



دانشگاه افسری و تریت ماسداری
امام حسین (ع)
۱۳۶۵

دو فصلنامه علمی
دوره اول
پیش شماره ۱
بهار و تابستان ۱۳۹۸

بسم الله الرحمن الرحيم
کس جابری خنجر بر آتش
بر از جابری عاریت جود آتش

پژوهش در مهندسی نگهداشت دفاع



برنامه ریزی نت تجهیز با هدف هزینه و توقف کمینه و حفظ کیفیت به صورت چند هدفه /
علی سیاح، سعید رمضانی



طراحی و امکان سنجی ساخت یک بالابر خودکششی چند منظوره جهت انتقال بار و همراه /
حسن رادمرد، محمد برهمند



انتخاب سیاست بهینه سیستم نگهداری تعمیرات با استفاده از مدل AHP فازی /
سید عباس صفوی، امید معتمدی، جواد غلامی، محمد اسماعیل گلرخی

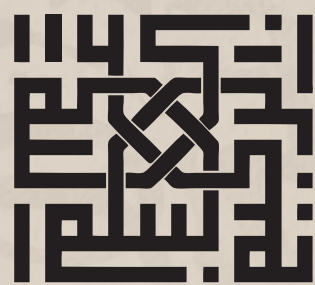


تأثیر استفاده از تحلیل بحرانیت و ریسک در مدیریت دارایی های سازمان /
سید احمد رضوی آل هاشم، سعید رمضانی



شناسایی و اولویت بندی معیارهای انتخاب راهبرد نگهداشت سبز ادوات نظامی با استفاده از تکنیک MADM /
محمد مقدسی، فرشید فرخی زاده، ام البنین احمدزاده، رضا کرمی





دوفصلنامه علمی
پژوهش در مهندسی نگهداشت دفاعی
نشریه دانشکده علوم و مهندسی دفاعی

اعضای هیأت تحریریه

دکتر سید محمد سید حسینی	استاد تمام دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر علیرضا معینی	دانشیار دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر مجتبی حسینی	دانشیار دانشگاه لرستان
دکتر احمد منصوریان	دانشیار مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
دکتر مسعود مصدق خواه	دانشیار دانشگاه جامع امام حسین (ع)
دکتر اردشیر احمدی	دانشیار دانشگاه جامع امام حسین (ع)
دکتر سید ضیاء الدین قاضی زاده	دانشیار دانشگاه جامع امام حسین (ع)
دکتر نقی شجاع	دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه

شمارگان: ۵۰۰ (نسخه چاپی) ۵۰۰ (نسخه الکترونیکی)

قیمت نسخه چاپی: ۶۵۰۰۰۰ ریال

دفتر نشریه: تلفن: ۷۷۱۰۵۰۳۳ داخلی ۱۰۶ - دورنگار: ۷۷۱۰۵۰۳۲

نشانی: تهران، بزرگراه شهید بابایی، بعد از پل لشکرک، دانشگاه افسری و تربیت

پاسداری امام حسین علیه السلام، دانشکده علوم و مهندسی دفاعی.

تارنمای شبکه: dmej.ihuo.ac.ir

پست الکترونیکی: dmej@ihuo.ac.ir / 2qdmej@gmail.com

کلیه حقوق مادی و معنوی برای دانشکده علوم و مهندسی دفاعی محفوظ است.



دانشگاه افسری و تربیت پاسداری
امام حسین (ع)

دوفصلنامه علمی

پژوهش در مهندسی نگهداشت دفاعی
دوره ۱، پیش شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۸
صاحب امتیاز و ناشر: دانشکده علوم و مهندسی دفاعی
شاپای چاپی: ۷۳۱۷-۲۶۷۶
شاپای الکترونیکی: ۰۸۶۱-۲۷۱۷
شماره پروانه انتشار: ۸۶۴۹۱



مدیر مسئول: دکتر محمد کاظم بصیرتی
سر دبیر علمی: دکتر سید محمد سید حسینی
مدیر اجرایی و معاون سردبیر: دکتر فرشید فرخی زاده
ویراستار: مهندس علیرضا سهرابی
کارشناس نشریه: مهندس سید اسمعیل میرحیدری
کارشناس انگلیسی: دکتر علی قربان گراوند
حروفچین و صفحه آرا: مهندس رضا کرمی



مشاورین علمی:

دکتر مهدی ابراهیمی

دکتر بیتا تبریزیان

دکتر رضا رادفر

مهندس حسن رادمرد

دکتر سعید رمضانی

دکتر مصطفی زارعی

دکتر محسن شاه رضایی

دکتر عباس طلوعی اشلقی

دکتر فرشید فرخی زاده

دکتر مسعود کسایی

دکتر رضا مازندرانی

دکتر احمد مهربان

دکتر حسن یزدانی



با عرض سلام و آرزوی توفیق خدمت دوستان عزیز و همکاران محترم سخن آغاز می‌کنم. آغاز هر نشریه علمی، به‌سان طلوعی نوین در عرصه آگاهی و دانش است، به‌ویژه در زمینه علوم فنی و مهندسی که جایگاه چالش‌های بزرگ و تعیین‌کننده می‌باشد. اینک که به لطف الهی پیش‌شماره اول دوفصلنامه "پژوهش در مهندسی نگهداشت دفاعی" انتشار می‌یابد، یادآوری چند نکته خالی از لطف نیست.

نکته اول: با عنایت به تأکید فرماندهی معظم کل قوا در خصوص توجه نیروهای مسلح به اهمیت موضوع تعمیر و نگهداری و بازسازی امکانات و تجهیزات نظامی «نیروهای مسلح ما به‌عنوان انسان‌های مصمم، بااراده و انقلابی باید همواره درس بازسازی و تعمیر و نگهداری تجهیزات نظامی را بیاد داشته باشند و با تکیه بر مغزهای متفکر و فعال و ابتکار و امکانات، نیازهای رزمی و دفاعی خود را تأمین کنند»^۱.

نکته دوم: با توجه به اهمیت موضوع خودکفایی در امر تعمیر و نگهداری به‌خصوص برای نیروهای مسلح هر کشور و همچنین نبود نشریات علمی فعال و تخصصی در کشور برای این بخش از علوم، بر طبق رسالت و وظیفه ما نیز بر آن شدیم در راستای برنامه‌های دانشکده علوم و مهندسی دفاعی دانشگاه افسری و تربیت پاسدار امام حسین علیه‌السلام پیش‌شماره اول دوفصلنامه مهندسی نگهداشت دفاعی را با همکاری اساتید و خبرگان موضوع تهیه نماییم تا بدین‌وسیله در اشاعه و ترویج علوم گام مثبتی برداشته و سهمیم.

به خاطر تازگی دوفصلنامه، معرفی محتوی آن در اینجا ضروری به نظر می‌رسد. در تهیه محتوی و مطالب دوفصلنامه هدف عمده مدنظر ایجاد بستری مناسب به‌منظور تبادل اطلاعات در حوزه‌ی دانش و مهندسی نگهداری و تعمیرات در بین دانشمندان، محققین و پژوهشگران فعال در دانشگاه و صنعت، انجمن‌ها، مؤسسات و سازمان‌های آموزشی و تحقیقاتی، کانون‌های هماهنگی دانش و صنعت، شرکت‌های دانش‌بنیان، انستیتوهای تحقیقاتی و اجرایی، ... در عرصه‌ی دفاعی و ملی فعال می‌باشد.

سردبیر علمی

۱. برگزاری مراسم صبحگاه پایگاه نیروی دریایی بوشهر در حضور فرمانده کل قوا، ۱۳۷۰/۱۰/۲۰



۱. مقاله باید پژوهشی و حاصل تحقیق نویسنده در زمینه مهندسی نگهداشت دفاعی باشد.
۲. مقاله‌های ارسالی به نشریه، نباید پیش از این در هیچ یک از نشریه‌های داخلی یا خارجی چاپ شده باشد.
۳. مقاله‌ها پس از پذیرش اولیه در هیأت تحریریه به منظور ارزیابی برای دو نفر از داوران صاحب نظر و کارشناس فرستاده خواهد شد و پذیرش نهایی بر اساس نظر داوران و موافقت هیأت تحریریه خواهد بود.
۴. مسئولیت علمی مقاله بر عهده نویسنده است و دیدگاه‌های نویسندگان مقالات، لزوماً دیدگاه نشریه نیست.
۵. مقاله باید حداکثر در ۲۰ صفحه A^۴ و در قالب Word و با قلم ۱۱ B Nazanin تایپ شود و به شکل فایل الکترونیکی برای دفتر نشریه فرستاد شود.
۶. نشریه از مقاله‌های تحقیقی و تحلیلی اصیل استقبال می‌کند که در آن مطلب یا نظریه‌ای تخصصی دارای نوآوری، نکات علمی نوین و غیراقتباسی ارائه و به‌ویژه از مقاله‌های برگرفته از پایان‌نامه‌ها که طی آن نظری بدیع مطرح شده باشد، مجله از چاپ مقاله‌های مبتنی بر گردآوری یا ترجمه معذور است.
۷. برگه رویه (عنوان) که در آن فقط اطلاعات شناسنامه‌ای تحقیق از جمله، عنوان، نام نویسنده یا نویسندگان، عنوان شغلی یا علمی، زمان نگارش، نشانی کامل فرد یا مؤسسه یا مؤسسات متبوع، رایانامه (ایمیل) و شماره تلفن درج می‌شود.
۸. چکیده: خلاصه‌ای دقیق از مقاله است که در یک صفحه جدا و در قالب و قلم متفاوت از متن نوشته می‌شود و در آن باید درستی و دقت، استقلال، ایجاز و صراحت، غیرقضاوتی بودن و روانی و انسجام رعایت شود.
۹. مقدمه: بخش اصلی مقاله با مقدمه آغاز می‌شود که در ضمن آن، مسئله تحقیق (سؤال‌ها، فرضیه‌ها، اهداف) و پیشینه علمی پژوهش بیان می‌شود.
۱۰. بدنه نوشتار (چارچوب نظری): این بخش بدنه اصلی و ستون فقرات نوشتار را تشکیل می‌دهد. نظریه‌ها و مباحث نظری در حوزه مورد بحث باید بر اساس نظم و در چارچوب روشی منظم و بر اساس طرح کلی مقاله پیش برود.
۱۱. روش تحقیق: پس از مباحث نظری می‌آید و محقق جزئیات شیوه اجرای پژوهش را توصیف می‌کند. در این بخش مراحل پژوهش (جامعه آماری، نمونه‌گیری، حجم نمونه و...) بیان می‌شود.



۱۲. یافته‌ها و تحلیل: این بخش یافته‌های پژوهش و تحلیل کمی و کیفی پژوهشگر را در حوزه موضوعی مورد نظر تشکیل می‌دهد. داده‌ها و تحلیل‌ها باید بر اساس نظم و در چهارچوب روشی منظم و بر اساس طرح کلی مقاله پیش برود.

۱۳. نتیجه‌گیری و پیشنهاد: نویسنده در بخش پایانی مقاله باید نتایج را بیان و مطالب را چنان جمع‌بندی کند که خواننده احساس کند به پایان مقاله رسیده و از بحث و بررسی‌ها به نتیجه‌ای دست یافته است؛ همچنین پیشنهادهای بعدی و چشم‌انداز آینده و مسائل باقیمانده درباره موضوع در بخش نتیجه‌گیری مطرح می‌شود. این بخش یک پاراگراف تا یک صفحه باشد.

برنامه ریزی نت تجهیز با هدف هزینه و توقف کمینه و حفظ کیفیت به صورت چند هدفه

علی سیاح^{۱*}، سعید رمضانی^۲

^۱ استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، ایران.

^۲ استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۱۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۱۳

چکیده:

از یک طرف رفع خرابی و اشکال در سیستم‌های پیچیده نیازمند صرف هزینه زیاد می‌باشد و از طرف دیگر توقف تجهیزات استراتژیک خصوصاً تجهیزات نظامی دارای ریسک بالایی هستند که می‌بایست از آن جلوگیری کرد. لذا برقراری تعادل بین سطح خدمات تجهیزات و میزان هزینه آن‌ها در طول زمان عملیات از اهمیت بالایی برخوردار است. داشتن پیش‌بینی از وضعیت تجهیز برای فرماندهان بسیار اهمیت دارد. در حال حاضر چک‌لیست‌های تعیین شده برای هر تجهیز صرفاً وضعیت آن لحظه تجهیز را تشخیص داده و هیچ‌گونه پیش‌بینی از آینده ارائه نمی‌دهد. در این تحقیق، ابتدا با استفاده از داده‌های سانسور شده و آنالیز ویبول به رفع مشکل کمبود داده برای مدل‌سازی فرایند خرابی و محاسبه قابلیت اطمینان و نرخ خرابی تجهیزات در طول عمر آن‌ها پرداخته می‌شود. سپس نحوه برنامه‌ریزی بهینه فعالیت نت پیشگیرانه به روش ساده با دو هدف کمینه کردن زمان توقف و هزینه به‌عنوان دو تابع هدف در محدوده قابلیت اطمینان قابل قبول تجهیزات برای یک مطالعه موردی پیاده می‌شود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که اطلاعات خرابی هر یک از تجهیزات مورد مطالعه تأثیر بسزایی در کیفیت و کمیت برنامه نت آن تجهیز دارد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل چندهدفه، قابلیت اطمینان، داده‌های خرابی، داده‌های سانسور شده، نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه.

* ایمیل نویسنده مسئول: sayyah.ali@qom.ac.ir



۱- مقدمه

توانایی یک تجهیز برای ارائه سطح مشخصی از عملکرد تحت تأثیر طراحی، نحوه استفاده، زوال و عمر آن است. از طرف دیگر برای به دست آوردن سطح مطلوب عملکرد و کاهش ریسک برنامه‌ریزی صحیحی بر فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات در طول دوره می‌بایست انجام پذیرد. از آنجا که تجهیزات موجود بر اثر مرور زمان، عوامل محیطی، عدم رسیدگی مناسب و یا حوادث غیرقابل پیش بینی دائماً در معرض خرابی و خارج شدن از سطح عملیاتی هستند، میزان پیش‌بینی سطح قابل استفاده از تجهیزات موجود در طول زمان متفاوت می‌باشد. این موضوع در ادبیات نگهداری و تعمیرات توسط معیار قابلیت اطمینان اندازه‌گیری می‌شود [۵].

در حال حاضر میزان آمادگی و سلامت تجهیزات بر اساس تست های طراحی شده توسط خبرگان انجام می‌گیرد، اما این تست ها کاستی‌هایی دارند که به چند مورد از آن‌ها در زیر اشاره می‌شود:

- تنها می‌تواند خبر از سلامت تجهیز در زمان تست ارائه دهد و توانایی برای پیش‌بینی وضعیت تجهیز برای آینده را ندارد.

- فقط می‌تواند درباره ی تجهیز مورد آزمایش، تحلیل میزان سلامت ارائه دهد.

- در این روش میزان تأثیر زیرسیستم ها بر عملیاتی بودن یا نبودن تجهیز مشخص نمی‌گردد، در حالی که با به کارگیری محاسبه ی قابلیت اطمینان زیرسیستم ها و ترسیم نقش آن‌ها در شبکه ی قابلیت اطمینان یک تجهیز و یا سیستم تجهیزاتی می‌توان به تأثیر آن جزء بر عملکرد تجهیز و سیستم تجهیزاتی پی برد.

از آنجایی که نرم افزارهای CMMS صرفاً در مورد فعالیت‌های روتین برنامه ریزی شده تحلیل ارائه می‌دهند و از طرف دیگر این نرم افزارها اطلاعات گذشته ی دستگاه را تنها برای بررسی نحوه ی انجام فعالیت‌های روتین آینده مورد استفاده قرار می‌دهند، لذا توان ارائه ی تحلیلی از وضعیت موجود تجهیز برای پاسخگویی به نیازهای مدیران و کاربران تجهیزات ندارند. در حالی که با استفاده درست از این اطلاعات می‌توان با محاسبه ی قابلیت اطمینان، به میزان سطح استفاده و همچنین به‌نوعی قضاوتی از وضعیت حال و آینده ی آن تجهیز دست یافت.

این در حالی است که پیش‌بینی وضعیت کارکردی تجهیز در طول مدت عملیات و حتی دوره عمر آن نقش کلیدی و بسیار مؤثری در تصمیم‌گیری مدیران خواهد داشت. به‌عنوان مثال میزان مورد نیاز تجهیزات اصلی در سایت تولیدی برای داشتن سطح مشخصی از توان تولید می‌تواند با دانستن سطح قابلیت اطمینان تجهیزات در طول زمان به‌صورت دقیق‌تری پیش‌بینی گردد. چراکه تجربه نشان داده است با وجود تأمین تجهیزات کافی فعال در یک سایت تولیدی مثل معدن، عدم در نظرگیری احتمال خرابی آن‌ها در طول زمان فعالیت موجب تصمیم‌گیری نادرست در پشتیبانی شده است. با دانستن نحوه رفتار خرابی تجهیزات و قابلیت اطمینان آن‌ها می‌توان پشتیبانی لجستیکی را در طول زمان تقسیم و در زمان مناسب آن انجام داد تا از تجمع اولیه تجهیزات و ریسک انهدام آن‌ها کاست.

از طرف دیگر تحلیل سطح قابلیت اطمینان تجهیزات خصوصاً در مورد قطعات با نرخ خرابی بالا میزان موجودی قطعات یدکی مورد نیاز در دوره‌های زمانی را مشخص می‌سازد. این مسئله باعث جلوگیری از تأمین بیش‌ازحد یا کمتر از سطح نیاز خواهد شد [۳].

مفهوم قابلیت اطمینان در برنامه‌ریزی فعالیت‌های نت پیشگیرانه می‌تواند بسیار مؤثر باشد. از جمله این موارد تصمیماتی است که برای برنامه‌ریزی فعالیت‌های روتین نگهداری و تعمیرات می‌بایست گرفت تا از دو اتفاق جلوگیری کرد [۶]:



الف) جلوگیری از انجام بیش از حد فعالیت‌های نت پیشگیرانه که باعث افزایش هزینه از قبیل هزینه‌های نیروی انسانی، قطعات تعویضی، توقف خدمات (در صورت انجام در زمان کارکرد)

ب) جلوگیری از افزایش زمان بیش از حد بین فعالیت‌های نت پیشگیرانه که موجب افزایش وقوع خرابی و در پی آن هزینه‌های ناشی از خرابی تجهیزات وابسته، توقف تولید و بازسازی که ممکن است در شرایط تقاضای زیاد هزینه‌های چندین برابر در پی داشته باشد. در این مقاله نشان داده می‌شود که با استفاده از دیتاهای خرابی و سانسور شده و تحلیل قابلیت اطمینان چطور می‌شود علاوه بر پیش‌بینی رفتار خرابی تجهیز فاصله زمانی بهینه فعالیت‌های نت پیشگیرانه را محاسبه کرد.

قابلیت اطمینان عبارت است از احتمال آنکه یک تجهیز برای یک دوره مشخص از زمان (عمر طراحی) تحت شرایط کاری طراحی شده (مثل دما، بار، ولتاژ و ...) بدون خرابی و به وظیفه خود را به درستی عمل کن [۴]. از آنجا که معمولاً برای فعالیت‌های اقتصادی همچون معدن ماشین‌آلات گران‌قیمت استفاده می‌شود و از طرف دیگر به خاطر سودآوری مستمر فرایند تولید، توقف در تولید هزینه از دست‌رفته بسیار بالایی را باعث می‌گردد، در نتیجه نیاز برای ارتقای این سیستم‌ها از لحاظ قابلیت اطمینان بسیار بحرانی می‌باشد. بر این اساس هدف مهندسی قابلیت اطمینان کاهش هزینه‌ها با استفاده از داده‌های گذشته می‌باشد. مهندسی قابلیت اطمینان (پایایی) به فعالیت‌هایی گفته می‌شود که می‌بایست انجام گیرد تا اطمینان از اینکه یک تجهیز و یا سیستم مأموریت خود را با موفقیت انجام دهد، حاصل گردد.

۲- اهداف و سؤالات تحقیق

همان‌طور که در بالا نیز بیان شد یکی از مهم‌ترین اطلاعاتی که یک مدیر می‌بایست در مورد تجهیزات خود در طول مدت انجام فعالیت و یا دوره‌های زمان‌بندی بداند سطح آمادگی آن تجهیز است. هدف این تحقیق نشان دادن نحوه تحلیل وضعیت تجهیزات از نظر قابلیت اطمینان برای تعیین میزان آمادگی و پیش‌بینی آن در طول زمان می‌باشد. در واقع این مقاله می‌تواند به سؤالات زیر در شرایط خاص تجهیزاتی پاسخ دهد:

الف) میزان قابلیت اطمینان (به‌عنوان فاکتور ارزیابی سطح آمادگی تجهیز) یک تجهیز در طول زمان عملیات (برنامه‌ریزی) در هر لحظه از زمان چقدر می‌باشد.

ب) چطور می‌توان با تحلیل قابلیت اطمینان یک تجهیز یا قسمتی از آن که دارای نرخ خرابی بالایی است تعداد بهینه قطعات یدکی مورد نیاز را در طول دوره زمانی مورد برنامه‌ریزی (طول عمر مفید تجهیز) تعیین کرد؟

ج) میزان فاصله زمانی بهینه بین عملیات‌های پیشگیرانه نگهداری و تعمیرات بر اساس سطح قابلیت اطمینان مورد نیاز از یک تجهیز چقدر می‌باشد؟

د) چطور می‌توان داده‌های سانسور شده را برای رفع کمبود دیتا در کنار داده‌های خرابی برای استخراج رفتار خرابی تجهیز به کار برد؟

۳- روش تحلیل و مدل‌سازی

در این تحقیق برای محاسبه قابلیت اطمینان یک تجهیز و پاسخگویی به سؤالات بیان شده در بالا ابتدا با استفاده از رویکرد آماری روی دیتاهای آماری که شامل دو نوع دیتای خرابی و سانسور شده می‌باشند به مدل‌سازی رفتار خرابی تجهیز در قالب توزیع ویبول پرداخته خواهد شد. معادله شماره ۱ توزیع ویبول سه پارامتری را نشان می‌دهد. در این قسمت بر اساس روش پیشنهادی نلسون در به کارگیری داده‌های سانسور شده می‌باشد.





در مرحله بعد با توجه به مدل به‌دست‌آمده میزان قابلیت اطمینان تجهیز در طول عمر یا در طول زمان به‌کارگیری محاسبه شده و نمودار سطح قابلیت اطمینان در طول زمان رسم می‌شود. این نمودار نحوه رفتار تجهیز را از نظر فاکتور قابلیت اطمینان در هر لحظه نشان می‌دهد [۸].

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \quad \text{for } t > \gamma$$

$$f(t) = 0 \quad \text{for } t \leq \gamma$$

در مرحله سوم میزان نرخ خرابی بر اساس دو مدل اول به‌دست‌آمده و بر اساس آن نوع تجهیز را بر اساس میزان خرابی می‌توان تحلیل کرد. معادله شماره ۲ نشان‌دهنده رابطه نرخ خرابی بر اساس توزیع ویبول می‌باشد. این نمودار می‌تواند پایه‌ای برای برنامه‌ریزی فعالیت‌های نت پیشگیرانه تجهیز باشد. در نهایت با توجه به سطح قابلیت اطمینان مطلوب آن تجهیز که توسط مدیران تعیین می‌شود میزان بهینه فاصله بین عملیات‌های نت پیشگیرانه تعیین خواهد شد.

$$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad t > \gamma$$

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

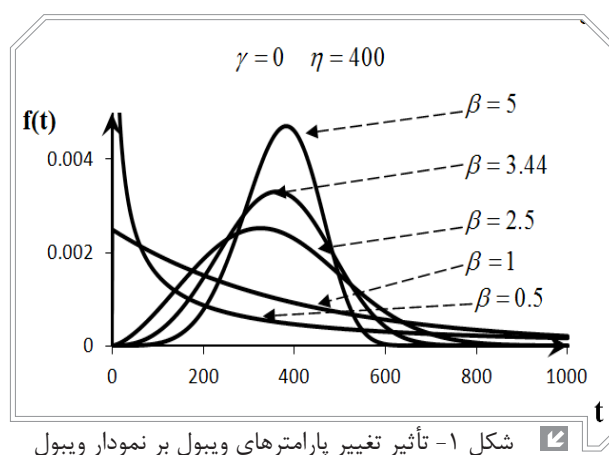
۴- مراحل مدل‌سازی و تحلیل داده

همان‌طور که در بالا بیان شد تحلیل قابلیت اطمینان در این تحقیق به چهار مرحله تقسیم می‌شود:

۴-۱- تحلیل دیتاهای خرابی و سانسور شده و برازش آن بر توزیع ویبول

۴-۲- محاسبه مدل ریاضی قابلیت اطمینان تجهیز و رسم نمودار آن در طول زمان استفاده از تجهیز

نمودار زیر نمونه‌ای از نمودارهای مختلف محاسبه شده را نشان می‌دهد.



۴-۳- محاسبه مدل ریاضی نرخ خرابی تجهیز و رسم نمودار آن و تحلیل نوع تجهیز از لحاظ خرابی و در پی آن نحوه برنامه‌ریزی فعالیت‌های نت بر اساس آن.



۴-۴- تعیین فاصله بهینه فعالیت‌های نت پیشگیرانه بر اساس تحلیل قابلیت اطمینان تجهیز در طول زمان استفاده و سطح مطلوب از آمادگی تجهیز.

۴-۵- محاسبه مدت زمان توقف و هزینه در واحد زمان و پیدا کردن زمان بهینه فعالیت‌های پیشگیرانه برای کمینه کردن آن‌ها.

مطالعه موردی

مراحل بیان شده در بالا بر روی دیتاهای جمع‌آوری شده از مطالعه موردی یک نوع لودر بکار رفته در معدن پیاده‌سازی و اجرا گردیده است. بدین منظور برای تسهیل انجام مراحل تحلیل برای تجهیزات متفاوت و دیتاهای متنوع الگوریتم مراحل در نرم‌افزار Excell به صورت ماکرویی دینامیک کد نویسی و اجرا شد.

در مرحله اول ابتدا دیتاهای ثبت شده در مورد تجهیز مورد مطالعه در نرم‌افزار CMMS شامل زمان مشاهده خرابی زمان، زمان شروع تعمیر و زمان پایان تعمیر و همچنین زمان‌های ثبت شده برای عملیات‌های نت پیشگیرانه در قالب داده‌های سانسور شده شامل زمان شروع عملیات پیشگیرانه و اتمام آن وارد دیتا بیس می‌گردد. جدول زیر نمونه‌ای از دیتاهای ورودی را که البته خلاصه شده‌اند نشان می‌دهد.

جدول ۱- نمونه‌ای از داده‌های اولیه خلاصه شده از خرابی یک تجهیز

نوع داده	زمان پایان تعمیر	زمان شروع تعمیر
f	۱۳۹۰۰۲۲۹	۱۳۹۰۰۲۲۵
f	۱۳۹۰۰۴۱۵	۱۳۹۰۰۴۱۲
s	۱۳۹۰۰۸۱۶	۱۳۹۰۰۸۱۲
s	۱۳۹۰۱۱۲۲	۱۳۹۰۱۱۱۵
s	۱۳۹۰۱۲۲۱	۱۳۹۰۱۲۱۶
f	۱۳۹۱۰۱۰۷	۱۳۹۱۰۱۰۳
f	۱۳۹۱۰۴۲۴	۱۳۹۱۰۴۲۰
s	۱۳۹۱۰۶۰۸	۱۳۹۱۰۶۰۴
f	۱۳۹۱۰۶۱۲	۱۳۹۱۰۶۰۹
s	۱۳۹۱۰۷۲۸	۱۳۹۱۰۷۲۵
f	۱۳۹۱۰۹۰۴	۱۳۹۱۰۸۲۷
s	۱۳۹۱۰۹۰۷	۱۳۹۱۰۹۰۴
f	۱۳۹۱۰۹۱۴	۱۳۹۱۰۹۱۱





نوع داده	زمان پایان تعمیر	زمان شروع تعمیر
s	۱۳۹۱۱۰۲۳	۱۳۹۱۱۰۱۷
f	۱۳۹۱۱۲۲۳	۱۳۹۱۱۲۲۲
s	۱۳۹۲۰۳۱۵	۱۳۹۲۰۳۰۶
f	۱۳۹۲۰۳۱۵	۱۳۹۲۰۳۰۶
s	۱۳۹۲۰۸۲۲	۱۳۹۲۰۸۱۸
f	۱۳۹۲۰۹۰۶	۱۳۹۲۰۹۰۱
s	۱۳۹۲۰۹۰۵	۱۳۹۲۰۹۰۱

از آنجا که تحلیل قابلیت اطمینان بر اساس تحلیل آماری استوار است و دیتاهای خرابی عموماً از کمیت کمی برخوردار هستند تک‌تک داده‌های ما در ارائه تحلیل دارای اهمیت بالایی هستند. لذا برای جلوگیری از انحراف تحلیل قبل از اینکه به تحلیل دیتاهای ورودی پرداخته شود ابتدا داده‌های پرت را می‌بایست از آن‌ها جدا کرد تا تحلیل داده‌ها به‌درستی انجام پذیرد.

