تعیین استراتژی مناسب نگه داری و تعمیرات مبتنی بر ریسک برای بهبود شاخص های ایمنی

ایرج محمدفام[۱]- عباس شفیع خانی[۲]- علی اکبر شفیع خانی[۳،*]- فخرالدین قاسمی[۴]
ali.shafikhani@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۲/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۴

چکیده

مقدمه: انتخاب استراتژی نگه داری و تعمیرات یکی از فرآیندهای پیچیده و بسیار ضروری است که می‌تواند ایمنی و هزینه تجهیزات را تحت تأثیر قرار دهد. هدف اصلی این مقاله انتخاب استراتژی نگه داری و تعمیرات مبتنی بر ریسک به‌منظور بهبود شاخص های ایمنی، نگه داری و تعمیرات است.

روش کار: با توجه به بررسی متون و محدودیت‌های صنعت مورد مطالعه، تعدادی از شاخص های مربوط به ایمنی، نگه داری و تعمیرات تعیین و مقدار عددی آن ها اندازه گیری شدند. سپس به‌منظور ارتقاء شاخص های منتخب، استراتژی مناسب برای تجهیزات بحرانی شرکت با استفاده از معیارهای هزینه، ریسک و قابلیت دسترسی در قالب فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی مشخص گردیدند. در مرحله پایانی پس از گذشت ۱۲ ماه از پیاده سازی استراتژی، شاخص‌ها مجدداً اندازه-گیری و ارزیابی شدند. جهت بررسی تغییرات قابل‌توجه در شاخص‌ها از آزمون آماری ویلکاکسون استفاده شد.

یافته ها: در پیاده‌سازی الگوی مذکور، نگه داری مبتنی بر شرایط نسبت به دیگر استراتژی‌ها در بسیاری از موارد کارایی بیش تری داشت. بهبود در شاخص های ایمنی ونت بعد از پیاده‌سازی الگوی مذکور معنی‌دار بود. تحلیل‌های آماری انجام‌شده نشان داد که بهبود در شاخص‌های قابلیت اطمینان، قابلیت دسترسی، میانگین زمان بین نقایص و تعداد نقص‌های خطرناک قبل و بعد از مداخله معنی‌دار بود ($p\leq0.5$).

نتیجه گیری: نتایج نشان داد که استفاده هم زمان از سه معیار هزینه، ایمنی و قابلیت دسترسی در برنامه‌ریزی نگه داری و تعمیرات می‌تواند به بهبود حوادث مرتبط با تجهیزات منتهی شود. درنهایت الگوی حاضر می‌تواند کارایی و رقابت‌پذیری سازمان‌ها را با افزایش دسترس‌پذیری و کاهش هزینه های تجهیزات بهبود بخشد.

کلمات کلیدی: *ریسک، حادثه، نگه داری و تعمیرات، فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی*

۱- استاد گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، عضو مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
۲- کارشناس ارشد مهندسی صنایع، شرکت ماشین سازی نیرو محرکه، قزوین، ایران
۳- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه ای، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران
۴- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه ای، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

مقدمه

یکی از واحدهای بحرانی صنایع، واحد نگه داری و تعمیرات (نت) می باشد. در این راستا نتایج پژوهش های مختلف حاکی از ارتباط معنی دار بین شاخص‌های نگه داری و تعمیرات و حوادث می باشد (۱). تا سال ۲۰۰۰ نت و ایمنی دو موضوع جدای از هم تلقی شده و فعالیت‌های مستقل داشتند. در ادامه محققان مختلفی رویکردهای تلفیقی از نت و ایمنی برای بهینه کردن ظرفیت کارخانجات پیشنهاد کردند. نظر آن‌ها این بود که ایمنی و نت منحصراً توابع و عوامل مقابل نیستند. در حالی‌که قابلیت سود دهی تا حد زیادی به قابلیت استفاده و قابلیت اطمینان وابسته است، کیفیت محصول بیش تر از هر چیز به شرایط تجهیزات وابسته است. هدف اصلی مهندسان نت، اجرای نوعی استراتژی نت است که هم زمان در حالی که قابلیت دسترسی و بازده یک تجهیز را به حداکثر می رساند، خرابی آن را کنترل می کند، هزینه کل عملیات را حداقل می کند و امکان یک عملیات ایمن را نیز فراهم می سازد. در همین راستا در مطالعات مختلف مواردی نظیر استفاده از حداکثر عمر مفید دستگاه، جلوگیری از تعمیرات ، باز و بسته کردن بی مورد قطعات دستگاه، افزایش قابلیت اطمینان و عمل کرد دستگاه و کاهش نظارت مستمر بر وضعیت دستگاه به واسطه استفاده از تجهیزات ایمنی و هم چنین افزایش ایمنی کاربر و محیط را از مزایای طراحی و پیاده سازی برنامه نگه داری و تعمیرات ذکر کرده اند.

