

بهبود بهره‌وری تجهیزات استراتژیک با روش نگهداری، تحلیل خرابی و شبیه‌سازی

سودابه روان‌بخش*^۱

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۱/۲۴

*نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۱/۳۰

© نشریه صنعت حمل‌ونقل دریایی ۱۳۹۷، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه صنعت حمل‌ونقل دریایی است.

چکیده

سیمای تشکیلات بنادر در بین تمامی کشورها و نسبت به موضوع سیاست‌ها و استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات با یکدیگر اختلاف دارند. هیچ دو بندری وجود ندارد که در نگهداری و تعمیرات، یک راه را طی کرده باشد. بعضی از بنادر سیاست واحدی برای کلیه تجهیزات اتخاذ می‌کنند و بعضی دیگر دارای انعطاف می‌باشند و سیاست‌های مختلف در مورد انواع تجهیزات یا محیط‌های متفاوت اعمال می‌نمایند. بعضی دیگر هیچ شکلی از سیاست را بکار نمی‌برند. نگهداری و تعمیر تجهیزات در بسیاری از بنادر کشورهای در حال توسعه بسیار ضعیف انجام می‌شود. تجدید نظر در راه‌های نگهداری و تعمیرات هر چه سریع‌تر باید در این بنادر به عمل آید. راه‌حل‌های مختلف باید بررسی و مناسب‌ترین سیاست نت اتخاذ شود. یکی از منابع شناسایی و جمع‌آوری خرابی‌های بالقوه، کاتالوگ‌ها و راهنماهای استفاده از دستگاه‌ها و تجهیزات می‌باشد. این تحقیق به دنبال آن است تا ابتدا با شناسایی حالات خرابی بالقوه و علت آنها مجموعه‌ای از خرابی‌های احتمالی در طول زمان را جمع‌آوری کند. به‌طور مرسوم، برآورد FMEA با بهره‌گیری از محاسبه عدد اولویت ریسک (RPN) صورت می‌پذیرد. از این‌رو، در این پژوهش، نخست تصمیم‌گیری به کمک امتیازدهی RPN و سطح بحران انجام شد. در ادامه، بعد از مشخص شدن مقدار RPN هر یک از حالات، علل و آثار خرابی؛ برای ارزیابی خروجی هر رویکرد و مشاهده رفتار خط، مدل شبیه‌سازی ED برای هر کدام از تکنیک‌های نگهداری و تعمیرات ساخته و اجرا شد. سپس نتایج تکنیک‌ها مقایسه شد و نهایتاً با پرسش از خبرگان مربوطه استراتژی مناسب برای هر دسته از علل خرابی انتخاب، و راهکارها و پیشنهادهای مدیریتی برای پر کردن شکاف موجود ارائه شد.

واژه‌های کلیدی: اثربخشی، استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات، تجزیه و تحلیل حالات و اثرات شکست، شبیه‌سازی.

۱- مقدمه

برای موفقیت و ادامه حیات سازمان‌ها، باید روش‌ها اصلاح شود و در روند انجام امور بهبود حاصل گردد. سیستم‌های نگهداری و تعمیرات بر بوجه و سوددهی سازمان به‌طور مستقیم تأثیر می‌گذارند، از این‌رو، عدم برنامه‌ریزی صحیح نگهداری و تعمیرات در سازمان، سبب کاهش عمر تجهیزات می‌شود (طهماسبی، ۱۳۸۷). از آنجا که جهت اجرا و ساخت بنادر و دستیابی به بهره‌برداری از آن، زمان و هزینه گزافی (که عمدتاً ارزی می‌باشند) صرف می‌شود، حفظ و نگهداری این تأسیسات که جزئی از سرمایه‌های ملی کشور محسوب می‌شود، وظیفه‌ای است بس مهم که توجه و دقت وافر به این امر ضمن کاهش هزینه‌های مضاعف، بر سلامت، دوام و تضمین بهره‌برداری عملیاتی مداوم آن می‌افزاید (حمیدی، ۱۳۸۹). بر این اساس انتخاب یک سیاست بهینه نگهداری و تعمیرات می‌تواند چاره‌ساز واحدهای صنعتی باشد تا با کاهش افت ناگهانی تجهیزات، تولید و کارایی افزایش یابد در صورتی که دیگر محدودیت‌ها از قبیل هزینه و ساعت کاری نیروی انسانی کاهش یابد. استراتژی‌های متفاوتی برای نگهداری و تعمیرات ارائه شده است که بسته به صنعت مربوطه، هر کدام مزایا و معایبی دارند. در این تحقیق به بررسی چهار نوع استراتژی اصلاحی، پیشگیرانه، پیشگویانه و بهره‌ور فراگیر پرداخته شده است. هدف از این مقاله بررسی وضعیت موجود و مطلوب بهره‌وری تجهیزات تخلیه و بارگیری و ارائه راهکارها و پیشنهاد‌های مدیریتی برای پر کردن شکاف موجود با استفاده از تلفیق روش‌های نگهداری و تعمیرات و تحلیل خرابی‌ها در سازمان بنادر و دریانوردی می‌باشد.

۱-۱- تعاریف

نگهداری و تعمیرات: نت عبارت است از انجام دادن ترکیبی از اعمال مدیریت و مهندسی به منظور نگه‌داشتن یک شیء و یا دوباره برقرار کردن آن در وضع قابل قبول (مرکز مطالعات و پژوهش‌های لجستیکی، ۱۳۹۰).

نگهداری: مجموعه فعالیت‌هایی که به‌طور مشخص و معمولاً به‌صورت برنامه‌ریزی شده و با هدف جلوگیری از خرابی ناگهانی ماشین‌آلات و تجهیزات و تأسیسات انجام می‌گیرد، فعالیت‌های نگهداری نامیده می‌شود (حاج شیرمحمدی، ۱۳۹۱).

تعمیرات: به مجموعه فعالیت‌هایی گفته می‌شود که بر روی یک سیستم یا وسیله‌ای که دچار خرابی و یا از کارافتادگی شده، انجام می‌شود تا آن را به حالت آماده عملیات و قابل بهره‌برداری بازگرداند (توکلی مقدم، ۱۳۸۸).

نت اصلاحی: بر این فرضیه بنا شده است که تا قطعه‌ای شکسته و یا معیوب نشده باشد آن را تعویض و تعمیر نکنند. به بیان دیگر از تجهیز تا زمانی که به مرحله شکست یا خرابی نرسیده است، بهره‌برداری می‌شود و در موقع خرابی نسبت به تعمیر آن اقدام می‌گردد (دولت‌شاهی^۲، ۲۰۰۸).