در این مرحله در نرم‌افزار به‌وسیله کد نوشته‌شده به شناسایی داده‌های نادرست از قبیل فاصله غیرمنطقی بین خرابی‌ها و همچنین زمان شروع و پایان تعمیر و... می‌پردازد. بر اساس داده‌های موجود در مطالعه موردی میزان متوسط زمان انجام تعمیر (MTTR) ۴,۴۱ روز و متوسط زمان کارکرد تا وقوع یک خرابی (MTTF^۱) ۷۳,۲۸ روز به دست می‌آید. باید توجه داشت که در محاسبه متوسط زمان تا وقوع خرابی داده‌های سانسور شده استفاده نمی‌شوند. همچنین میزان قابلیت دسترسی تجهیز در طول عمر موردبررسی بر اساس فرمول زیر ۰,۹۴ می‌باشد.

$$\text{Availability} = \text{MTTF}/(\text{MTTF}+\text{MTTR})$$

برای پیش‌بینی رفتار خرابی تجهیز موردنظر در طول زمان استفاده نیازمند تحلیل دیتاهای جمع‌آوری‌شده در طول زمان اعم از خرابی و سانسور شده می‌باشیم این دیتاها به‌وسیله روش تحلیل ویبول در طول زمان رفتار خرابی را مشخص می‌کنند و می‌توان بر اساس آن آینده را نیز پیش‌بینی کرد. برای اینکه بتوانیم فرایند خرابی یک تجهیز را در طول زمان بررسی کنیم وقوع آن را به‌صورت یک متغیر تصادفی تعریف می‌کنیم که چگالی احتمال وقوع آن در طول زمان رفتار آن را نشان خواهد داد که یک توزیع ریاضی را تشکیل می‌دهد.

در صورتی که بدانیم خرابی یک تجهیز در طول زمان از چه توزیعی پیروی می‌کند با داشتن دیتاهای خرابی اقدام به برآورد پارامترهای آن توزیع مربوط به تجهیز می‌کنیم که در نتیجه می‌توانیم آینده تجهیز را نیز پیش‌بینی کنیم؛ اما از آنجا که رفتار خرابی تجهیزات بسیار با یکدیگر متفاوت است این توزیع برای تجهیزات متنوع بسیار متفاوت خواهد بود و نمی‌توان یک توزیع خاص مثل توزیع نرمال یا نمایی را برای همه تجهیزات نسبت داد. به خاطر همین توزیع ویبول که یک توزیع بسیار منعطفی می‌باشد و با تغییر پارامترهای آن تقریباً می‌توان گفت که تعداد زیادی از توزیع‌های دیگر را می‌پوشاند

¹ Mean time to repair

² Mean time to failure



به عنوان پیش فرض توزیع خرابی تجهیز فرض می گردد. این مسئله البته بر اساس تجربه نیز اثبات شده است و دیتاهای خرابی تجهیزات در طول دوره زمانی آن ها با این توزیع قابل برازش می باشد.

از آنجا که مفهوم تابع چگالی احتمال خرابی دارای پیچیدگی می باشد و محاسبه آن نیازمند وجود دیتای زیادی است از مقدار تابع توزیع تجمعی که مفهوم قابل لمس تری دارد مورد استفاده قرار می گردد؛ اما در ابتدا بدون داشتن پارامترهای توزیع نمی توان آن را محاسبه کرد. برای این منظور چند آماره برای تخمین توسط محققین پیشنهاد شده است که به سادگی این مدار توزیع تجمعی در زمان هر خرابی را قابل محاسبه می کند.

یک روش برای تعیین $F(t_i)$ این است که آن را معادل i/n فرض کنیم؛ که در آن i رتبه خرابی و n تعداد کل خرابی در طول زمان جمع آوری دیتا می باشد. این روش روشی بدبینانه است از آنجا که در آن احتمال خرابی تا زمان آخرین خرابی یک فرض شده است؛ یعنی حتماً تا پایان دوره بررسی تجهیز خراب خواهد شد. حال آنکه ممکن است تجهیزات ما بیشتر از آن مقدار نیز کار کنند و خراب نشوند که این احتمال در این آماره مورد توجه قرار نمی گیرد. البته این روش برای تعداد دیتای زیر ۱۲ مورد با زمان طولانی مورد استفاده قرار می گیرد.

روش دوم برآورد کننده رتبه میانه^۱ می باشد. این برآورد کننده توسط برنارد^۲ معرفی گردیده است و به نام آماره برنارد نیز معروف می باشد. این برآورد کننده برای تعداد داده های ۱۲ تا ۱۰۰ به صورت زیر می باشد.

$$F(t_i) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4}$$

برای دیتاهای بیش از ۱۰۰ برآورد کننده برنارد به صورت زیر تعریف می گردد تا تخمین بهتری از میزان تابع توزیع تجمعی را به دست دهد.

$$F(t_i) = \frac{i}{n + 1}$$

با در نظر گرفتن دیتاهای سانسور شده میزان تابع توزیع تجمعی زمان های خرابی با همین برآوردها محاسبه می گردد با این تفاوت که رتبه آن ها بر اساس رابطه زیر تعریف می شود.

$$m_i = m_{i-1} + \frac{n + 1 - m_{i-1}}{1 + k_i}$$

با محاسبه میزان تابع توزیع تجمعی در زمان هر یک از خرابی ها می توان پارامترهای تابع توزیع ویبول متناسب با خرابی تجهیز را تخمین زد. رابطه تابع توزی تجمعی ویبول به صورت زیر می باشد [۶].

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

برای تخمین این پارامترها در صورتی که با تغییری ساده از طرفین رابطه فوق دو بار لگاریتم بگیریم رابطه به دست آمده

¹Median Rank

²Bernard

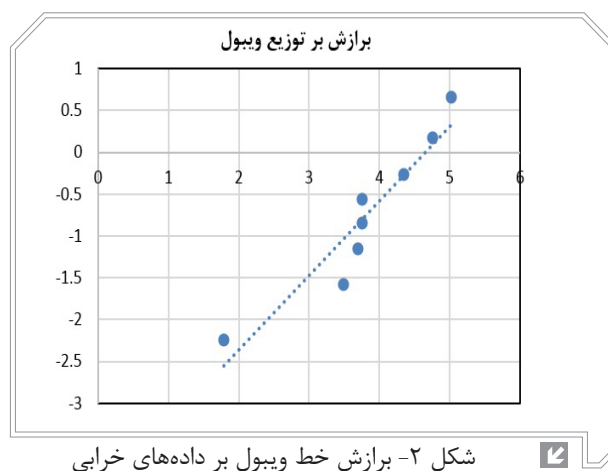




رابطه یک خط راست برحسب $\ln \ln \left(\frac{1}{1-F(t)} \right)$ نسبت به $\ln t$ می‌شود. مقادیر مذکور در نرم‌افزار به صورت خودکار براساس دیتا محاسبه می‌شود. این خط راست در شکل نشان داده شده است.

$$\ln \ln \left(\frac{1}{1-F(t)} \right) = \beta \ln t - \beta \ln \eta$$

میزان عرض از مبدأ و شیب به وسیله رگرسیون ساده به دست آمده و در پی آن پارامترهای توزیع محاسبه می‌گردد. در رابطه فوق $\beta \ln \eta$ عرض از مبدأ و β شیب خط نشان داده شده در شکل ۳ هستند. این مقادیر در مورد دیتاهای مطالعه موردی به ترتیب -4.517 و 0.89 به دست آمده که میزان η ، $104,30$ محاسبه می‌گردد. در نتیجه توزیع ویبول با پارامتر β و η به دست آمده نشان‌دهنده رفتار خرابی تجهیز در طول عمر آن می‌باشد. برای تحقیق میزان نزدیک بودن دیتاها با توزیع برآورد شده فاکتور R-squared را محاسبه می‌کنیم. مقدار R^2 برای تجهیز موردنظر 0.9 به دست آمد که از آنجا که نزدیک به یک است نشان‌دهنده برازش خوب دیتا بر توزیع برآورد شده است.

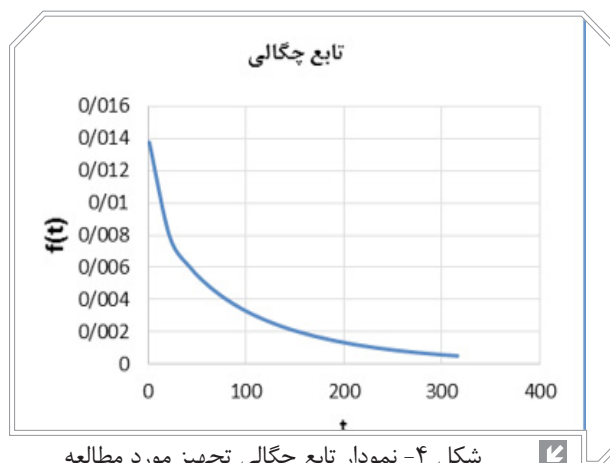


شکل ۲- برازش خط ویبول بر داده‌های خرابی

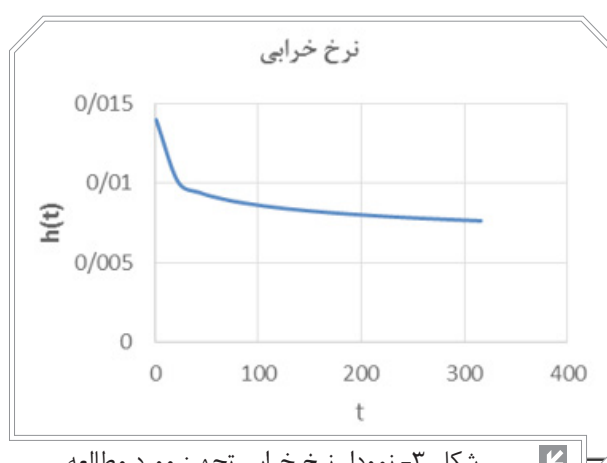
در مرحله دوم مدل قابلیت اطمینان بر اساس توزیع ویبول با پارامترهای برآورد شده به دست می‌آید. رابطه قابلیت اطمینان همان‌طور که از تعریف آن مشخص است متمم تابع توزیع می‌باشد. همچنین برای تحلیل کامل داده‌ها میزان نرخ خرابی $h(t)$ و تابع چگالی $f(t)$ تجهیز در طول زمان استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

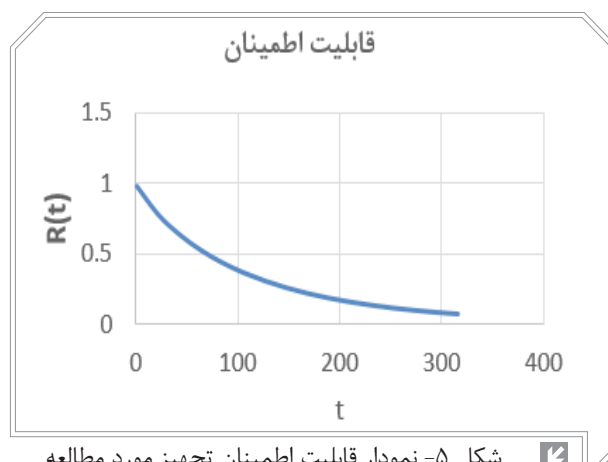
نمودارهای نرخ خرابی، قابلیت اطمینان و تابع چگالی احتمال خرابی تجهیز توسط نرم‌افزار با نقطه‌یابی به صورت زیر رسم شده است.



شکل ۴- نمودار تابع چگالی تجهیز مورد مطالعه



شکل ۳- نمودار نرخ خرابی تجهیز مورد مطالعه



شکل ۵- نمودار قابلیت اطمینان تجهیز مورد مطالعه

۵. نتایج و تحلیل‌ها

در مرحله سوم به تحلیل نمودارهای به دست آمده از داده‌های تاریخی پرداخته می‌شود. نمودار قابلیت اطمینان نشان می‌دهد که در زمان صفر قابلیت اطمینان آن یک بوده و به تدریج و با شیبی تند کاهش پیدا می‌کند. تا پس از حدود ۷۰ روز احتمال کارکرد مطلوب دستگاه از ابتدای شروع به کار تا روز ۷۰ ام در شرایط عادی به ۵۰٪ می‌رسد و یا قابلیت اطمینان در روز ۲۰ به ۸۰٪ می‌رسد. از آنجا که تجهیزات معدنی همگی در سطح استراتژیک مطرح می‌شوند و خصوصاً در این تجهیز خاص احتمال کارکرد کمتر از ۸۰٪ به هیچ عنوان مطلوب نخواهد بود. لذا این نمودار نشان می‌دهد که هر ۲۰ روز یک‌بار این تجهیز می‌بایست مورد تعویض و یا تعمیر اساسی قرار گیرد تا سطح قابلیت اطمینان ۸۰٪ به دست آید.

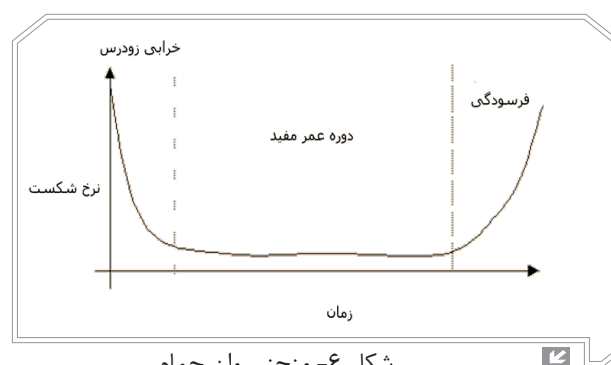
از طرف دیگر نمودار نرخ خرابی و تابع چگالی نشان می‌دهد که احتمال وقوع خرابی در ۱۰۰ روز اول به سرعت کاهش پیدا می‌کند و پس از آن نرخ خرابی ثابت می‌گردد. بر این اساس می‌توان این نتیجه را گرفت که در صورتی که هزینه خرابی تجهیز هزینه زیادی نباشد و وقوع خرابی منجر به عواقب شدیدی نگردد و از طرف دیگر هزینه جایگزینی قطعه زیاد باشد و یا در شرایطی همچون تحریم با کمبود قطعه جایگزین روبرو باشیم دوره اول (۱۰۰ روز) را با قبول ریسک خرابی و با آمادگی رفع خرابی طی کنیم.





پس از دوره اول نرخ خرابی کمتر شده و وضعیت تجهیز رو به بهبود می‌رود. این نشان‌دهنده این است که در این نوع تجهیزات نرخ خرابی در طول زمان کاهش پیدا می‌کند. این بدین معناست که در صورت خراب نشدن تجهیز در دوره اول نرخ خرابی آن کاهش پیدا کرده تا به میزان ثابتی می‌رسد در آن زمان می‌توان زمان‌های ثابتی برای تعویض پیشگیرانه تعیین کرد. این در حالی است که در دوره اول تجهیز با توجه به روند کاهشی نرخ خرابی برنامه پیشگیرانه در طول زمان می‌تواند موجب هدر رفتن هزینه گردد زیرا که وضعیت تجهیز ما رو به بهبودی می‌رود. دوره ابتدایی (۱۰۰ روز اول) تجهیز که با دوره طفولیت^۱ (خرابی زودرس) تجهیز مطابقت داشته و بخش دوم با دوره عمر مفید که در نمودار زیر نشان داده شده است مطابقت دارد.

در بخش دوم همان‌طور که بیان شد نرخ خرابی ثابت می‌ماند و این نشان‌دهنده تصادفی بودن خرابی و عدم وجود عاملی خاص در خرابی می‌باشد.

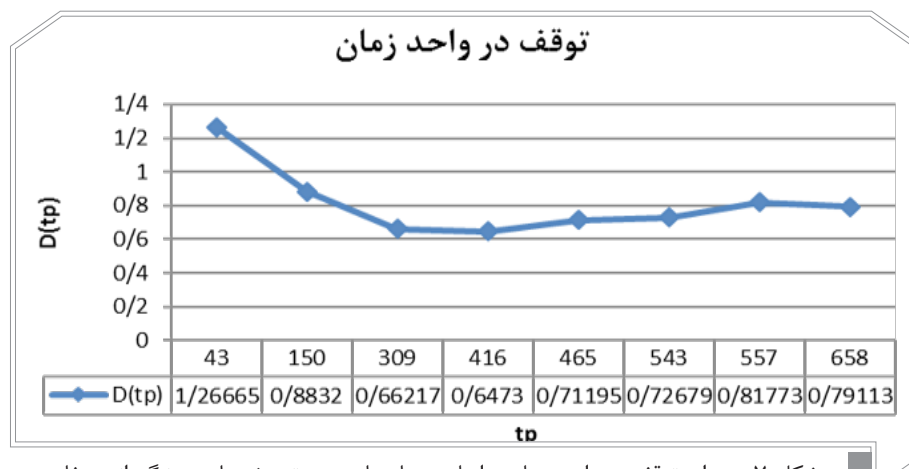


در بسیاری از مواقع میزان هزینه خرابی را نمی‌توان تخمین زد یا در عمل اهمیت زیادی در مقابل زمان از دست رفتن کارکرد دستگاه ندارد در این مواقع که در صنعت معدن بسیار هستند و شاید اغلب شرایط نت تجهیزات به این صورت باشد تابع هدف ما برای کمینه کردن میزان زمان عدم کارکرد دستگاه می‌باشد. این هدف را با محاسبه ساده میزان زمان توقف در واحد زمان $D(tp)$ و پیدا کردن بازه زمانی بین تعویض‌ها (tp) که کمترین زمان توقف در واحد زمان را باعث شود میسر می‌گردد. در رابطه زیر T_p زمان مورد نیاز برای انجام تعویض پیشگیرانه، T_f زمان مورد نیاز برای انجام تعمیر و $H(tp)$ تعداد خرابی در طول زمان بین دو تعویض پیشگیرانه می‌باشد.

$$D(tp) = \frac{H(tp)T_f + T_p}{tp + T_p}$$

شکل ۷ کمترین میزان توقف در واحد زمان را به ازای زمان‌های متفاوت بین خرابی‌های پیشگیرانه را نشان می‌دهد. در این نمودار مشخص است که کمترین میزان توقف با تعیین میزان فاصله ۴۱۶ روز یک‌بار برای تعویض یا تعمیر اساسی برای تجهیز قابل‌دستیابی می‌باشد.

¹ Infant Mortality



شکل ۷- میزان توقف در واحد زمان بر اساس زمان‌های بین تعویض‌های پیشگیرانه متفاوت

همین تحلیل با هدف کمینه کردن هزینه می‌تواند صورت بگیرد. برای این منظور می‌بایست هزینه بر واحد زمان را در پروژه محاسبه کنیم. این مقدار بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$C(t_p) = \frac{C_p + C_f H(t_p)}{t_p}$$

در رابطه فوق C_p مقدار هزینه فعالیت نت پیشگیرانه و C_f مقدار هزینه فعالیت نت اصلاحی می‌باشد. البته باید به این نکته توجه کرد که زمانی ما دنبال محاسبه نقطه با هزینه کمینه می‌رویم که در چنین شرایطی هزینه فعالیت نت پیشگیرانه کمتر از هزینه فعالیت نت اصلاحی باشد. بعلاوه محاسبه این هزینه‌ها باید با دقت بالایی و بر اساس

پیامدها مورد بررسی قرار گیرد؛ زیرا که شاید علیرغم مساوی بودن هزینه تعویض یک قطعه اما به خاطر هزینه‌هایی از قبیل توقف در تولید و همچنین صدمه به تجهیزات مجاور و در تجهیزات نظامی ریسک خارج شدن تجهیزات از وضعیت عملکردی هزینه نت اصلاحی بسیار گران تمام شود.

این تحلیل‌ها بر اساس داده‌های تجهیز دیگری نیز انجام شد که نتایج آن در شکل شماره ۷ آمده است. تفاوت در نمودارهای چگالی و نرخ خرابی نشان‌دهنده تفاوت تجهیز از نظر فاز خرابی که در شکل ۵ بیان شد می‌باشد. این مسئله خود بیانگر آن است که برای هر تجهیز بر اساس نحوه رفتار خرابی آن می‌بایست برنامه نت تعیین کرد.

جدول ۲- داده‌های خرابی تجهیز ۲

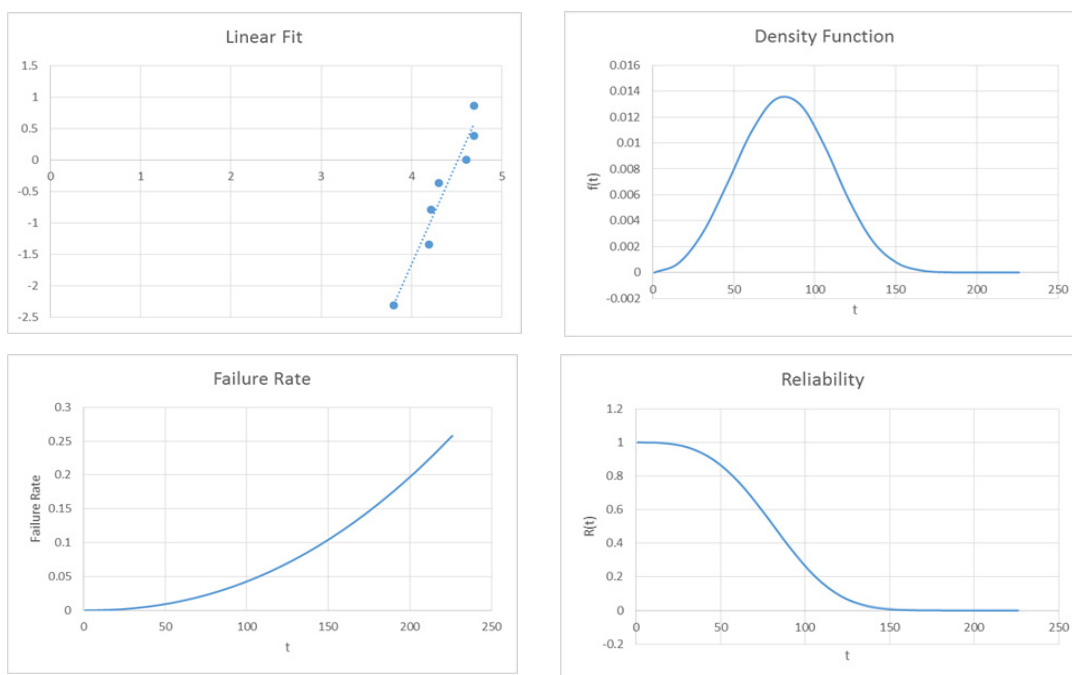
نوع داده	زمان تا خرابی
f	۱۰۹
f	۱۰۰
s	۶۸
f	۶۶
s	۴۵





نوع داده	زمان تا خرابی
s	۷۴
f	۱۰۹
f	۱۰۹
s	۱۰۰
f	۶۸

نمودارهای زیر نشان‌دهنده خط برازش شده (رگرسیون داده‌های) تابع چگالی، نرخ خرابی و قابلیت اطمینان تجهیز می‌باشد. بر اساس تابع خرابی به دست آمده از داده‌ها با هدف کمینه کردن هزینه تجهیز در پی پاسخ به این سؤال هستیم که فاصله بهینه فعالیت‌های نت پیشگیرانه به چه نحو باشد که هزینه ما کمینه شود.



نمودار تابع چگالی در این تجهیز با دیدگاه متخصصین تطابق بیشتری داشت. از این لحاظ که نرخ خرابی این تجهیز در طول زمان افزایشی است و نشان‌دهنده فرسایش تجهیز می‌باشد. این مسئله موجب می‌شود که برنامه‌ریزی نت پیشگیرانه به صورت سخت گیرانه‌ای در طول زمان انجام پذیرد زیرا که با افزایش فاصله بین فعالیت‌های پیشگیرانه احتمال وقوع خرابی بیشتر می‌شود.

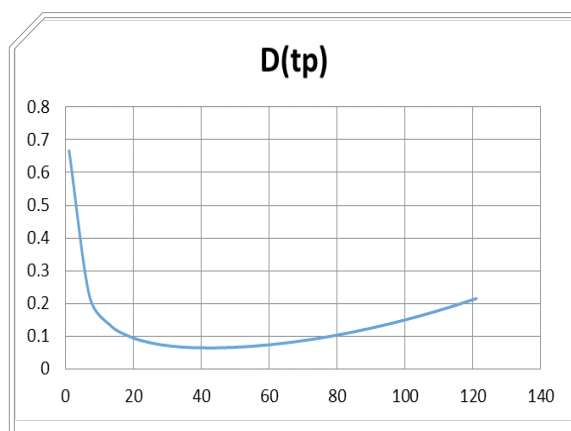
جدول ۳ نشان‌دهنده تخمین هزینه‌ها و زمان تعمیر بر اساس نظر خبرگان در هنگام فعالیت پیشگیرانه و در هنگام خرابی پیش‌بینی نشده می‌باشد. این تخمین می‌بایست بر اساس هزینه از دست رفته هنگام خرابی و پیامدهای دیگر هنگام خرابی و نت پیشگیرانه باشد.



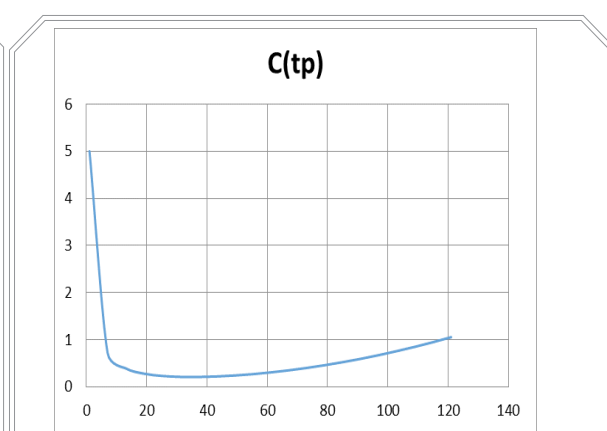
جدول ۳- داده‌ها مربوط به هزینه‌های نت پیشگیرانه و نت اصلاحی

C_p	۵
C_f	۵۰
T_p	۲
T_f	۱۰

شکل‌های ۸ و ۹ به ترتیب نشان‌دهنده زمان بهینه برای فاصله بین فعالیت‌های نت پیشگیرانه با هدف کمینه کردن هزینه و همچنین کمینه کردن زمان توقف می‌باشند. باید توجه داشت که داده‌های ورودی شامل هزینه‌های نت پیشگیرانه و خرابی پیش‌بینی‌نشده و همچنین زمان نت پیشگیرانه و زمان نت اصلاحی در جدول ۳ آمده است:



شکل ۹- نمودار نشان‌دهنده زمان توقف بر واحد زمان



شکل ۸- نمودار نشان‌دهنده هزینه بر واحد زمان

در ادامه مزایا و محدودیت‌های روش تحلیلی ارائه‌شده بیان می‌گردد.

مزایا

مهم‌ترین مزیت تحلیل قابلیت اطمینان در مقایسه با روش‌های سنتی آمادگی تجهیزات که عموماً بر اساس چک‌لیست‌ها و بازرسی‌های فنی توانایی پیش‌بینی و دادن اطلاعات در مورد آینده تجهیز است. حال آنکه در صورت بررسی چک‌لیست‌ها و عملیاتی بودن تجهیزات در ابتدای زمان استفاده هیچ‌گونه پیش‌بینی از وضعیت یک دستگاه به دست نمی‌آید و وضعیت تجهیز با پیشینه خرابی زیاد با تجهیز که کمتر خراب می‌شود یکسان در نظر گرفته می‌شود.

مزیت دیگر این تحقیق قابلیت استفاده از اطلاعات سانسور شده در کنار اطلاعات خرابی می‌باشد. از آنجا که جمعیت اطلاعات خرابی تجهیزات نیاز به زمان طولانی دارد تا به میزانی برسد که از نظر آماری قابل تحلیل باشد داده‌های سانسور شده می‌تواند این خلاء را پر کند [۷]. بعلاوه در صورتی که داده‌های خرابی مربوط به یک نوع تجهیز خاص باشد که در مجموعه تجهیزات موارد مشابه دیگری که در شرایط همانند تجهیز موردنظر در حال فعالیت هستند وجود دارد، می‌توان داده‌های آن‌ها را نیز در کنار داده‌های تجهیز موردنظر قرار داد تا تحلیل از قوت تحلیلی آماری بیشتری برخوردار باشد و پیش‌بینی دقیق‌تری از نحوه رفتار تجهیز داشته باشد [۲].

مزیت دیگر تحلیل حاضر سادگی و قابل اجرا بودن آن بر اساس آماره‌های معرفی‌شده برای محاسبه تابع توزیع تجمعی





توزیع خرابی تجهیز می‌باشد. این مسئله باعث می‌شود که در عمل بتوان عملیات محاسبه را به‌سادگی و روشنی توسط کاربران انجام پذیرد.

محدودیت‌ها

همان‌طور که بیان شد دیتاهای مورد ارزیابی در این روش دیتاهای مربوط به خرابی و یا عدم خرابی یک تجهیز می‌باشد و هیچ‌گونه اطلاعاتی از مکانیزم خرابی به وجود آمده و نوع آن در تحلیل وارد نمی‌شود. به‌بیان دیگر در این روش تجهیز به‌عنوان یک سیستم بسته که صرفاً یا در حال کار کردن است و یا خراب شده است در نظر گرفته می‌شود.

البته تعریف ما از خرابی می‌تواند تأثیر بسزایی در ثبت داده داشته باشد. چراکه در زمان جایگزینی و یا بازرسی از تجهیز در صورتی که تفسیر اپراتور خرابی تجهیز باشد داده به‌صورت خرابی ثبت و در غیر این صورت به‌صورت سانسور شده ثبت می‌گردد و این دقت در تعریف موجب افزایش دقت تحلیل می‌گردد. به‌عنوان مثال در این روش تفاوتی بین خرابی ناشی از خوردگی و یا شکستگی در نظر گرفته نمی‌شود. این موارد در مدل‌های زوال برای تخمین قابلیت اطمینان مورد توجه قرار می‌گیرند.

محدودیت دیگر این تحلیل این است که پیش‌بینی انجام شده مناسب با تجهیزاتی است که در شرایط مشابه محیطی از قبیل رطوبت، دما نوع کار تجهیز و... باشند و امکان در نظر گرفتن تأثیر فاکتورهای محیطی وجود ندارد. البته این کمبود می‌تواند با ترکیب این روش و روش‌های مدل‌سازی همچون 'PHM رفع گردد.