با توجه به مطالب یاد شده انتخاب و تدوین استراتژی های مناسب نگه داری و تعمیرات می تواند به عنوان یک رویکرد پیش گیرانه مناسب باری کاهش میزان بروز و شدت حوادث محسوب شود. برای دست یابی به این هدف لازم است در انتخاب استراتژی های مناسب نگه داری و تعمیرات، ریسک های ایمنی به عنوان یکی از معیارهای ورودی مهم در نظر گرفته شود (۲-۴). هر چند که با توجه به تعدد عوامل اثر گذار در انتخاب استراتژی های مناسب نگه داری و تعمیرات نظیر آنالیز هزینه های مرتبط، کیفیت تولید، قطعات یدکی در دسترس و زمان نگه داری و ... انتخاب این گونه استراتژی ها و توجیه آن ها برای مدیریت، فرآیندی سخت و پیچیده محسوب می گردد (۵, ۶). معمولاً استراتژی نگه داری و تعمیرات در دو سطح سیستم و اجزاء تعریف می شوند که از مهم ترین آن ها می توان به مواردی نظیر نگه داری و تعمیرات اصلاحی (Corrective Maintenance-CM)، نگه داری و تعمیرات پیش گیرانه(PreventiveMaintenance-PM)،نگه داری و تعمیرات دوره‌ای (Periodic Maintenance) و نگه داری و تعمیرات فرصتی (Opportunistic Maintenance) اشاره کرد. نگه داری و تعمیرات اصلاحی (CM) در مواقعی که تجهیزات با شکست مواجهه می گردند به کار گرفته می شوند و به همین دلیل این گونه نگه داری ها را با عنوان نگه داری و تعمیرات مبتنی بر شکست تعریف می کنند. از آن جایی که به کارگیری این نوع نگه داری و تعمیرات برای تجهیزات بحرانی و حساس می تواند بسیار پرهزینه باشد، بنابراین از آن ها اغلب برای تجهیزات مستقل غیر بحرانی استفاده می شود. نگه داری و تعمیرات پیش گیرانه را می توان به گروه عمده نگه داری و تعمیرات بر اساس زمان (Time Based Maintenance -TBM) و نگه داری و تعمیرات بر مبنای شرایط (Condition Based Maintenance -CBM) طبقه‌بندی کرد. نگه داری و تعمیرات پیش گیرانه قبل از این که تجهیزات دچار شکست شوند اعمال می شوند (۷,

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

۸). این رویکرد اغلب بر اساس تاریخ خرابی (نقص) و یا شرایط (وضعیت) تجهیزات عمل می کند.

در بسیاری از موارد میزان خرابی علاوه بر مدت زمان سپری شده به عوامل مختلف مانند شرایط عملیاتی و محیطی بستگی دارد. با توجه به این که رویکرد TBM مستقل از شرایط موجود عمل می کند، بنابراین TBM گاهی اوقات سبب بازدیدهای غیرضروری شده و منجر به اختلال در عملیات کاری می شود. CBM یا نت مبتنی بر موقعیت، رویکردی است که از شرایط عمل کرد واقعی سیستم ها و تجهیزات کارخانه برای بهینه‌سازی عمل کرد کلی کارخانه استفاده می کند. CBM بر اساس توسعه روش های تشخیص ماشین‌آلات ارایه شده است که در این روش زمانی که علایم شکست از طریق نظارت و یا تشخیص شناسایی می گردد اقدامات پیش گیرانه صورت می گیرد. بنابراین CBM سیستم را قادر می سازد تا اقدامات مناسب در زمان مناسب برای جلوگیری از شکست به کار گرفته شود. با این‌حال CBM همیشه بهترین روش نگه داری و تعمیرات بالاخص از منظر هزینه - اثربخشی نیست. برای مثال هنگامی که شکست ماشین‌آلاتیا قطعات بحرانی در میان نباشد می توان از نگه داری و تعمیرات اصلاحی (CM) استفاده کرد که در آن اقدامات پس از شکست انجام گیرد. در مواقعی که بتوان عمر ماشین‌آلات و قطعات را با دقت بالایی برآورد کرد، TBM مؤثرترین استراتژی نگهداری و تعمیرات است. همین امر باعث شد که از نیمه دوم سال ۱۹۸۰ اهمیت انتخاب استراتژی مناسب نگه داری و تعمیرات مطرح شود (۹-۱۱). نگه داری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان (Reliability centered maintenance -RCM)، بازرسی برمبنای ریسک (risk-based inspection-RBI) و نگه داری و تعمیرات مبتنی بر ریسک (risk-based maintenance -RBM) شناخته‌شده‌ترین روش‌ها برای این هدف هستند. از بین این رویکردها، RCM برای به حداقل رساندن هزینه های نت از طریق متعادل نمودن هزینه بالای نگه داری و تعمیرات اصلاحی در مقابل هزینه های دیگر استراتژی های نت طراحی‌شده است. Moubray رویکرد RCM را مجموعه اقداماتی جهت حصول اطمینان از صحت عمل کرد دارایی یا تجهیزات می‌داند (۱۲). در مقابل RBM روشی برای تشخیص ارجحیت نگه داری و تعمیرات با در نظر گرفتن ریسک می باشد. در این روش ایمنی، نگه داری و تعمیرات به‌صورت یکپارچه در نظر گرفته می‌شود. اصولاً چارچوب RBM شامل دو بخش مختلف می باشد که بخش اول آن شامل ارزیابی ریسک واحد و بخش دوم آن توجه به میزان ریسک برنامه‌ریزی نگه داری و تعمیرات می‌باشد. در فرایند ارزیابی ریسک ابتدا خطرات موجود شناسایی شده و سپس با انتخاب معیارهای مناسب ریسک متناظر با خطرات تعیین می گردد. در مرحله بعد ریسک محاسبه شده با معیارهای از قبل تعیین‌شده مقایسه می‌شود. درصورتی‌که ریسک محاسبه شده بالاتر از حدود تعیین شده و قابل پذیرش باشد، طراحی و پیاده سازی اقدامات اصلاحی الزامی می شود. ازآن جا که با طراحی و پیاده‌سازی یک برنامه مناسب نگه داری و تعمیرات، می توان بصورت پیش گیرانه از ریسک خرابی ها کاست، بنابراین فرآیند ارزیابی و مدیریت ریسک می تواند یک رویکرد بسیار مهم و حیاتی در راستای برنامه های نگه داری و تعمیرات در RBM قلمداد شود (۷, ۹).