نت پیشگیرانه: نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه، به فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی شده‌ای اطلاق می‌گردد که وقتی سیستم در حالت عملیاتی است، انجام می‌گیرد. هدف نت پیشگیرانه حفظ سیستم در شرایط عملیاتی مطلوب به‌وسیله جلوگیری از (به تأخیر انداختن) خرابی‌ها است (مرايز و صالح^۳، ۲۰۰۹).

نت پیشگویانه: استراتژی پیشگویانه یا نت مبتنی بر وضعیت، احتمال وقوع ناگهانی خرابی‌های دوره‌ای را از طریق تشخیص و بازرسی‌های به‌موقع کاهش می‌دهد. نگهداری و تعمیرات مبتنی بر ارتعاش که به‌صورت دوره‌ای یا مداوم انجام می‌گیرد، اطلاعاتی را که بر مبنای مدل‌های قطعی یا احتمالی است، جمع‌آوری و تفسیر می‌کند؛ بنابراین، اطلاعات مفیدی را برای تشخیص و پیشگیری فراهم می‌کند (کومار^۴ و همکاران، ۲۰۰۵).

تجزیه و تحلیل حالات و اثرات شکست: FMEA یک روش تحلیلی در ارزیابی ریسک است که می‌کوشد تا حد ممکن خطرات بالقوه موجود در محدوده‌ای که در آن ارزیابی ریسک انجام می‌شود و همچنین علل اثرات مرتبط با آن را شناسایی و امتیازدهی کند (نوروزی، ۱۳۹۰).

۱-۲- پیشینه تحقیق

شهبانقی و جعفریان (۱۳۸۷) در مقاله‌ای به بررسی موضوع انتخاب سیاست نگهداری و تعمیرات بر مبنای ریسک در صنعت نفت پرداختند و با استفاده از تکنیک فرایند تحلیل سلسله مراتبی یک مدل تصمیم‌گیری ارائه دادند. میلاد آقایی (۱۳۹۱) عوامل مؤثر بر سیستم نگهداری و تعمیرات خودرویی ناچا را با رویکرد نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر مورد مطالعه قرار داده است. ربانی و همکاران (۱۳۹۲) الگوی مناسب جهت پیاده‌سازی

2. Dowlatshahi
3. Marais and Saleh
4. Kumar

سیستم نگهداری و تعمیرات در کارخانجات خطوط تولید پیوسته با رویکرد مدل‌های تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی آرمانی فازی را ارائه دادند. کریستیانو کولکننت و کابرال سیکاس کاستا (۲۰۰۶) یک مدل چند معیاره نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه را بررسی کردند؛ که از طریق آن تصمیم‌گیرنده، به‌وسیله پشتیبانی از انتخاب زمان برای نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه به منظور کنترل خرابی‌ها، نه تنها قیمت بلکه قابلیت اطمینان و مدت از کار افتادگی را نیز در نظر می‌گیرد. احمد، و همکاران (۲۰۱۰) یک مدل تصمیم‌گیری مدیریت نگهداری و تعمیرات برای استراتژی نگهداری پیشگیرانه بر تجهیزات تولیدی را بررسی کردند. بشیری و همکاران (۲۰۱۱) یک رویکرد جدید برای انتخاب استراتژی بهینه نگهداری را با استفاده از داده‌های کیفی و کمی به واسطه تعامل با کارشناسان نگهداری ارائه دادند. قاضی نظامی و همکاران (۲۰۱۳) در مقاله‌ای بر اساس رویکرد پایداری به انتخاب راهبرد نگهداری در یک واحد تولیدی پرداختند. در قدم اول با استفاده از مفهوم تحلیل عاملی عوامل اصلی در هر کدام از ارکان پایداری مشخص شد و در قدم دوم از تکنیک ویکور فازی برای انتخاب مناسب‌ترین راهبرد نگهداری استفاده گردید. علی‌محمدی و عدل (۲۰۱۴) به مطالعه عوامل مؤثر بر نگهداری و تعمیرات در خرابی دو کوره گچ به‌وسیله مدل‌های شکست و تجزیه و تحلیل اثرات آن (FMEA) پرداختند.

مطالعات چندانی در زمینه نت در بنادر انجام نشده است، زیرا بیشتر تحقیقات انجام‌شده در زمینه روش‌های نگهداری و تعمیرات در کارخانجات تولیدی بوده است. در این پژوهش، روش‌های نگهداری و تعمیرات در مورد تجهیزات تخلیه و بارگیری بنادر و دریانوردی در استان گیلان بررسی شده است. بنادر ویژگی‌های خاص خود را دارند و تولید در آنجا رخ نمی‌دهد و مبنای کارشان واردات و صادرات و بحث تخلیه و بارگیری و حمل و نقل کالا و بار می‌باشد. نگهداری و تعمیرات خوب، اساس قابلیت اطمینان و در دسترس بودن تجهیزات را تشکیل می‌دهد که شهرت خدمات بندر نیز، به آن وابسته است. نگهداری، به‌کارگیری مطلوب تجهیزات را افزایش می‌دهد و هزینه‌های رهبری را پایین می‌آورد و به بندر این فرصت را می‌دهد که تعرفه‌ها را کاهش دهد و حالت رقابتی بیشتری ایجاد کند.

۲- روش تحقیق

یکی از منابع شناسایی و جمع‌آوری خرابی‌های بالقوه، کاتالوگ‌ها و راهنماهای استفاده از دستگاه‌ها و تجهیزات می‌باشد. در فصولی از این راهنماها و کاتالوگ‌ها، اصول نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه هر ماشین دیده می‌شود. این تحقیق به دنبال آن است تا ابتدا با شناسایی حالات خرابی بالقوه و علت آنها، مجموعه‌ای از خرابی‌های احتمالی در طول زمان را جمع‌آوری کند. کار FMEA پیدا کردن مشکل احتمالی در سیستم و ارزیابی نتیجه مشکل در وضعیت عملیاتی سیستم است. به‌طور مرسوم، برآورد FMEA با بهره‌گیری از محاسبه عدد اولویت ریسک^۶ (RPN) صورت می‌پذیرد، بنابراین، تصمیم‌گیری به کمک امتیازدهی RPN و سطح بحران انجام می‌شود. روش امتیازدهی RPN بر این اساس است که اعداد با اولویت ریسک بالاتر جهت آنالیز و تخصیص منابع با هدف بهبود، مقدم می‌باشند و تیم باید روی حالات خطایی کار کند که RPN‌های بالاتری دارند. عدد RPN بر اساس رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$\text{RPN} = \text{قابلیت تشخیص} \times \text{احتمال وقوع} \times \text{شدت} \quad \text{رابطه (۱)}$$

بعد از مشخص شدن مقدار RPN هر یک از حالات، علل و آثار خرابی؛ نتایج تکنیک‌ها مقایسه شد و نهایتاً با پرسش از خبرگان مربوطه استراتژی مناسب برای هر دسته از علل خرابی انتخاب گردید و راهکارها و پیشنهادهای مدیریتی برای پر کردن شکاف موجود ارائه شد.