تصمیم‌گیری چندهدفه

همان‌طور که تا الان بحث شد در این مقاله در دو مورد مطالعه موردی سطح عملکرد تجهیز در طول عمر مفید آن بر اساس داده‌های خرابی پیش‌بینی شد. حال آنکه هر یک از موارد بررسی شده با هر کدام با یک هدف یا کمینه کردن هزینه و یا کمینه کردن زمان مورد بررسی قرار گرفته و بر اساس آن‌ها زمان بهینه نت روتین آن‌ها تعیین شده است. حال در عمل هر دو هدف موردنظر تصمیم گیران می‌باشد یعنی مطلوب است هم هزینه کمینه شود و هم زمان توقف تجهیز. در این صورت می‌توان با در نظر گرفتن هر یک به‌عنوان یک تابع هدف و استفاده از روش وزن دهی به هر یک از اهداف بر اساس نظر تصمیم‌گیران زمان مناسب برای فعالیت‌های نت روتین را تعیین نمود. در اینجا این تحلیل را بر روی تجهیز دوم (مطالعه موردی دوم) انجام می‌دهیم:

در صورتی که $F(1)$ را تابع هزینه بر واحد زمان و $F(2)$ تابع زمان توقف بر واحد زمان تعیین شود. می‌توان تابع $F(3)$ را به‌عنوان تابع مطلوبیت جدید تصمیم گیر به‌صورت زیر تعریف نمود:

$$F(3) = w_1 F(1) + w_2 F(2)$$

در این عبارت w_1, w_2 وزن اهداف ما هستند به‌نحوی که

$$w_1 + w_2 = 1$$

به عبارت دیگر خبرگان می‌بایست وزن دو هدف مذکور را نسبت به هم بیان کنند سپس نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل با هر یک از اهداف با یکدیگر جمع گردد. در اینجا قابل ذکر است که از آنجا که جنس دو تابع یکسان نمی‌باشند می‌بایست مقدار نرمالایز شده آن‌ها در جمع آن‌ها مورد توجه قرار گیرد. جدول ۴ مقادیر مربوط به دو هدف کمینه کردن زمان توقف و هزینه را در به ازای بازه‌های زمانی متفاوت بین فعالیت‌های نت روتین نشان می‌دهد. در بخش زرد رنگ مقادیر اطراف

¹ Proportional Hazard Modeling



مقدار بهینه نشان داده شده است که با در نظر گرفتن هر دو تابع هدف طیفی بین ۴۲ تا ۶۰ روز بین فعالیت‌های نت روتین در نظر گرفته شده است.

جدول ۴- هزینه و زمان‌های متناظر با هر یک از زمان‌های بین فعالیت‌های نت روتین

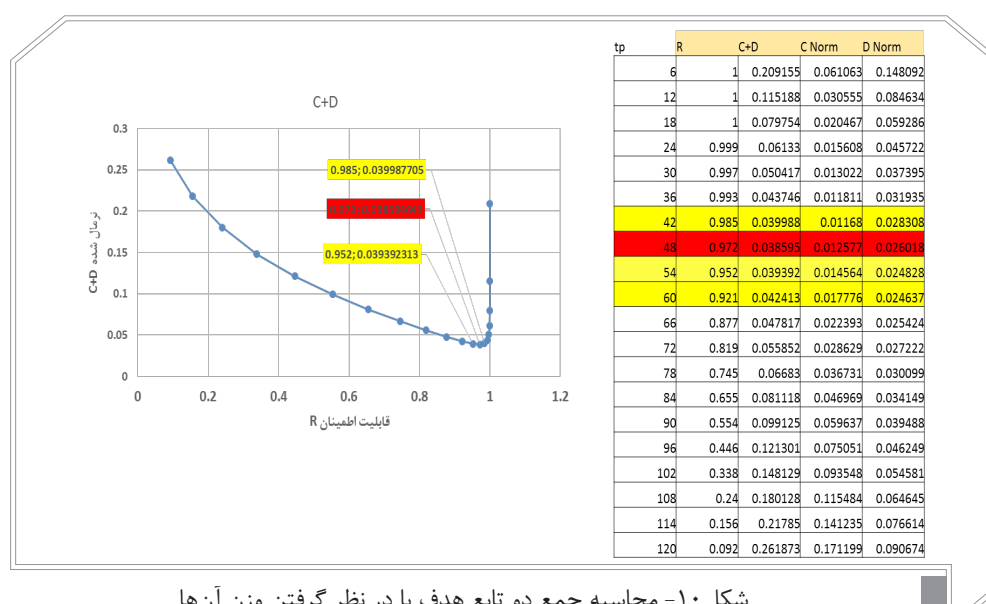
tp	F(1) هزینه C(tp)	F(2) زمان توقف D (tp)
۶	۱۶۶,۶۷۱۲	۰,۲۵۰۰۰۱
۱۲	۸۳,۳۹۸۳۳	۰,۱۴۲۸۷۴
۱۸	۵۵,۸۶۵۰۶	۰,۱۰۰۰۸۴
۲۴	۴۲,۶۰۳۲۲	۰,۰۷۷۱۸۵
۳۰	۳۵,۵۴۴۰۲	۰,۰۶۳۱۲۷
۳۶	۳۲,۲۳۷۲۵	۰,۰۵۳۹۱۱
۴۲	۳۱,۸۸۰۹۸	۰,۰۴۷۷۸۷
۴۸	۳۴,۳۲۷۷۶	۰,۰۴۳۹۲۲
۵۴	۳۹,۷۵۲۵۸	۰,۰۴۱۹۱۴
۶۰	۴۸,۵۱۹۴۱	۰,۰۴۱۵۹۱
۶۶	۶۱,۱۲۰۱۱	۰,۰۴۲۹۲
۷۲	۷۸,۱۴۳۴۳	۰,۰۴۵۹۵۵
۷۸	۱۰۰,۲۵۸۱	۰,۰۵۰۸۱۱
۸۴	۱۲۸,۲۰۲۷	۰,۰۵۷۶۴۸
۹۰	۱۶۲,۷۷۹۹	۰,۰۶۶۶۶۱
۹۶	۲۰۴,۸۵۱۸	۰,۰۷۸۰۷۶
۱۰۲	۲۵۵,۳۳۷۵	۰,۰۹۲۱۴۱
۱۰۸	۳۱۵,۲۱۱۲	۰,۱۰۹۱۳
۱۱۴	۳۸۵,۵۰۰۴	۰,۱۲۹۳۳۶
۱۲۰	۴۶۷,۲۸۵۱	۰,۱۵۳۰۷۱





با در نظر گرفتن هدف کمینه کردن هزینه زمان بهینه بین مقادیر ۴۲ و ۴۸ قرار خواهد گرفت زیرا که روند کاهشی در این فاصله رو به افزایش گذاشته است. از طرف دیگر با در نظر گرفتن تابع هدف کمینه‌سازی زمان توقف مقدار بهینه بین ۶۰ تا ۶۶ روز است. حال می‌خواهیم زمان بهینه با در نظر گرفتن هر دو تابع هدف تعیین نماییم. همان‌طور که بیان شد برای این منظور مقدار نرمالایز شده هر یک از مقادیر $F(1)$ ، $F(2)$ را به دست می‌آوریم. در شکل ۱۰ در جدول نشان داده شده مقادیر نرمالایز دو تابع در ستون‌های C Norm و D Norm آورده شده است که بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شوند:

$$F_{\text{Normalize}} = (F - F_{\text{Max}}) / (F_{\text{Min}} - F_{\text{Max}})$$



شکل ۱۰- محاسبه جمع دو تابع هدف با در نظر گرفتن وزن آن‌ها

در نمودار بالا مقادیر نرمالایز شده را با در نظر گرفتن وزن آن‌ها با یکدیگر جمع می‌کنیم که همان مقدار $F(3)$ می‌باشد و در جدول در ستون C+D نشان داده شده است. در اینجا وزن توابع هدف مساوی در نظر گرفته شده است. در این جدول کم‌ترین این مقدار این تجمیع به ازای ۴۸ روز می‌باشد. در آنجا فرض بر آن است که تجهیز ما حداقل قابلیت اطمینان ۹۵٪ داشته باشد. از آنجا که با ۴۸ روز هم مقدار قابلیت اطمینان بیشتر است هم مقدار هزینه کمتر از مقدار ۵۴ روز (تنها گزینه دیگر با حداقل ۹۵٪ قابلیت اطمینان) لذا گزینه بهینه همان ۴۸ روز می‌باشد؛ اما اگر موارد دیگری هم وجود داشتند که هزینه آن‌ها کمتر از ۴۸ روز بود و حداقل قابلیت اطمینان را داشتند می‌توانستند مورد انتخاب قرار گیرند.

۶. نتیجه‌گیری

تصمیم‌گیری برای نحوه تأمین نگهداشت تجهیزات و مدیریت آن در طول چرخه عمر دوره استفاده از اهمیت بالایی برای مدیران برخوردار است. برای اتخاذ تصمیم درست در میزان تجهیزات مورد نیاز، میزان قطعات یدکی و همچنین برنامه‌ریزی بهینه فعالیت‌های نت پیشگیرانه نیاز به پیش‌بینی وضعیت دستگاه در طول دوره استفاده می‌باشد. در این تحقیق روش تحلیل قابلیت اطمینان بر اساس داده‌های گذشته و نحوه محاسبه و پاسخگویی به نیازهای ذکر شده تشریح شده است. برای افزایش دقت در تحلیل‌های آماری روش مورد استفاده در این تحقیق شامل داده‌های خرابی و سانسور شده از تجهیزات



مشابه می‌باشد. بر اساس این داده‌ها مدل تابع چگالی خرابی تجهیز با استفاده از توزیع ویبول به دست آمد. بر اساس این توزیع مقدار قابلیت اطمینان و نرخ خرابی در طول زمان محاسبه شد که نشان‌دهنده نحوه سیاست‌گذاری مؤثر در فعالیت‌های نت پیشگیرانه و نوع تجهیز از این لحاظ می‌گردد. از آنجا که در مواقع مختلف و همچنین از تجهیزات مختلف سطح متفاوتی از قابلیت اطمینان مطلوب می‌باشد لذا برای هر تجهیز در شرایط خاص می‌توان بر آن اساس زمان بهینه فعالیت‌های نت پیشگیرانه را محاسبه کرد.

در این تحقیق روش تحلیلی ارائه شده بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده از دو تجهیز مورد استفاده در معدن انجام شده است. بر اساس نمودارهای به‌دست‌آمده رفتار خرابی تجهیز ۱ در فازهای طفولیت و عمر مفید تشخیص داده شده و طول مدت زمان فاز طفولیت (خرابی زودرس) ۱۰۰ روز تخمین زده شده است. در صورتی که صرفاً سطح قابلیت اطمینان برای تصمیم‌گیری در خصوص زمان بین تعویض‌ها موردنظر باشد با توجه به مطلوبیت حداقل ۸۰٪ تجهیز برای کارکرد می‌بایست تعمیر اساسی هر ۲۰ روز یک‌بار و در صورتی که خرابی تجهیز هزینه زیادی نسبت به هزینه تعویض نداشته باشد با هدف قرار دادن کمینه کردن توقف تجهیز در طول زمان و پرهیز از توقف به خاطر تعویض پیشگیرانه هر ۴۱۶ روز یک‌بار می‌بایست تعویض انجام شود.

تحلیل ارائه شده بر تجهیز ۲ این تجهیز را در فاز فرسودگی نشان داده و بر این اساس برنامه‌ریزی نت پیشگیرانه را سخت‌گیرانه را مناسب‌تر می‌داند که البته برای محاسبه زمان بهینه بین فعالیت‌های پیشگیرانه زمان توقف بر واحد زمان (۴۲ روز) و هزینه بر واحد زمان (۳۶ روز) محاسبه شده و به ازای زمان‌های مختلف هزینه نت کل کمینه به‌دست آمده است.

تفاوت زیاد بین دو مقدار به‌دست‌آمده در تجهیزات مختلف نشان‌دهنده اهمیت و تأثیر زیاد عمر تجهیز، نحوه سیاست‌گذاری در نگهداری و تعمیرات تجهیزات بر اساس اولویت‌ها و شرایط قطعات یدکی و نیروی متخصص و ... می‌باشد. در مطالعات آتی این شرایط را به‌صورت دقیق‌تر از جمله محدودیت‌های نیروی انسانی، محدودیت تحریم، خدمات پس از فروش تجهیز و ... می‌توان مورد بررسی قرار داد.

در بخش تصمیم‌گیری چندهدفه نحوه در نظر گرفتن چند تابع هدف و محدودیت را بدون نیاز به حل پیچیده مدل‌های ریاضی ارائه شده است. در این تحقیق برای مطالعه موردی دوم دو هدف کمینه کردن هزینه و زمان توقف در محدوده قابلیت اطمینان مورد توجه قرار گرفته است.

مراجع

- [۱] کتاب مرجع علمی کاربردی نگهداری و تعمیرات (نگهداشت)، اثر پروفسور مارکز، ترجمه و تألیف سعید رضانی، نشر بازرگانی، ۱۳۹۳ پیوست الف (مروری بر مهندسی قابلیت اطمینان).
- [2] BLISCHKE, W. R. & MURTHY, D. N. P. 2003. Case Studies in Reliability and Maintenance, Wiley.
- [3] CAMPBELL, J. D., JARDINE, A. K. S. & MCGLYNN, J. 2011. Asset Management Excellence: Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions, Second Edition, Taylor & Francis.
- [4] ELSAYED, E. A. 2012. Reliability Engineering, Wiley.
- [5] JARDINE, A. K. S. & TSANG, A. H. C. 2013. Maintenance, Replacement, and Reliability: Theory and Applications, Second Edition, CRC Press.
- [6] NAKAGAWA, T. 2005. Maintenance Theory of Reliability, Springer.





- [7] NELSON, W. 2000. Theory and Applications of Hazard Plotting for Censored Failure Data. *Technometrics*, 42, 12-25.
- [8] RAUSAND, M. & VATN, J. 2008. Reliability Centred Maintenance. *Complex System Maintenance Handbook*. Springer London.

طراحی و امکان سنجی ساخت یک بالابر خودکششی چند منظوره جهت انتقال بار و همراه

حسن رادمرد^{۱*}، محمد برهمند^۲

^۱عضو هیئت علمی، دانشکده علوم و مهندسی دفاعی، دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع)، تهران، ایران.
^۲کارشناس ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۱/۲۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۵/۱۹

چکیده:

امروزه، با توجه به نامتقارن بودن جنگ‌ها و لزوم وجود سرعت عمل در حضور و تغییر مکان نیروها و همچنین قرار گرفتن نیروهای نظامی در شرایط مختلف عملیاتی، دارا بودن تجهیزات نوین و داشتن علم به کارگیری آن‌ها، از ضرورت‌های اساسی به شمار می‌رود. یکی از این تجهیزات نوین جنگی، سیستم بالابر یا سیستم کشنده‌ی قابل حمل است. در این کار سعی شده است که با طراحی، شبیه سازی و تحلیل یک سیستم با وزن کم و همچنین استفاده از باتری به عنوان منبع ذخیره انرژی برای تأمین انرژی لازم برای جابجایی، گامی رو به جلو در جهت پیشرفت و بهبود امداد رسانی و تجهیزات کمکی برداشته شود. در این کار با طراحی و شبیه سازی یک جعبه دنده به همراه پوسته آن و همچنین دیگر متعلقات لازم برای ساخت یک بالابر، سعی شده است که اطلاعات و همچنین دانش اولیه لازم برای ساخت یک نمونه اولیه از یک بالابر خودکششی را کسب کرد.

واژه های کلیدی: بالابر خودکششی، طراحی، بهینه سازی، سیستم ضد قفل، Solidworks، Kiss Soft

* نویسنده مسئول: Hassan.radmard@gmail.com





۱- مقدمه

بالابر خودکششی با استفاده از قابلیت و توان بالای خود می‌تواند در بالا رفتن از ناوها و کشتی‌های جنگی، بالا رفتن از ساختمان‌ها، جابجایی سریع نیرو در مناطق کوهستانی، حمل بار و ساز و برگ جنگی، بالا کشیدن اشیاء مغروق در دریا و غیره مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این در کاربردهای غیرنظامی نظیر حمل بار و امداد رسانی در مناطق صعب‌العبور، جابجایی سریع عمودی نفر در مناطق غیرشهری و دور از دسترس، عبور نفر و تجهیزات از رودخانه در نواحی فاقد پل، تمیزکاری نمای برج‌ها و غیره نیز کاربرد خواهد داشت.

سیستم‌های بالابر موجود در داخل کشور عموماً از نوع ثابت و دارای وزن زیاد می‌باشند که قابلیت جابجایی توسط یک نیرو را نداشته و همچنین به برق شهری نیاز دارند. در این کار سعی شده است که با طراحی یک سیستم با وزن کم و همچنین استفاده از باتری به‌عنوان منبع ذخیره انرژی برای تأمین انرژی لازم برای جابجایی استفاده شود. استفاده از باتری موجب کاهش صدای بالابر می‌شود که در بسیاری از مواقع به رعایت اصل غافلگیری کمک خواهد کرد. همان‌طور که ذکر شد، سیستم‌های موجود تنها به سیستم‌های دستی و دستگاه‌های سنگین محدود می‌شوند. البته دستگاه‌های موجود که قابلیت دسترسی به اطلاعات آن‌ها وجود داشته باشد، برای کاربرد غیرنظامی تهیه شده و به کار می‌روند.

در کشورهای دیگر چنین دستگاه‌هایی برای کاربرد نظامی نیز ساخته شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند، که تصویر یک نمونه از این بالابرها در شکل ۱ نشان داده شده است. اما امکان خرید این دستگاه‌ها یا دسترسی به اطلاعات آن‌ها ممکن نبوده و ضرورت طراحی و ساخت این امکانات در داخل کشور وجود دارد.

موتور مورد استفاده برای این بالابر بایستی دارای منبع انرژی از نوع جریان مستقیم (به دلیل قابلیت جابجایی بالابر)، اندازه و وزن کم، توانایی ایجاد گشتاور بالا، دانسیته قدرت بالا، نویز کم تر نسبت به سایر موتورها، قابلیت کنترل سرعت و قیمت مناسب باشد. با توجه به مطالب فوق و همچنین موتورهای موجود، می‌توان نتیجه گرفت که یک موتور الکتریکی جریان مستقیم بدون جاروبک انتخاب مناسبی برای این کار می‌باشد [۱ و ۲].



شکل ۱- یک نمونه دستگاه بالابر خودکششی ساخت نروژ.

باتری موردنظر جهت تأمین نیرو محرکه موتور جریان مستقیم بالابر خودکششی بایستی دارای مشخصات وزن کم، چگالی انرژی بالا، توان خروجی بالا، ظرفیت انرژی مناسب، کارایی بالا در شارژ و دشارژ شدن، در دسترس بودن و همچنین قیمت مناسب باشد. با توجه به مطالب فوق و باتری‌های موجود در بازار، می‌توان نتیجه گرفت که مناسب‌ترین باتری جهت استفاده در این بالابر باتری از نوع لیتیوم-یون می‌باشد [۳ و ۴].



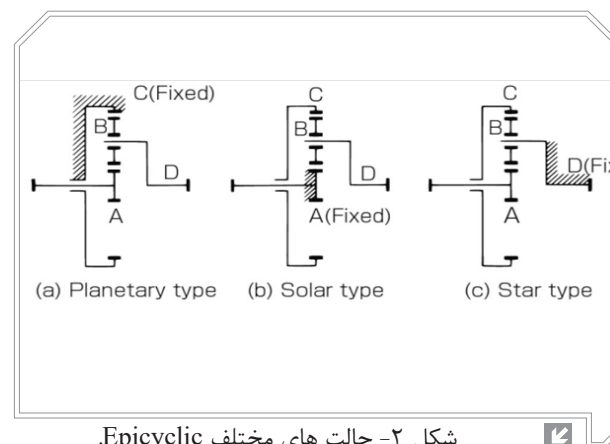
مهم ترین بخش این بالابر قسمت جعبه دنده آن می باشد که در ادامه به معرفی و قابلیت های این جعبه دنده پرداخته خواهد شد. یکی از قسمت های منحصربه فرد این بالابر استفاده از یک سیستم قفل اضطراری درون قفل می باشد که از طریق نیروی گریز از مرکز فعال می شود. درواقع اصلی ترین مزیت این کار، کسب دانش فنی و امکان سنجی ساخت یک بالابر خودکششی تاکتیکال است که برای اولین بار در کشور انجام شده است.

۲- جعبه دنده

یکی از ویژگی های طراحی در علم مهندسی مکانیک وابستگی متقابل اجزاء مختلف سیستم های مکانیکی است. به عنوان مثال در طراحی یک جعبه دنده، تغییر چرخ دنده ساده یک شافت به یک چرخ دنده مارپیچ موجب افزایش مؤلفه محوری نیروی وارد به شافت می شود که این به نوبه خود می تواند موجب تغییر کلی شافت، اندازه و یا نوع یاتاقان های شافت شود. حتی برای یک قطعه لازم است که حالت های گوناگون شکست مکانیکی آن مانند تغییر شکل بیش از حد، تسلیم استاتیکی، شکست خستگی، تنش های تماسی و خواص مواد به کار رفته را در نظر گرفت؛ بنابراین فرآیند طراحی پروسه ای پیچیده، حساس و دقیق می باشد و اولین گام برای داشتن یک طراحی خوب انتخاب صحیح استاندارد معیار مناسب می باشد. دو استاندارد مهم برای طراحی جعبه دنده، استاندارد ISO و AGMA می باشد. این استانداردها، استانداردهای کلی جعبه دنده می باشند و برای طراحی بخش های مختلف مانند چرخ دنده، محور، خار و پوسته از آن ها استفاده می شود. باید توجه داشت که در سیستم های بالا جعبه دنده به صورت کاهنده عمل می کند؛ اگر جای خروجی و ورودی عوض شود جعبه دنده به صورت افزایش دهنده خواهد بود. در طراحی جعبه دنده این بالابر از چرخ دنده Epicyclic و از نوع planetary استفاده می شود (شکل ۲) و علت آن دلایل زیر می باشد:

(۱) این نوع چرخ دنده گشتاور بیشتری را به دلیل نسبت تماس بیشتر تحمل خواهد کرد.

(۲) به وسیله سیستم سیاره ای می توان نسبت دور را حدود ۶ تا ۶/۵ برابر مرحله اول کاهش داد که انتقال چنین نسبت دوری با چرخ دنده های دیگر باعث می شود که ابعاد چرخ دنده بسیار بزرگ شود.



شکل ۲- حالت های مختلف Epicyclic

با توجه به مطالب بالا، در طراحی بالابر خودکششی مدنظر از یک چرخ دنده سیاره ای کاهنده ۱:۶ استفاده شده است. شمای کلی مجموعه چرخ دنده سیاره ای به کار رفته برای این بالابر در شکل ۳ نشان داده شده است. چرخ دنده های موجود در این کار از نوع ساده می باشند که از جمله مهم ترین معادلات حاکم بر آن عبارتند از [۵]:



نسبت دور در چرخ‌دنده ساده:

$$N_1/N_2 = n_2/n_1$$

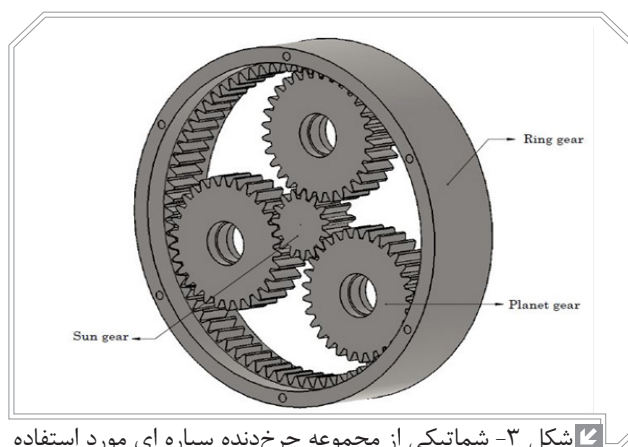
که در معادله بالا N و n به ترتیب به معنی تعداد دندانه سرعت دوران می باشند و همچنین زیروندهای ۱ و ۲ علامت مشخصه چرخ‌دنده اول و دوم می باشند.

مدول:

$$m=d/N$$

که d در این معادله بیانگر قطر دایره گام می باشد.

زاویه بین خط عمود بر خط مماس بر دایره مبنا روی خط تماس و خطی که مراکز دو چرخ‌دنده را به هم وصل می کند، می باشد. زاویه فشار را به‌طور معمول ۲۰ درجه در نظر می گیرند. البته در گذشته زاویه فشار را ۱۴/۵ درجه نیز در نظر می گرفتند.



شکل ۳- شماتیکی از مجموعه چرخ‌دنده سیاره ای مورد استفاده در این بالابر.

اندازه ضخامت چرخ‌دنده یکی از جنبه های مهم در طراحی چرخ‌دنده می باشد. اگر ضخامت دنده خیلی بزرگ باشد، امکان دارد که باربر روی یکی از گوشه های دنده متمرکز شود که این ناشی از عدم هم تراز، تغییرات الاستیکی شفت و... باشد؛ و در صورتی که ضخامت چرخ‌دنده خیلی کم باشد، چرخ‌دنده ظرفیت پائینی برای بارهای ضربه ای و لرزشی و سرعت های بالا خواهد داشت. با توجه به مطالعات تجربی، مقدار بهینه ضخامت برای ضخامت چرخ‌دنده ۸ تا ۱۰ برابر مدول می باشد [۶].

نسبت انتقال سرعت در چرخ‌دنده سیاره ای، از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$TR=1+(N_R/N_s)$$

که در معادله بالا TR بیانگر نسبت انتقال و همچنین N_R و N_s به ترتیب نشان‌دهنده تعداد دندانه چرخ‌دنده Ring و Sun می باشند. روابط زیر نیز بین دندانه ها و قطر چرخ‌دنده‌ها برقرار می باشد.

$$N_R=2N_p+N_s$$

$$d_R=2d_p+d_s$$

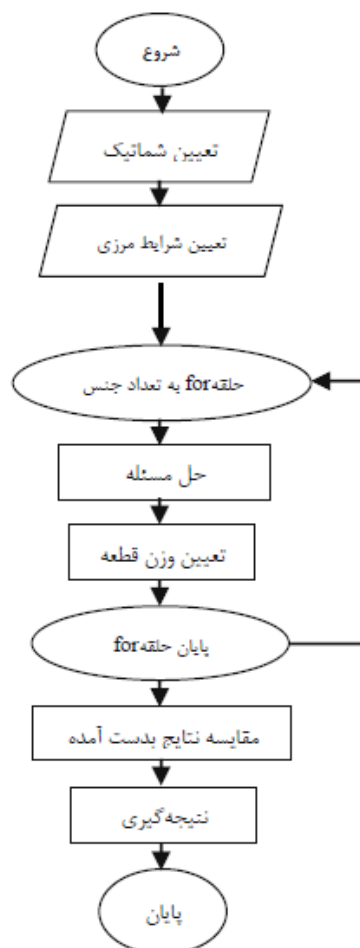
در ابتدا جعبه‌دنده طراحی شده دارای یک سیستم چرخ‌دنده سیاره ای با چهار سیاره بود حل ها و بررسی های متعددی انجام شد و مشخص شد که فاصله سیاره ها برای سرعت زاویه ای مدنظر، کم بوده و امکان برخورد سیاره ها وجود دارد به همین دلیل طراحی با سه سیاره انجام شد. مجموعه چرخ‌دنده‌های سیاره ای به کار رفته در این جعبه‌دنده دارای مشخصات زیر می باشد (جدول ۱).



جدول ۱- مشخصات کلی مجموعه چرخ‌دنده سیاره ای.

پارامتر	Sun Gear	Planet Gear	Ring Gear
مدول	۲	۲	۲
تعداد دندانه	۱۵	۳۰	۷۵
قطر دایره گام (mm)	۳۰	۶۰	۱۵۰
ضخامت چرخ‌دنده (mm)	۱۶	۱۶	۱۶
زاویه فشار	۲۰°	۲۰°	۲۰°

برای شروع بهینه سازی سیستم ابتدا شماتیک قطعه موردنظر تعیین خواهد شد و بعد از تعیین شرایط مرزی و اهداف مسئله، با استفاده از کد نویسی و به کارگیری معادلات موجود در استاندارد ANSI/AGMA-2001-D۰۴ [۷] به محاسبه ضرایب اطمینان خمشی و سایشی پرداخته خواهد شد؛ و بعد از تحلیل استاتیکی قطعه در قسمت سیمولینک نرم افزار سالید ورک (از سال ۲۰۰۹ به بعد ابزار simulation به نرم افزار سالید ورک اضافه شده است) مشخصات هریک از قطعه ها به دست خواهد آمد. روند انجام کار مطابق فلوچارت شکل ۴ می باشد.



شکل ۴- فلوچارت مربوط به انتخاب جنس بهینه برای چرخ‌دنده‌ها.





در بخش مربوط به حل مسئله و به دست آوردن ابعاد اولیه برای مجموعه چرخ‌دنده سیاره‌ای، ابتدا مشخصات اولیه‌ای که بتواند یک چرخ‌دنده سیاره‌ای کاهنده با مشخصات مدنظر را به ما بدهد انتخاب می‌کنیم و سپس ضرایب اطمینان خمشی و سایشی محاسبه خواهد شد. پس از پایان مراحل مشخصات قطعه‌ای که دارای ضریب اطمینان بیشتر از ۱/۲ و همچنین وزن کمتر باشد، به‌عنوان جنس و قطعه بهینه انتخاب می‌شود. چرخ‌دنده داخلی (Ring) به دلیل ابعاد بزرگی که دارد، دچار آسیب نمی‌شود و بحرانی نیست به همین دلیل درگیری Sun/Planet که بحرانی‌تر است مورد بررسی قرار گرفته می‌شود و در انتها مشخصات چرخ‌دنده داخلی با توجه به معادلات و مشخصات چرخ‌دنده‌های Sun و Planet محاسبه خواهد شد.

