	۰/۲۱	۰/۱۱



شکل (۴) خروجی نهایی نرم افزار مکبث برای ریسک فرآیندها

جدول (۴) حالات ریسک (مقادیر ریسک نرمال با مکبث)

	ریسک برنامه ریزی (R_1)	ریسک کیفیت (R_2)	ریسک قطعی (R_3)
فرآیند ۱	۰/۸	۰/۸۶	۰/۶۶
فرآیند ۲	۰/۶	۰/۷۳	۰/۵۵
فرآیند ۳	۰/۱۵	۰/۳	۰/۱۶

جدول (۵) شاخص ریسک کلی برای فرآیندها

	پارامترهای انتگرال چوکت		
	ریسک کلی	I_{ij}	V_i
فرآیند ۱	۰/۷۱	$I_{12}=۰/۱۰$	$V_1=۰/۱۷$
فرآیند ۲	۰/۵۹	$I_{13}=۰/۲۰$	$V_2=۰/۳۳$
فرآیند ۳	۰/۱۶	$I_{23}=۰/۵۰$	$V_3=۰/۵۰$

عبارات ریسک و پارامترهای انتگرال چوکت (I_{ij} و V_i) شناسایی شده، در معادله ۱ قرار می‌گیرد و خطر کلی برای هر طرح فرآیند در جدول ۵ محاسبه می‌شود. از جدول ۵ می‌توان نتیجه گرفت که فرآیند ۲ شامل حداقل ریسک (۰/۱۶) و فرآیند ۲ (۰/۵۹) و سپس فرآیند ۱ با حداکثر ریسک (۰/۷۱) است. بنابراین، رتبه‌بندی نهایی عبارت است از: فرآیند ۱ > فرآیند ۲ > فرآیند ۳. علاوه بر این، فرآیند ۳ که در معرض ریسک قرار دارد، دارای بیشترین وزن (۰/۵۰) است. دلیل این امر اهمیت خطرانی است که این فرآیند در کارکرد توربین گازی دارد. تعامل بین برنامه‌ریزی و کیفیت، برنامه‌ریزی و قطعی موقت، کیفیت و قطعی موقت به ترتیب (۰/۱۰)، (۰/۲۰) و (۰/۵۰) است. اثر متقابل نسبتاً بالا بین ریسک کیفیت و قطعی موقت مشاهده می‌شود (یعنی ۰/۵۰)، این بدان دلیل است که خرابی در کیفیت منجر به تأخیر در کارکرد توربین گازی می‌شود و امتیاز پایین بین ریسک برنامه‌ریزی و کیفیت (۰/۱۰) ذکر شده است که نشان می‌دهد تأخیر در روند کار به‌طور قابل‌توجهی بر کاهش کیفیت اثر نمی‌گذارد. هیچ فعل و انفعالی منفی و صفر مشاهده نشده است، این بدان معناست که یک ریسک، کمابیش بر سایر ریسک‌های موجود در سناریو، تأثیر مثبت می‌گذارد و به بزرگی آن‌ها کمک می‌کند. این امر به این دلیل است که خطرات در هر سیستمی با یکدیگر در ارتباط هستند.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادهای کاربردی