۳- تجزیه و تحلیل داده‌ها

اطلاعات خرابی چهار سال گذشته تجهیزات استراتژیک بندر جمع‌آوری و ریشه‌یابی شد. این اطلاعات از سال ۹۲ تا ۹۵ به‌صورت فرم درخواست انجام تعمیرات به‌صورت دستی در سازمان جمع‌آوری شده بود. محقق تمام داده‌های موجود را در قالب اکسل در آورد و اطلاعات را بر اساس فرم گزارش بازدید ادواری تجهیزات خشکی استراتژیک که هر ماه دو مرتبه از آن تهیه می‌شود، طبقه‌بندی نمود و یک پایگاه داده جامع را به وجود آورد.

5. Failure Mode and Effects Analysis(FMEA)

6. Risk Priority Number(RPN)

نتایج مطالعات صورت گرفته در این زمینه به شناسایی ۲۳ عامل اصلی ایجاد خرابی و توقف در سیستم منجر شد که اطلاعات مربوط به آن به تفصیل در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱): انواع خرابی‌های تجهیزات استراتژیک تخلیه و بارگیری

ردیف	دلایل خرابی‌ها	تعداد خرابی‌ها	مدت زمان خرابی به دقیقه
۱	وضعیت شستشو و نظافت	۱۹	۳۶۸۰
۲	سیستم‌های روشنایی	۳۱	۳۶۱۰
۳	علائم هشداردهنده	۳	۲۸۰
۴	عملکرد گیج‌ها	۱	۲۰۰
۵	عملکرد تجهیزات اپراتوری	۴۴	۴۱۱۵
۶	سیستم‌های ایمنی (بادسنج - سیستم توزین)	۷	۲۳۷۵
۷	سیستم اطفاء حریق	۰	۰
۸	وضعیت موتورهای دیزل (فیلتر...)	۵۵	۱۳۰۲۰
۹	وضعیت گیربکس‌ها و چرخ دنده‌ها	۲۶	۴۶۶۵
۱۰	وضعیت پمپ‌های هیدرولیک	۱	۱۹۵
۱۱	وضعیت کنترلرها و اتصالات هیدرولیک	۱۲	۱۷۸۰
۱۲	وضعیت الکتروموتورهای (تراولینگ، هوبستینگ، لافینگ، اسلوئینگ)	۹۸	۱۹۱۰۰
۱۳	وضعیت هیدروموتورهای (تراولینگ، هوبستینگ، لافینگ، اسلوئینگ)	۴	۷۸۰
۱۴	وضعیت کویلینگ‌ها	۲۶	۴۱۹۰
۱۵	وضعیت مکانیزم‌های برقی (تابلوهای فرمان و سیم‌کشی‌ها)	۱۱۸	۱۳۷۱۵
۱۶	سیستم استارت، دینام، شارژ و باطری‌ها	۱۸	۲۲۲۰
۱۷	اسپریدر و گراب (تاپ لیفت و گاتوالد، ریچ استاکر)	۲	۱۸۰
۱۸	وضعیت مکانیزم وینچ‌ها و وایرها و قرقره‌ها	۱۷۹	۲۷۷۷۰
۱۹	وضعیت تجهیزات خارجی و بدنه	۳۹	۴۷۵۵
۲۰	وضعیت تراولینگ (بوژی، چرخ، اکسل)	۵۱	۶۲۴۵
۲۱	اتصالات مکانیکی	۱۱	۱۵۰۰
۲۲	قفل طوفان، قطع‌کن‌ها	۱۰	۲۰۸۰
۲۳	وضعیت کلیه جک‌ها	۸	۲۱۴۰

۳-۱- محاسبه نمره ریسک و طبقه‌بندی خرابی‌ها

مطابق تعریف نمره ریسک از ضرب سه عامل شدت، وقوع و رتبه تشخیص به دست می‌آید (استریلیو و پاسو، ۲۰۱۰). پس از آنکه اطلاعات مربوط به شدت، وقوع و رتبه تشخیص به دست آمد، از حاصلضرب آنها در یکدیگر عددی بین ۱ تا ۱۰۰۰ به دست می‌آید. این عدد نشانگر میزان اولویت ریسک یک حالت خرابی می‌باشد. هر چه این عدد به ۱۰۰۰ نزدیک‌تر باشد میزان ریسک بالاتر و انجام اقدام اصلاحی، ضرورت بیشتری می‌یابد، و هرچه این عدد به یک نزدیک‌تر شود نشان‌دهنده کاهش میزان ریسک و قرار گرفتن در اولویت پایین‌تر برای اقدام اصلاحی می‌باشد.

اگرچه عدد RPN از ضرب سه فاکتور شدت، احتمال وقوع و احتمال کشف منتج می‌شود، اما در این روش اشکالی وجود دارد که ممکن است باعث انحراف از هدف اصلی شود. این روش اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه را روی حالات خطایی متمرکز می‌کند که RPN بالایی دارند در حالی که امکان دارد خطاهایی که دارای RPN پایینی می‌باشند و یک یا دو فاکتور از سه فاکتور آنها (مخصوصاً شدت و احتمال وقوع) دارای مقادیر بالایی است، نادیده گرفته شوند که این نکته به منظور اولویت‌بندی حالات خطا جهت تمرکز و تخصیص منابع به آنها بسیار مهم می‌باشد. به عنوان مثال ممکن است رتبه شدت برای یک خطر عدد بسیار بزرگی باشد (۸ یا ۹) اما عدد RPN به دست آمده به علت کوچک بودن رتبه‌های مربوط به ۲ فاکتور دیگر مقدار کمی داشته باشد، در این مواقع حتی عدد احتمال ۱ نیز برای این خطر بسیار زیاد می‌باشد و با توجه به شدت بالا، حتماً باید اقدام اصلاحی یا پیشگیرانه صورت پذیرد. در این پژوهش این روش تعدیل شده است، یعنی علاوه بر خطاهایی با RPN بالا به خطاهایی با RPN پایین که یک یا دو فاکتور بالا

دارند نیز توجه شده است. به عبارت دیگر، هنگام تعیین معیار ریسک و تصمیم برای قرار دادن یک خطا در محدوده و طبقه مشخص، توجه پژوهشگر تنها به عدد RPN نبوده است، بلکه هر سه فاکتور خطا به تنهایی نیز مورد بررسی قرار گرفته است (محمدفام، ۲۰۰۳).