در بیش تر روش های نگه داری و تعمیرات تنها معیار مورد نظر، کاهش هزینه بوده است، بنابراین

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

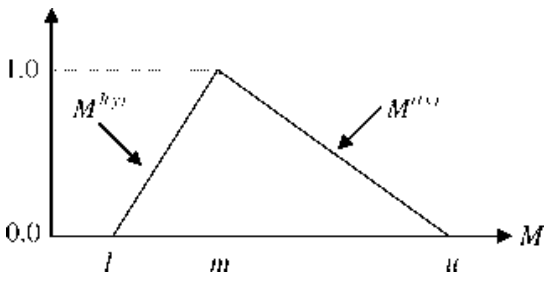
نیاز به یک روشی که بتواند معیارهای بیش‌تری را اتخاذ و نتایج متناسب با آن‌ها را ارایه دهد الزامی و بسیار حایز اهمیت است (۱۳). این موضوع سبب شد تا در این مطالعه علاوه بر معیار هزینه معیارهای ریسک و قابلیت دسترسی نیز قالب فرآیند تحلیل شبکه‌ای در نظر گرفته شود. استفاده هم زمان از سه معیار در جهت تصمیم‌گیری و تأثیر آن روی شاخص‌های ایمنی موضوع جدیدی در بررسی متون محسوب می‌شود که کم تر در مطالعات مختلف به آن پرداخته شده است.

هدف مطالعه حاضر ارایه الگویی برای انتخاب استراتژی نگه داری و تعمیرات مبتنی بر ریسک با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای (Analytical Network Process -ANP) در یک شرکت ماشین‌سازی می‌باشد. در این مطالعه به‌منظور انعطاف‌پذیری بیش تر در مقایسه معیارها و گزینه ها از اعداد فازی به‌جای اعداد قطعی استفاده شد (۱۴).

روش کار

پژوهش حاضر یک مطالعه مقطعی و تحلیلی است که در محدوده سال های ۱۳۹۰ تا سال ۱۳۹۳ در یک شرکت ماشین‌سازی انجام‌شده است. ابتدا بر اساس بررسی متون و مشورت با خبرگان تعدادی از شاخص‌های مشترک ایمنی، نگه داری و تعمیرات انتخاب و مورد ارزیابی اولیه قرار گرفتند (۱, ۴). این شاخص‌ها شامل قابلیت اطمینان، قابلیت دسترسی، تعداد نقص‌های خطرناک، میانگین زمان بین نقایص بودند. مبنای انتخاب و ارزیابی اولیه این شاخص‌ها با توجه به مطالعات قبلی در کشور و محدودیت صنعت موردمطالعه در خصوص مستند بودن برخی داده‌ها و محاسبه تابع توزیع آن‌ها بود(۴).

به منظور بهبود شاخص‌های ایمنی و نگه داری و تعمیرات از فرآیند تحلیل شبکه‌ای (Fuzzy Analytical Network Pro-cess -FANP) استفاده شد تا به کمک این ابزار بتوان بهترین استراتژی نگه داری و تعمیرات از بین استراتژی‌های CM، TBM، CBM و SM را گزینش نمود. این استراتژی‌ها بر اساس ریسک، هزینه و قابلیت دسترسی مورد ارزشیابی قرار گرفتند. مدل مذکور شبیه به مدل تحلیل سلسله مراتبی (Analytic Hierarchy Process -AHP) است با این تفاوت که یک رابطه دوطرفه بین معیارها و گزینه ها و ارتباط داخلی بین معیارها وجود دارد که در مدل AHP وجود ندارد. با توجه به لزوم استفاده از مقایسات زوجی در فرآیند تحلیل شبکه‌ای و هدف اصلی مساله که به‌کارگیری تئوری فازی به‌منظور رفع نقص در استفاده از نظرات غیردقیق تصمیم‌گیرندگان در تعیین اهمیت نسبی معیارها و زیرمعیارها می‌باشد، در این مطالعه از میان روش‌های موجود از روش چانگ استفاده گردید (۱۴-۱۶). درروش چانگ بیان گر اعداد فازی مثلثی هستند. هر عدد فازی مثلثی یک نمایش خطی در چپ و راست خود دارد. شکل (۱) نمایش یک عدد فازی مثلثی است.



شکل ۱. نمایش یک عدد فازی مثلثی

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

الگوی انتخاب استراتژی نگه داری و تعمیرات مبتنی بر ریسک به‌منظور بهبود هم‌زمان شاخص‌های ایمنی و نگه داری و تعمیرات مطابق پنج مرحله زیر انجام شد:

مرحله اول: شناسایی سیستم

در این مرحله شاخص های ایمنی و نگه داری و تعمیرات مناسب برای ارزیابی سطح اثربخشی سیستم مدیریت نگه داری و تعمیرات مبتنی بر ریسک قبل و بعد از مداخله شناسایی و تعیین شدند. برای این امر از نتایج مطالعات مشابه، بررسی شاخص‌های مورد استفاده در سطح کشور و مصاحبه با خبرگان (متشکل از ۱۶ نفر) استفاده گردید (۴).

مرحله دوم: ایجاد مدل سلسله مراتبی ANP

مدل ANP ایجاد شده در این تحقیق شامل سه سطح الگوی نگه داری و تعمیرات مبتنی بر ریسک به منظور بهبود هم‌زمان شاخص‌های ایمنی و نگه داری و تعمیرات، معیارهای هزینه، ریسک و قابلیت دسترسی و هم چنین گزینه‌های CM، TBM، CBM و SM بود.

مرحله سوم: تعیین اهمیت نسبی فاکتورها و زیرفاکتورها با استفاده از ماتریس مقایسات زوجی

در این گام برای تعیین اهمیت نسبی وزن‌ها از مقیاس ارایه شده توسط Kahraman و همکاران در سال ۲۰۰۶ استفاده گردید که به‌طور گسترده برای حل تصمیم‌گیری فازی استفاده می شود (۱۷).