برای شروع روند طراحی، ابتدا بایستی برای خروجی مجموعه چرخ‌دنده سیاره‌ای یک هدف تعیین شود تا بتوان طراحی را شروع کرد که این مقادیر هدف با توجه به خروجی مدنظر از بالابر تعیین می‌شوند. ورودی چرخ‌دنده خورشیدی دارای سرعت ۱۰۰۰ rpm و گشتاور ۹ N.m می‌باشد.

برای محاسبه ضرایب اطمینان خمشی و سایشی از معادلات زیر استفاده خواهد شد.

ضریب اطمینان سایشی:

$$S_H = (S_c Z_N C_H / K_T K_R) / \sigma_c$$

ضریب اطمینان خمشی:

$$S_F = (S_t Y_N / K_T K_R) / \sigma$$

ضرایب اطمینان برای تمام مواد موردنظر به دست آمد و سپس قطعه با جنس $^{42}\text{CrMo}$ به‌عنوان جنس بهینه انتخاب شد. این آلیاژ از فولاد دارای ضریب کشسانی برابر $E=210 \text{ GPa}$ و ضریب پواسن $\nu=0.280$ می‌باشد. برای محاسبه پارامترهای موجود در دو فرمول مراحل و نمودارهای زیادی نیاز هست که در مرجع [۷] به‌طور مفصل توضیح داده شده و در جدول ۲ صرفاً مقادیر این پارامترها ارائه شده است.

جدول ۲- نتایج نهایی محاسبات چرخ‌دنده‌ها.

ضرایب	پنیون (Sun)	گیر (Planet)
C_p	۱۸۹/۸۱۱	۱۸۹/۸۱۱
W_t	۶۱۹/۶۸	۲۵۵/۸۴
K_o	۱/۵	۱/۵
K_v	۱/۱۵	۱/۱۵
K_s	۱	۱
K_m	۱/۱۱	۱
C_f	۱	۱
I	۰/۱۰۷	۰/۱۰۷
S_c	۱۵۰۰	۱۵۰۰
C_H	۱	۱

ضرایب	پنیون (Sun)	گیر (Planet)
K_T	۱	۱
K_R	۱	۱
Z_N	۰/۷۴۹۶	۰/۷۷۹۰
St	۴۳۰	۴۳۰
K_B	۱	۱
J	۰/۲۵	۰/۳۴
Y_N	۰/۸۵	۰/۸۶
S_H	۱/۲۳۲	۲/۱۱
S_F	۲/۴۶	۹/۲۲۵

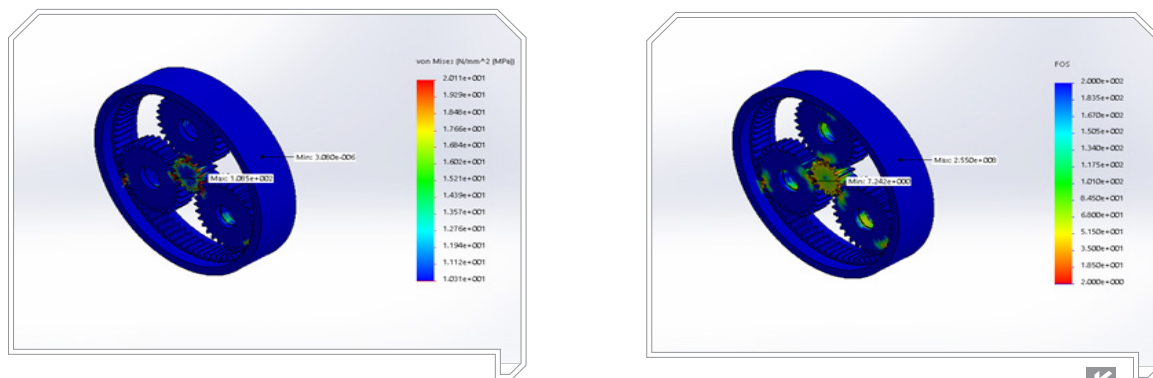


برای تحلیل استاتیکی مجموعه چرخ‌دنده سیاره ای از روش المان محدود و از طریق نرم افزار سالیید ورک انجام شده است. نحوه بارگذاری بدین ترتیب است که چرخ‌دنده Ring در محل خود ثابت شده و چرخ‌دنده‌های Sun و Planet حول محور خود مقید شده اند و سپس گشتاور موردنظر به محور چرخ‌دنده سیاره ای وارد می شود. نمونه مش‌بندی شده از این مجموعه در شکل ۵ نشان داده شده است.

در شکل (۶-الف) توزیع تنش فون مایسز برای چرخ‌دنده‌های درگیر نشان داده شده که تنش ماکزیمم $108/5$ می باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود برای هریک از چرخ‌دنده‌ها تنش ماکزیمم از تنش تسلیم برای ماده $42CrMo_5$ کمتر می باشد (تنش تسلیم و شکست برای این ماده به ترتیب برابر 900 و 1100 مگاپاسکال است). در شکل (۶-ب) توزیع ضریب اطمینان نشان داده شده و همان‌طور که مشاهده می شود ضریب اطمینان همواره بالاتر از $7/49$ می باشد.



شکل ۵- نمونه مش بندی شده.



شکل ۶- (الف) توزیع تنش و (ب) توزیع ضریب اطمینان برای مجموعه چرخ‌دنده.

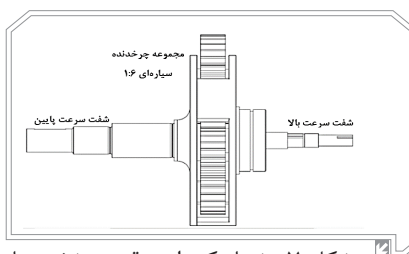
پس از محاسبات و طراحی مربوط به چرخ‌دنده‌های موجود در این بالابر نوبت به تحلیل و بررسی شفت های ورودی و خروجی از مجموعه چرخ‌دنده خورشیدی می شود. برای انجام طراحی و محاسبات شفت از استاندارد DIN ۲۴۳ به‌عنوان مرجع استفاده شده است [۸]. برای طراحی و بهینه سازی این شفت ها از نرم افزار KissSoft که یکی از قدرتمند ترین نرم افزارهای موجود برای تحلیل شفت ها می‌باشد استفاده شده است. روند بهینه سازی برای این شفت ها دقیقاً مشابه چرخ‌دنده‌ها می باشد با این تفاوت که برای حل مسئله از نرم افزار KissSoft استفاده شده است. موقعیت شفت ها نسبت به مجموعه چرخ‌دنده خورشیدی در شکل ۷ نشان داده شده است. مقاطع بحرانی و همچنین محل قرارگیری یاتاقان ها بر روی شفت در شکل ۸ نشان داده شده است؛ و همچنین ضرایب اطمینان برای تسلیم و شکست در برابر بارهای وارده در جدول ۳ نشان داده شده است.



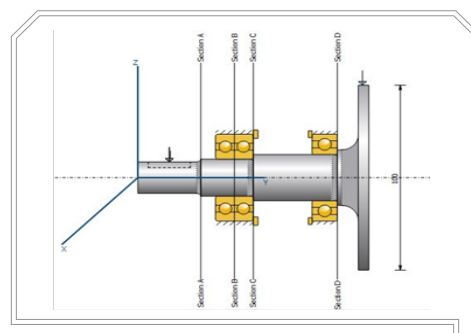
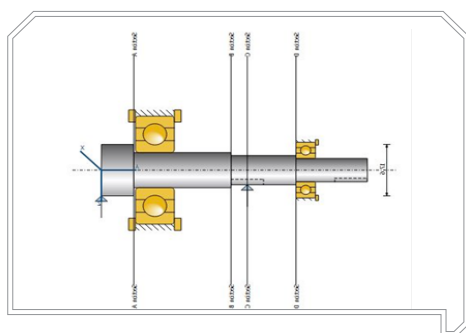


جدول ۳- ضرایب اطمینان در برابر تسلیم و شکست برای مقاطع بحرانی.

ضریب اطمینان در برابر شکست	ضریب اطمینان در برابر تسلیم	مقطع	شفت
۳/۴۶۸	۴/۱۶۷	A	شفت سرعت پایین
		B	
		C	
		D	
۴/۹۲۴	۱۳/۳۵۶	A	شفت سرعت بالا
		B	
		C	



شکل ۷- شماتیکی از موقعیت شفت‌ها نسبت به مجموعه چرخدنده سیاره‌ای.



شکل ۸- مقاطع بحرانی شفت‌های سرعت بالا و سرعت پایین.

در یاتاقان‌ها انتقال بار اصلی توسط اجزایی که در تماس غلتشی با یکدیگر هستند، صورت می‌گیرد. با توجه به قطر محور ها و نیروهای شعاعی و محوری می‌توان یاتاقان موردنظر را انتخاب کرد. انتخاب یاتاقان امری مهم و حساس است زیرا در صورت عدم تحمل نیروهای وارده دچار شکست می‌شود. طراحی یاتاقان باید به گونه‌ای باشد که در فضایی که اندازه‌های آن از پیش مشخص شده است به راحتی جا زده شود و بتواند بارهایی با ویژگی‌های معین را تحمل کند. همچنین طراحی یاتاقان باید طوری باشد که در شرایط کاری معین، عمر قابل قبولی داشته باشد [۹].

بزرگ‌ترین تولیدکننده‌های یاتاقان دو شرکت SKF و FAG هستند. یاتاقان‌ها در این جعبه دنده به دلیل استحکام بالایشان از شرکت SKF انتخاب شده‌اند. مشخصات یاتاقان‌های بکار رفته در جدول ۴ نشان داده شده است.



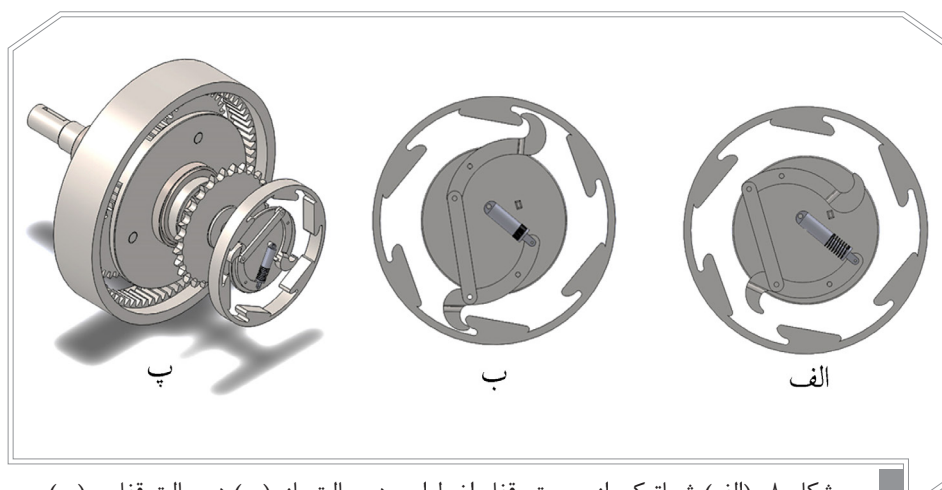
جدول ۴- مشخصات یاتاقان های بکار رفته بر روی شفت های سرعت بالا و سرعت پایین.

عمر یاتاقان (h)	قطر خارجی (mm)	قطر داخلی (mm)	نوع یاتاقان	یاتاقان	شفت
۲۹۱۱۹	۴۷	۲۰	SKF 4204 ATN ^۹	A	سرعت پایین
۱۲۰۲۱۷	۴۷	۲۵	SKF 6005	B	
>۱۰۰۰۰۰	۳۷	۱۲	SKF 6301-2z	C	سرعت بالا
>۱۰۰۰۰۰	۱۹	۸	SKF 6301/0- 2Z	D	

۳- سیستم قفل اضطراری

ایده طراحی این سیستم قفل اضطراری از سیستم قفل برخی آسانسورها گرفته شده است که کارکردی مکانیکی دارند. لذا سیستم قفل اضطراری برای این بالابر از نوع سیستم های قفل شونده از طریق نیروی گریز از مرکز می باشد؛ که شماتیک کلی آن در شکل ۸ نشان داده شده است. همان طور که در شکل ۸ (پ) نشان داده شده، محل قرارگیری این سیستم در انتهای شفت ورودی به چرخ دنده خورشیدی می باشد.

مکانیزم عملکرد این سیستم به این صورت است که اگر در بدترین حالت، زنجیر ارتباطی بین شفت سرعت بالا و موتور پاره شده یا به هر نحوی موتور الکتریکی توانایی ایجاد گشتاور لازم برای جلوگیری از هرز گشتن شفت درون جعبه دنده را نداشته باشد، این سیستم به صورت خودکار و به شکل مکانیکی عمل کرده و حرکت جعبه دنده را متوقف خواهد کرد.



شکل ۸- (الف) شماتیکی از سیستم قفل اضطراری در حالت باز، (ب) در حالت قفل و (پ) محل قرارگیری این سیستم.

برای شروع طراحی این سیستم ابتدا بایستی یک سرعت بحرانی برای سیستم در نظر گرفته شود که در آن سرعت سیستم قفل عمل کند. این سرعت بحرانی با توجه به مشخصات بالابر ۱۵۰ رادیان بر ثانیه در نظر گرفته شده است. با توجه به مراکز جرم قلاب ها و وزن آن ها و با در نظر گرفتن سرعت بحرانی برای این سیستم مقدار نیروی فنر برای این سیستم با استفاده از معادلات زیر محاسبه می شود.





$$F=m \times a$$

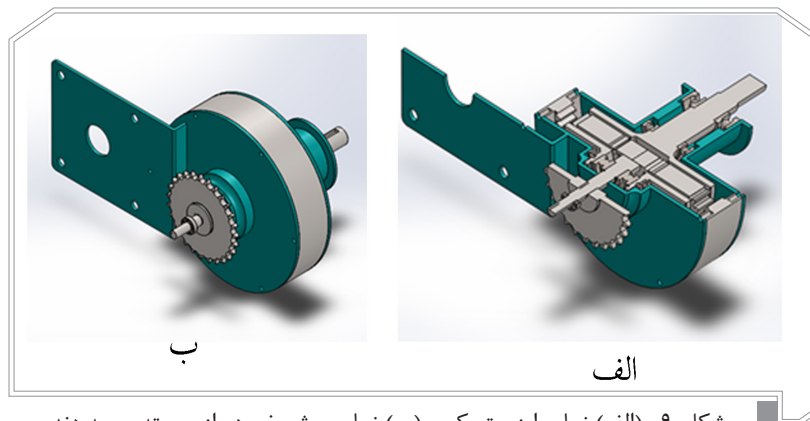
که در معادله بالا m جرم و a شتاب مرکز جرم قطعه موردنظر می باشد. با نوشتن معادلات تعادل نیرو برای هریک از اجزاء دوار این سیستم و انجام محاسبات تمام اجزاء، نیروی فشاری لازم فنر برای ایجاد تعادل ۱۱/۶۱ نیوتن محاسبه می باشد.

۴- سایر اجزاء بالابر

۴-۱- طراحی پوسته جعبه دنده:

بعد از مدل سازی تک تک قطعات جعبه دنده و مونتاژ مجموعه در محیط Assembly در نرم افزار سالیدورک، به طراحی پوسته پرداخته خواهد شد. هدف طراحی پوسته به گونه ای است که تمامی اجزاء قابلیت مونتاژ داشته باشند. برای این منظور پوسته جعبه دنده بایستی به صورت چند تکه طراحی شود. با توجه به موارد گفته شده، پوسته جعبه دنده طراحی شده برای این جعبه دنده از دو بخش اصلی تشکیل شده است که در شکل ۹ نشان داده شده است.

جنس عموم پوسته جعبه دنده های موجود از چدن می باشد؛ اما در این بالابر به دلیل مهم بودن وزن جعبه دنده، سعی شده است که از یک آلیاژ که دارای مقاومت بالا و همچنین چگالی پایین، استفاده شود. با توجه به بررسی های انجام شده از یک آلیاژ آلومینیوم که طبق استاندارد DIN دارای شماره مشخصه ۳،۳۵۴۹ (EN-AW 5182) استفاده شده است که دارای مقاومت کششی ۳۲۰ مگاپاسکال و مقاومت تسلیم ۳۸۰ مگاپاسکال می باشد. بارهای وارده به صورت شعاعی و محوری در نشیمن یا تاقان ها اعمال می شود. مقادیر بارها از نرم افزار KISSsoft به دست آمده است و در نشیمنگاه یا تاقان ها اعمال می شود.

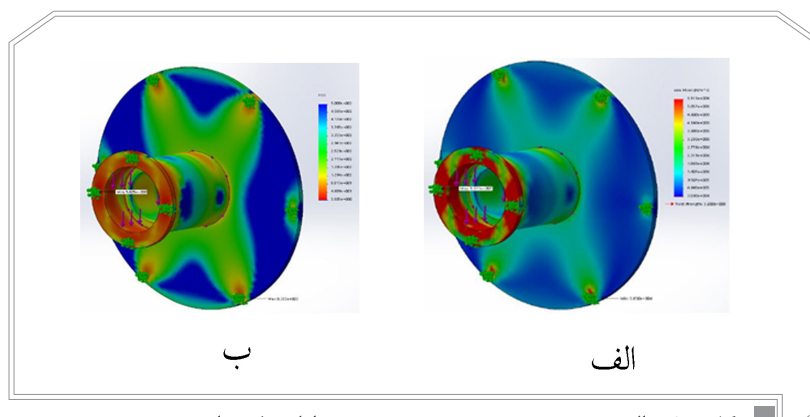


شکل ۹- (الف) نمای ایزومتریک و (ب) نمای برش خورده از پوسته جعبه دنده.

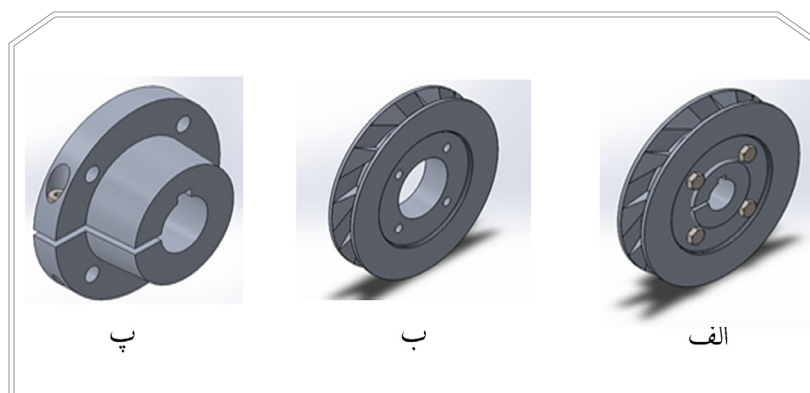
با توجه به هندسه جعبه دنده، نیروهای وارده به آن بخش از پوسته که بر روی شفت سرعت پایین قرار دارد بیشتر و بحرانی تر از قسمت دیگر پوسته می باشد، در ادامه تنها به بررسی بخشی که بحرانی تر است پرداخته خواهد شد. با توجه به شکل ۱۰ نتیجه می شود که ماکزیمم تنش مایسز وارده به پوسته ۵۵ مگاپاسکال بوده و همچنین کم ترین ضریب اطمینان برای این پوسته برابر ۵/۸ می باشد.

۴-۲- مجموعه پولی و بوشینگ و طناب:

بوشینگ بایستی به نحوی طراحی شود که توانایی نگه داشتن و انتقال گشتاور تولیدی از پولی به شفت را داشته باشد. طراحی بوشینگ به نحوی انجام شده است که ابتدا با استفاده از یک پیچ به صورت موقت بر روی شفت محکم می شود و سپس با توجه به هندسه ای که دارد با محکم کردن پولی بر روی سطح آن، بر روی شفت محکم می شود (شکل ۱۱-الف).



شکل ۱۰- (الف) توزیع تنش و (ب) توزیع ضریب اطمینان برای پوسته جعبه دنده.



شکل ۱۱- نمایی ایزومتریک از (الف) پوشینگ (ب) پولی و (پ) شماتیک سر همبندی شده پوشینگ و پولی.

پولی برای این بالابر بایستی به نحوی باشد که بتواند طناب را بر روی خود نگه دارد. پولی طراحی شده به شکل ۱۱(ب) می-باشد که با توجه به طراحی درونی پولی به نحوی است که ضریب اصطکاک را درون پولی افزایش می دهد و با توجه به چرخش ۳۶۰ درجه ای طناب حول پولی موجب عدم لغزش طناب حول پولی می شود. شکل (۱۱-پ) نیز نمای سر همبندی شده-ی مجموعه پولی و پوشینگ می باشد.

برای انتخاب طناب ابتدا بایستی به ابعاد و اندازه های پولی توجه شود. با توجه به ابعاد و اندازه های پولی طراحی شده و همچنین عملکرد قابل انتظار برای طناب مورد استفاده برای این نوع از بالابر، بایستی طناب مناسب این کار انتخاب شود. طناب انتخاب شده برای این بالابر از نوع طناب استاتیکی می باشد؛ و با توجه به بررسی های انجام شده طنابی با مشخصات جدول ۵ برای این بالابر انتخاب شده است.

جدول ۵- مشخصات طناب مورد استفاده برای این بالابر.

استحکام (KN)	وزن (g/m)	قطر (mm)
۳۰/۴	۶۹	۱۰





۵- تحلیل اقتصادی

برای تحلیل اقتصادی این بالابر، آن را به پنج بخش اصلی شامل:

- جعبه دنده به همراه پوسته آن

- موتور

- باتری

- بدنه بالابر

- سیستم کنترل الکتریکی

هزینه ساخت این بالابر برحسب دلار محاسبه شده است و علت این امر نوسانات بازار در خرید قطعاتی نظیر یاتاقان ها، موتور الکتریکی، باتری و همچنین تهیه متریال مورد استفاده در این کار می باشد. لازم به ذکر است که هزینه ماشین کاری برای هر ساعت، معادل ۱۰۰۰۰۰ تومان در نظر گرفته شده است که برحسب دلار معادل سازی شده است.

برای محاسبه یک هزینه اولیه برای ساخت جعبه دنده و همچنین بدنه بالابر، از نرم افزار سالیدورک استفاده شده است. در این نرم افزار علاوه بر حجم مواد مورد استفاده برای ساخت هر قطعه، مدت زمان لازم برای ماشین کاری نیز قابل استخراج می باشد. با توجه به نتایج به دست آمده از نرم افزار سالیدورک که شامل حجم مواد و همچنین مدت زمان ماشین کاری و همچنین قیمت موتور و باتری با توجه به سایت های معتبر خارجی، مقادیر جدول ۶ برای تهیه نمونه اولیه از این بالابر به دست آمد است.

جدول ۶- مقادیر هزینه برای هر یک از بخش های بالابر.

قسمت	هزینه (دلار آمریکا)
ساخت جعبه دنده	۱۸۳۰
ساخت بدنه بالابر	۵۳۰
موتور	۳۴۲/۶۵
باتری	۱۲۰
سیستم کنترل الکتریکی	۳۰۰

با توجه به مقادیر بالا هزینه تمام شده برای نمونه اولیه از این بالابر مبلغی حدود ۳۲۰۰ دلار می باشد. با دقت در مقادیر جدول ۶ واضح است که عمده هزینه برای ساخت بالابر صرف ساخت جعبه دنده و بدنه بالابر می شود؛ لازم به ذکر است که قسمت عمده هزینه ساخت این دو بخش صرف ماشین کاری و آماده سازی آن ها می شود.

۶- نتایج

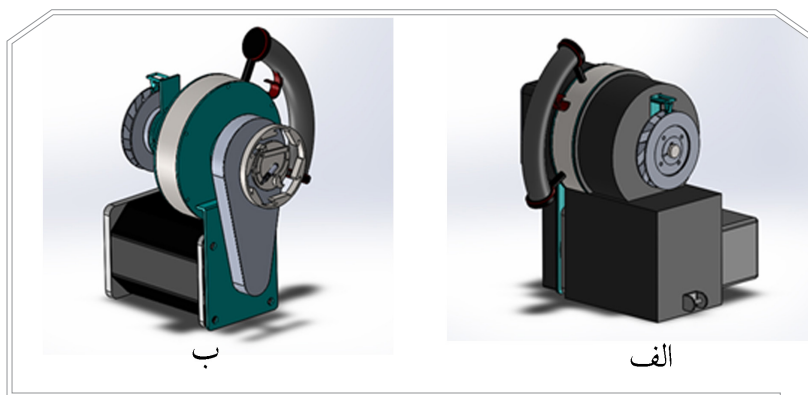
در این کار با طراحی و شبیه سازی یک جعبه دنده به همراه پوسته آن و همچنین دیگر متعلقات لازم برای ساخت یک بالابر، سعی شده است که اطلاعات و همچنین دانش اولیه لازم برای ساخت یک نمونه اولیه از یک بالابر خودکششی را کسب گردد. همچنین یک سیستم درون قفل شو نیز برای این بالابر در نظر گرفته شده است که در نوع خود منحصر به فرد است. در شکل های ۱۲ نماهای مختلفی از این بالابر در محیط Assembly در نرم افزار SolidWorks نشان داده شده است.



مشخصات قسمت ها و اجزاء مختلف این بالابر در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷- مشخصات اجزاء بالابر.

حداکثر وزن بار قابل حمل	۱۶۰ Kg	
موتور	وزن	۴ Kg
	ولتاژ	۴۸ V
	دور موتور	۴۲۰۰ rpm
	گشتاور	۳/۲ N.m
جعبه دنده	۱:۱۸ کاهنده	
سرعت جابجایی بار	۳۶ m/min	
وزن بالابر	۱۱/۵ Kg (بدون باتری)	
باتری	وزن	۲/Kg۶
	ولتاژ	۴۸ V
	آمپرساعت	۱۲ Ah
طناب	طناب با قطر ۱۰ میلی متر	
ابعاد بالابر (طول * عرض * ارتفاع)	(۲۸۰ * ۱۹۰ * ۲۵۰) Mm	



شکل ۱۲- نماهای مختلفی از بالابر طراحی شده.



مراجع

- [1] Chau, K. T. Ching Chuen Chan, and Chunhua Liu. "Overview of permanent-magnet brushless drives for electric and hybrid electric vehicles." IEEE Transactions on industrial electronics 55, no. 6 (2008): 2246-2257.
- [2] Grigsby, Leonard L. The electric power engineering handbook. CRC Press, 2000.
- [3] Buchmann, Isidor. Batteries in a portable world: a handbook on rechargeable batteries for non-engineers. Richmond: Cadex Electronics, 2001.
- [4] Ozawa, Kazunori, ed. Lithium Ion Rechargeable Batteries: Materials, Technology, and New Applications. John Wiley & Sons, 2012.
- [5] Dudley, Darle W. Gear handbook: the design, manufacture, and application of gears. McGraw Hill Higher Education, 1962.
- [6] <https://nptel.ac.in/courses/116102012/50#>
- [7] American National Standard, Standard for spur, helical, herringbone and bevel enclosed drive. (ANSI/AGMA 2001-D04 and 2101-D04).
- [8] Deutches Institiut for norming, Calculation of shaft. (DIN243).
- [9] Souchi YAGA, Bearings for wind turbine, NTN technical review No.2.(2004)

انتخاب سیاست بهینه سیستم نگهداری تعمیرات با استفاده از مدل AHP فازی

سید عباس صفوی^{۱*}، امید معتمدی^۲، جواد غلامی^۲، محمد اسماعیل گلرخی^۴

^۱ کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، گروه صنایع، دانشگاه امام حسین(ع)، تهران، ایران.
^۲ دانشجوی دکتری مهندسی صنایع و سیستم ها، گروه صنایع، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
^۳ دانشجوی دکتری مهندسی تبدیل انرژی، گروه مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.
^۴ کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، گروه صنایع، دانشگاه امام حسین(ع)، تهران، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۰۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۱۸

چکیده:

با پیشرفت تکنولوژی و افزایش سرمایه‌گذاری‌ها بر روی ماشین‌آلات، اهمیت و پیچیدگی مدیریت افزایش یافته است به گونه‌ای که سازمان‌ها تمایل به پرداخت هزینه در راستای استقرار نظام جامع نگهداری تعمیرات به جای پرداخت هزینه‌های ناشی از توقف و خرابی ماشین‌آلات را دارند لذا در این مقاله به بررسی و تعیین سیاست بهینه جهت استقرار نظام مدیریت نگهداری تعمیرات پرداخته شده است و با شناسایی انواع مدل‌های تعمیر اصلاحی، نگهداشت زمان‌بندی شده و نگهداشت اقتضائی و تعریف دو سناریو برون‌سپاری و اجرا توسط سازمان مربوطه به بررسی نقاط قوت و ضعف هر یک از آن‌ها در ۱۵ معیار پرداخته شده است، سپس با به کارگیری منطق فازی پرسشنامه‌ای در این خصوص تدوین شده است که بر اساس نتایج حاصل پرسشنامه‌های تکمیل شده و به کارگیری مدل AHP فازی، پیاده‌سازی هم‌زمان سیستم‌های تعمیر اصلاحی، نگهداشت زمان‌بندی شده و نگهداشت اقتضائی به صورت برون‌سپاری به عنوان مدل بهینه شناسایی شده است.