فرآیندهای تولیدی در حین اجرا و پیاده‌سازی در معرض ریسک‌های مختلفی قرار می‌گیرند که باعث تحت تأثیر قرار گرفتن اهداف عملکردی مجموعه تحت نظر، همچون زمان و هزینه و موارد مشابه دیگر می‌شوند. اتخاذ سیاست‌هایی برای شناسایی و مدیریت این ریسک‌ها می‌تواند در حذف یا کاهش اثر آن‌ها مؤثر باشد. در رویکردهای سنتی مدیریت ریسک، ارزیابی ریسک به‌صورت مستقل در نظر گرفته می‌شود و برهم‌کنش بین آن‌ها مدنظر قرار نمی‌گیرد، در حالی که وقوع برخی از ریسک‌ها می‌تواند سبب تشدید اثر یا احتمال وقوع سایر ریسک‌ها شود. بنابراین برای رسیدن به تخمین نزدیک به واقعیت، به مدنظر قرار دادن هم‌زمان احتمالات و اثر ریسک‌ها و همچنین وابستگی موجود بین آن‌ها نیاز است. در این مقاله، روشی جهت ارزیابی ریسک فرآیند ارائه شده است که روشی جهت شناسایی و ارزیابی ریسک ایجاد و ابزار و تکنیک‌هایی را برای توسعه ریسک کلی فراهم می‌کند که می‌تواند به‌عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری برای ارزیابی فرآیندهای تولید، بر اساس مطلوبیت مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این، مطالعه حاضر بر لزوم شناسایی خطرات عمده و کلی و سپس تجزیه و تحلیل آن تأکید می‌کند. از این‌رو در مقاله حاضر یک روش ارزیابی ریسک ترکیبی با قابلیت تحلیل داده‌های کمی و کیفی مرتبط با فرآیندها مبتنی بر تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره و آمار بیزین ارائه شده است. درنهایت، این رویکرد در نیروگاه برق که از اعتبار عملیاتی و مفهومی آن پشتیبانی می‌کند، مورد آزمایش قرار گرفته است. درنهایت به‌منظور توسعه دامنه کاربرد و کارایی مدل ارائه‌شده، پیشنهاد می‌گردد یک مدل برنامه‌ریزی احتمالی برای ارزیابی ریسک تجمیعی در مطالعات

آتی مدنظر قرار گیرد. علاوه بر آن، ارائه رویکرد جامع جهت مدیریت یکپارچه ریسک با لحاظ نمودن اثر
برهم‌کنش‌های موجود می‌تواند به دیگر محققان پیشنهاد می‌گردد.

- [1] Parisa Hajikhani, "Provide a model for assessing and managing project risk in organizations", Master Thesis in Industrial Engineering, University of Science and Culture, 1395. (In Persian)
- [2] Hallikas, J., Karvonen, I., Pulkkinen, U., Virolainen, Tuominen, M, "Risk management processes in supplier networks", International Journal of Production Economics, 2004, pp.47-58.
- [3] Tuncel, G., Alpan, G, "Risk assessment and management for supply chain networks: A case study Computers in Industry", 2010, pp. 250-259.
- [4] Mohammadi Nodeh, Abdul Rahman, "The role of information technology in risk management". The first information and communication technology information base, 1385. (In Persian)
- [5] Nasr, Mohammad. risk management. Razi Broadcasting Company and Scientific Development Research Center, 1386. (In Persian).
- [6] Tuncel, G., Alpan, G, " Risk assessment and management for supply chain networks: A case study Computers in Industry", 2010, pp. 250-259.
- [7] Sienou, A., E. Lamine, and H. Pingaud. 2008. "A Method for Integrated Management of Process-risk." Proceedings of the 1st International Workshop on Governance, Risk and Compliance – Applications in Information Systems (GRCIS), Vol. 339, 17–30. Montpellier, June 2008, PP.17–20.
- [8] Martinez-Hernandez, "Understanding Value Creation: The Value Matrix and the Value Cube", University of Strathclyde, 2003.
- [9] Shah, L, "Value/Risk – Based Performance Evaluation of Industrial Systems", PhD Thesis, Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers, 2012.
- [10] Knight, K. W. "AS/NZS ISO 31000, the New Standard for Managing Risk, Keeping Good Companies 62 (2)" 2010, PP.68–69.
- [11] Shah, L. A, " Process-oriented Performance Evaluation: Concepts and Methodology: Value and Risk Based Approach. Saarbrücken", LAP Lambert Academic Publishing, 2013.
- [12] Indulska, M., J. Recker, M. Rosemann, and P. Green, "Business Process Modeling: Current Issues and Future Challenges", In Advanced Information Systems Engineering, edited by David Hutchison, Takeo Kanade and Josef Kittler, 2009, pp. 501–514.
- [13] Scott, J. E., and I. Vessey, "Managing Risks in Enterprise Systems Implementations", 2002, Communications of the ACM 45: 74–81.