سؤالات طرح‌شده برای تعیین ضریب اهمیت، جهت مقایسه دودویی وابستگی درونی معیاری اصلی و زیر معیارها به شرح زیر است:

پرسش ۱، از نظر شما کدام‌یک از سه معیار هزینه، ریسک و قابلیت دسترسی از اهمیت بیش تری برای انتخاب استراتژی نت برخوردار بوده و مقدار آن چه قدر است؟

پرسش ۲- ۱، کدام‌یک از چهار استراتژی نگه داری و تعمیرات برای کاهش ریسک مناسب تر بوده و ریسک را تا چه حد کاهش می دهند؟

پرسش ۲- ۲، کدام‌یک از چهار استراتژی نگه داری و تعمیرات هزینه کم تری داشته و مقدار آن را چه قدر برآورد می کنید؟

پرسش ۲- ۳، قابلیت دسترسی کدام‌یک از چهار استراتژی نگه داری و تعمیرات قابلیت بالاتر بوده و مقدار آن را چه قدر برآورد می کنید؟

پرسش ۳- ۱، با توجه به هزینه و ریسک نگه داری و تعمیرات اصلاحی (CM)، چه قدر از قابلیت دسترسی آن راضی هستید؟

پرسش ۳- ۲، با توجه به هزینه و ریسک استراتژی نگه داری و تعمیرات بر اساس زمان (TBM)، چه قدر از قابلیت دسترسی آن راضی هستید؟

پرسش ۳- ۳، با توجه به هزینه و ریسک استراتژی نگه داری و تعمیرات بر مبنای شرایط (CBM)، چه قدر از قابلیت دسترسی آن راضی هستید؟

پرسش ۳- ۴، با توجه به هزینه و ریسک استراتژی نگه داری و تعمیرات دوره‌ای (SM)، چه قدر از قابلیت دسترسی آن راضی هستید؟

گام چهارم: تشکیل سوپر ماتریس ناموزون، موزون و سوپر ماتریس حد

برای به دست آوردن اولویت‌های کلی در یک سیستم با تأثیرات متقابل، بردارهای اولویت داخلی در ستون‌های مناسب یک ماتریس وارد می‌شوند. درنتیجه، یک سوپر ماتریس (یک ماتریس

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

تقسیم‌بندی شده) که هر بخش از این ماتریس ارتباط بین دو خوشه در یک سیستم را نشان می‌دهد به دست می‌آید. سپس از طریق نرمالیزه کردن سوپر ماتریس، سوپر ماتریس از حالت ستونی به حالت تصادفی تبدیل می‌شود. درنهایت سوپر ماتریس حد با به توان رساندن تمامی عناصر سوپر ماتریس تا زمانی که هم گرایی (از طریق تکرار) حاصل شود مطابق معادله (۱) محاسبه می‌شود (۱۸):

$$\lim_{k\to\infty} W^k \qquad (۱)$$

گام پنجم: ارزیابی مجدد شاخص‌ها

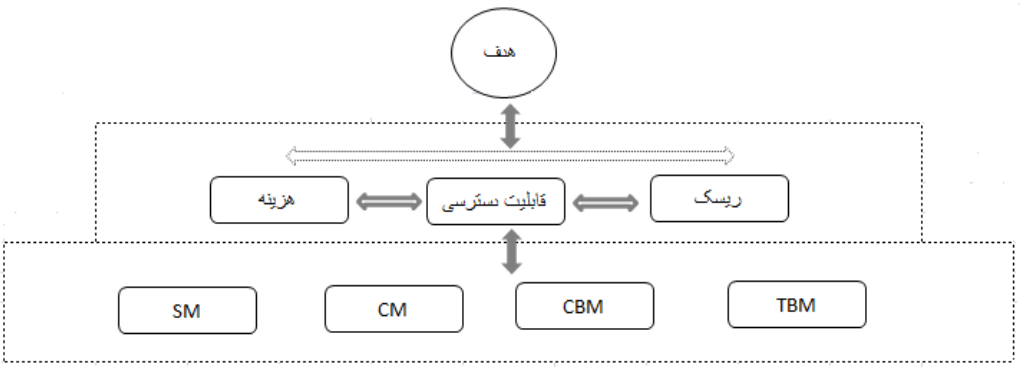
پس از گذشت ۱۲ ماه از پیاده‌سازی استراتژی یادشده شاخص های منتخب مجدداً اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است که ارزیابی شاخص‌ها بر روی ۹ مورد از بحرانی‌ترین دستگاه‌های شرکت انجام گرفت (پانچ CNC، فرز CNC (فایفر)، فرز سنتر CNC، ماشین سنگ شفت، فرز یونیورسال، پرس هیدرولیک، گیوتین، بریک، کویل بر). ملاک انتخاب دستگاه‌ها بحرانیت و جایگاه دستگاه در تداوم تولید، امکان جایگزینی دستگاه در صورت آسیب و ارزش ریالی آن ها بود. در نهایت انتخاب دستگاه ها بر اساس نظرات کارشناسان خبره و بررسی اسناد مربوطه بود.

یافته ها

مدل ANP به دست آمده در این تحقیق شامل سه سطح بود. سطح اول هدف را تعیین می‌کرد که شامل انتخاب بهترین استراتژی نگه داری و تعمیرات با رویکرد ایمنی بود. سطح دوم معیارهای مقایسه را مشخص می‌نمود که عبارت بودند از:هزینه، قابلیت کاهش ریسک (ایمنی) و قابلیت دسترسی. سطح سوم نیز استراتژی‌های نگه داری و تعمیرات را مشخص می‌کرد که شامل CM, TBM, CBM,SM بود. مدل به دست آمده در شکل (۲) نشان داده شده است.

با انجام مقایسات زوجی و تعیین اهمیت نسبی هر عامل مشخص شد که بیش ترین اهمیت نسبی به قابلیت دسترسی و کم ترین آن به هزینه اختصاص داشت (جدول ۱).