واژه‌های کلیدی: نگهداری و تعمیرات، AHP، منطق فازی

* نویسنده مسئول: Nasir.safavi@gmail.com





۱- مقدمه:

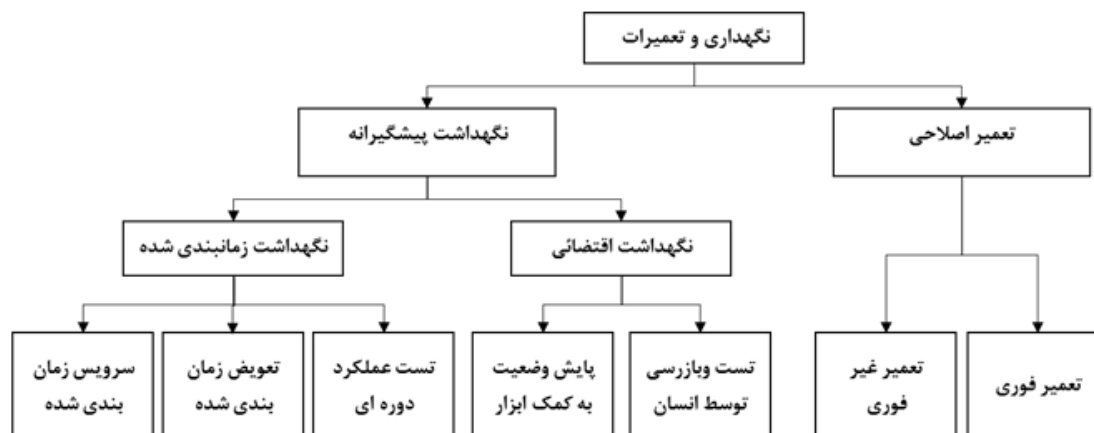
افزایش میزان سرمایه‌گذاری روی ماشین‌آلات و اتوماسیون صنعتی از یک سو و افزایش ارزش اقتصادی و مالی آن‌ها از سوی دیگر منجر به توجه بیشتر به راهکارهایی جهت افزایش طول عمر مفید تجهیزات تولیدی و طولانی کردن طول عمر اقتصادی آن‌ها شده است. از طرف دیگر رقابت شدید اقتصادی و فناوری پیچیده، اهمیت این موضوع را دوچندان نموده است، لذا داشتن سیستم یکپارچه جهت دستگاه‌ها امری ضروری می‌باشد. [۱]

به‌کارگیری سیستم خاص یک سازمان، می‌تواند نقش بسیار زیادی را در کاهش قیمت تمام شده محصول نهایی ایفا نماید، اما این تأثیرات تنها محدود به هزینه نبوده و در سرعت ارائه محصول در کل زنجیره تأمین، کیفیت محصول، قابلیت اطمینان، چابکی سازمان و عواملی از این دست نیز تأثیرات خاص خود را خواهد داشت، لذا بخش جدایی ناپذیر تولید است که می‌تواند اولویت‌های رقابتی یک سازمان را تحت تأثیر قرار دهد و عدم برنامه‌ریزی دقیق آن باعث بروز مشکلاتی از جمله کاهش عمر مفید تجهیزات به علت عدم انجام تعمیرات به موقع، افزایش حجم خرابی‌ها در سطوح مختلف سازمان و ایجاد صف انتظار در مراکز نگهداری و تعمیرات و بازسازی، کاهش قابلیت اطمینان تجهیزات و ضریب ایمنی آن‌ها، هدر رفتن منابع و از دست دادن فرصت‌ها و ... می‌شود. [۲]

به مجموعه برنامه‌ها و اقدامات به منظور نگهداشتن تجهیزات در سطح قابل قبول از نظر عملیاتی و یا بازگرداندن تجهیزات معیوب به چرخه استفاده و بهره‌برداری (نگهداری و تعمیرات)، اطلاق می‌شود و نتیجه مورد انتظار از این اقدامات ایجاد آمادگی، حفظ قابلیت عملیات، تداوم و استمرار عملیاتی و تجهیزات برای شرایط تعریف شده خواهد بود. [۳]

بر اساس استاندارد ۱۴۲۲۴ ویرایش ۱۶، ۲۰۱۶، نگهداری و تعمیرات به دو بخش نگهداشت پیشگیرانه^۱ و تعمیر اصلاحی^۲ تقسیم می‌شود که تعمیر اصلاحی بر دو نوع تعمیر فوری و تعمیر غیر فوری می‌باشد که در آن تعمیر فوری شامل کلیه فعالیت‌های اضطراری جهت برطرف کردن عواملی که منجر به توقف تولید (بعد از خرابی) شده است می‌باشد در حالی که فعالیت‌های مربوط به تعمیر غیر فوری از ضرورت کمتری برخوردار هستند.

از طرف دیگر نگهداشت پیشگیرانه خود بر دو حالت نگهداشت زمان‌بندی شده^۴ و نگهداشت اقتضائی^۵ می‌باشد که هر دو قبل از وقوع خرابی انجام می‌شوند. (شکل ۱ بیانگر انواع مدل‌های نگهداری و تعمیرات می‌باشد)



شکل ۱: انواع سیستم‌های نگهداری و تعمیرات.

¹ ISO 14224:2016

² Preventive Maintenance

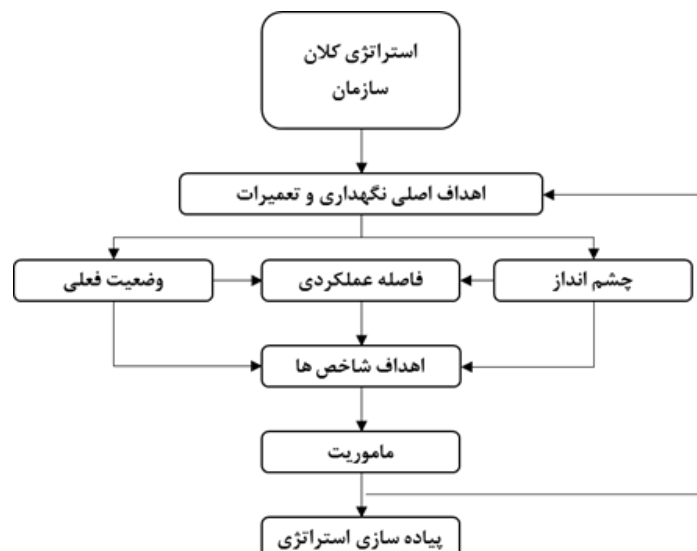
³ Corrective Maintenance

⁴ Periodic Maintenance

⁵ Condition Based Maintenance



فرایند مدیریت نگهداری و تعمیرات را میتوان به دو بخش تعریف استراتژی و پیاده‌سازی استراتژی تقسیم کرد. قسمت اول یعنی تعریف استراتژی، به تعریف اهداف نگهداری و تعمیرات به عنوان ورودی نیاز دارد. این اهداف مستقیماً از برنامه و طرح کسب‌وکار استخراج می‌شوند. (شکل ۲ بیانگر مدل استراتژی است) [۵]



شکل ۲: مدل استراتژی نگهداری و تعمیرات.

موفقیت نگهداری و تعمیرات در سازمان در گرو اجرای درست همین بخش از فرایند مدیریت نگهداری و تعمیرات است. هم‌چنین این قسمت میزان اثربخشی پیاده‌سازی طرح‌های نگهداری و تعمیرات، جدول‌های زمان‌بندی، کنترل‌ها و پیشرفت‌ها را مشخص می‌کند. توانایی دستیابی به یک استراتژی مؤثر در نگهداری و تعمیرات، نشانگر قابلیت سازمان در پیش‌بینی نیازمندی‌های متناسب با الزامات تولید می‌باشد. این مسئله امکان کاهش هزینه‌های غیرمستقیم را فراهم می‌آورد. هزینه‌های غیرمستقیم، هزینه‌های مرتبط با ضایعات تولید و در نهایت هزینه‌های عدم رضایت مشتری می‌باشند. اثربخشی بر این موضوع تأکید دارد که یک دپارتمان با عملکرد مشخص تا چه حد توانسته اهداف از پیش تعیین شده را برآورد نماید. این مفهوم اغلب به کیفیت خدمات ارائه شده از دیدگاه مشتری اشاره دارد. در مورد نگهداری و تعمیرات، اثربخشی می‌تواند نشانگر رضایت کلی سازمان از ظرفیت و دارایی‌هایش، یا کاهش ایجاد شده در هزینه‌های کلی سازمان به دلیل در دسترس بودن ظرفیت در مواقع لزوم باشد؛ بنابراین مفهوم اثربخشی بر انجام درست فرایند و تأمین نتایج مورد انتظار تأکید دارد. [۶]

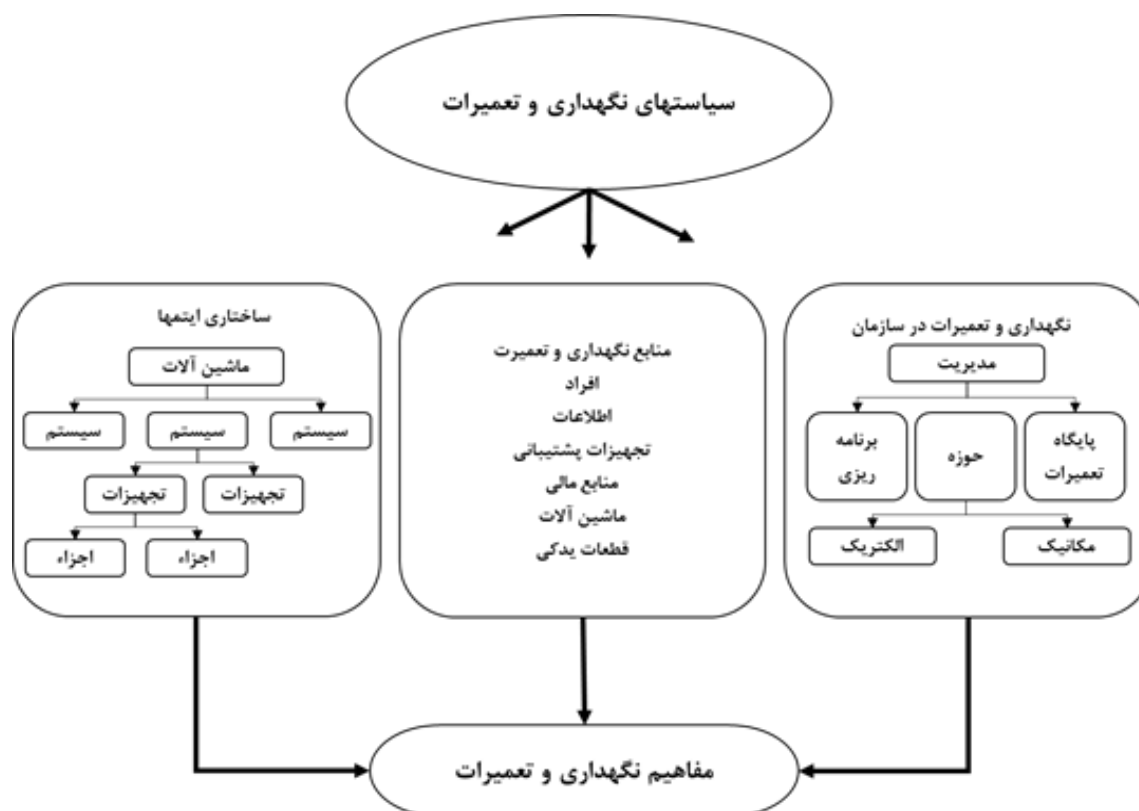
قسمت دوم فرایند مدیریت نگهداری و تعمیرات (پیاده‌سازی استراتژی انتخاب شده) از اهمیت بالایی برخوردار است. توانایی سازمان در پیاده‌سازی مدیریت نگهداری و تعمیرات (به عنوان مثال توانایی برای تضمین سطوح مهارت مناسب، تدارک صحیح کارها، ابزارهای مناسب و برآورد سازی جداول زمان‌بندی) امکان کاهش هزینه‌های مستقیم (نیروی انسانی و سایر منابع مورد نیاز نگهداری و تعمیرات) را فراهم می‌کند. در این قسمت از فرایند ما با مفهوم کارایی یا کارآمدی مدیریت سرو کار داریم که می‌تواند از اهمیت کمتری برخوردار باشد. کارایی به مفهوم انجام عمل یا تولید با کمترین ضایعات، هزینه و تلاش بیهوده است. این مفهوم به مقایسه کمیت خدمات ارائه شده با منابع مصرف شده می‌پردازد؛ بنابراین کارایی را می‌توان به عنوان فراهم‌سازی نگهداری و تعمیرات مشابه یا بهتر در ازای هزینه یکسان در نظر گرفت. [۷]

در هر صورت جالب است که بیشتر تحقیقات و پژوهش‌های انجام شده در زمینه مدیریت نگهداری و تعمیرات به بهبود و اصلاح بخش پیاده‌سازی این فرایند (برنامه‌ریزی، زمان‌بندی، کنترل و اصلاح) پرداخته‌اند و تلاش کمتری برای مطالعه فرایند





دستیابی به یک استراتژی اثربخش در نگهداری و تعمیرات صورت گرفته است. به همین خاطر در سازمان‌های نگهداری و تعمیرات به صورت مکرر با "انجام درست یک کار اساساً نادرست" مواجه می‌شویم. در بخش‌های بعدی توجه خاصی به این مطلب صورت گرفته است. با پیروی از مدل عمومی مدیریت نگهداری و تعمیرات، شکل ۳ نحوه شکل‌گیری و مبنای فلسفه نگهداری و تعمیرات را در سازمان نشان می‌دهد. [۸]



شکل ۳: نحوه شکل‌گیری و مبنای فلسفه نگهداری و تعمیرات.

از این رو در این مطالعه با به کارگیری مدل AHP فازی اقدام به تعیین سیاست بهینه نگهداری تعمیرات شده است.

۲- بدنه اصلی

مدل پیشنهادی شامل مدل AHP به صورت فازی می‌باشد که در این بخش بعد از معرفی روش AHP و منطق فازی به توضیح مدل پرداخته شده است و در ادامه نتایج حاصل از پیاده‌سازی مدل ارائه شده است.

۱-۲ مدل AHP

تاکنون روش‌های متعددی در مدیریت برای تصمیم‌گیری چند معیاره طرح شده‌اند که هر یک از آن‌ها دارای معایبی از جهت زمان، هزینه و جمود فکری بوده‌اند که از این بین روش AHP بر پایه مفاهیم ریاضی و با قابلیت تلفیق معیارهای کمی و کیفی جهت مقایسه گزینه‌های متعدد به‌عنوان یکی از بهترین روش‌های تصمیم‌گیری شناخته شده است. [۹] این روش در هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم‌گیری روبرو است می‌تواند استفاده گردد. معیارهای مطرح شده می‌توانند کمی و کیفی باشند. اساس کار این روش تصمیم‌گیری بر مقایسات زوجی نهفته است به گونه‌ای که



تصمیم گیرنده با فراهم آوردن درخت سلسله مراتبی تصمیم (شامل عوامل مورد مقایسه و گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی) مقایسات زوجی میان تمامی گزینه‌ها به ازای هر معیار را انجام می‌دهد. این مقایسات وزن هر یک از فاکتورها را در راستای گزینه‌های رقیب مشخص می‌سازد و در نهایت منطق AHP به گونه‌ای ماتریس‌های حاصل از مقایسات زوجی را با همدیگر تلفیق می‌سازد که تصمیم بهینه حاصل آید. [۱۰]

در این روش با در نظر گرفتن n گزینه و m معیار؛ ابتدا ماتریس مقایسات زوجی معیارهای مختلف از معادلت مختلف مطابق با معادله ذیل ساخته می‌شود.

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1m} \\ p_{21} & & & p_{2m} \\ . & & & . \\ . & & & . \\ p_{m1} & p_{m2} & \dots & p_{mm} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن همواره رابطه ذیل برقرار است.

$$P_{ik} = \frac{1}{P_{ki}} \quad \forall i, k = 1, 2, \dots, n \quad \text{رابطه ۲}$$

سپس با نرمال سازی ماتریس P ، ماتریس مقایسات زوجی نرمال شده حاصل می‌شود که درایه ki آن از روش ذیل محاسبه می‌شود.

$$P'_{ki} = \frac{P_{ki}}{\sum_{z=1}^m P_{zi}} \quad \text{رابطه ۳}$$

در نهایت وزن هر یک از معیارها از میانگین گیری اعداد مقابل ردیف آن معیار مطابق با معادله ذیل حاصل می‌شود.

$$W_i = \frac{\sum_{z=1}^m P'_{zi}}{m} \quad \text{رابطه ۴}$$

در ادامه به ازای هر معیار، یک بار ماتریس مقایسات زوجی جهت مقایسه گزینه‌های مختلف در آن معیار تشکیل داده می‌شود که برای i امین معیار به صورت ذیل می‌باشد.

$$a^i = \begin{bmatrix} a_{11}^i & a_{12}^i & \dots & a_{1n}^i \\ a_{21}^i & & & a_{2n}^i \\ . & & & . \\ . & & & . \\ a_{n1}^i & a_{n2}^i & \dots & a_{nn}^i \end{bmatrix} \quad \forall i = 1, 2, \dots, m \quad \text{رابطه ۵}$$





که در آن همواره رابطه ذیل برقرار است.

$$a_{jk}^i = \frac{1}{a_{ki}^i} \quad \forall i = 1, 2, \dots, m, \forall j, k = 1, 2, \dots, n \quad \text{رابطه ۶}$$

در این مرحله با نرمال سازی ماتریس مقایسات زوجی گزینه ها در معیار i ام و نمایش آن به صورت a'^i ، میزان برتری j امین گزینه در i امین معیار از معادله ذیل حاصل می شود. [۱۰]

$$R_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n a'_{kj}}{n} \quad \text{رابطه ۷}$$

و در نهایت میزان مطلوبیت j امین گزینه از معادله ذیل حاصل می شود و گزینه با بیشترین مطلوبیت به عنوان گزینه برتر انتخاب می شود.

$$U_j = \sum_{i=1}^m W_i R_{ij} \quad \text{رابطه ۸}$$

در پیاده سازی الگوریتم AHP همواره سخت ترین قسمت، تعریف ماتریس مقایسات زوجی می باشد که در آن افراد خبره می بایست میزان اختلاف گزینه های مختلف را با اعداد ۱ تا ۹ اعلام نمایند که این امر منجر به خطا می شود، لذا در این مطالعه از واژگان کیفی جهت اعلام نظر افراد خبره استفاده شده است که با استفاده از منطق فازی این واژگان کیفی به اعداد فازی تبدیل شده است که در ادامه به توضیح آن پرداخته شده است.

۲-۲ منطق فازی

منطق فازی توسط پروفسور لطفی زاده، استاد ایرانی الاصل دانشگاه برکلی، در سال ۱۹۶۵ در مقاله ای به نام مجموعه های فازی معرفی گردید. در این مقاله مجموعه های فازی به عنوان حدود و مرزهای غیردقیق معرفی شده بود. در سال ۱۹۷۴ پروفسور لطفی زاده عبارت منطق فازی را معرفی کرد. منطق فازی یک تئوری چند ارزشی بود که در آن به جای عبارت های آری، خیر یا درست، غلط که در مجموعه های معمولی به کار می رود، می توان از مقادیر بینابینی مانند کم، متوسط، زیاد و... استفاده کرد. ناتوانی روشهای تصمیم گیری معمولی برای در نظر گرفتن عدم قطعیت، راه را برای استفاده از روشهای تصمیم گیری فازی باز میکند. [۱۱] یکی از نواقص روش AHP، ناتوانی آن در لحاظ کردن عدم قطعیت ارجحیت و قضاوتها در ماتریس مقایسه ی زوجی معیارها می باشد. این نقص روش AHP با استفاده از منطق فازی در روش AHP فازی برطرف شده است و به جای در نظر گرفتن یک عدد صریح در مقایسه ی زوجی، محدوده ای از مقادیر برای لحاظ کردن عدم قطعیت در نظرات تصمیم گیرندگان لحاظ می شود. در این روش تصمیم گیرندگان می توانند مقادیری که میزان اطمینان آنها را منعکس می کنند انتخاب کنند. [۱۲]

لذا در این حالت به جای استفاده از اعداد ۱ تا ۹ از واژگان کیفی استفاده شده است و به هر واژه یک عدد فازی مثلثی مطابق با جدول ذیل نسبت داده شده است.



جدول ۱: عبارات کلامی استفاده شده در مدل.

کد	عبارت کلامی	اعداد فازی مثلثی
۱	ترجیح برابر	(۱, ۱, ۱)
۲	ترجیح کم تا متوسط	(۱, ۱, ۵, ۱, ۵)
۳	ترجیح متوسط	(۱, ۲, ۲)
۴	ترجیح متوسط تا زیاد	(۳, ۳, ۵, ۴)
۵	ترجیح زیاد	(۳, ۴, ۴, ۵)
۶	ترجیح زیاد تا خیلی زیاد	(۳, ۴, ۵, ۵)
۷	ترجیح خیلی زیاد	(۵, ۵, ۵, ۶)
۸	ترجیح خیلی زیاد تا کاملاً زیاد	(۵, ۶, ۷)
۹	ترجیح کاملاً زیاد	(۵, ۷, ۹)

که در آن اعداد فازی مثلثی از معادله ذیل پیروی می کنند.

$$M_{(l,m,u)} \rightarrow \mu_f(x) = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l} & l < x < m \\ \frac{u-x}{u-m} & m < x < u \\ 0 & OW \end{cases} \quad \text{رابطه ۹}$$

با در نظر گرفتن اعداد فازی مثلثی (M)، نرمال سازی ماتریس ها از معادله ذیل صورت می پذیرد.

$$P'_{ij} = \sum_{k=1}^m M_{kj}^i \otimes \left[\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m M_{kj}^i \right]^{-1} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

و به دنبال آن محاسبه وزن ها و میزان برتری هر گزینه در هر معیار از طریق جمع فازی محاسبه می شود و در نهایت میزان مطلوبیت هر یک از گزینه ها با استفاده از عملیات ضرب ماتریسی محاسبه می شود که در نهایت برای هر یک از گزینه ها به صورت دو عدد فازی M_1 و M_2 می باشد که میزان بزرگی هر یک از معادله ذیل حاصل می شود. [۱۳]





$$\forall \quad M_2 \geq M_1 = \mu_{M_1}(d) = \begin{cases} 1 & m_2 \geq m_1 \\ 0 & l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & Ow \end{cases} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

۳- پیاده‌سازی مدل

به‌منظور پیاده‌سازی مدل ابتدا باید گزینه‌ها و معیارهای انتخاب سیستم نگهداری تعمیرات مدنظر را تعیین نمود، در این راستا مطابق با مطالعات صورت گرفته و مطابق با شکل ۱ می‌توان سه حالت تعمیر اصلاحی، نگهداشت زمان‌بندی شده و نگهداشت اقتضائی را به‌عنوان مدل‌های نگهداری و تعمیرات در نظر گرفته، از این رو سه گزینه ۱- انجام فقط تعمیر اصلاحی، ۲- انجام هم‌زمان تعمیر اصلاحی و نگهداشت زمان‌بندی شده و ۳- انجام هم‌زمان تعمیر اصلاحی، نگهداشت زمان‌بندی شده و نگهداشت اقتضائی، پیش رو می‌باشد که به‌منظور انجام هر یک دو سناریو انجام توسط واحدهای داخلی یا برون‌سپاری پیش رو می‌باشد. از این رو در مسئله تعیین استراتژی با ۶ گزینه مواجه هستیم.

جدول ۲: گزینه‌های پیش رو در مسئله انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات.

کد	گزینه
A _۱	انجام فقط تعمیر اصلاحی توسط پرسنل داخلی
A _۲	انجام هم‌زمان تعمیر اصلاحی و نگهداشت زمان‌بندی شده توسط پرسنل داخلی
A _۳	انجام هم‌زمان تعمیر اصلاحی، نگهداشت زمان‌بندی شده و نگهداشت اقتضائی توسط پرسنل داخلی
A _۴	انجام فقط تعمیر اصلاحی از طریق برون‌سپاری
A _۵	انجام هم‌زمان تعمیر اصلاحی و نگهداشت زمان‌بندی شده از طریق برون‌سپاری
A _۶	انجام هم‌زمان تعمیر اصلاحی، نگهداشت زمان‌بندی شده و نگهداشت اقتضائی از طریق برون‌سپاری

از سوی دیگر در مرور ادبیات معیارهای متفاوتی برای انتخاب بهترین استراتژی انتخاب شده است که در چهار گروه هزینه، ریسک و ایمنی، بهره‌وری و مدیریت دانش تقسیم می‌شوند و به شرح ذیل می‌باشند.

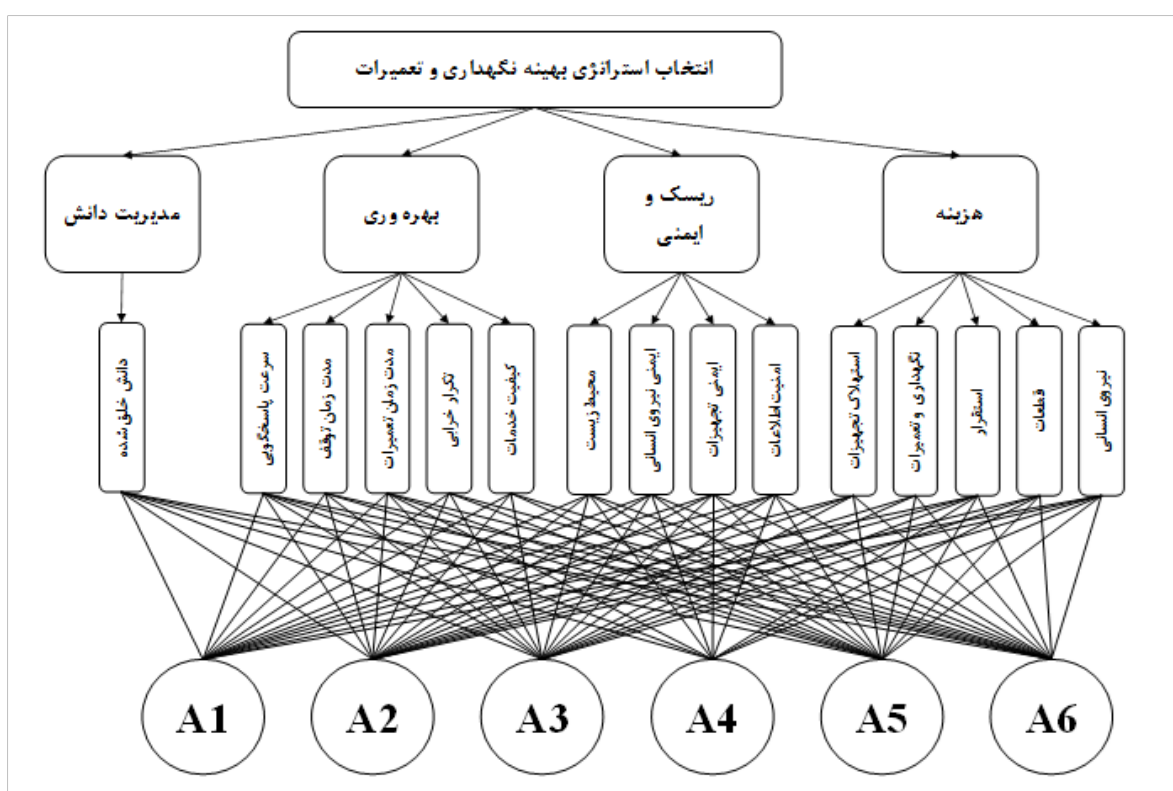
جدول ۳: معیارهای انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات.

کد	گروه	معیار
C _{۱۱}	هزینه	هزینه نیروی انسانی
C _{۱۲}	هزینه	هزینه قطعات
C _{۱۳}	هزینه	هزینه استقرار سیستم و نرم‌افزار مرتبط



کد	گروه	معیار
C_{14}	هزینه	سایر هزینه‌های نگهداری و تعمیرات
C_{15}	هزینه	استهلاک تجهیزات
C_{21}	ریسک و ایمنی	امنیت اطلاعات
C_{22}	ریسک و ایمنی	ایمنی تجهیزات
C_{23}	ریسک و ایمنی	ایمنی نیروی انسانی
C_{24}	ریسک و ایمنی	محیط زیست
C_{31}	بهره‌وری	کیفیت خدمات
C_{32}	بهره‌وری	تکرار خرابی
C_{33}	بهره‌وری	زمان تعمیرات و راه‌اندازی تجهیزات
C_{34}	بهره‌وری	مدت زمان توقف تجهیزات
C_{35}	بهره‌وری	سرعت پاسخگویی به درخواست‌ها
C_{41}	مدیریت دانش	دانش خلق شده

از این‌رو ساختار سلسله مراتبی مسئله به صورت شکل ذیل می‌باشد.



شکل ۴: ساختار سلسله مراتبی معیارها و گزینه‌ها.





در این مرحله با توزیع پرسشنامه میان ۴۲ نفره خبره دانشگاهی، مقایسات زوجی معیارهای مختلف در کنار یکدیگر و گزینه‌ها به ازای هر یک از معیارها به صورت فازی جمع‌آوری شده است که میانگین مقادیر فازی به‌عنوان نتیجه مقایسات زوجی در نظر گرفته شده است؛ که بر اساس نتایج حاصل از نظرسنجی صورت گرفته معیارهای تصمیم‌گیری به ترتیب اهمیت عبارت‌اند از: هزینه استقرار سیستم و نرم‌افزار مرتبط، ایمنی نیروی انسانی، تکرار خرابی، سرعت پاسخگویی به درخواست‌ها، امنیت اطلاعات، هزینه قطعات، مدت زمان توقف تجهیزات، هزینه نیروی انسانی، کیفیت خدمات، سایر هزینه‌های نگهداری و تعمیرات، دانش خلق شده، زمان تعمیرات و راه‌اندازی تجهیزات، استهلاک تجهیزات، ایمنی تجهیزات، محیط‌زیست. جدول میزان ارجحیت هر یک از گزینه‌ها در هر یک از معیارها مطابق با جدول ذیل می‌باشد.