به این منظور معیاری به نام سطح بحران تعریف شد. سطح بحران بیانگر میزان اهمیت یک خطر بالقوه و یا بالفعل در سیستم موردبررسی می‌باشد که برای سنجش بحران در سیستم به کار می‌رود. درجه بحران از سه سطح عادی، نیمه بحرانی و بحرانی به این شرح تشکیل شده است: (۱) سطح اول که سطح عادی است و در آن هر سه فاکتور عدد RPN دارای مقادیر عادی کمتر از ۸ می‌باشند که در این صورت نیاز به اقدام اصلاحی یا پیشگیرانه ندارند. البته با توجه به نظر مهندسین مربوطه می‌توان اقدام اصلاحی / پیشگیرانه برای آن ارائه نمود. در این تحقیق آن دسته از خرابی‌هایی که دارای سطح عادی‌اند بدون تغییر در رتبه، در طبقه مخصوص خود قرار می‌گیرند و اقدام‌های لازم با توجه به معیارهای مربوط انجام می‌شود. (۲) سطح دوم که سطح نیمه بحرانی است و در آن حداقل یک فاکتور از سه فاکتور عدد RPN (خصوصاً شدت و احتمال وقوع) دارای مقادیری بالاتر از ۸ می‌باشند ولی RPN به نسبت پایین می‌باشد که در این صورت طبیعتاً اقدام اصلاحی و پیشگیرانه ضروری می‌باشد. در این تحقیق خرابی‌هایی که دارای سطح نیمه‌بحرانی‌اند، در صورتی که به صورت عادی در سطح ریسک غیرقابل چشم‌پوشی و یا بالا باشند دو طبقه افزایش طبقه داده می‌شوند و به ریسک بسیار بسیار بالا و یا در طبقه ریسک بسیار بالا طبقه‌بندی می‌گردند. در صورتی که شدت دارای مقدار ۱۰ یا ۹ باشد در طبقه بسیار بالا قرار می‌گیرد. در صورتی که احتمال وقوع دارای نمرة ۱۰ یا ۹ باشد و بقیه نمرات بسیار پایین باشد در طبقه ریسک بالا طبقه‌بندی می‌شود. در شرایطی که رتبه تشخیص دارای نمرة ۹ یا ۱۰ باشد و بقیه نمرات بسیار پایین باشد آن حالت خرابی در دسته ریسک با طبقه کم طبقه‌بندی می‌شود و (۳) سطح سوم که سطح بحرانی است و در آن حداقل دو فاکتور از سه فاکتور عدد RPN دارای مقادیر بالایی می‌باشد و یا عدد RPN بسیار بالا است. در این صورت نیاز به اقدام اصلاحی و یا پیشگیرانه بسیار جدی می‌باشد (استاندارد، ۲۰۰۳).

جدول (۲): محاسبه نمرة ریسک

نمرة ریسک خرابی‌ها	رتبه تشخیص	رتبه وقوع	رتبه شدت	دلایل خرابی‌ها
۸	۲	۲	۲	وضعیت شستشو و نظافت
۱۲	۳	۲	۲	سیستم‌های روشنایی
۲	۱	۱	۲	علائم هشداردهنده
۹	۳	۱	۳	عملکرد گیج‌ها
۴۸	۴	۳	۴	عملکرد تجهیزات اپراتوری
۵۰	۵	۱	۱۰	سیستم‌های ایمنی (بادسنج - سیستم توزین)
۹	۳	۱	۳	سیستم اطفاء حریق
۱۹۲	۶	۴	۸	وضعیت موتورهای دیزل (فیلتر...)
۱۱۲	۷	۲	۸	وضعیت گیربکس‌ها و چرخ دنده‌ها
۶۰	۶	۱	۱۰	وضعیت پمپ‌های هیدرولیک
۲۵	۵	۱	۷	وضعیت کنترلرها و اتصالات هیدرولیک
۴۸۰	۸	۶	۱۰	وضعیت الکتروموتورهای (تراولینگ، هویستینگ، لافینگ، اسلوئینگ)
۶۳	۷	۱	۹	وضعیت هیدروموتورهای (تراولینگ، هویستینگ، لافینگ، اسلوئینگ)
۵۶	۴	۲	۷	وضعیت کولپینگ‌ها
۴۲۰	۶	۷	۱۰	وضعیت مکانیزم‌های برقی (تابلوهای فرمان و سیم‌کشی‌ها)
۴۲	۳	۲	۷	سیستم استارت، دینام، شارژ و باطری‌ها
۳۰	۳	۱	۱۰	اسپریدر و گراب (تاپ لیفت و گاتوالد، ریج استاکر)
۱۶۰	۲	۱۰	۸	وضعیت مکانیزم وینچ‌ها و وایرها و قرقره‌ها
۱۰۵	۵	۳	۷	وضعیت تجهیزات خارجی و بدنه
۳۰	۲	۳	۵	وضعیت تراولینگ (بوژی، چرخ، اکسل)
۲۴	۳	۱	۸	اتصالات مکانیکی
۲۰	۲	۱	۱۰	قفل طوفان، قطع‌کن‌ها
۱۰	۱	۱	۱۰	وضعیت کلیه چک‌ها

معیار ریسک شاخصی برای جداسازی ریسک‌های قابل قبول و غیرقابل قبول سیستم موردبررسی می‌باشد. خطایی که عدد RPN آن بالاتر از معیار

ریسک باشد ریسک غیرقابل قبول و خطایی که RPN آن پایین تر از معیار ریسک باشد ریسک قابل قبول می‌نامند (ابراهیم زاده و همکاران، ۱۳۹۰). مقدار این شاخص بر اساس قوانین و مقررات هر سازمان و میزان توانایی آن در تأمین هزینه‌های مورد نیاز پروژه متغیر است. پس از محاسبه RPN هر یک از علل خرابی به علت مقدارهای کوچک به دست آمده برای آنها، از طریق مصاحبه با خبرگان امر، به این نتیجه رسیدیم که بازه‌های مقدار عددی را تغییر دهیم و به ۱۲ قسمت کوچک‌تر تبدیل کنیم و سپس هر دو قسمت را به یک طبقه اختصاص دهیم و دست‌آخر، برای آن عبارات توصیفی جدید تعریف کردیم. دسته‌بندی جدید در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول (۳): طبقه‌بندی ریسک

عبارت توصیفی	مقدار عددی	قسمت	طبقه	عبارت توصیفی جدید
ریسک شدید	۴۸۰-۴۴۰	۱۲	۶	ریسک بسیار بسیار بالا
ریسک بسیار بسیار بالا	۴۳۹-۴۰۰	۱۱		
ریسک بسیار بالا	۳۹۹-۳۶۰	۱۰	۵	ریسک بسیار بالا
ریسک بسیار بالا	۳۵۹-۳۲۰	۹		
ریسک بالا	۳۱۹-۲۸۰	۸	۴	ریسک بالا
ریسک غیرقابل چشم پوشی	۲۷۹-۲۴۰	۷		
ریسک متوسط	۲۳۹-۲۰۰	۶	۳	ریسک متوسط
ریسک متوسط	۱۹۹-۱۶۰	۵		
ریسک کم	۱۵۹-۱۲۰	۴	۲	ریسک کم
ریسک خیلی کم	۱۱۹-۸۰	۳		
ریسک خیلی خیلی کم	۷۹-۴۰	۲	۱	ریسک خیلی کم
ریسک قابل چشم پوشی	۳۹-۱	۱		

همان‌طور که توضیح داده شد، به دلیل اهمیت اثر عامل شدت در خرابی‌ها، اگر رتبه شدت ۷ بود یک عدد به رتبه آن اضافه شد و اگر رتبه شدت ۸، ۹ و یا ۱۰ بود دو عدد به رتبه آن اضافه شد.