در مرحله بعد با استفاده از روش تجزیه‌وتحلیل چانگ بردار اولویت وزنی از سه معیار برآورد شد. در این مرحله فواصل فازی و اولویت اوزان چانگ برای استراتژی‌های نت با توجه به معیار ریسک، هزینه و قابلیت دسترسی به دست آمد. این کار برای تمامی ۹ تجهیز انجام شد. در جدول (۲) فواصل فازی و اولویت اوزان چانگ برای دستگاه پانچ CNC بر مبنای سهم ریسک نشان داده شده است:



شکل ۲. مدل ANP جهت انتخاب استراتژی نگه داری و تعمیرات مبتنی بر ریسک

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

جدول ۱. ماتریس مقایسات زوجی معیارها و اهمیت نسبی هر عامل

معیارها	ریسک	هزینه	قابلیت دسترسی	اهمیت نسبی
ریسک	(۱،۱،۱)	(۲،۲،۵،۳)	(۰،۴۰،۵،۰،۶۷)	۰،۳۵
هزینه	(۰،۳۳،۰،۴۰،۵)	(۱،۱،۱)	(۰،۳۳،۰،۴۰،۵)	۰
قابلیت دسترسی	(۱،۵،۲،۲،۵)	(۲،۲،۵،۳)	(۱،۱،۱)	۰،۶۵

جدول ۲. ماتریس مقایسات زوجی استراتژی نگه داری و تعمیرات بر مبنای سهم ریسک برای دستگاه پانچ CNC

استراتژی نگه داری و تعمیرات	CM	TBM	CBM	SM	اهمیت نسبی
CM	(۱،۱،۱)	(۰،۴۰،۵،۰،۶۷)	(۰،۳۳،۰،۴۰،۵)	(۰،۵،۱،۱،۵)	۰
TBM	(۱،۵،۲،۲،۵)	(۱،۱،۱)	(۰،۵،۰،۶۷،۱)	(۰،۴۰،۵،۰،۶۷)	۰،۱۹
CBM	(۲،۲،۵،۳)	(۱،۱،۵،۲)	(۱،۱،۱)	(۲،۲،۵،۳)	۰،۵۵
SM	(۰،۶۷،۱،۲)	(۱،۵،۲،۲،۵)	(۰،۳۳،۰،۴۰،۵)	(۱،۱،۱)	۰،۲۶

جدول ۳. سوپر ماتریس حد

سطوح خوشه‌ها		گزینه‌ها				معیارها			هدف
		CM	TBM	CBM	SM	ریسک	هزینه	قابلیت اطمینان	
گزینه‌ها	CM	۰،۰۱۳۸۰	۰،۰۱۳۸۰	۰،۰۱۳۸۰	۰،۰۱۳۸۰	۰،۰۱۳۸۰	۰،۰۱۳۸۰	۰،۰۱۳۸۰	۰،۰۱۳۸۰
	TBM	۰،۰۷۸۵۰	۰،۰۷۸۵۰	۰،۰۷۸۵۰	۰،۰۷۸۵۰	۰،۰۷۸۵۰	۰،۰۷۸۵۰	۰،۰۷۸۵۰	۰،۰۷۸۵۰
	CBM	۰،۱۷۱۹۰	۰،۱۷۱۹۰	۰،۱۷۱۹۰	۰،۱۷۱۹۰	۰،۱۷۱۹۰	۰،۱۷۱۹۰	۰،۱۷۱۹۰	۰،۱۷۱۹۰
	SM	۰،۰۶۹۵۰	۰،۰۶۹۵۰	۰،۰۶۹۵۰	۰،۰۶۹۵۰	۰،۰۶۹۵۰	۰،۰۶۹۵۰	۰،۰۶۹۵۰	۰،۰۶۹۵۰
معیارها	ریسک	۰،۳۲۰۰۰	۰،۳۲۰۰۰	۰،۳۲۰۰۰	۰،۳۲۰۰۰	۰،۳۲۰۰۰	۰،۳۲۰۰۰	۰،۳۲۰۰۰	۰،۳۲۰۰۰
	هزینه	۰،۰۵۸۵۰	۰،۰۵۸۵۰	۰،۰۵۸۵۰	۰،۰۵۸۵۰	۰،۰۵۸۵۰	۰،۰۵۸۵۰	۰،۰۵۸۵۰	۰،۰۵۸۵۰
	قابلیت اطمینان	۰،۲۸۷۸۰	۰،۲۸۷۸۰	۰،۲۸۷۸۰	۰،۲۸۷۸۰	۰،۲۸۷۸۰	۰،۲۸۷۸۰	۰،۲۸۷۸۰	۰،۲۸۷۸۰
هدف	هدف	۰،۰۰۰۰۰	۰،۰۰۰۰۰	۰،۰۰۰۰۰	۰،۰۰۰۰۰	۰،۰۰۰۰۰	۰،۰۰۰۰۰	۰،۰۰۰۰۰	۰،۰۰۰۰۰

در ادامه ماتریس مقایسات زوجی اثربخشی سطح دسترس‌پذیری هر چهار استراتژی نت با توجه به کاهش ریسک و هزینه برای ۹ تجهیز مورد بررسی قرار گرفت.

بردار اولویت به‌دست‌آمده توسط مراحل فوق در ستون‌های مناسب جهت تشکیل سوپر ماتریس قرار گرفتند. ازآن جاکه ماهیت ماتریس مقایسات فازی است، لذا مقادیر قطعی (Crisp) به‌دست‌آمده توسط روش چانگ در فرمی از بردار اولویت وزنی برای تشکیل سوپر ماتریس مورد استفاده قرار گرفتند. پس از تشکیل سوپر ماتریس ناموزون و نرمالیزه کردن آن، مقادیر با استفاده از نرم‌افزار MATLAB (7.14 0.739) (R 2012 a)) تا رسیدن به هم گرایی به توان رسانیده شد تا سوپر ماتریس حد حاصل شود (جدول ۳).

به‌طور مشابه اولویت نهایی آلترناتیو ها برای ۹ تجهیز منتخب به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده توسط FANP گزینه‌ها با بالاترین اولویت به‌عنوان استراتژی نت با در نظر گرفتن

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

کاهش ریسک و هزینه برای تجهیزات انتخاب شدند. استراتژی‌های ارجح تجهیزات در جدول (۴) نشان داده‌شده است.