- [14] Cheng, M., & Lu, Y. (2015). Developing a risk assessment method for complex pipe jacking construction projects. *Automation in Construction*, 58, 48-59.
- [15] Aven, T, " Risk Analysis" ,New York, 2008.
- [16] Moeller, R, "COSO Enterprise Risk Management" , Understanding the New Integrated ERM Framework. USA, 2007.
- [17] Tixier, J., G. Dusserre, O. Salvi, and D. Gaston, "Review of 62 Risk Analysis Methodologies of Industrial Plants", 2002, PP.291–303.
- [18] Cagliano, A. C., S. Grimaldi, and C. Rafele, "Choosing Project Risk Management Theoretical Framework", *Journal of Risk Research* 18: 232–248, 2015.
- [19] Case, K., A. Nor, and P. C. Teoh, "A Diagnostic Service Tool Using FMEA", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 23: 640–654, 2010.
- [20] Braaksma, A. J. J., A. J. Meesters, W. Klingenberg, and C. Hicks, "A Quantitative Method for Failure Mode and Effects Analysis", *International Journal of Production Research* 50: 6904–6917, 2012.
- [21] Catelani, M., L. Ciani, L. Cristaldi, M. Faifer, and M. Lazzaroni, "Electrical Performances Optimization of Photovoltaic Modules with FMECA Approach" , *Measurement* 46: 3898–3909, 2013.
- [22] Cheng, C.-Y., S.-F. Li, S.-J. Chu, C.-Y. Yeh, and R. J. Simmons., "Application of Fault Tree Analysis to Assess Inventory Risk: A Practical Case from Aerospace Manufacturing", *International Journal of Production Research* 51: 6499–6514, 2013.
- [23] Mun, J. "Modeling Risk: Applying Monte Carlo Simulation, Real Options Analysis, Forecasting and Optimization Techniques" ,Hoboken, USA, 2006.
- [24] Moghaddam, K. S. "Supplier Selection and Order Allocation in Closed-loop Supply Chain Systems Using Hybrid Monte Carlo Simulation and Goal Programming" , *International Journal of Production Research* 53: 6320–6338, 2015.
- [25] Sienou, A., E. Lamine, and H. Pingaud. 2008. "A Method for Integrated Management of Process-risk." *Proceedings of the 1st International Workshop on Governance, Risk and Compliance – Applications in Information Systems (GRCIS)*, Vol. 339, 17–30. Montpellier, June 2008, PP.17–20.
- [26] Kusiak, A., and A. Zakarian, "Risk Assessment of Process Models" , *Computers & Industrial Engineering* 30: 599–610, 1996.
- [27] Sackmann, S. "A Reference Model for Process-oriented IT Risk Management". *European Conference on Information Systems (ECIS)*, Galway, Ireland, 2008, PP. 1346–1357.
- [28] Chapman, R. J. "Simple Tools and Techniques for Enterprise Risk Management",2006.
- [29] Rikhardsson, P., P. J. Best, P. Green, and M. Rosemann, "Business Process Risk Management and Internal Control: A Proposed Research Agenda in the Context of

Compliance and ERP Systems”, Proceedings of 2nd Asia/Pacific Research Symposium on Accounting Information Systems, Melbourne, 2006.

[30] Larson, N., and A. Kusiak, “System Reliability Methods for Analysis of Process Models”. Integrated Computer-Aided Engineering 3 (4): 279–291, 1996a.

[31] Becker, J., D. Breuker, B. Weiss, and A. Winkelmann, “Exploring the Status Quo of Business Process Modelling Languages in the Banking Sector – An Empirical Insight into the Usage of Methods in Banks”, 21st Australasian Conference on Information Systems (ACIS 2010). Brisbane. 2010.

[32] Liaqat A. Shah, Alain Etienne, Ali Siadat & François Vernadat, “Process-oriented risk assessment methodology for manufacturing process evaluation”, International Journal of Production Research, 2016.

[33] Lee, C. K. M., Y. Lv, and Z. Hong, “Risk Modelling and Assessment for Distributed Manufacturing System.” International Journal of Production Research 51: 2652–2666, 2013.