جدول ۴: ضریب برتری هر گزینه در هر معیار.

A_6	A_5	A_4	A_3	A_2	A_1	
۰,۲۲	۰,۲۰	۰,۱۸	۰,۱۲	۰,۱۵	۰,۱۳	C_{11}
۰,۲۷	۰,۱۴	۰,۰۵	۰,۳۰	۰,۱۶	۰,۰۸	C_{12}
۰,۲۳	۰,۲۰	۰,۱۸	۰,۰۹	۰,۱۱	۰,۱۸	C_{13}
۰,۳۵	۰,۱۳	۰,۱۲	۰,۱۷	۰,۱۳	۰,۱۰	C_{14}
۰,۱۰	۰,۲۱	۰,۱۵	۰,۲۳	۰,۱۸	۰,۱۳	C_{15}
۰,۰۸	۰,۱۲	۰,۱۲	۰,۲۰	۰,۲۴	۰,۲۴	C_{21}
۰,۱۹	۰,۱۴	۰,۱۱	۰,۲۷	۰,۱۶	۰,۱۴	C_{22}
۰,۲۱	۰,۱۹	۰,۱۷	۰,۱۷	۰,۱۵	۰,۱۱	C_{23}
۰,۱۲	۰,۰۸	۰,۱۹	۰,۲۹	۰,۱۳	۰,۱۹	C_{24}
۰,۳۲	۰,۱۱	۰,۰۹	۰,۲۸	۰,۱۶	۰,۰۵	C_{31}
۰,۲۴	۰,۲۱	۰,۱۱	۰,۲۹	۰,۱۳	۰,۰۳	C_{32}
۰,۳۸	۰,۱۵	۰,۱۰	۰,۲۳	۰,۱۳	۰,۰۳	C_{33}
۰,۲۴	۰,۲۰	۰,۱۳	۰,۲۰	۰,۱۳	۰,۱۱	C_{34}
۰,۱۰	۰,۱۰	۰,۱۰	۰,۲۳	۰,۲۳	۰,۲۳	C_{35}
۰,۱۷	۰,۱۳	۰,۰۹	۰,۳۲	۰,۱۷	۰,۱۳	C_{41}

در نهایت امتیاز نهایی هر یک از گزینه‌ها مطابق با جدول ذیل می‌باشد.



جدول ۵: اولویت‌بندی مدل‌های نگهداری و تعمیرات.

A_6	A_5	A_4	A_3	A_2	A_1	
۰,۲۰۹	۰,۱۵۹	۰,۱۳۰	۰,۲۰۸	۰,۱۶۲	۰,۱۳۳	امتیاز نهایی

لذا سناریو پیاده‌سازی هم‌زمان سیستم‌های تعمیر اصلاحی، نگهداشت زمان‌بندی شده و نگهداشت اقتضائی به صورت برون‌سپاری به عنوان بهترین الگوی نگهداری و تعمیرات و بعد از آن سناریو پیاده‌سازی هم‌زمان سیستم‌های تعمیر اصلاحی، نگهداشت زمان‌بندی شده و نگهداشت اقتضائی توسط پرسنل داخلی سازمان با اختلاف بسیار ناچیز جهت نگهداری و تعمیرات شناسایی شده‌اند.

۴- نتیجه‌گیری:

میزان افزایش سرمایه‌گذاری بر روی ماشین‌آلات صنعتی و اتوماسیون از یکسو و افزایش ارزش مالی و اقتصادی آن‌ها از سوی دیگر منجر به آن شد که مدیران و صاحبان صنایع به فکر راهکارهایی منطقی بیفتند که قادر به پیشینه‌سازی طول عمر مفید تجهیزات تولیدی و طولانی کردن چرخه عمر اقتصادی آن‌ها باشد، لذا عمدتاً به جای پرداخت هزینه‌های گزاف ناشی از توقف و خرابی تجهیزات ترجیح می‌دهند نظام جامع نگهداری تعمیرات را در سازمان خود مستقر سازند. هدف از نگهداری و تعمیرات توانمندسازی اجزاء موردنظر با هدف حفظ و یا بازگرداندن توانایی آن جزء است تا به درستی کار کند و مفهوم نگهداری و تعمیرات تنها یک راه‌حل عملیاتی صحیح را ارائه نمی‌کند و استقرار نظام جامع آن وابسته به استراتژی و سیاست‌های کلان سازمان می‌باشد. در این مقاله به منظور سیاست‌گذاری بهینه نگهداری تعمیرات، ۶ گزینه مختلف به همراه ۱۵ معیار ارزیابی تعیین شده است که با به کارگیری منطق فازی به همراه مدل AHP به بررسی هر یک از گزینه‌ها پرداخته شده است که مطابق با نتایج به دست آمده، اجرای هم‌زمان سیستم‌های تعمیر اصلاحی، نگهداشت زمان‌بندی شده و نگهداشت اقتضائی به صورت برون‌سپاری به عنوان مدل بهینه شناسایی شده است.

۵- مراجع

- [1]. You M-Y, Liu F, Wang W, Meng G. Statistically planned and individually improved predictive maintenance management for continuously monitored degrading systems. Reliability, IEEE Transactions on. 2010;59(4):744-53.
- [2]. Pinjala SK, Pintelon L, Vereecke A. An empirical investigation on the relationship between business and maintenance strategies. International Journal of Production Economics. 2006;104(1):214-29.
- [3]. Márquez AC. The maintenance management framework: models and methods for complex systems maintenance. 2 ed: Springer; 2007.
- [4]. Wireman T. Benchmarking best practices in maintenance management: Industrial Press Inc; 2004.
- [5]. Márquez AC. The Maintenance Management Framework. 3: 3; 2007.
- [6]. Reiman T, Oedewald P. Assessing the maintenance unit of a nuclear power plant – identifying the cultural conceptions concerning the maintenance work and the maintenance organization.





Safety Science. 2006;44(9):821-50.

[7].Singh R, Gohil AM, Shah DB, Desai S. Total Productive Maintenance (TPM) Implementation in a Machine Shop: A Case Study. *Procedia Engineering*. 2013;51(0):592-9.

[8].IEC60300. Dependability management: Maintenance and maintenance support IEC 60300-3-14: International Electrotechnical Commission; 2004. p. 50.

[9].Benmoussa K, Laaziri M, Khoulji S, Kerkeb ML, Yamami AE. AHP-based Approach for Evaluating Ergonomic Criteria. *Procedia Manufacturing*. 2019;32:856-63.

[10].Gnanavelbabu A, Arunagiri P. Ranking of MUDA using AHP and Fuzzy AHP algorithm. *Materials Today: Proceedings*. 2018;5(5, Part 2):13406-12.

[11].Sirisawat P, Kiatcharoenpol T. Fuzzy AHP-TOPSIS approaches to prioritizing solutions for reverse logistics barriers. *Computers & Industrial Engineering*. 2018;117:303-18.

[12].Ly PTM, Lai W-H, Hsu C-W, Shih F-Y. Fuzzy AHP analysis of Internet of Things (IoT) in enterprises. *Technological Forecasting and Social Change*. 2018;136:1-13.

[13].Acar C, Beskese A, Temur GT. Sustainability analysis of different hydrogen production options using hesitant fuzzy AHP. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2018;43(39):18059-76.

تأثیر استفاده از تحلیل بحرانیت و ریسک در مدیریت دارایی های سازمان

سید احمد رضوی آل هاشم^{۱*}، سعید رمضانی^۲

^۱ کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، گروه صنایع، دانشگاه امام حسین (ع)، تهران، ایران.

^۲ استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۰۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۲۳

چکیده:

نقش مدیریت دارایی^۲ به عنوان یک عامل راهبردی در دورنمای تجاری سازمان ها به شدت در حال افزایش است. ظهور حرفه مدیریت دارایی، سبب شده است که جایگاه مهندسی نگهداشت از یک نقش اولیه که در آن وظیفه تعمیر را بر عهده داشت، به یک عامل مهم در افزایش ارزش راهبردی بدل شود. این بدان معنی است که متخصصان مدیریت دارایی وظیفه دارند تا دارایی های با ارزش راهبردی را با اهداف تجاری سازمان هماهنگ کنند. حوزه مدیریت دارایی در طی چند سال اخیر تغییرات زیادی را به خود دیده است. متأسفانه، برخی از قسمت های بدنه دانش مدیریت دارایی^۳ نتوانسته است گام به گام با این تغییرات پیش رود. مثال قابل ذکر، بحرانیت^۴ و استفاده مستمر چه درست و چه نادرست از آن در ادبیات موضوع است. ابهام و سردرگمی در تعریف بحرانیت به علت استفاده مترادف از آن با ریسک و همچنین داشتن معادلات ریاضی یکسان است. در این مقاله، توضیحاتی در باب بحرانیت برای متخصصان مدیریت دارایی ذکر گردیده و به لزوم در پیش گرفتن رویکردی مبتنی بر ریسک اشاره می شود. همچنین مدیریت ریسک در استانداردهای بین المللی بررسی گردیده و در نهایت رویکردی ریسک محور به عنوان راه حل ارائه می گردد.

واژه های کلیدی: مدیریت دارایی، تحلیل بحرانیت، مدیریت ریسک، ساختار سلسله مراتبی

* نویسنده مسئول: Razavi1918@gmail.com

² AM: Asset Management

³ AMBOK: Asset Management Body Of Knowledge

⁴ Criticality





۱. مقدمه

معمولاً متخصصان مدیریت دارایی همه روزه با مسائل پیچیده ای روبرو هستند که نیازمند تصمیمات سریع می باشد تا با اقدامات صحیح و مناسب همراه شوند.

این مسائل معمولاً شامل موارد زیر است:

- آیا این دارایی یا دستگاه تا خاموشی زمان بندی شده بعدی دوام خواهد داشت؟
- سیستم یا دارایی در چرخه بودجه فعلی تعویض خواهد شد یا در چرخه بعدی؟
- اولویت های موجود در صورت کاهش ۱۰ درصدی بودجه چگونه تغییر خواهند کرد؟
- کدامیک از سیستم یا دارایی ها دستیابی به اهداف تجاری را در معرض خطر قرار می دهد؟
- کدامیک از سیستم یا دارایی ها نیازمند بیشترین توجه و منابع می باشند؟

تمام این موارد مسائلی هستند که در زندگی واقعی رخ می دهند و تأثیرات راهبردی و تاکتیکی به همراه دارند. متأسفانه، همچنان این مسئله رایج است که متخصصان مدیریت دارایی از روش تصمیم گیری که در تعامل با افزایش ارزش دارایی و دستیابی به اهداف سازمان باشد، استفاده نمی کنند. به بیان دیگر، این افراد رویکرد یا چارچوبی استاندارد جهت تصمیم گیری مؤثر برای مدیریت دارایی مرتبط با مسائل پیچیده ندارند.

تصمیم گیری مؤثر، نیازمند شفافیت و اتخاذ رویکرد سازمان یافته است. هدف مدیریت دارایی فراهم کردن مجموعه مشخص از اصولی است که متخصصان این حوزه و سازمان را در تصمیم گیری در جهت دستیابی به اهداف سازمانی راهنمایی کند. ایزو ۵۵۰۰۰ [۱]، استاندارد بین المللی مدیریت دارایی، ریسک را به عنوان عاملی اساسی در به وجود آمدن رویکرد یا چارچوبی برای حل موضوعات مرتبط با مدیریت دارایی می شناسد. بر طبق این استاندارد، مدیریت دارایی اهداف سازمان را با استفاده از رویکردی ریسک محور به تصمیمات، برنامه ها و اقدامات مرتبط با دارایی متصل می کند؛ بنابراین، درک کاملی از ریسک که در تقابل با مفهوم سنتی بحرانیت است و به کارگیری رویکردی ریسک محور که توسط ایزو ۵۵۰۰۰ پشتیبانی می شود، گام مهمی برای متخصصان دارایی است تا بتوانند تصمیمات مؤثری را اتخاذ کنند.

بحرانیت، رویکردی غیرمعمول و غالباً با مبهمی است که برای سازمان های مختلف و متخصصان مدیریت دارایی می تواند معانی متعددی داشته باشد. معمولاً، بحرانیت فرآیندی است که در واحدهای مهندسی و نگهداشت بدون لحاظ کردن چارچوب مدیریت ریسک سازمان به کاربرده می شود. رویکرد بحرانیت، کارکرد اولویت بندی مسائل نگهداشت را انجام می دهد اما غال با در فراهم کردن ورودی های موردنیاز به منظور تصمیم گیری برای چالش های راهبردی و عملیاتی به مشکل برمی خورد.

برخلاف روش قبلی، رویکرد ریسک دارایی، قابل استفاده برای متخصصان مدیریت دارایی جهت تصمیم گیری مؤثرتر است. این رویکرد با استاندارد ایزو ۳۱۰۰۰ [۲] که استاندارد بین المللی برای مدیریت ریسک است و همچنین استاندارد ایزو ۵۵۰۰۰، منطبق است؛ و شامل بهترین دیدگاه برای مدیریت ریسک بوده و به متخصصان مدیریت دارایی کمک می کند تا بهتر بتوانند تصمیمات راهبردی و عملیاتی مدیریت دارایی خود را سازمان دهی کنند.

مدیریت مؤثر ریسک روشی مناسب برای افزایش ارزش دارایی های سازمان است. این موضوع در مقالات پژوهشی متعددی که توسط گروه آبردون [۳] منتشر گردیده، به اثبات رسیده است. جدول ۱ خلاصه ای از یافته های این گروه را نشان می دهد. این نتایج نشان دهنده مزایای متعدد طرح های مدیریت ریسک در سازمان های دارایی محور است.



جدول ۱: مزایای به دست آمده از مهم ترین اجرا کنندگان مدیریت ریسک

تعریف سطوح بلوغ	عملکرد متوسط گروه
بهترین در گروه: ۲۰ درصد بالا از مجموع امتیازات عملکرد	۱۵٪ زمان توقف زمان بندی نشده دارایی ۹۲٪ اثربخشی کلی تجهیزات (OEE) ۹۹٪ انطباق تولید ۳٪ از درآمد زیان مالی طی ۱۲ ماه گذشته بوده است.
متوسط صنعت: ۵۰ درصد وسط از مجموع امتیازات عملکرد	۶۶٪ زمان توقف زمان بندی نشده دارایی ۸۳٪ اثربخشی کلی تجهیزات (OEE) ۹۷٪ انطباق تولید ۱۲٪ از درآمد زیان مالی طی ۱۲ ماه گذشته بوده است.
عقب مانده: ۳۰ درصد پایین از مجموع امتیازات عملکرد	۱۴۸٪ زمان توقف زمان بندی نشده دارایی ۷۴٪ اثربخشی کلی تجهیزات (OEE) ۸۵٪ انطباق تولید ۱۸٪ از درآمد زیان مالی طی ۱۲ ماه گذشته بوده است.

۲. مرور ادبیات

باید توجه داشت که دیدگاه سنتی بحرانیت به طور ذاتی بد یا غلط نیست. همچنین اهداف آن ناقص یا کاملاً اشتباه نیست. همانند بیشتر تفکرات و ایده های جدید، دیدگاه سنتی بحرانیت، مشکلات فزاینده ای را تجربه کرد. رشد هم زمان آن با مدیریت دارایی منجر به ایجاد نسخه هایی از تحلیل بحرانیت توسط سازمان ها و افراد مختلف گردید. بررسی ادبیات موضوع، چندین اصطلاح را در این حوزه نشان می دهد که در ادامه برخی از آن ها آمده است: تحلیل بحرانیت مبتنی بر ریسک [۶]، تحلیل بحرانیت چند مؤلفه ای [۷] و تحلیل بحرانیت مبتنی بر فرآیند تحلیل سلسله مراتبی [۸]. این امر موضوع ناخوشایندی نیست، چراکه نشان دهنده تفکر، توسعه و اصلاحات ضروری بسیاری در حوزه بحرانیت در سال های اخیر می باشد.

به طور مشابه تا قبل از سال ۲۰۱۴، مدیریت دارایی در ادبیات موضوع بیشتر به عنوان مدیریت دارایی های فیزیکی [۹] یا مدیریت دارایی های مهندسی [۱۰] و غیره شناخته می شد. انتشار مجموعه استاندارد مدیریت دارایی ایزو ۵۵۰۰۰ در سال ۲۰۱۴ کمک زیادی به تغییر طرز تفکر نسبت به مدیریت دارایی نمود.

در همین راستا، متخصصان مدیریت دارایی عمده تمرکز خود را برای مشروعیت بخشیدن به حرفه مدیریت دارایی و اینکه یک بدنه دانش پراکنده نباشد، گذاشتند. موضوع اساسی در بدنه دانش مدیریت دارایی، استفاده نادرست و پیوسته از مفهوم بحرانیت است.

مسئله بحرانیت در ادبیات موضوع بسیار متنوع بوده و حتی در برخی موارد گیج کننده است. با این وجود، در این زمینه کتابی مناسب با عنوان "تحلیل بحرانیت ساده شده" توسط تاکوما زاچ [۱۱] منتشر شده است که شایان توجه است. در این کتاب، بحرانیت این گونه تعریف می شود: "شاخصی برای تعیین اهمیت نسبی چیزی، معمولاً سیستم یا دارایی ملموس،





نسبت به مأموریت، اهداف و ارزش های آن سازمان". میزان بحرانی بودن یک سیستم یا دارایی با تحلیل بحرانیت مشخص گردیده و این گونه تعریف می شود: "روشی برای مشخص کردن ضروری ترین سیستم و دارایی ها تا بتوان برای تحلیل های عمیق تر و ابتکارات مربوط به قابل اطمینان اولویت بندی کنیم" تعاریف ذکر شده به طور کلی با توجه به اهداف بحرانیت و مواردی که یک تحلیل بحرانیت را شکل می دهد، روشن است. با این وجود، این تعاریف به طور ناخواسته پیچیدگی های قابل توجهی را برای افراد درگیر در مدیریت دارایی به وجود می آورند [۱۲].

با موضوع بحرانیت، سردرگمی و درک نادرست در مسائل متعددی ظاهر می شود. اغلب این مسائل به طور کامل در کتاب آقای زاچ ذکر گردیده است. برای مثال، در شرایط بحرانی، یک سیستم یا دارایی با عملکرد یا مأموریت سیستم همبستگی ندارد. با این وجود، بزرگ ترین منبع سردرگمی در استفاده از کلمات بحرانیت (بحرانیت دارایی)، ریسک و پیامد، به جای هم نهفته است. این موضوع به طور مکرر در بین افراد درگیر در مدیریت دارایی رخ داده و در ادبیات موضوع هم بسیار مشاهده شده است.

دارایی های بحرانی را در نظر بگیرید. یک تعریف ساده می تواند چنین باشد: "دارایی هایی که پیامدهای خرابی آن ها بسیار زیاد است" [۱۳]. در این تعریف، تأکید بر مواردی که منجر به بحرانی بودن دارایی می شود همان مقدار تأثیر نامطلوبی است که خرابی دارایی را افزایش می دهد. موضوعی که ذکر گردید، کاملاً منطقی به نظر می رسد؛ اما وقتی که به اکثر معادلات بحرانیت در ادبیات موضوع پرداخته می شود ابعاد مسئله بزرگ تر و پیچیده تر می گردد. بیشتر منابع بحرانیت را به صورت ریاضی و به صورت زیر بیان می کنند:

$$\text{بحرانیت} = \text{احتمال رخداد} * \text{اثر} \quad \text{یا} \quad \text{بحرانیت} = \text{احتمال رخداد} * \text{پیامد رخداد}$$

در اینجا میزان بحران بودن یک دارایی یا سیستم برابر با حاصل ضرب احتمال رخداد خرابی (PoF) در پیامد ناشی از خرابی (CoF) آن است؛ بنابراین دارایی یا سیستمی بسیار بحرانی است که PoF و CoF بالایی داشته باشد و بالعکس؛ اما سردرگمی زمانی رخ می دهد که به ادبیات موضوع ریسک نگاهی بیندازیم. برای مثال، در استاندارد ایزو ۳۱۰۰۰ ریسک این گونه تعریف می شود: "ترکیب پیامد ناشی از یک رخداد و احتمال وقوع آن". به بیان دیگر، در ایزو ۳۱۰۰۰ ریسک به صورت زیر فرموله می شود:

$$\text{ریسک} = \text{احتمال} * \text{پیامد}$$

نتیجه ای که می توان از فرمول های بالا گرفت این است که ریسک و بحرانیت موارد یکسانی هستند، که در واقع صحیح نمی باشد. یک سیستم یا دارایی بحرانی لزوماً یک آیتم با ریسک بالا نیست و بالعکس. ترانسفورماتورهای با ولتاژ بالا مثال خوبی برای تبیین تفاوت این دو است. امروزه اغلب سازمان ها برای کارکرد مناسب به جریان برق متکی هستند؛ بنابراین، ترانسفورماتورها به دلیل اینکه برای سازمان و دستیابی به اهداف سازمان ضروری هستند، بحرانی نامیده می شوند؛ اما ترانسفورماتورها بسیار قابل اطمینان بوده و ریسک زیادی برای سازمان و اهداف آن به وجود نمی آورند.

دلایلی که ذکر شد، مبهم بودن واژه بحرانیت را نشان داد. این موارد، به کارگیری رویکرد مبتنی بر ریسک را نشان می دهد و اینکه این رویکرد مطابق با ادبیات موضوع بوده و بهترین تفکر در برگیرنده ریسک و مدیریت آن است.

۳. شرح مقاله

۳-۱- اتخاذ رویکرد ریسک محور در مدیریت دارایی

اتخاذ رویکرد ریسک محور نیازمند آن است که متخصصان مدیریت دارایی و سازمان ها کاملاً با پیچیدگی های ریسک و



واژگان مناسب آن آشنا شوند. علاوه بر این کار، لازم است تفاوت بین ریسک دارایی و ریسک کسب و کار کاملاً مشخص شود. همچنین، باید مشخص شود که ریسک دارایی چگونه از نیازهای مدیریت دارایی پشتیبانی می کند. در نهایت نیز رویکرد اتخاذ شده باید با ایزو ۳۱۰۰۰ و سیستم مدیریت ریسک ساختاریافته آن مطابقت داشته باشد.

۳-۲- درک زبان ریسک

تمام رشته ها واژگان مخصوص به خود را دارند؛ بنابراین برای متخصصان مدیریت دارایی ضروری است تا با زبان ریسک آشنایی داشته باشند. این آشنایی سبب خواهد شد تا درک متقابل، گفتگو، یادگیری و تبادل دانش میان قسمت های مختلف داخل سازمان و قسمت های مشابه و متفاوت در سازمان های دیگر تسهیل شود. ایزو ۳۱۰۰۰ ریسک را این گونه تعریف می کند: اثر عدم قطعیت روی اهداف. با جداسازی این تعریف کلی، ۳ کلمه نیاز به توضیح بیشتر خواهد داشت.

اولین کلمه اثر است که از دیدگاه ریسک به مفهوم انحراف از چیزی است که انتظارش را داریم. ریسک می تواند مثبت یا منفی باشد. برای مثال، ریسک ایمنی همیشه منفی است در حالی که ریسک مالی، هنگامی که یک دارایی بسیار بیشتر از عمر پیش بینی شده فعالیت می کند، می تواند مثبت باشد. تعریف دقیق و واضح ریسک برای معیارهای استراتژیک سازمان بسیار ضروری و مهم است. این کار به شکل-گیری چارچوبی برای ریسک کمک می کند که تصمیمات ریسک محور با جهت گیری ریسک سازمان در یک راستا باشند. زمانی که چارچوب تعیین شود، می توان اثرات مثبت و منفی را مدل کرد.

دومین واژه عدم قطعیت است. در دنیای واقعی، افراد با ریسک عجین شده اند چرا که مرز کارهایی که انجام می دهند نامشخص بوده و معین نیست. این امر ناشی از فقدان اطلاعات یا دانش درباره ی یک رخداد، پیامد و احتمال آن است. در صورت وجود منابع و دانش کافی، هر نوع چارچوب ریسک می تواند به طور واضح حدود میزان عدم قطعیت را کامل مشخص کرده و اقدامات لازم برای کاهش این عدم قطعیت ارائه دهد تا بتوان با اطمینان بیشتر به اهداف دست یافت.

در نهایت، سازمان ها اهداف رسمی و غیررسمی دارند. مدیریت ریسک با این اهداف در یک راستا بوده و از آن ها پشتیبانی می کند. در این مورد، فرد را از حوزه عملیاتی به راهبردی هدایت می کند و بسیار گسترده تر از لیست کردن اولویت های نگهداشت است. بسیار حائز اهمیت است که چارچوب ریسک با اهداف سازمان تطابق داشته باشد. سپس این چارچوب می تواند در سطوح مختلف راهبردی، تاکتیکی یا سطح پروژه بر روی تصمیم گیری های شفاف تأثیر بگذارد. علاوه بر این، تعیین می کند که تصمیمات چگونه باید گرفته شوند.

۳-۳- ریسک دارایی چیست و چگونه از مدیریت دارایی پشتیبانی می کند؟

در سازمان های دارایی محور، عموماً ریسک به صورت ریسک کسب و کار و ریسک دارایی طبقه بندی می شود. کیت مبلی^۱ متخصص مهندسی نگهداشت، تفاوت این دو گروه از ریسک را به خوبی تبیین می کند. به طور خلاصه، ریسک کسب و کار به شوک های سیاسی، از دست دادن بازار، ثبات کسب و کار و غیره اشاره می کند. ریسک دارایی به ریسک موجود پیرامون دارایی های نصب شده، یا پورتفولیوی دارایی سازمان اشاره دارد [۱۴]. در این مقاله به ریسک دارایی خواهیم پرداخت.

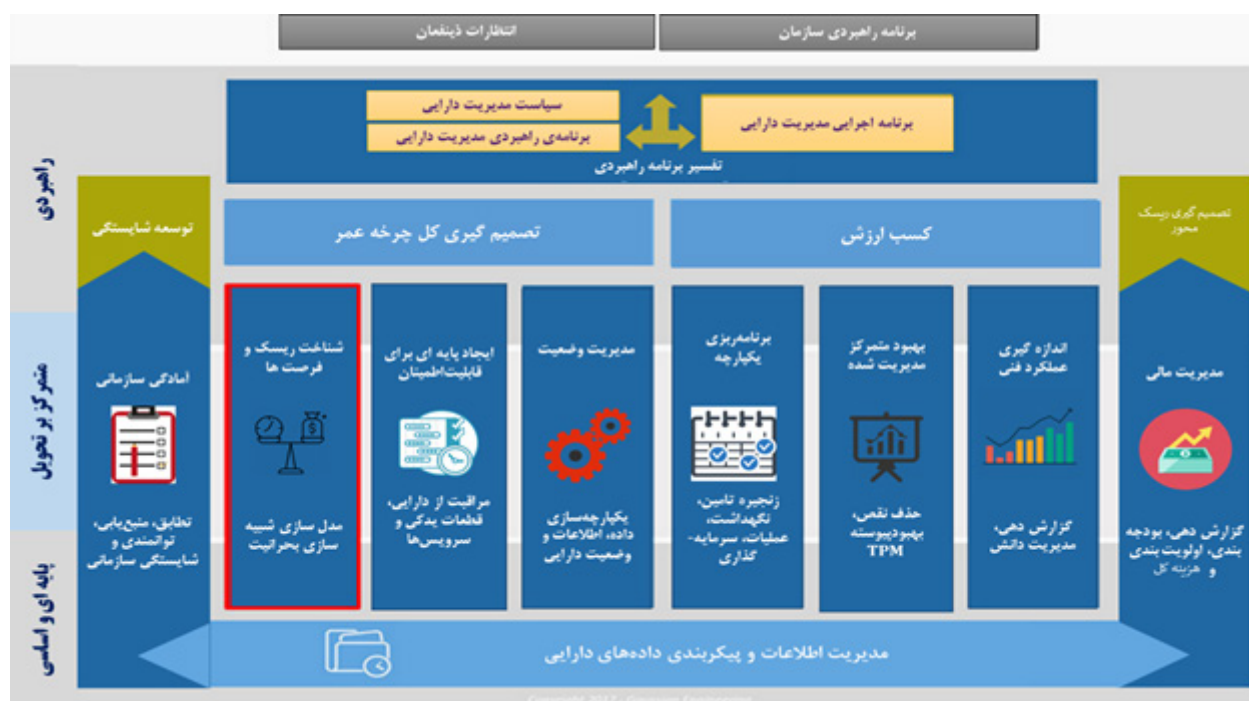
ریسک، بخش جدایی ناپذیر مدیریت دارایی است. مجموعه استانداردهای مدیریت دارایی ایزو ۵۵۰۰۰ نشان می دهد که چرا ریسک و اتخاذ رویکرد مبتنی بر ریسک دارای اهمیت زیادی است. در بخش ۶.۱ این گونه تبیین شده است: اقداماتی برای شناسایی ریسک ها و فرصت های سیستم مدیریت دارایی در ایزو ۵۵۰۰۱ [۱۵] و ۵۵۰۰۲ [۱۶] که در هر دو به موضوع ریسک اختصاص یافته است.

¹ Keith Mobley





اهمیت موضوع ریسک در حوزه مدیریت دارایی توسط مدل تحویل مؤثر مدیریت دارایی (EAMDM)^۱ [۱۷] که در شکل ۱ نشان داده شده، پررنگ تر نشان داده شده است. این مدل نشان می دهد که ریسک مفهومی راهبردی و بنیادی است. این بدین مفهوم است که اقدامات مؤثر برای مدیریت ریسک باید توسط اهداف سازمان هدایت شود تا بتواند دستیابی به اهداف راهبردی را تسهیل نماید. همزمان، توانمندسازهای پایه ای همانند پیکره بندی داده های دارایی با کیفیت خوب^۲ و مدیریت اطلاعات، در به وجود آوردن یک بنیان اساسی معتبر برای تصمیم گیری های ریسک محور و مبتنی بر شواهد، نقش اساسی دارند. در نهایت، ریسک مبتنی بر تحویل است؛ بدین مفهوم که باید در مورد آن تفکر کرده و به صورت روزانه اجرا گردد. چرا که ریسک پویا بوده و می تواند به سرعت بدتر می شود.