جدول (۴): نمرات FMEA خرابی‌ها

طبقه	دلایل خرابی‌ها	FMEA	رتبه قبل از افزایش	رتبه بعد از افزایش
۱	علائم هشداردهنده	۲	۱	۱
	وضعیت شستشو و نظافت	۸	۱	۱
	عملکرد گیج‌ها	۹	۱	۱
	سیستم اطفاء حریق	۹	۱	۱
	سیستم‌های روشنایی	۱۲	۱	۱
	وضعیت تراولینگ (بوژی، چرخ، اکسل)	۳۰	۱	۱
	وضعیت کنترلرها و اتصالات هیدرولیک	۳۵	۱	۲
	عملکرد تجهیزات اپراتوری	۴۸	۲	۲
	سیستم استارت، دینام، شارژ و باتری‌ها	۴۲	۲	۳
	وضعیت کولپینگ‌ها	۵۶	۲	۳
۲	وضعیت کلیه جک‌ها	۱۰	۱	۳
	قفل طوفان، قطع‌کن‌ها	۲۰	۱	۳
	اتصالات مکانیکی	۲۴	۱	۳
	اسپریدر و گراب (تاپ لیفت و گاتوالد، ریج استاکر)	۳۰	۱	۳
	وضعیت تجهیزات خارجی و بدنه	۱۰۵	۳	۴
	سیستم‌های ایمنی (بادسنج - سیستم توزین)	۵۰	۲	۴
	وضعیت پمپ‌های هیدرولیک	۶۰	۲	۴
	وضعیت هیدروموتورهای (تراولینگ، هوپستینگ، لافینگ، اسلوتینگ)	۶۳	۲	۴
	وضعیت گیربکس‌ها و چرخ دنده‌ها	۱۱۲	۳	۵
	وضعیت مکانیزم وینچ‌ها و وایرها و قرقره‌ها	۱۶۰	۵	۷
۴	وضعیت موتورهای دیزل (فیلتر...)	۱۹۲	۵	۷
	وضعیت مکانیزم‌های برقی (تابلوه‌ای فرمان و سیم‌کشی‌ها)	۴۲۰	۱۱	۱۱
۶	وضعیت الکتروموتورهای (تراولینگ، هوپستینگ، لافینگ، اسلوتینگ)	۴۸۰	۱۲	۱۲

جدول (۵): پیشنهاد استراتژی مناسب نگهداری و تعمیرات برای هر طبقه از خرابی‌ها

طبقه	علت خرابی	FMEA	رتبه قبل از افزایش	رتبه بعد از افزایش	میزان ریسک	نت پیشنهادی
۱	علائم هشداردهنده	۲	۱	۱	ریسک خیلی کم	اصلاحی
	وضعیت شستشو و نظافت	۸	۱	۱		
	عملکرد گیج‌ها	۹	۱	۱		
	سیستم اطفاء حریق	۹	۱	۱		
	سیستم‌های روشنایی	۱۲	۱	۱		
	وضعیت تراولینگ (بوژی، چرخ، اکسل)	۳۰	۱	۱		
	وضعیت کنترلرها و اتصالات هیدرولیک	۳۵	۱	۲		
	عملکرد تجهیزات اپراتوری	۴۸	۲	۲		
	سیستم استارت، دینام، شارژ و باتری‌ها	۴۲	۲	۳		
	وضعیت کولپینگ‌ها	۵۶	۲	۳		
۲	وضعیت کلیه جک‌ها	۱۰	۱	۳	ریسک کم	پیشگیرانه
	قفل طوفان، قطع کن‌ها	۲۰	۱	۳		
	اتصالات مکانیکی	۲۴	۱	۳		
	اسپریدر و گراب (تاپ لیفت و گاتوالد، ریج استاکر)	۳۰	۱	۳		
	وضعیت تجهیزات خارجی و بدنه	۱۰۵	۳	۴		
	سیستم‌های ایمنی (بادسنج - سیستم توزین)	۵۰	۲	۴		
	وضعیت پمپ‌های هیدرولیک	۶۰	۲	۴		
	وضعیت هیدروموتورهای (تراولینگ، هوپستینگ، لافینگ، اسلوتینگ)	۶۳	۲	۴		
	وضعیت گیربکس‌ها و چرخ دنده‌ها	۱۱۲	۳	۵		
	وضعیت مکانیزم وینچ‌ها و وایرها و قرقره‌ها	۱۶۰	۵	۷		
۳	وضعیت موتورهای دیزل (فیلتر...)	۱۹۲	۵	۷	ریسک بالا	پیشگویانه
	وضعیت مکانیزم‌های برقی (تابلوه‌های فرمان و سیم‌کشی‌ها)	۴۲۰	۱۱	۱۱		
۴	وضعیت موتورهای دیزل (فیلتر...)	۱۹۲	۵	۷	ریسک بسیار بسیار بالا	بهره‌ور
۶	وضعیت الکتروموتورهای (تراولینگ، هوپستینگ، لافینگ، اسلوتینگ)	۴۸۰	۱۲	۱۲		

۳-۲- شاخص‌های مورد بررسی

برای ارزیابی و انتخاب استراتژی مناسب تعمیرات ابتدا باید اهداف مؤسسات خدماتی را به عنوان معیارهای مقایسه تنظیم کرد. در این تحقیق پس از بررسی‌های صورت گرفته در سطح سازمان مورد مطالعه، اهداف زیر که از مجموعه تحقیقات مختلف جمع‌آوری شده است به عنوان شاخص‌های مناسب انتخاب شده است.