[34] Das Adhikary, D., G. Kumar Bose, D. Bose, and S. Mitra, “Multi Criteria FMECA for Coal-fired Thermal Power Plants Using COPRAS-G”, International Journal of Quality & Reliability Management 31: 601–614, 2014.

[35] Vernadat, F., L. Shah, A. Etienne, and A. Siadat, “VR-PMS: A New Approach for Performance Measurement and Management of Industrial Systems”, International Journal of Production Research 51: 7420–7438, 2013.

[36] Keeney, R. L. “Creativity in Decision Making with Value-focused Thinking”, Sloan Management Review 35: 33–33, 1994.

[37] Heckerman, D. “Bayesian Networks for Data Mining. Data Mining and Knowledge Discovery”, 1997.

[38] Bana e Costa, C. A., and J.-C. Vansnick. “MACBETH – An Interactive Path towards the Construction of Cardinal Value Functions”, International Transactions in Operational Research 1: 489–500, 1994.

[39] Clivillé, V., L. Berrah, and Gilles Mauris, “Quantitative Expression and Aggregation of Performance Measurements Based on the MACBETH Multi-criteria Method”, International Journal Production Economics 105: 171–189, 2007.

[40] Ishizaka A, Nemery P. Multi-criteria decision analysis: Methods and software. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons; 2013.

[41] Grabisch, M., I. Kojadinovic, and P. Meyer. (2008). “A Review of Methods for Capacity Identification in Choquet Integral Based Multi - attribute Utility Theory.” European Journal of Operational Research 186:766–785.

Providing a Comprehensive Model of Network Risk Assessment Based on Multi-criteria Decision Making Technique and Bayesian Modeling

Nahid Khodaiberdi¹, Aliakbar Hasani^{2*}, Mohammad Ghodosi³

ABSTRACT

Risk assessment can provide valuable information for decision making in risk reduction, optimization of control systems, and planning to provide a favorable response. From a process perspective, uncertainty lies ‘internally’ and ‘externally’ to the activity in the form of risk factors. In this study, a hybrid risk assessment method with the capability of analyzing quantitative and qualitative data related to processes based on multi-criteria decision-making techniques and Bayesian statistics is presented. A process-oriented quantitative risk assessment methodology is proposed to evaluate the risk associated with processes using modeling and decision-making approaches. First, the risks involved in the process and its associated factors are identified through a targeted risk assessment approach. The identified risks are first quantitatively and finally quantified using the Bayesian network of relationships between them to assess the risks involved in the process. Bayesian networks provide a decision support system for many of the problems associated with uncertainty and possible reasoning and are used as an efficient way of modeling decision problems in uncertain situations. Next, the production process scenarios (schemes) are analyzed using the Bayesian analysis network. Finally, each of the production process scenarios is evaluated and ranked by the MACBETH Multi-Criteria Decision Making Method. MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique) is a multi-criteria decision analysis approach used to determine value functions as well as aggregated ones while comparing different scenarios. Using the proposed methodology as a decision-making tool, alternative manufacturing scenarios (i.e. manufacturing process plans) are developed and ranked based on desirability. The proposed model is implemented as a case study for process risk analysis in a power plant. The methodology is tested with a case study that supports both its conceptual and operational validity. The results of the research indicate the effectiveness of the proposed method for risk analysis to its achievements. Although the methodology is illustrated with a case study issued from the part manufacturing, it is also applicable to a wide range of other processes.

Keywords: Risk Assessment, Multi-criteria Decision Making, Process Modeling, Macbeth, Bayesian Network.

¹ Master of Industrial Engineering, Department of Industrial Engineering and Management, Shahrood University of Technology (Email: khodaiberdy@gmail.com)

² Associate Professor of Industrial engineering, Department of Industrial Engineering and Management, Shahrood University of Technology (Corresponding author: aa.hasani@shahroodut.ac.ir)

³ Instructor, Faculty of Engineering, University of Torbat Heydarieh (Email: m.ghodoosi@torbath.ac.ir)