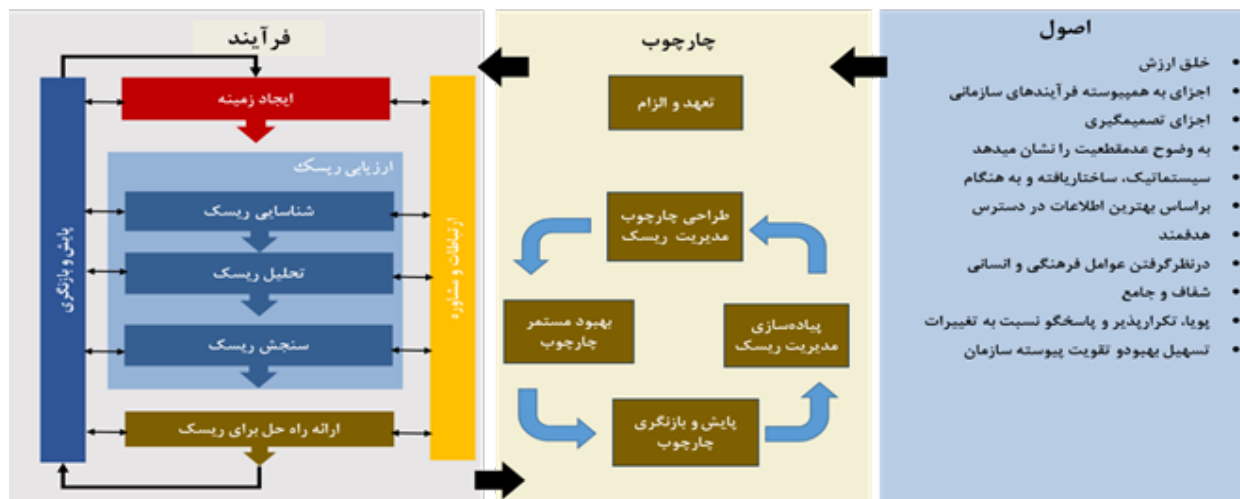
شکل ۱: مدل تحویل مؤثر مدیریت دارایی (EAMDM)

۳-۴- سیستم مدیریت ریسک ایزو ۳۱۰۰۰

رابطه میان مفاهیم مدیریت ریسک، چارچوبی که مدیریت ریسک در آن رخ می دهد و فرآیند های مدیریت ریسک توصیف شده در ایزو ۳۱۰۰۰ در شکل ۲ نشان داده شده اند. در این شکل، مفاهیم، پایه و بنیان را فراهم کرده و کیفیت مدیریت مؤثر ریسک در داخل سازمان را مشخص می کنند. این مفاهیم، ایجاد چارچوب مدیریت ریسک را هدایت می کنند. ادامه، این چارچوب فرآیند کلی مدیریت ریسک و یکپارچه سازی کامل آن در داخل سازمان را تعریف و مدیریت می کند. در نهایت، فرآیند مدیریت ریسک بر گروه های مختلف ریسک، مشخصات آن ها، تجزیه و تحلیل، ارزیابی و مقابله با آن ها تمرکز می کند. عملکرد فرآیند پایش گردیده و بازخورد آن با چارچوب انتقال می-یابد که فرآیند را به یک چرخه که به طور پیوسته در حال بهبود است، تبدیل می کند.

¹ Effective Asset Management Delivery Model (EAMDM)

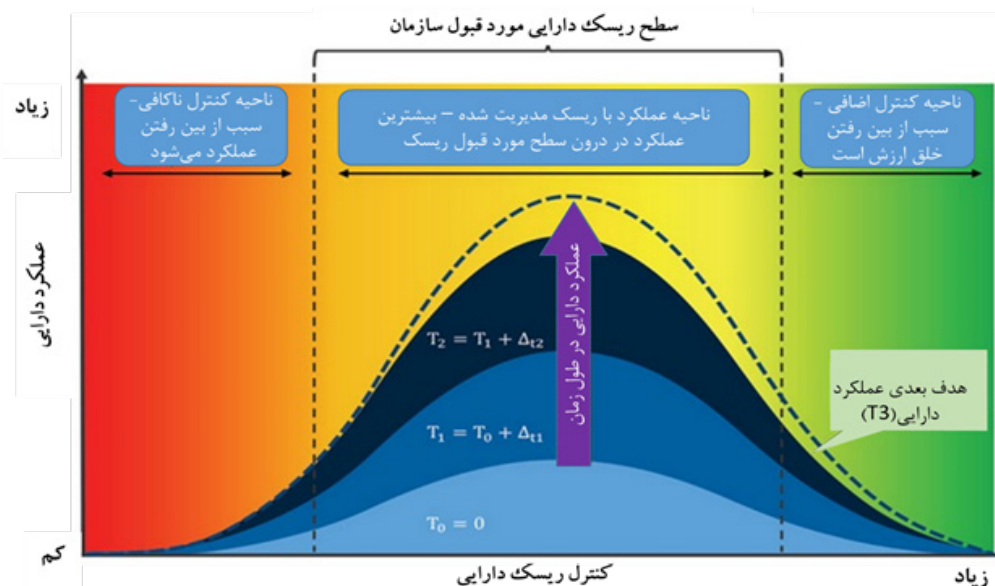
² Good quality asset data configuration



شکل ۲: سیستم مدیریت ریسک ایزو ۳۱۰۰۰

۳-۵- رویکرد متفاوت نسبت به ریسک دارایی

عملکرد بر پایه ریسک مدیریت شده^۳، یک رویکرد مبتنی بر ریسک دارایی است که تماماً با سیستم مدیریت ریسک ایزو ۳۱۰۰۰ همخوانی دارد و در شکل ۲ نشان داده شده است. هدف این رویکرد بر آن است که مکانیزم تصمیم گیری مؤثری را برای سازمان ایجاد کند تا بتوان تعادل مناسبی میان عملکرد دارایی و کنترل ریسک دارایی به وجود آورد. این موضوع در شکل ۳ و در ناحیه عملکرد بر پایه ریسک مدیریت شده نشان داده شده است. در قدم اول، هدف کمک به سازمان برای دستیابی به ناحیه عملکرد بر پایه ریسک مدیریت شده (RMP) و در قدم دوم بهبود افزایشی عملکرد دارایی در طی زمان است. در ناحیه RMP، سبب دارایی سازمان درون ریسک مورد قبول دارایی فعالیت می کند. این بدین مفهوم است که سازمان نه به خاطر از بین بردن عملکرد دارایی به دلیل عدم کنترل کافی ریسک دارایی مسئول است و نه به خاطر توقف ایجاد ارزش احتمالی ناشی از اضافی بودن کنترل ریسک دارایی.



شکل ۳: رویکرد عملکرد بر پایه ریسک مدیریت شده

³ RMP: Risk managed performance





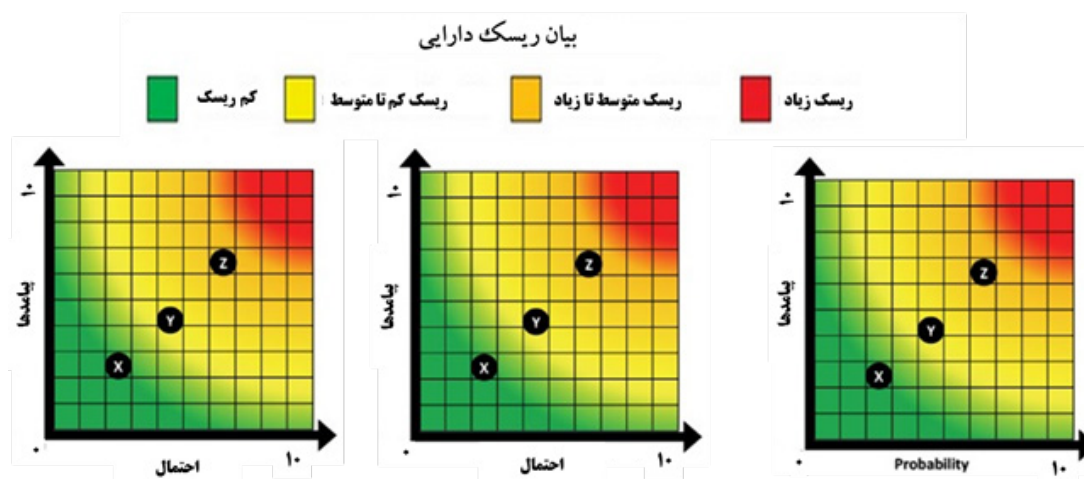
۳-۶- سطح ریسک دارایی و ریسک مورد قبول دارایی سازمان

واکنش مناسب سازمان نسبت به ریسک دارایی به سطح ریسک دارایی و ریسک مورد پذیرش دارایی سازمان وابسته است. رابطه ریاضی برای سطح ریسک دارایی در شکل ۴ نمایش داده شده است. این رابطه تعریف ریسک از دیدگاه ایزو ۳۱۰۰۰ را نقض نمی کند، چرا که شرایط دارایی، روابط ریاضی را تغییر نمی دهند. در عوض، پارامتر ورودی انتخابی است که در طی فرآیند تحلیل ریسک دارایی می تواند به روشن تر شدن تصمیم گیری کمک کند. مزیت وجود شرایط دارایی در ادامه روشن تر خواهد شد.



شکل ۴: رابطه ریاضی برای ریسک دارایی

سطح مورد قبول ریسک دارایی سازمان به عوامل مختلفی از جمله طبیعت عملیات، فرهنگ غالب ریسک، ناسازگاری با ریسک (گرایش به ریسک و سطح دامنه تغییرات) و نحوه مدیریت ریسک به صورت پیش اقدام بستگی دارد. ماتریس های ریسک دارایی که در شکل ۵ نشان داده شده است تعدادی از این موارد را توضیح می دهند. دارایی های X و Y و Z دقیقاً در مکان های یکسانی در هر ۳ ماتریس قرار گرفته اند. این بدان مفهوم است که دارایی های مشابه در هر ماتریس، سطح ریسک دارایی برابری دارند؛ اما از سمت چپ به راست، ماتریس ریسک دارایی به طور فزاینده ای با ریسک ناسازگار است. شاید انتظار داشته باشیم که ماتریس سمت چپ در شکل ۵ برای عملیات هایی با ریسک پایین استفاده شود در حالی که ماتریس سمت راست برای عملیات های با ریسک بالا به کار رود، نیروگاه هسته ای می تواند مثال خوبی برای این مورد باشد. حتی اگر دارایی مشابه شامل سطح ریسک برابری باشد، ۲ واکنش های هر سازمان با توجه به ناسازگاری با ریسک متفاوت خواهد بود. برای نمونه دارایی Y در شکل ۵ را در نظر بگیرید. این دارایی در ماتریس سمت چپ ریسک پایینی دارد و در ماتریس میانی و سمت راستی ریسک متوسط رو به بالایی دارد. با حرکت از سمت چپ به راست، می توان انتظار داشت که با افزایش ناسازگاری با ریسک، باید تلاش و منابع بیشتری را برای کاهش ریسک دارایی صرف کرد.



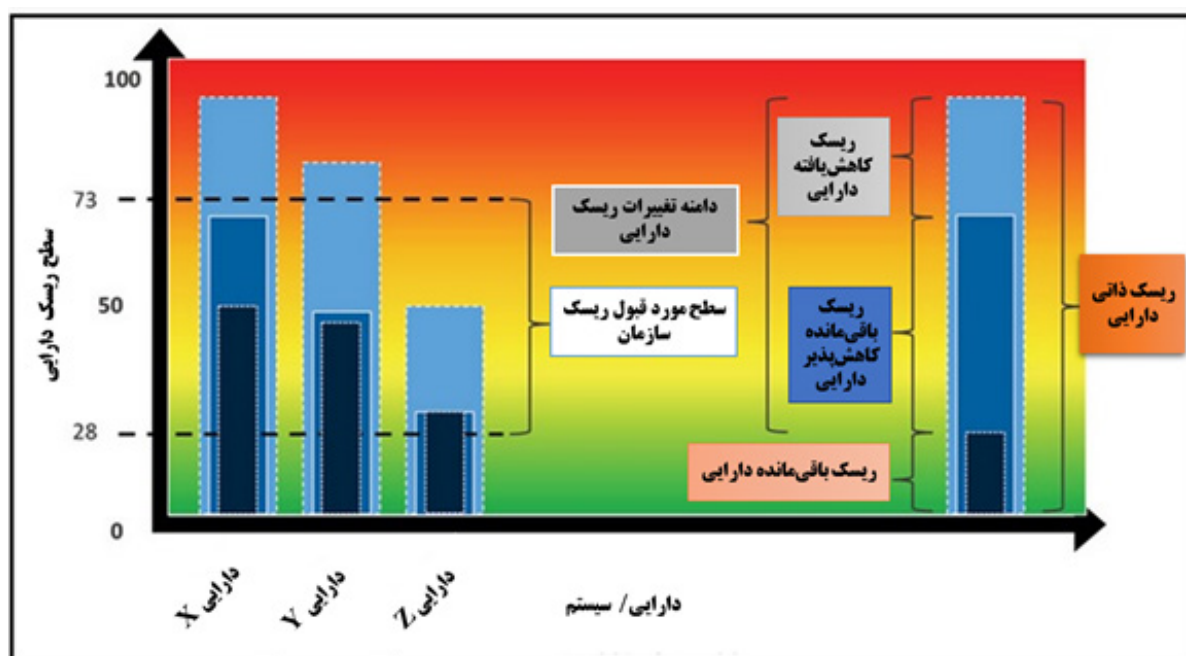
شکل ۵: مثال سطح مورد قبول ریسک دارایی، چپ: ناسازگاری کم نسبت به ریسک دارایی، وسط: ناسازگاری متوسط نسبت به ریسک دارایی و راست: ناسازگاری زیاد نسبت به ریسک دارایی



۳-۷- تحلیل پارتو در ریسک دارایی

تحلیل پارتو در ریسک دارایی بسیار مفید است. تحلیل پارتو اغلب به عنوان قانون ۲۰/۸۰ شناخته می شود. در اصل، این قانون متخصصان مدیریت دارایی نسبت به دارایی هایی آگاه می سازد که تنها ۲۰ درصد از زمان و تلاش را نیاز دارند تا ۸۰ درصد از مزایای حضور در کل سبد دارایی را به دست آورند.

شکل ۶ مثالی از تحلیل پارتو در ریسک دارایی را نشان می دهد. این شکل ۲۰ درصد از دارایی ها را نشان می دهد که ۸۰ درصد از ریسک سبد دارایی را به خود اختصاص داده اند. علاوه بر این، ریسک ذاتی و باقی مانده هر دارایی میزان اثربخشی برنامه های کاهش ریسک دارایی سازمان را نشان می دهد. همچنین، این شکل نشان دهنده ی آن است که آیا این برنامه های کاهش ریسک به اندازه ی کافی در کاهش ریسک دارایی قابل قبول در سطح سازمان اثرگذار هستند یا نه. همه این موارد در پس زمینه، به عنوان ریسک سازمان با استفاده از رنگ نشان داده شده است، رنگ قرمز نشان دهنده ی ریسک بالا و رنگ سبز نشان دهنده ی ریسک کم است.



شکل ۶: مثال تحلیل پارتو برای ریسک دارایی

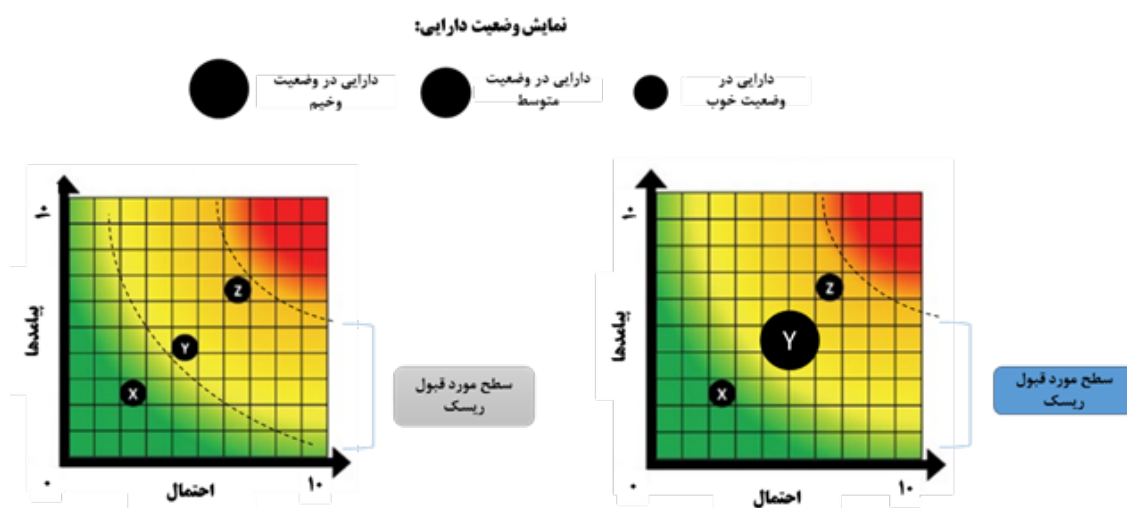
۳-۸- ماتریس ریسک دارایی

همان طور که در شکل ۵ معرفی شد، ماتریس ریسک بهترین روش نمایش ریسک است. شکل ۷ دو نمونه از ماتریس ریسک دارایی را نشان می دهد. هر دو، سطح ریسک دارایی را که در شکل ۶ به صورت یک ارزش واحد از ۱۰۰ به نمایش درآمد را به اجزاء آن، یعنی احتمال و پیامدها، تجزیه می کنند. همچنین، این ماتریس های دو بعدی ریسک، ناسازگاری با ریسک و ریسک مورد قبول سازمان را در پس زمینه نشان می دهند. تفاوت میان دو ماتریس ریسک در اندازه حباب های درون آن ها است که این حباب ها نشان دهنده ی شرایط دارایی هستند.



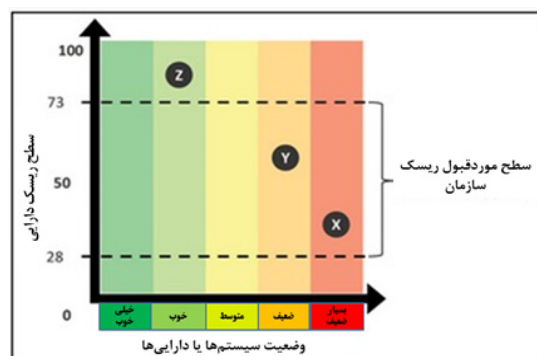


برای تأیید ثبت دارایی که در جهت آمادگی برای ارزیابی ریسک دارایی است (شکل ۲)، شرایط دارایی به وسیله بازرسی چشمی در طول حرکت در کارخانه یا از دیگر منابع از قبیل داده های پایش وضعیت به خود دارایی اضافه می شود. لازم به ذکر است که نیازی به ارزیابی کامل شرایط دارایی نیست. استفاده از نمایندگی^۱ وضعیت دارایی می تواند اطلاعات خوبی در خصوص سلامت دارایی ارائه دهد. ممکن است مشخص گردد که برخی از دارایی های پر ریسک در شرایط خوبی هستند، اما برخی از دارایی های کم ریسک در وضعیت خوبی نیستند. این موضوع ممکن است با تحلیل سنتی پارتو در مغایرت باشد که در آن دارایی های با ریسک بالا نیاز به رسیدگی سریع دارند، این موضوع منجر به افزایش بینش و توجه متخصصان مدیریت دارایی در طی فرآیند تصمیم گیری خواهد شد.



شکل ۷: مثال ماتریس ریسک دارایی، شکل سمت چپ شامل وضعیت دارایی نیست ولی شکل سمت راست شامل آن است

شکل ۸ ماتریس ریسک دارایی نشان داده شده در سمت راست شکل ۷ را نمایش می دهد که در آن سطح ریسک دارایی در مقابل شرایط دارایی آمده است. عموماً در عمل دیده شده است که اکثر دارایی های پر ریسک شناخته شده اند و برنامه های کاهش ریسک برای اطمینان از سلامت این دارایی ها طراحی شده اند؛ اما با صرف زمان و منابع زیاد روی دارایی پر ریسک، توجه سازمان ها از روی دارایی های با ریسک کم تا متوسط برداشته می شود؛ که به نوبه خود سبب بدتر شدن شرایط و در نتیجه موجب خرابی دارایی خواهد شد. از آنجایی که شرایط دارایی های کم ریسک در چارچوب تصمیم گیری قرار نمی گیرد، خرابی این دارایی ها به صورت شوک و بدون سطح مناسبی از آمادگی خواهد بود.



شکل ۸: مثال سطح ریسک دارایی در برابر وضعیت دارایی

^۱ PROXY



توجه به نمایندگی شرایط دارایی برخلاف اکثر تحلیل های بحرانیت است. به طور معمول، هدف تحلیل بحرانیت فراهم آوردن بینشی است تا بتوان تلاش خود را بر مواردی متمرکز کنیم که از لحاظ ارزیابی شرایط دارایی در اهمیت هستند. با این حال، این کار ممکن است دیر باشد چرا که از شکل ۷ و ۸ می توان به بینش ارزشمند کسب شده میان دو ماتریس ریسک پی برد. دسترسی به نمایندگی وضعیت دارایی تلاش زیادی نمی خواهد و قسمتی از فرآیند آمادگی برای ارزیابی ریسک را تشکیل می دهد که در طول حرکت در کارخانه برای تأیید ثبت دارایی انجام می شود.

۳-۹- سلسله مراتبی دارایی مبتنی بر ریسک

سازمان ها معمولاً برای انتخاب بهترین روش ایجاد ساختار سلسله مراتبی دارایی دچار چالش می شوند. با این حال، به وجود آوردن این ساختار بر مبنای ریسک دارایی فواید و مزایای کاربردی بسیاری را در پی خواهد داشت. برای مثال، همان طور که در تحلیل پارتو گفته شد، اکثر ریسک دارایی تنها به چند دارایی یا سیستم در کل محدوده سبد دارایی محدود می شود. شکل ۹ مثالی از ساختار سلسله مراتبی دارایی مبتنی بر ریسک را نشان می دهد که می تواند به سازمان ها کمک کند تا در طی فرآیند تحلیل ریسک دارایی هایشان مؤثرتر عمل کنند (به شکل ۲ نگاه کنید).



شکل ۹: مثال سلسله مراتبی دارایی مبتنی بر ریسک

با شروع از بالاترین سطح تحلیل که در شکل ۹ سطح سیستم یا بخش است و با انجام تحلیل ریسک دارایی، سیستم یا بخش های دارای بالاترین ریسک مشخص خواهد شد. اگر سطح ریسک سیستم یا بخش بیشتر از سطح ریسک مورد قبول سازمان باشد، آنگاه تحلیل یک مرحله عمیق تر شده و ریسک دارایی در سطح تجهیزات بررسی خواهد شد. این فرآیند تا زمانی ادامه خواهد شد که سطح ریسک کمتر از سطح ریسک قابل قبول سازمان شود. این فرآیند تعقیب یا رهگیری ریسک دارایی^۱ نام دارد. این فرآیند ابزار بسیار مفید است چرا که به صورت بصری ریسک دارایی را از طریق رنگ حباب

^۱ Chasing asset risk





های دارایی مشخص می کند. رنگ این حباب ها نشان می دهد که دارایی در کجای نمودار تحلیل پارتو ریسک دارایی (شکل ۶) و ماتریس ریسک دارایی (شکل ۷) قرار گیرد. همان گونه که در ابتدای این مقاله ذکر گردید، مدیریت مؤثر ریسک ابزار مناسبی جهت افزایش عملکرد می باشد. با در نظر داشتن این مورد، ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی دارایی مبتنی بر ریسک، مدیریت و تصمیم گیری را تسهیل خواهد کرد.

۳-۱۰- فکر همانند یک مدیر ریسک

تئوری و کاربرد مدیریت ریسک مسیر مشخصی است که مطابقت با واژگان و روشگان ایزو ۳۱۰۰۰ می تواند برای متخصصان مدیریت دارایی در زمان، منابع و هزینه صرفه جویی بسیاری داشته باشد. ایزو ۳۱۰۰، هفت گزینه را برای مدیریت ریسک پیشنهاد می کند که به طور خلاصه در جدول ۲ آمده است. به یاد داشته باشید که این موارد برای همه موقعیت ها لزوماً مناسب نیستند.

جدول ۲: گزینه های مقابله با ریسک در ایزو ۳۱۰۰۰

توصیف	گزینه های مقابله با ریسک
پرهیز از ریسک	توقف فعالیتی که منشأ ایجاد ریسک است.
قبول ریسک	درک درست ریسک برای بهره برداری از فرصت های ریسک
شناسایی منبع ریسک	حذف یا تغییر منبع ریسک برای فعالیت در سطح با ریسک پایین
تغییر احتمال رخداد	به کارگیری ابزارها و فرآیندهای مهندسی قابلیت اطمینان از طریق ترکیب درک کارکردهای اولیه و حالت های خرابی
تغییر پیامدها	تغییر در خروجی یک رخداد که سبب به وجود آمدن ریسک می شود
به اشتراک گذاری ریسک	توزیع ریسک یا اشتراک خروجی ریسک با افراد یا سازمان های دیگر
حفظ ریسک	پذیرش این حقیقت که در دنیای واقعی برخی از ریسک ها وجود دارند؛ اما درک کامل این ریسک ها حائز اهمیت است

درک گزینه های مناسب در دسترس برای مقابله با ریسک، راهی پیش روی متخصصان مدیریت دارایی قرار می دهد که می تواند آن ها را برای رسیدن به نتایج مطلوب سوق دهد. برای مثال، اگر احتمال خرابی دارایی تغییر کند، ممکن است دوره تناوبی را که در آن خرابی رخ می دهد تحت تأثیر قرار دهد. به همین دلیل، شاید نیاز به رویکردی متفاوت برای مدیریت دارایی باشد. در این صورت، هزینه و منابع بهینه تر خواهد بود و ارزش و مزیت زیادی را ایجاد خواهند کرد.

۴- جمع بندی

ریسک های کسب و کار عموماً شامل شوک های سیاسی، از دست دادن بازار و عدم ثبات تولید می شود. از طرف دیگر ریسک های دارایی به ریسک های موجود پیرامون دارایی نصب شده یا پورتفولیوی دارایی های سازمان اطلاق می شود. تمرکز این مقاله بر ریسک دارایی می باشد. ریسک بخش جدایی ناپذیر مدیریت دارایی است. مدیریت ریسک به عنوان یک



رشته حرفه ای در تفکر خود به بلوغ رسیده و کاربردش نیز به اثبات رسیده است. فرآیند ایزو ۳۱۰۰ که توسط مدیران ریسک به کار برده می شود در شکل ۲ نمایش داده شد. هیچ نیاز یا مزیتی مبنی بر تغییر یا خلق دوباره این فرآیند اثبات شده برای متخصصان مدیریت دارایی نیست اما درک درست و انطباق با آن بسیار حائز اهمیت است. اتخاذ این رویکرد میان مدیریت دارایی و اصول مدیریت ریسک پلی می زند و سبب به وجود آمدن مزایای محسوس زیر می شود:

- کاربردی واضح و پیوسته مبتنی بر استانداردهای بین المللی ایجاد می کند.
- واژگانی منطقی را برای تمام سازمان ها، دپارتمان ها و دیگر متخصصان همانند وکلا، قانون گذاران، بیمه گران و ... فراهم می کند.
- استفاده از اصول و راهنمایی های ایزو ۳۱۰۰ و ۵۵۰۰۰ بدین معنی است که سازمان های دیگر مجبور به ارائه چنین اصولی که نیازمند صرف زمان و هزینه زیادی است، نیستند. آن ها از این زمان ذخیره شده می توانند برای مدیریت مؤثر ریسک استفاده کنند.
- مدیریت دارایی با استانداردها و ادبیات موضوع ریسک (برای مثال ایزو ۳۱۰۰ و راهنمای ایزو ۷۳^۱ [۱۸]) در تطابق بوده و در نتیجه اعتبار بیشتری را در زمینه مدیریت دارایی به وجود می آورد.
- مدیران اجرایی و اعضای هیئت مدیره ملزم به مدیریت ریسک سازمان هستند. آن ها با مفاهیم و زبان مدرن ریسک آشنا هستند. برای متخصصان مدیریت دارایی، مکاتبه با این افراد حرفه ای با واژگان مناسب ریسک، منجر به ارتباط بهتر و مؤثرتری خواهد شد و اعتبار بیشتری را با خود به همراه خواهد آورد.
- در این مقاله سعی بر آن بود تا اهمیت ریسک دارایی بیان و نشان داده شود که ریسک دارایی چگونه می تواند به پشتیبانی از مدیریت دارایی کمک کند. همچنین، این مبحث در دو استاندارد بین المللی ایزو ۵۵۰۰۱ و ۵۵۰۰۲ مورد بحث قرار گرفته است. برای پرهیز از هرگونه سردرگمی و ابهام در زمینه بحرانیت و در انطباق با استاندارد بین المللی ایزو ۳۱۰۰ در زمینه مدیریت ریسک، رویکردی ریسک محور به عنوان راه حل ارائه گردید. در ادامه، رویکردی برای ریسک دارایی ارائه شد که متخصصان مدیریت دارایی و سازمان های دارایی محور می توانند با اتکا بر آن و بر پایه ریسک، تصمیمات مدیریت دارایی بهتری بگیرند.