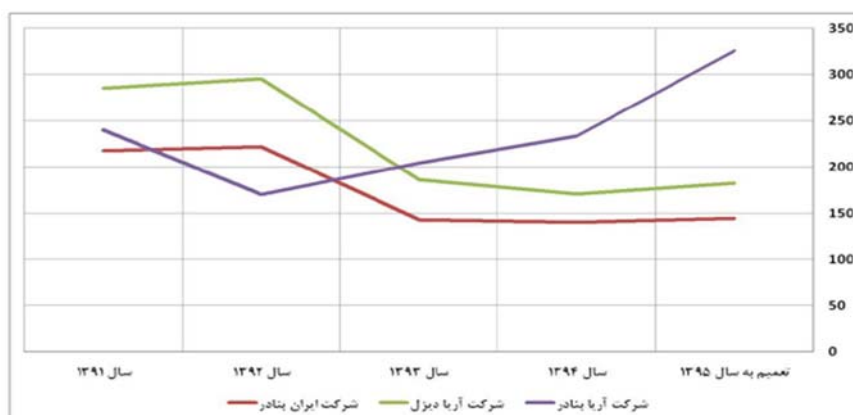
یکی از شاخص‌ها، شاخص متوسط زمان بین دو خرابی اضطراری متوالی^۹ می‌باشد که از رابطه (۲) به دست می‌آید.

$$MTBF = \frac{\text{مجموع ساعت کارکرد}}{\text{مجموع تعداد خرابی اضطراری‌های}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

با توجه به اینکه تناوب استفاده از دستگاه‌ها دارای قاعده خاصی نمی‌باشد و به کشتی‌های ورودی به بندر و حجم عملیات تخلیه و بارگیری بستگی دارد، تغییر ساعات کارکرد در دوره‌های مختلف امری بدیهی می‌باشد و قابلیت برنامه‌ریزی ندارد و همچنین با در نظر گرفتن تأثیرات شرایط آب و هوایی خاص منطقه مانند رطوبت، دمای زیاد در فصل تابستان، گرد و خاک معلق در هوا که در مقاطعی بسیار شدید می‌باشند و جهت مشاهده تأثیر همه پارامترهای فوق باید MTBF دوره جدید با دوره قبلی به صورت تجمعی محاسبه شود. رابطه فوق برای هر تجهیز به صورت مجزا محاسبه می‌شود و از طریق آن می‌توان تک تک تجهیزات و یا با احتساب میانگین MTBF روند این شاخص را ارزیابی کرد (اسماعیلی، ۱۳۸۷).

جدول (۶): گزارش متوسط فاصله زمانی بین دو خارج از سرویسی تجهیزات استراتژیک بندرانزلی (MTBF) (واحد سنجش: روز)

ترمینال	تعمیر به ۱۳۹۵	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۲	۱۳۹۱	۱۳۹۰
ایران بنادر	۱۴۴/۵۰	۱۴۰/۵۰	۱۴۲/۹۰	۲۲۲	۲۱۷/۳۰	۱۰۴/۲۰
آریا دیزل	۱۸۲/۴۰	۱۷۰/۷۰	۱۸۶/۱۰	۲۹۵/۳۰	۲۸۵	۲۴۹/۹۰
آریا بنادر	۳۲۵/۵۰	۲۳۳/۵۲	۲۰۴	۱۷۰/۱۰	۲۴۰	۵۴/۶۰



نمودار (۱): متوسط فاصله زمانی بین دو خارج از سرویسی تجهیزات استراتژیک

شاخص دیگر، شاخص متوسط زمان لازم برای تعمیر^{۱۰} می‌باشد. یک سیستم ممکن است هر چندگاه یک بار دچار خرابی اضطراری شود که در این صورت لازم است تعمیرات اضطراری بر روی آن اعمال شود. MTTR همان متوسط زمان لازم برای تعمیر اضطراری یک دستگاه می‌باشد که جهت دوره‌های مختلف مطابق رابطه (۳) محاسبه می‌شود. با توجه به دلایل عنوان شده، داده‌های این شاخص نیز مانند MTBF به صورت تجمعی مدنظر قرار می‌گیرد (اسماعیلی، ۱۳۸۷).

$$MTTR = \frac{\text{مجموع زمان صرفه‌های شده جهت تعمیرات اضطراری}}{\text{مجموع تعداد خرابی اضطراری‌های}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

جدول (۷): محاسبه شاخص MTTR تجهیزات استراتژیک بندرانزلی

ترمینال‌ها	میانگین ماهانه ۹۴	میانگین ماهانه ۹۳	میانگین ماهانه ۹۲
ایران بنادر	۲۰۲,۵	۲۰۶,۹	۸۷,۵
آریا دیزل اروند	۳۰,۳	۳۱,۹	۵۹,۱
آریا بنادر ایرانیان	۱۱۷,۸	۹۶,۶	۷۴,۴

یکی دیگر از شاخص‌ها، شاخص اثربخشی کلی تجهیزات^{۱۱} می‌باشد که برای محاسبه آن در بنادر، باید سه جزء اصلی آن شامل (۱) آماده به کاری و یا قابلیت دسترسی، (۲) نرخ کارایی و (۳) کیفیت فرآورده تجهیز یا نرخ کیفیت محاسبه شود. به این صورت OEE طبق رابطه (۴) به دست می‌آید.

$$OEE = A * OE * Q \quad \text{رابطه (۴)}$$

A نرخ قابلیت دسترسی، OE نرخ کارایی، Q نرخ کیفیت می‌باشد (اسماعیلی، ۱۳۸۷).

10. Mean Time To Repair (MTTR)

11. Overall Equipment Effectiveness (OEE)

جدول (۸): اثربخشی کلی تجهیزات در چهار سال گذشته

سال	اثربخشی کلی تجهیزات (OEE)	نرخ قابلیت دسترسی (A)	نرخ کارایی (OE)	نرخ کیفیت (Q)
۱۳۹۲	۱۴۴۳۱۶/۰۳	۸۵/۶۲	۲۲/۵۴	۷۴/۷۸
۱۳۹۳	۱۸۵۵۸۷/۴۵	۷۵/۹۸	۲۷/۱۷	۸۹/۹۰
۱۳۹۴	۱۴۰۶۴۷/۲۶	۶۶/۱۴	۲۷/۱۱	۷۸/۴۴
۱۳۹۵	۸۰۸۲۶/۱۳	۶۳/۱۱	۳۴/۸۴	۳۶/۷۶

سال ۱۳۹۳ بهترین اثربخشی کلی تجهیزات را از میان سال‌های بررسی شده به دست آورد. این بدان معناست که سازمان بنادر و دریانوردی در بندر انزلی در این سال بالاترین بهره‌وری را داشته است.