پس‌ازاین مرحله برای دستگاه های مورد نظر استراتژی مناسب اتخاذ و بر مبنای آن برنامه‌ریزی نگه داری و تعمیرات برای این شرکت صورت گرفت. در گام نهایی پس از گذشت ۱۲ ماه از پیاده سازی استراتژی نت انتخابی برای هر تجهیز، شاخص‌های منتخب (قابلیت اطمینان، قابلیت دسترسی، تعداد نقص‌های خطرناک) مجدداً اندازه‌گیری و تغییرات آن‌ها با استفاده از آزمون آماری ویلکاکسون ارزیابی گردید که نتایج آن در جدول (۵) نشان داده شده است. تحلیل آماری انجام‌شده با استفاده از آزمون ویلکاکسون نشان داد که بهبود در شاخص‌های قابلیت اطمینان، قابلیت دسترسی، میانگین زمان بین نقایص و تعداد نقص‌های خطرناک قبل و بعد از مداخله معنی‌دار شده است ($p\leq ۰/۰۵$).

بحث

این مطالعه با هدف انتخاب استراتژی مناسب نگه داری و تعمیرات به‌منظور ارتقاء شاخص‌های ایمنی انجام شد. نتایج آزمون ویلکاکسون نشان داد که شاخص‌های منتخب (قابلیت اطمینان، قابلیت دسترسی، میانگین زمان بین نقایص و

جدول ۴. اولویت نهایی آلترناتیوها برای کلیه تجهیزات

ردیف	نام تجهیز	CM	TBM	CBM	SM
۱	وایرکات	۰,۰۴	۰,۲۴	۰,۵۱	۰,۲۱
۲	فرز دروازه ای	۰,۲۰	۰,۲۸	۰,۳۵	۰,۱۷
۳	فرز مانوال	۰,۰۸	۰,۳۵	۰,۳۷	۰,۲۰
۴	واترجت	۰,۵۱	۰,۱۷	۰,۲۶	۰,۰۶
۵	تراش دوکله	۰,۱۰	۰,۴۵	۰,۳۹	۰,۰۶
۶	پرس ضربه ای	۰,۱۴	۰,۳۱	۰,۳۹	۰,۱۶
۷	دریل فرز	۰,۲۵	۰,۲۹	۰,۳۱	۰,۱۵
۸	رزوه زنی	۰,۰۵	۰,۳۵	۰,۴۲	۰,۱۸
۹	گردبر	۰,۲۲	۰,۴۸	۰,۲۵	۰,۰۵

جدول ۵. میزان شاخص‌ها قبل (سال ۹۱) و بعد (سال ۹۳) از پیاده‌سازی سیستم

ردیف	نام تجهیز	قابلیت اطمینان		قابلیت دسترسی		تعداد نقص خطرناک		میانگین زمان بین نقایص	
		سال ۹۱	سال ۹۳	سال ۹۱	سال ۹۳	سال ۹۱	سال ۹۳	سال ۹۱	سال ۹۳
۱	وایرکات	۰,۸۳	۰,۹۲	۰,۹۸۶	۰,۹۸۹	۲	۰	۴۱۰	۶۳۲
۲	فرز دروازه ای	۰,۸۷	۰,۹۱	۰,۹۹۵	۰,۹۹۷	۴	۱	۴۹۸	۵۹۷
۳	فرز مانوال	۰,۸۹	۰,۹۴	۰,۹۹۳	۰,۹۹۵	۲	۱	۶۱۶	۸۴۴
۴	واترجت	۰,۹۱	۰,۹۳	۰,۹۹۲	۰,۹۹۸	۲	۱	۷۹۱	۹۳۲
۵	تراش دوکله	۰,۸۶	۰,۹۰	۰,۹۹۳	۰,۹۹۷	۲	۱	۴۱۰	۷۴۱
۶	پرس ضربه ای	۰,۸۹	۰,۹۵	۰,۹۹۴	۰,۹۹۶	۳	۱	۷۱۱	۸۴۵
۷	دریل فرز	۰,۸۸	۰,۹۲	۰,۹۹۳	۰,۹۹۸	۲	۰	۳۶۲	۶۳۸
۸	رزوه زنی	۰,۸۱	۰,۸۹	۰,۹۹	۰,۹۹۷	۲	۱	۳۱۳	۴۵۸
۹	گردبر	۰,۹۱	۰,۹۶	۰,۹۹۵	۰,۹۹۸	۴	۲	۸۲۴	۸۸۶

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

تعداد نقص‌های خطرناک) پس از انتخاب استراتژی مناسب به‌طور قابل‌توجهی بهبود یافتند.

یکی از دلایل این بهبود انتخاب استراتژی مناسب با توجه به معیارهای ریسک، قابلیت دسترسی و هزینه برای هر دستگاه بود. از آن جاکه قابلیت دسترسی مبنای کاملی برای تصمیم گیری های دقیق ارایه نمی دهد (۱۹)، به همین دلیل جهت انتخاب بهترین سیاست برای هر تجهیز معیار ریسک نیز در محاسبات گنجانده شد. این کار منجر به بهبود شاخص های ایمنی، نگه داری و تعمیرات گردید. در تصمیم‌سازی‌ها، معیار ریسک اثرات ناشی از اتخاذ کردن تصمیم را در یک موضوع بررسی می کند و قابلیت دسترسی یک نوع پیش‌بینی نسبت به آینده ارایه می دهد (۲۰, ۲۱)، بنابراین استفاده ترکیبی از این دو ابزار مدیریتی در فرایند تصمیم گیری در این مقاله اثرات ناشی از پیش بینی غلط از عمل کرد آینده را لحاظ نمود و منجر به انتخاب بهترین سیاست برای هر تجهیز شد. در میان این استراتژی‌ها همان‌طور که در جدول (۴) نشان داده شد، نت مبتنی بر شرایط (CBM) نسبت به دیگر استراتژی‌ها در بسیاری از موارد کارایی بیش تری داشت، اما درعین‌حال مشاهده می شود که TBM در برخی از مواقع بهترین انتخاب است.

در بررسی دقیق‌تر یافته‌ها مشخص شد TBM زمانی به‌عنوان گزینه ارجح برای تجهیزات انتخاب شده است که در آن به هر دو معیار ریسک و هزینه وزن‌های برابر داده شده است. CBM زمانی ترجیح داده شده است که ریسک یک تجهیز خیلی بالا باشد درحالی‌که CM زمانی ترجیح داده شده است که ریسک پایین و توجه اصلی به هزینه باشد. بردار وزنی هزینه، ریسک و قابلیت دسترسی به‌دست‌آمده برای گزینه‌ها به‌وسیله ماتریس مقایسات زوجی و روش چانگ واقعیت فوق را نشان می دهد.