برای پیاده‌سازی هر آلترناتیو توسط نرم‌افزار شبیه‌سازی ED و استخراج مقدار سه شاخص MTBF، MTTR و اثربخشی کلی تجهیزات، همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد، ابتدا خرابی‌های تجهیزات را با توجه به عدد اولویت ریسک دسته‌بندی و سپس با استفاده از نظر خبرگان، استراتژی نگهداری و تعمیرات مناسب را پیشنهاد کردیم، و سه شاخص متوسط زمان بین دو خرابی اضطراری متوالی (MTBF)، متوسط زمان لازم برای تعمیر اضطراری (MTTR) و اثربخشی کلی تجهیزات (OEE) را تعریف نمودیم و هر کدام را برای تجهیزات تخلیه و بارگیری بندر محاسبه کردیم و دست‌آخر، نتایج به دست آمده را در نرم‌افزار شبیه‌سازی ED قرار دادیم.

در تحلیل جدول (۹)، از نظر OEE هر ۱۲ جرثقیل آماده به کار در شرایط شبیه‌سازی شده، داده‌های بیشتری را به دست آوردند. این افزایش در اثربخشی کلی تجهیزات نشان می‌دهد که اگر تفکیک در استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات رخ دهد تجهیزات آماده به کارتر، دارای کارایی بالاتر می‌باشند و کیفیت تخلیه و بارگیری آنها بیشتر می‌شود. به این معنا که کار تخلیه و بارگیری بارها با خطای کمتری صورت می‌گیرد و می‌توان گفت امنیت کار بالا می‌رود و پرسنل نیز در شرایطی ایمن کار خواهند کرد. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت افزایش اثربخشی کلی در بهبود فعالیت تخلیه و بارگیری جرثقیل‌ها مؤثر بوده است.

متوسط زمان سالم کار کردن دستگاه (MTBF) شاخصی مثبت است، به عبارتی ما در نت به دنبال افزایش این زمان یا شاخص هستیم، هر چقدر فاصله زمانی بین دو تعمیر بیشتر باشد یعنی دستگاه به خوبی عمل می‌کند و تعمیرات کمتری داشته‌ایم. میانگین فاصله زمانی بین دو تعمیر (MTBF) داده‌های موجود، در تجهیزات آماده به کار شامل جرثقیل‌های لیبر ۲۵ تن، لیبر ۳۶ تن، منگان ۳ و منگان ۴ نسبت به مقدار میانگین MTBF داده‌های شبیه‌سازی مقدار کمتری را نشان می‌دهد. این خروجی به این معنا است که اگر برای نگهداری و تعمیرات این جرثقیل‌ها تفکیک صورت می‌گرفت، نیاز کمتری به تعمیر شدن پیدا می‌کردند. اگر فاصله زمانی تعمیر شدن تجهیزات بیشتر باشد جرثقیل‌ها برای تخلیه و بارگیری کشتی‌های ورودی آماده‌تر می‌باشند و می‌توانند مقدار تناژ بیشتری را در زمان کمتر جابه‌جا کنند.

جدول (۹): مقایسات MTBF، MTTR، OEE

Atom Name	OEE		میانگین MTBF		میانگین MTTR	
	شبه‌سازی	داده‌های موجود	شبه‌سازی	داده‌های موجود	شبه‌سازی	داده‌های موجود
\gatvald	۲۱۷۶۹۹۷	۱۲۱۴۳۴	۰٫۲۱	۰٫۷۴۱۶	۰٫۰۰۵	۰٫۲۸۹
۲gatvald	۱۵۹۹۲۱	۴۹۸۴۰	۰٫۲۰۲۵	۰٫۲۱۴۸	۰٫۰۰۵	۰٫۲۵۶۷
۶۰ital gru	۱۶۱۲۶۰	۱۴۹۹۷۰	۰٫۲۱	۰٫۷۰۸	۰٫۰۳۲۵	۰٫۱۹۴۷
۱۲۰libhar	۱۵۰۰۴۹	۳۶۴۸۷	۰٫۱۹	۰٫۶۳۳۶	۰٫۰۰۵	۰٫۲۴۳۳
ton۲۵libhar	۱۹۶۴۴۱	۱۲۹۲۵۹	۰٫۲۵	۰٫۱۷۲	۰٫۰۱	۰٫۲۳۶۷
ton۳۶libhar	۱۷۸۷۶۱	۲۲۳۲۷	۰٫۲۲۷۵	۰٫۱۸۵۶	۰٫۰۱	۰٫۹۳۳۷
\reili mangan	۱۹۸۹۰۶	۱۰۵۰۱۳	۰٫۲۵۲۵	۰٫۹۹۱۲	۰٫۰۰۷۵	۰٫۱۶۷۶
۲reili mangan	۱۹۸۴۰۵	۱۰۷۱۰۵	۰٫۲۵۲۵	۰٫۸۹۹۶	۰٫۰۱	۰٫۳۴۵۸
۳reili mangan	۱۹۶۹۳۷	۲۱۹۷۵	۰٫۲۵	۰٫۱۵	۰٫۰۰۷۵	۰٫۳۱۶
۴reili mangan	۲۰۵۲۲۱	۲۶۸۵۴	۰٫۲۶۲۵	۰٫۱۷۷۴	۰٫۰۱۵	۰٫۵۱۰۷
\reili russi	۲۴۱۶۲۲	۲۱۹۰۶	۰٫۳۰۷۵	۰٫۴۷۷۶	۰٫۰۱	۰٫۱۹۵۲
۲reili russi	۲۴۲۲۳۲	۶۰۹۶۴	۰٫۳۰۷۵	۰٫۹۲۴۸	۰٫۰۰۷۵	۰٫۴۳۲۶

متوسط زمان تعمیر دستگاه (MTTR) شاخصی منفی است، به عبارت دیگر، ما در نت به دنبال روش‌هایی هستیم که بتواند ساعات تعمیر روی دستگاه را کاهش دهد. شاخص MTTR متوسط فاصله زمانی تعمیرات اضطراری را نشان می‌دهد که هر چه مقدار این شاخص زیادتر باشد نشان می‌دهد که دستگاه خوب عمل نمی‌کند و در فاصله‌های زمانی نزدیک به هم، تعمیر شده است، در نتیجه به نگهداری و تعمیرات بیشتری نیاز دارد. نتایج نشان داد تمام جرثقیل‌ها از نظر شاخص MTTR در داده‌های موجود مقدار بیشتری نسبت به MTTR شبیه‌سازی شده داشتند. بنابراین، نتیجه می‌گیریم که تفکیک استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات باعث می‌شود تا این فاصله بیشتر شود و تعمیرات اضطراری کمتری داشته باشیم.