در مطالعه‌ای مشابه که توسط khan و همکاران انجام شد، با استفاده از منطق فازی مدلی برای تصمیم‌گیری‌های چندگانه نگه داری و تعمیرات مبتنی بر ریسک ارایه شد (۲۲). Bertolini و همکاران نیز با استفاده از ادغام تحلیل سلسه مراتبی و برنامه‌ریزی آرمانی روشی برای تعیین سیاست بهینه نگه داری و تعمیرات ارایه دادند (۲۳). در مطالعه‌ای مشابه که توسط Arunraj و همکاران انجام شد، سیاست بهینه با به‌کارگیری روش سلسه مراتبی و برنامه‌ریزی آرمانی به دست آمد با این تفاوت که تأثیر آن روی شاخص‌های ایمنی محاسبه نگردید (۲). اگرچه این روش برای تحلیل ریسک در نگه داری و تعمیرات قابل‌قبول است، اما این روش با نارسایی‌هایی همراه بود چراکه درروش سلسه‌مراتبی گره‌های بالایی کاملاً مستقل از یک دیگر و همین‌طور مستقل از گره‌های پایینی هستند. لذا این رویکرد یک‌طرفه در تحلیل می‌تواند باعث بروز خطا و اشتباهات زیادی شود. این موضوع سبب شد تا در این مطالعه از فرآیند تحلیل شبکه‌ای برای انتخاب استراتژی مناسب در نگه داری و تعمیرات استفاده شود. از مزایای دیگر این مطالعه به‌کارگیری اعداد فازی جهت تحلیل بود. استفاده از چنین روشی می‌تواند تحلیل و مقایسه معیارها و گزینه‌ها را با انعطاف‌پذیری بیش تری انجام دهد. با توجه به مزایای ذکر شده، از محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به هزینه بالای پیاده‌سازی این روش و لزوم به‌کارگیری محاسبات پیچیده اشاره نمود که این عوامل اگرچه دقت و انعطاف بالا در محاسبات را به همراه دارد بااین‌حال سرعت دست یابی به

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

نتایج را تحت تأثیر قرار می دهد.

از سویی دیگر محققان متعددی بر نقش انتخاب استراتژی‌های نگه داری و تعمیر مناسب بر بهبود شاخص‌های ایمنی تأکید کرده‌اند. در مطالعه ای که در سال ۲۰۱۴ صورت گرفت تأثیر مثبت پیاده‌سازی سیستم یکپارچه ایمنی ونت در بهبود هم‌زمان شاخص‌های دو حوزه یادشده تایید می گردد (۴). ماچی و همکاران نشان دادند که اجرای سیستم مدیریت نگه داری و تعمیرات می‌تواند به ارتقاء شاخص های ایمنی و قابلیت اطمینان سیستم منتهی گردد (۲۴). علاوه بر این مارتول و همکاران رابطه مستقیم بین بهبود شاخص‌های ایمنی و نت را نشان دادند (۲۵). Vinnem و همکاران ضمن اشاره به نقش شیرهای تخلیه اضطراری در بروز حوادثی نظیر Piper Alpha، بر اهمیت تعمیرات پیشگیرانه آن‌ها در ارتقاء سطح ایمنی تأکید کرده‌اند (۲۶). Perez و همکاران بابیان نقش نیروگاه‌های برق در چرخه اقتصادی کشورها، برای بهبود ایمنی آن‌ها یک مدل نگهداری پیش گیرانه ارایه دادند (۲۷).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد نگه داری مبتنی بر شرایط نسبت به دیگر استراتژی‌ها در بسیاری از موارد کارایی بیش تری داشت اما درعین‌حال مشاهده شد که TBM در برخی از مواقع بهترین انتخاب است. پس از پیاده‌سازی استراتژِی مذکور برای هر تجهیز شاخص‌های ایمنی و نگه‌داری و تعمیرات (قابلیت اطمینان، قابلیت دسترسی، میانگین زمان بین نقایص و تعداد نقص‌های خطرناک) بهبود یافتند. بنابراین یافته‌های این مطالعه بر این نکته تأکید می‌کنند که با پیاده‌سازی الگوی حاضر علاوه بر این که می‌توان از بروز حوادث فاجعه‌بار اجتناب نمود، امکان افزایش بهره‌وری نیز از طریق افزایش قابلیت اطمینان و در دسترس بودن تجهیزات بحرانی نیز وجود خواهد داشت. این امر درنهایت باعث افزایش رقابت‌پذیری سازمان‌ها می‌گردد.

REFERENCES

1. Mohammadfam I, Shafikhani A, Sultanian A, Mohammadfam F. Design and Establishment of an Integrated Safety and Preventive Maintenance System for Improving Safety Indexes. Iran Occupational Health. 2014;11(1):95-101.
2. Ooshaksaraie M, Azadehdel M. An Empirical Study of Safety Performance Assessment. International Journal of Occupational Hygiene. 2015;6(4):201-9.
3. Fazlollah A, Mohammadfam I, HadgiParvaneh M J, Omidvari M. Introducing a method for Health, Safety and Environmental (HSE) risk assessment, using multi-criteria decision making (MCDM) techniques: a case study in power plant construction . JHSW. 2014; 4 (1) :55-64
4. Shafkhani A, Soltanian A. Evaluation of implementation an Integrated Safety and Preventive Maintenance System for Improving of Safety Indexes. Iranian Journal of Health, Safety and Environment. 2014;1(2):74-82.
5. Bevilacqua M, Braglia M. The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection. Reliability Engineering & System Safety. 2000;70(1):71-83.
6. Azadeh A, Mohammad Fam I. A framework for development of integrated intelligent human

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

engineering environment. Information Technology Journal. 2006;5(2):290-9.

7. Arassi M, Mohammadfam I, Shirali G, Moghimbeigi A. Quantitative Assessment of Resilience in the operatives unitsof National Iranian Drilling Company (regional study: Khuzestan). JHSW. 2015; 4 (4) :21-28
8. Azadeh A, Rouhollah F, Davoudpour F, Mohammadfam I. Fuzzy modelling and simulation of an emergency department for improvement of nursing schedules with noisy and uncertain inputs. International Journal of Services and Operations Management. 2013;15(1):58-77.
9. Khan FI, Haddara MM. Risk-based maintenance (RBM): a quantitative approach for maintenance/ inspection scheduling and planning. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2003;16(6):561-73.
10. Mohammadfam I, Bahmani F, Mahmoudi S. Evaluation of the Implementation of a Computerized Maintenance Management System on the Maintenance and Safety KPIs. International Journal of Occupational Hygiene. 2015;6(2):96-100.
11. Yang S. A condition-based failure-prediction and processing-scheme for preventive maintenance. Reliability, IEEE Transactions on. 2003;52(3):373-83.
12. Carretero J, Pérez JM, García-Carballeira F, Calderón A, Fernández J, García JD, et al. Applying RCM in large scale systems: a case study with railway networks. Reliability engineering & system safety. 2003;82(3):257-73.
13. Wang H, Pham H. Reliability and optimal maintenance: Springer Science & Business Media; 2006.
14. Mohammadfam E, Shafikhani A, Shafikhani A, Taheri F. Providing an early warning framework to identify, assess and control the human performance influencing factor. Iran Occupational Health. 2015;12(5):43-52.
15. Dargi A, Anjomshoae A, Galankashi MR, Memari A, Tap MBM. Supplier selection: A fuzzy-ANP approach. Procedia Computer Science. 2014;31:691-700.
16. Güngör Z, Delice EK, Kesen SE. New product design using FDMS and FANP under fuzzy environment. Applied Soft Computing. 2011;11(4):3347-56.
17. Kahraman C, Ertay T, Büyüközkan G. A fuzzy optimization model for QFD planning process using analytic network approach. European Journal of Operational Research. 2006;171(2):390-411.
18. Zebardast E. Application of the Analytic Network Process (ANP) in Urban and Regional Planning. Fine Arts-Architecture and Urbanism. 2011 (41).
19. Mohammad Fam I, Kalatpour O. Risk assessment of liquefied petroleum gas (LPG) storage tanks in the process industries using the Bowtie technique. Journal of Occupational Hygiene Engineering. 2016;3(2):1-1.
20. Krishnasamy L, Khan F, Haddara M. Development of a risk-based maintenance (RBM) strategy for a power-generating plant. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2005;18(2):69-81.
21. Sarkar A, Behera D. Development of Risk Based Maintenance Strategy for Gas Turbine Power System. International Journal of Advanced Research in Engineering and Apllied Sciences. 2012;1(2):20-38.
22. Khan F, Sadiq R, Haddara M. Risk-based inspection and maintenance (RBIM): multi-attribute decision-making with aggregative risk analysis. Process safety and environmental protection. 2004;82(6):398-411.
23. Bertolini M, Bevilacqua M. A combined goal programming—AHP approach to maintenance selection problem. Reliability Engineering & System Safety. 2006;91(7):839-48.
24. Macchi M, Garetti M, Centrone D, Fumagalli L, Pavirani GP. Maintenance management of

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

railway infrastructures based on reliability analysis. Reliability Engineering & System Safety. 2012;104:71-83.

25. Martorell S, Sanchez A, Munoz A, Pitarch J, Serradell V, Roldan J. The use of maintenance indicators to evaluate the effects of maintenance programs on NPP performance and safety. Reliability engineering & System safety. 1999;65(2):85-94.
26. Vinnem JE, Haugen S, Okoh P. Maintenance of petroleum process plant systems as a source of major accidents? Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2016 3//;40:348-56.
27. Perez-Canto S, Rubio-Romero JC. A model for the preventive maintenance scheduling of power plants including wind farms. Reliability Engineering & System Safety. 2013;119:67-75.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]

Determining a suitable risk-based maintenance strategy for improvement of the safety indices

Iraj Mohammadfam[1], Abbas Shafikhani[2], Ali Akbar Shafikhani[3,*], Fakhreldin Ghasemi[4]

[1] Professor, Department of Occupational Hygiene, School of Public Health, Research Center for Health Sciences, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran
[2] M.Sc., Department of Industrial Engineering, Niroumohareke Machine Tools Company, Qazvin, Iran
[3] M.Sc., Department of Occupational Health, School of Public Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran
[4] M.Sc., Department of Occupational Health, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

Abstract

Introduction: Choosing maintenance strategy is one of the most complex and essential processes that can affect the safety and cost of equipment. The main aim of this study was to determine a risk-based maintenance policy for improvement of the safety and maintenance indices.

Material and Method: According to literature reviews and constraints associated with the studied industry, a number of safety and maintenance indices were selected and their values were measured. Next, in order to promote the selected indices, the best policy was implemented on nine critical machines of the company based on criteria such as cost, risk and availability in the framework of the fuzzy network analysis process. Finally, after six months period, the indices were re-measured. The Wilcoxon test was used to assess the changes in the indices.

Result: In the implementation of the model, condition based maintenance was more effective than other strategies. Following the intervention, the improvement of safety and maintenance indices was statistically significant. The statistical analyses demonstrated that indices like reliability, availability, mean time between failures, and the number of dangerous failures all were improved significantly ($P<0.05$).

Conclusion: The results showed that the simultaneous use of three criteria, i.e. cost, risk and availability in maintenance planning could reduce equipment-related accidents. Finally, the recommended model can improve the efficiency and competitiveness of organizations by increasing availability and reducing equipment costs.

Key words: *Risk, Accident, Maintenance, Fuzzy Analytic Network Process*

* Corresponding Author Email: *ali.shafikhani@yahoo.com*

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-06-22]