۴- نتیجه گیری

عمل نگهداری و تعمیرات به‌طور مستقیم هیچ درآمدی برای بندر ایجاد نمی‌کند؛ اما تأثیر بسزایی در سوددهی بندر دارد. نگهداری و تعمیرات خوب، اساس قابلیت اطمینان و در دسترس بودن تجهیزات را تشکیل می‌دهد که شهرت خدمات بندر نیز، به آن وابسته است. نگهداری همچنین به‌کارگیری مطلوب تجهیزات را افزایش می‌دهد و هزینه‌های رهبری را پایین می‌آورد و بندر فرصت می‌یابد تا تعرفه‌ها را کاهش دهد و موقعیت رقابتی بیشتری را کسب کند. اگر تجهیزات در شرایط عالی نگهداری شوند به هنگام استفاده، کمتر تخریب می‌شوند و می‌توانند مؤثرتر انجام وظیفه کنند و در نتیجه، با سرمایه‌گذاری کمتر، ظرفیت تسهیلات افزایش می‌یابد. از این جهت، می‌توان ادعا کرد که سوددهی و رقابت بندر، به‌طور کامل به عملکرد آنها در حفظ و نگهداری وابسته است.

در این پژوهش، نخست پنج حالت برای مدل پژوهش در نظر گرفته شد که شامل حالت کلی بدون لحاظ استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات، نت اصلاحی، نت پیشگیرانه، نت پیشگویانه و نت بهره‌ور فراگیر می‌باشد. سپس برای چهار روش نگهداری و تعمیرات میانگین گرفته شد و با حالت کلی یعنی با حالت بدون لحاظ استراتژی‌های نگهداری مقایسه گردید. موضوع مطالعه، تعداد کشتی‌هایی بود که در یک ماه تخلیه می‌شدند. در نهایت، خروجی حاصل از نرم‌افزار شبیه‌سازی ED با خروجی داده‌های موجود مقایسه شد و این نتیجه به‌دست آمد که به‌کار بردن استراتژی‌های مختلف نگهداری و تعمیرات با توجه به شرایط مختلف جرثقیل‌ها، تعمیرات و خرابی‌های متفاوت آنها در افزایش اثربخشی بندر بسیار مؤثر است، به این صورت که هر چقدر وضعیت نگهداری و تعمیرات تجهیزات در سازمان بهبود یابد و به‌صورت برنامه‌ریزی شده از این استراتژی‌ها استفاده شود، تعداد کشتی‌هایی که در بندر می‌توانند تخلیه و بارگیری شوند افزایش می‌یابد و به موجب آن سوددهی و بهره‌وری بندر افزایش می‌یابد، در نتیجه، در این شرایط، بندر با کم کردن تعرفه‌های خود، ظرفیت رقابت‌پذیری بیشتری می‌یابد.

مراجع

۱. آقایی، میلاد، (۱۳۹۱). عوامل مؤثر بر سیستم نگهداری و تعمیرات خودروبی (TPM) با رویکرد نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر. فصلنامه توسعه مدیریت منابع انسانی و پشتیبانی، شماره ۲۵، سال هفتم.
۲. اسماعیلی کاکرودی، مهدی. (۱۳۸۷). شاخص‌های نگهداری و تعمیرات. معاونت فنی و نگهداری اداره نگهداری و تعمیر تجهیزات خشکی.
۳. ابراهیم زاده، مهرزاد؛ حلوانی، غلامحسین؛ سلطانی، رضیه؛ مرتضوی، مرتضی. (۱۳۹۰). ارزیابی خطرات بالقوه پالایشگاه شیراز با روش تجزیه و تحلیل حالات و اثرات ناشی از آن (FMEA) خطر. فصلنامه علمی تخصصی طب کار - ۱۶ دوره سوم / شماره دوم / تابستان / صفحات ۹۰-۲۳.
۴. بهنیا، فروغ؛ ربانی، علی؛ زارع، حبیب. (۱۳۹۲). ارائه الگوی مناسب جهت پیاده‌سازی سیستم نگهداری و تعمیرات در کارخانجات خطوط تولید پیوسته با رویکرد مدل‌های تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی آرمانی فازی. مطالعات مدیریت صنعتی، شماره ۳۱، سال یازدهم.
۵. توکلی مقدم، ر؛ میرزاپور، ح؛ حسینی، س. ع. (۱۳۸۸). آشنایی با برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات. مشهد: انتشارات سناباد.
۶. حاج شیرمحمدی، علی. (۱۳۹۱). برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات (مدیریت فنی در صنایع). اصفهان: انتشارات ارکان دانش. چاپ هجدهم.
۷. حائری، علیرضا. (۱۳۹۲). انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات مناسب با استفاده از تجزیه و تحلیل علل و حالات خرابی و آثار آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد.
۸. حمیدی، حمید. (۱۳۸۹). مدیریت تجهیزات بندری - خط مشی، مدیریت، نگهداری و تعمیرات. تهران: اسرار دانش.
۹. رادفر، سهیل. (۱۳۹۴). رونق مجدد سرمایه‌گذاری خارجی در ایران. ماهنامه الکترونیک مسیر، سال دوم، شماره ۹. (الکترونیک).
۱۰. شهنائی، کامران؛ جعفریان، مهدی. (۱۳۸۷). مقدمه‌ای بر برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات، پنجمین کنفرانس بین‌المللی نگهداری و تعمیرات.
۱۱. طهماسبی، محمد. (۱۳۸۷). بررسی وضعیت نگهداری و تعمیرات پرنده‌های هوا ناچا و ارائه راهکارهای بهینه. پایان‌نامه اخذ درجه کارشناسی ارشد دافوس، دانشگاه علوم انتظامی.
۱۲. عظیمی، پرهام؛ فرج‌پور نظری، مهدی؛ عصمتی، علیرضا؛ فرزین، احسان. (۱۳۹۳). بهینه‌سازی از طریق شبیه‌سازی به همراه آموزش جامع نرم‌افزار شبیه‌سازی ED. قزوین: دانشگاه آزاد اسلامی.

14. Alimohammadi, Iraj, Adl, Javad. (2014). The study of Influencing Maintenance Factors on Failures of Two gypsum Kilns by Failure Modes and Effects Analysis (FMEA). Iranian Journal of Health, Safety & Environment, Vol.1, No.2, 89-94.
15. Bashiri, M., Badri, H., Hejazi, T. (2011). Selecting optimum maintenance strategy by fuzzy interactive linear assignment method. Applied Mathematical Modelling, 35.152–164.
16. Cavalcante, Cristiano Alexandre Virgínio, Seixas Costa, Ana Paula Cabral. (2006). Multicriteria Model of Preventive Maintenance. Brazilian Journal of Operations & Production Management, Vol 3, No 1, 71-86.
17. Ghazi nezami, F., Bayramyildirim M. (2013). A sustainability approach for selecting maintenance strategy, International Journal of Sustainable Engineering. Volume 6. Issue 4.
18. Hora, M. (1987). The unglamorous game of managing maintenance. Business Horizons (May–June).