۵- منابع

- [1]. International Organization for Standardization (ISO). ISO55000: 2014 Asset management – Overview, principles and terminology. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:55088:en>
- [2]. International Organization for Standardization (ISO). ISO31000: 2009 Risk management – Principles and guidelines. <https://www.iso.org/standard/43170.html>
- [3]. Aberdeen Group. Operational Risk Management: How Best-in-Class Manufacturers Improve Operating Performance with Proactive Risk Reduction. Waltham: Aberdeen Group, March, 2013.
- [4]. Shah, M. and Littlefield, M. Managing Risks in Asset Intensive Operations. Waltham: Aberdeen Group, March, 2009.
- [5]. Hatch, D. and Jutras, C. The Executive Risk Management (ERM) Agenda. Waltham:

¹ ISO Guide 73





Aberdeen Group, September, 2010.

- [6]. Theoharidou, M., Kotzanikolaou, P. and Gritzalis, D. Risk-Based Criticality Analysis. Hanover: Springer, 2009.
- [7]. Ramirez-Marquez, J. and Coit, D. "Multi-state component criticality analysis for reliability improvement in multi-state systems." Reliability Engineering & System Safety: December 2007, Vol. 92, Issue 12, pp. 1608-1619.
- [8]. Alvi, A. and Labib, A. "Selecting next-generation manufacturing paradigms – an analytic hierarchy process based criticality analysis." Sage Journals: December 2001, pp. 1773-1786.
- [9]. Hastings, Nicholas. Physical Asset Management. London: Springer, 2010.
- [10]. Amadi-Echendu, J.E.; Willett, R.; Brown, K.; Hope, T.; Lee, J.; Mathew, J.; Vyas, N.; and Yang, B.S. What is engineering asset management? Definitions, concepts and scope of engineering asset management. London: Springer, 2010, pp. 3-16.
- [11]. Zach, Tacoma. Criticality Analysis Made Simple. Fort Myers: Reliabilityweb.com, 2014.
- [12]. Basson, Marius. Criticality, Consequence and Risk – what is the difference? November 26, 2015: <https://www.linkedin.com/pulse/criticality-consequence-risk-what-difference-marius-basson>
- [13]. NAMS Group. International Infrastructure Management Manual. Wellington: NAMS Group, 2006.
- [14]. Mobley, R. "What Is Risk Management." Uptime Magazine: June/July 2011, pp 40-41.
- [15]. International Organization for Standardization (ISO). ISO55001: 2014 Asset management – Management systems – Requirements. <https://www.iso.org/standard/55089.html>
- [16]. International Organization for Standardization (ISO). ISO55002: 2014 Asset management – Management systems – Guidelines for the application of ISO55001. <https://www.iso.org/standard/55090.html>
- [17]. Fogel, G.; Stander, J.; and Griffin, D. "Creating an Effective Asset Management Delivery Model. Uptime Magazine: June/July 2017, pp 8-15.
- [18]. International Organization for Standardization (ISO). ISO Guide 73: 2009 Risk management – Vocabulary. <https://www.iso.org/standard/44651.html>

شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای انتخاب راهبرد نگهداشت سبز ادوات نظامی با استفاده از تکنیک MADM

محمد مقدسی^{۱*}، فرشید فرخی‌زاده^۲، ام‌البنین احمدزاده^۳، رضا کرمی^۴

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مدیریت صنعتی، مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
^۲ مربی و پژوهشگر، علوم و مهندسی دفاعی، دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع)، تهران، ایران.
^۳ دانشجوی کارشناسی‌ارشد مدیریت تکنولوژی، مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
^۴ دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی شیمی گرایش HSE، دانشگاه صنعت نفت، آبادان، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۳۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۳۱

چکیده:

هدف پژوهش: نگهداری و تعمیرات نقش کلیدی در کاهش هزینه، کم کردن توقف ماشین‌آلات و افزایش ظرفیت تولید، کیفیت و بالا بردن بهره‌وری و قابلیت اطمینان ماشین‌آلات و در نتیجه تحقق اهداف سازمانی دارد. هدف اصلی این پژوهش ارائه چارچوبی به‌منظور سنجش و مقایسه میزان سبز بودن صنایع نظامی می‌باشد.

متدولوژی/روش‌شناسی: جهت تحقق اهداف و پاسخ به سؤال‌های پژوهش، این پژوهش در دو گام انجام شده است. در گام اول با مطالعه متون علمی و کسب نظر خبرگان آشنا به مسائل زیست‌محیطی، نگهداری و تعمیرات سبز تجهیزات و ادوات نظامی، شاخص‌های بهینه راهبردی نگهداری و تعمیرات سبز بر اساس ابعاد اصلی استخراج شده شناسایی و مبنای تهیه پرسشنامه اول قرار گرفت. پس از جمع‌آوری نظرات خبرگان ۶ معیار اصلی بومی‌سازی و انتخاب شد. در گام دوم از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی به‌منظور اولویت‌بندی معیارهای مزبور استفاده شد.

نتایج پژوهش: نتایج تحقیق حاکی از آن است که در صنایع نظامی به ترتیب معیارهای استفاده از فناوری، تجهیزات و ماشین‌آلات دارای آلودگی کمتر برای محیط‌زیست رتبه اول، معیار کنترل میزان تولید گازهای خطرناکی چون آمونیاک و CO_۲ رتبه دوم و معیار برنامه‌های آموزشی محیط‌زیست برای کارکنان و مدیران رتبه سوم را کسب کردند.

واژه‌های کلیدی: نگهداری و تعمیرات سبز، تجهیزات و ادوات نظامی، تصمیم‌گیری چندمعیاره، روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی.

* نویسنده مسئول: m.moghadasi1364@gmail.com





۱- مقدمه

با مطرح‌شدن بحث صنعت سبز، لزوم بهره‌گیری از منابع تولید انرژی نوین و همچنین استفاده از تکنولوژی‌های نوین در صنایع مطرح می‌شود. در زمینه منابع انرژی نوین استفاده و بهره‌گیری از منابع انرژی سبز از قبیل منابع بادی، سلول‌های خورشیدی، ذخیره‌سازهای انرژی و خودروهای برنده قابل اتصال به شبکه مطرح می‌باشد. منابع انرژی سبز باوجود مزایایی که دارند، دارای هزینه سرمایه‌گذاری بالا و همچنین عدم قطعیت‌های زیاد می‌باشند [۱].

انرژی سبز انرژی است که می‌توان آن را بدون تأثیرگذاری چندان بر محیط‌زیست آن را استخراج، تولید و یا مصرف کرد. سیاره ما دارای ظرفیتی طبیعی برای بازیابی است، بنابراین انرژی که آلودگی ناشی از آن از حد این توانایی فراتر نرود، ممکن است همچنان سبز نامیده شود. انرژی سبز زیرمجموعه‌ای از انرژی‌های تجدیدپذیر است و بیانگر آن منابع انرژی تجدیدپذیری است که بیشترین منافع زیست‌محیطی را ایجاد می‌کنند. سازمان حفاظت از محیط‌زیست آمریکا انرژی سبز را به‌عنوان برقی تعریف می‌کند که از منابع خورشیدی، بادی، زمین‌گرمایی، بیوگاز، بیوماس و منابع برق‌آبی کوچک با تأثیر کم زیست‌محیطی به‌دست‌آمده باشد [۲].

عملیات تولید نقش اساسی در کاهش آثار زیست‌محیطی در مراحل مختلف چرخه عمر محصول از استخراج مواد تا تولید، استفاده و بازیافت دارند؛ بنابراین درک مسئولیت محیطی در زمینه تولید موجب دستیابی به مزیت رقابتی و افزایش سهم بازار از طریق فرآیند بهبود تأثیرات محیطی محصولات می‌شود [۳]. مدیریت محیطی را تلاشی برای حداقل سازی تأثیرات منفی محیطی محصولات شرکت در سراسر چرخه عمر محصول تعریف کرده‌اند. این اقدام به دلیل فشارهای سازمانی، لازم‌الاجرا به نظر می‌رسد و موجب افزایش کارایی منابع استفاده‌شده در مدیریت محیطی می‌شود [۴].

از سوی دیگر صنعت سبز، به کلیه صنایعی گفته می‌شود که بر اساس ضوابط انتخاب در طول سال موردنظر به تشخیص سازمان حفاظت محیط‌زیست تلاش قابل‌تقدیری در راستای حفظ محیط‌زیست انجام داده باشد. صنعت سبز در رشته‌های مختلف صنعتی از قبیل صنایع غذایی و دارویی، صنایع نساجی و پوشاک، صنایع شیمیایی و سلولوز، صنایع ماشین‌سازی و ساخت تجهیزات، صنایع کانی غیرفلزی، صنایع نفت، صنایع فلزی، معادن و فلزات، صنایع خودرو و نیرومحركه، نیروگاه، صنایع برق و الکترونیک و صنایع کشاورزی، جایگاه خاصی دارد. همچنین صنایعی که در طول سال موردنظر یک یا چند مورد از اقداماتی مانند نصب و راه‌اندازی و یا اصلاح سیستم پالایش و کنترل آلودگی، راه‌اندازی سیستم بازیافت مواد زائد، جایگزینی انرژی‌های پاک، اخذ ISO ۱۴۰۰۰، سازگار کردن تولیدات با محیط‌زیست، ایجاد فضای سبز و حمایت از تنوع زیستی، کاستن از اثرات و ضایعات صنعت بر محیط‌زیست، کاستن از ضایعات در تولید، کاستن از آلودگی‌ها، کاستن از مصرف انرژی یا افزایش بازده مصرف انرژی، انجام هزینه قابل‌توجه در راستای حفظ محیط‌زیست و آموزش و جلب مشارکت مردمی در زمینه محیط‌زیست را انجام داده باشند در صنعت سبز فعال هستند. در همین راستا نقش مهندسان صنایع در گسترش رویکرد مسئولیت‌پذیری زیست‌محیطی همگرا با مسئولیت‌های اقتصادی اجتماعی و سازمان و همچنین امکان تسهیم تجربیات موفق بسیار چشمگیر است. یک صنعت سبز واقعی باید ایمنی و سلامت شغلی را در کلیه مراحل و فرآیندهای تولید اعم از طراحی اولیه، ساخت، نگهداری، تأمین مواد اولیه، بازیافت و دفع مواد زائد و اخذ گواهینامه‌های استاندارد موردتوجه قرار دهند [۵].

عرصه رقابتی تجهیزات و ادوات نظامی را به سمت فعالیت‌های تجدید مهندسی در ساختار و سازمان خود سوق می‌دهد. امروزه با اوج‌گیری پیشرفت سریع فن‌آوری و گسترش اتوماسیون صنایع و افزایش تعداد ماشین‌آلات، حجم سرمایه‌گذاری در ماشین‌آلات و دارایی‌های فیزیکی سازمان‌ها رشد افزونی داشته است. باید دقت شود در کشورهای درحال توسعه ازجمله ایران در مسیر توسعه منابع تجدیدپذیر چالش‌های گوناگونی وجود دارد. یکی از این چالش‌های فقدان داشتن استراتژی



مناسب تعمیرات و نگهداری از تجهیزات و ادوات سبز است. اشاره به این نکته ضروری است که توجه به توسعه تجهیزات و ادوات کاملاً منطبق با جهت گیری های کلی و برنامه های بالادستی نظام جمهوری اسلامی ایران در خصوص نظام می باشد. یکی از هزینه های اساسی در این حوزه، هزینه نگهداری و تعمیرات است [۶].

هدف از این پژوهش، شناسایی عوامل مختلف انتخاب بهینه نگهداری و تعمیرات سبز تجهیزات و ادوات نظامی با استفاده از تکنیک MADM در صنایع نظامی است، در این پژوهش، مشخص می شود با استفاده از روش FAHP رتبه بندی عوامل مختلف انتخاب بهینه نگهداری و تعمیرات سبز تجهیزات و ادوات نظامی به چه صورت خواهد بود.

۲- مبانی نظری پژوهش

۲-۱- نگهداری و تعمیرات^۱

مجموعه فعالیت هایی که به طور مشخص و معمولاً به صورت برنامه ریزی شده و با هدف جلوگیری از خرابی ناگهانی ماشین آلات و تجهیزات انجام گرفته و با این کار قابلیت اطمینان و در دسترس بودن ماشین آلات افزایش می یابد، فعالیت های نگهداری نامیده می شوند و تعمیرات، شامل مجموعه فعالیت هایی که بر روی یک سیستم یا وسیله ای که دچار خرابی و یا از کار افتادگی گردیده انجام می گیرد تا آن را به حالت آماده و قابل بهره برداری در جهت انجام وظیفه ای که به آن محول گردیده است بازگردانده شود. همچنین نگهداری و تعمیرات که به اصطلاح از آن به عنوان "نت" یاد می شود عبارت است از مجموعه ای از فعالیت های مختلف که به منظور حفظ و بقای قطعات، تجهیزات و ماشین آلات و نیز صیانت از سرمایه ها و دارایی هایی که در صنعت به کار می رود، هست؛ تا حتی الامکان از بروز حوادثی که منجر به خرابی دستگاه ها و وقفه در فرآیند تولید و یا روند بهره برداری از تجهیزات و کارخانه ها مربوط می گردد، پیشگیری لازم به عمل آید [۷].

۲-۲- اهداف سیستم های نگهداری و تعمیرات

- بیشینه کردن عمر مفید ماشین آلات، قابلیت اطمینان و اثربخشی کلی ماشین آلات.
- اطمینان از حصول اقتصادی ترین شرایط بهره برداری از ماشین آلات و تجهیزات.
- کمینه کردن تعمیراتی اتفاقی ماشین آلات و هزینه های توقف تولید بر اثر تعمیرات دستگاه.

۲-۳- روش FAHP^۲

در سال ۱۹۹۲ روشی با عنوان روش تحلیل توسعه ای^۳ (EA) توسط چانگ^۴ ارائه گردید. بعد ها در سال ۱۹۹۶ این روش توسط خود وی بهبود بخشیده شد. روش گسترش یافته ی چانگ بیش از همه روش های دیگر برای محاسبات تحلیل سلسله مراتبی فازی مورد استفاده قرار گرفته است. اعداد مورد استفاده در این روش، اعداد مثلثی فازی هستند. چانگ جهت تعمیم تکنیک AHP به فضای فازی از مفهوم درجه ی امکان پذیری استفاده کرده است [۸].

۲-۴- اهمیت و ضرورت موضوع پژوهش

در بیان اهمیت و ضرورت این تحقیق لازم است به یکی از فرمایشات فرماندهی معظم کل قوا امام خامنه ای (مدظله العالی) اشاره کرد که فرمودند: «تجهیزات را نگهداری کنید و از آن ها بیشتر و بهتر بسازید. بر آنچه دارید با نیرو و قدرت خلاق خود بیافزاید».

¹ Optimum Maintenance

² Fazi Analytical Hierarchy process

³ Extent Analysis Method (EA)

⁴ Chang





با مشاهده سوابق تاریخی مشخص می‌شود که تاکنون گزارش دهی عملکرد زیست‌محیطی توسط سازمان‌ها زیاد مورد توجه قرار نگرفته و به‌طور سنتی در تاریخچه مدیریت عملیات بر شاخص‌های عملکردی مرتبط با هزینه، کیفیت، تحویل و انعطاف‌پذیری تأکید شده است.

بی‌توجهی به امر نگهداری و تعمیرات سبز تجهیزات به‌ویژه دستگاه‌های پیچیده، حساس و گران‌قیمت، هزینه‌های زیادی را به سازمان تحمیل می‌کند و مشکلات زیادی را برای آن سازمان به وجود می‌آورد. اهمیت مأموریت‌ها در بخش نظامی، تجهیزات گران‌قیمت و همچنین مشکلات جایگزینی آن، اهمیت این موضوع را بیشتر کرده و لزوم توجه به نگهداری و تعمیرات سبز و افزایش اثربخشی تجهیزات را زیاد می‌کند.

از جنبه نظری این پژوهش برای نخستین بار به شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر نگهداری و تعمیرات سبز صنایع نظامی می‌پردازد. از منظر کاربردی در این پژوهش محقق بر آن است تا با توجه به اهمیت نگهداری و تعمیرات سبز به شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر نگهداری و تعمیرات سبز در صنایع نظامی بپردازد. تا در نهایت بتوان نتایج را در سایر صنایع تابعه به کار بسته تا گامی در راستای توسعه پایدار این صنایع برداشته شود.

۳- پیشینه پژوهش

جدول ۱- ادبیات موضوع

نویسنده/ نویسندگان	سال	عنوان پژوهش	یافته‌ها
مؤمنی و همکاران	۲۰۱۱	انتخاب کارآمدترین استراتژی نگهداری و تعمیرات برای شرکت الکترو فن با استفاده از رویکرد تاپسیس فازی	در این از استراتژی‌های نت پیشگیرانه، فرصت‌طلبانه و مبتنی بر شرایط، به‌عنوان رویکردهای رایج استفاده شده است؛ که استراتژی پیشگیرانه به‌عنوان مهم‌ترین استراتژی شناسایی شد [۹].
دینگ و کامارودین	۲۰۱۲	به‌کارگیری تاپسیس فازی برای تعیین استراتژی بهینه نگهداری برای یک سیستم فشار پیچ در صنعت استخراج روغن	نتایج پژوهش نتایج نشان داد استراتژی‌های نت پیشگیرانه، پیشگویانه، اصلاحی، نت خودگردان و معیارهای هزینه، ایمنی، قابلیت اطمینان و امکان سنجش جهت انتخاب استراتژی بهینه استفاده شد [۱۰].
گور و کولاک	۲۰۱۴	انتخاب تأمین‌کنندگان با استفاده از طراحی بدیهی فازی سلسله مراتبی با در نظرگیری ریسک	آن‌ها در این پژوهش از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی برای وزن معیارهای ارزیابی و از روش طراحی بدیهی فازی سلسله مراتبی با در نظرگیری ریسک برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان استفاده کردند [۱۱].
دینگ و کامارودین	۲۰۱۵	ارزیابی روش تصمیم‌گیری چندمعیاره گروهی بر فاصله از دیدگاه استراتژی نگهداری و تعمیرات	از استراتژی‌های نت پیشگیرانه، پیشگویانه، اصلاحی، طراحی نگهداری و تعمیرات، نت خودگردان و معیارهای ایمنی، تشخیص خطا، شرایط محیطی، هزینه، قابلیت نگهداری و تعمیرات و امکان‌پذیری استفاده کردند [۱۲].
ایلانگ کوماران و همکاران	۲۰۱۶	ارائه رویکرد تصمیم‌گیری برای انتخاب استراتژی نگهداری با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی و تاپسیس	آن‌ها از روش FAHP برای محاسبه وزن معیارهای ارزیابی و از روش تاپسیس برای رتبه‌بندی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مورد استفاده قرار گرفت. در این مقاله استراتژی‌های نت اصلاحی، نت مبتنی بر زمان، نت مبتنی بر شرایط و نت پیشگیرانه مورد ارزیابی قرار گرفت [۱۳].



نویسنده/ نویسندگان	سال	عنوان پژوهش	یافته‌ها
صادقی و البرزی	۲۰۱۷	ارزیابی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات در شرکت فولاد مبارکه اصفهان با استفاده از رویکرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی	آن‌ها در این مقاله از ۵ معیار و ۱۲ زیرمعیار استفاده کردند؛ که در پایان استراتژی نگهداری و تعمیرات سطح جهانی به‌عنوان استراتژی برتر برای تجهیزات حمل‌ونقل فولاد مبارکه اصفهان انتخاب گردید [۱۴].
اوزاکان و همکاران	۲۰۱۷	انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات در نیروگاه‌های برق‌آبی با استفاده روش‌های برنامه‌ریزی ارمانی و تحلیل سلسله مراتبی متکی بر تاپسیس	استراتژی‌های موردبررسی عبارت‌اند از: نگهداری و تعمیرات پیش‌گویانه، اصلاحی، پیش‌گویانه، رویزن. در این تحقیق ابتدا با استفاده از روش ترکیبی تاپسیس-تحلیل سلسله مراتبی مهم‌ترین تجهیزات انتخاب گردیدند و سپس برای تعیین مناسب‌ترین استراتژی نگهداری و تعمیرات برای بحرانی‌ترین تجهیزات الکتریکی در نیروگاه برق‌آبی از روش ترکیبی تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند [۱۵].

۴- جامعه آماری و ابزار گردآوری داده‌ها

جامعه آماری این پژوهش شامل کلیه خبرگان بخش نگهداری و تعمیرات صنایع نظامی می‌باشد که تعداد آن‌ها ۱۰ نفر است. با توجه به این‌که افراد با جامعه ما را خبرگان این صنایع تشکیل خواهند داد که این تعداد محدودی می‌باشند، نمونه‌گیری صورت نگرفته است. از روش میدانی برای گردآوری داده‌ها استفاده، که به‌طور کلی شامل دو پرسشنامه می‌باشد. در پرسشنامه اول جهت بومی‌سازی معیارها از نظر خبرگان این صنعت استفاده می‌شود و سپس پرسشنامه شماره دو بر اساس رویکرد FAHP تدوین می‌شود.

۵- روایی و پایایی ابزار گردآوری داده‌ها

روایی پرسشنامه با توجه به اینکه فاکتورهایی که ما استخراج کردیم متکی است به مطالعات پیشین، لذا نتیجه می‌شود کیفیت گزارش عوامل مؤثر نگهداری و تعمیرات سبز از تمامی عواملی است که در پرسشنامه‌ها ذکر شده است. لذا عوامل دارای روایی کافی برای سنجش میزان کیفیت نگهداری و تعمیرات سبز تجهیزات و ادوات نظامی می‌باشد. پایایی روش هم بر اساس فرمت استاندارد پرسشنامه تاپسیس تدوین شده است.

۶- نرم‌افزارهای مورد استفاده

به‌منظور انجام محاسبات از نرم‌افزارهای Excel و Expert Choice استفاده شده است.

۷- شاخص‌های ارزیابی نگهداری و تعمیرات سبز

امروزه سازمان‌ها بر این باورند که نگهداری و تعمیرات همکاری مثبتی را در ارتباط با تحقق اهداف استراتژیک سازمان ایفاء می‌کند، لذا مدیریت ارشد سازمان ارزش‌افزوده فرآیند نگهداری و تعمیرات و نقشی را که در کاهش هزینه‌ها دارد را درک کرده است. به عبارت دیگر نگهداری و تعمیرات ضعیف می‌تواند علاوه بر اینکه مانعی در ایجاد ارزش به حساب آید، موجب نابودی سرمایه‌ها و استراتژی شرکت نیز شود [۱۶].

ابعاد شناسایی شده انتخاب بهینه نگهداری و تعمیرات سبز با توجه به مرور ادبیات موضوع ۶ مورد بود که عبارت‌اند از:

- برنامه‌های آموزشی محیط‌زیست برای کارکنان و مدیران،
- کنترل میزان تولید گازهای خطرناک،





- استفاده از فناوری،
- تجهیزات و ماشین‌آلات دارای آلودگی کمتر برای محیط‌زیست،
- استفاده از شیوه مناسب برای دفع فاضلاب،
- کم بودن میزان فراوانی وقوع حوادث محیطی.

۸- روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش با توجه به هدف آن مبنی بر "شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای انتخاب راهبرد نگهداری و تعمیرات سبز تجهیزات و ادوات نظامی با استفاده از تکنیک MADM"، ابتدا عوامل مختلف مؤثر در انتخاب راهبرد نگهداری و تعمیرات سبز با مرور ادبیات شناسایی و عوامل مؤثر در صنایع نظامی، پس از مصاحبه و نظرخواهی از کارشناسان و خبرگان نگهداری و تعمیرات، غربال شد. با توجه به هدف اصلی پژوهش مبنی بر رتبه‌بندی معیارهای انتخاب بهینه راهبرد نگهداری و تعمیرات سبز، روش تحلیل فرآیند سلسله مراتبی فازی بدین منظور مورد استفاده قرار گرفت. این پژوهش از نظر مکانی، میدانی است، زیرا داده‌های پژوهش با حضور در جامعه آماری (صنایع نظامی) و با استفاده از ابزار کاربرگ تصمیم‌گیری گردآوری شده است و از نظر زمانی، مقطعی می‌باشد، زیرا در فاصله ۳ ماهه اول سال ۱۳۹۸ صورت پذیرفته است.

۹- روش‌های بررسی و تحلیل داده‌ها

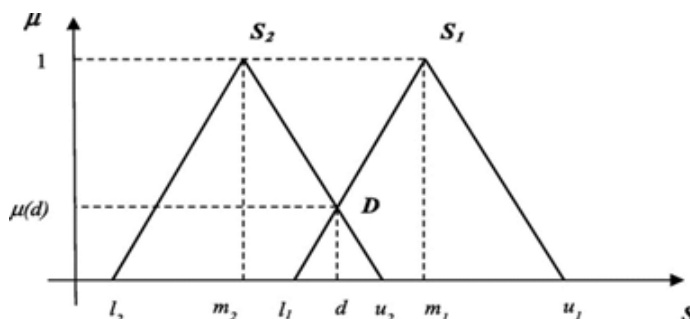
پس از جمع‌آوری معیارهای انتخاب راهبردهای نگهداری و تعمیرات، برای تعیین رتبه‌بندی معیارهای انتخاب بهینه راهبردهای مزبور از روش FAHP استفاده می‌شود. در ادامه به تشریح مختصر هر یک از این مراحل پرداخته می‌شود. دو محقق هلندی به نام‌های «لاره‌ورن و پدیریک» در سال ۱۹۸۳ روشی را برای سلسله مراتبی فازی پیشنهاد کردند که بر اساس حداقل مجذورات لگاریتمی بنا نهاده شده بود.

منظور از درجه‌ی امکان‌پذیری آن است که مشخص شود چقدر احتمال دارد یک عدد فازی بزرگ‌تر از یک عدد فازی دیگر باشد. بیش از بیان الگوریتم پیشنهادی چانگ باید مفهوم درجه‌ی امکان‌پذیری یا درجه‌ی احتمال بزرگ‌تر بودن تشریح شود.

دو عدد فازی مثلثی و $F_2 = (u_2, m_2, l_2)$ را در شکل (۱) نظر بگیرید.

اگر $M_1 \leq M_2$ باشد: احتمال اینکه F_1 از F_2 بزرگ‌تر باشد برابر ۱ است.

احتمال بزرگ‌تر بودن F_2 نسبت به F_1 برابر است با ارتفاع ناحیه اشتراک بین F_1 و F_2



شکل ۱- درجه‌ی امکان‌پذیری چانگ [۸].



هنگامی که چندین پاسخ دهنده به مقایسات زوجی پاسخ داده‌اند برای ادغام آن‌ها از روش میانگین هندسی استفاده می‌شود. تا یک ماتریس مقایسه زوجی ادغام شده حاصل شود. ادغام ماتریس‌های فازی به این صورت است که درایه‌های اول همه مقایسات با هم میانگین هندسی، درایه‌های دوم نیز با هم و درایه‌های سوم نیز با هم میانگین هندسی می‌گیریم. در روش تحلیل توسعه ای برای هریک از سطرها ماتریس مقایسات زوجی، مقدار S_k که خود یک عدد مثلی است، به صورت رابطه (۱) بدست می‌آید.

$$S_k = \sum_{j=1}^n M_{k_i}^j \times \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M_{ij} \right]^{-1}$$

رابطه (۱)

که در این روابط k بیانگر شماره سطر و i و j به ترتیب نشان دهنده گزینه‌ها و شاخص‌ها می‌باشند. پس از محاسبه S_k ، در این مرحله باید طبق رابطه ی زیر درجه ی بزرگی هریک از عناصر سطوح را بر سایر عناصر آن سطح به صورت جداگانه طبق روابط (۲) و (۳) محاسبه نماییم [۹].

$$\begin{cases} V(M_1 \geq M_2) = 1 & \text{if } M_1 \geq M_2 \\ V(M_1 \geq M_2) = hgt(M_1 \cap M_2) & \text{otherwise} \end{cases}$$

رابطه (۲)

همچنین داریم:

$$hgt(M_1 \cap M_2) = (l_2 - u_1) / ((m_1 - u_1) - (m_2 - l_2))$$

رابطه (۳)

همچنین در این روش تحلیل توسعه‌ای (EA) برای محاسبه وزن ماتریس‌ها در مقایسات زوج طبق رابطه ی (۴) به صورت زیر عمل می‌کنند:

$$W'(x_i) = \min \{v(S_i \geq S_k)\} \quad k=1,2,3,\dots,n, k \neq i$$

رابطه (۴)

بنابراین بردار وزن شاخص‌ها به صورت رابطه ی (۵) خواهد بود که همان بردار ضرایب غیر بهنجار AHP فازی خواهد بود.

$$W' = [W'(x_1), W'(x_2), \dots, W'(x_n)]^t$$

رابطه (۵)

بعد از این مرحله به دنبال سنجش نرخ ناسازگاری^۱ با استفاده از مراحل زیر می‌رویم:

¹ Inconsistency Ratio (IR)





گام ۱: محاسبه بردار مجموع وزنی^۱ (WSV): ماتریس مقایسات زوجی (D) را در بردار وزن‌های نسبی ضرب کنید. به بردار حاصل، «بردار مجموع وزنی» گفته می‌شود.

$$WSV=D \times W$$

گام ۲: محاسبه‌ی بردار سازگاری^۲ (CV): عناصر بردار مجموع وزنی را بر بردار وزن‌های نسبی تقسیم کنید. به بردار حاصل، «بردار سازگاری» گفته می‌شود.

گام ۳: محاسبه‌ی بزرگ‌ترین مقدار ویژه‌ی ماتریس مقایسات زوجی (λ_{max}):

برای محاسبه‌ی بزرگ‌ترین مقدار ویژه‌ی ماتریس مقایسات زوجی، میانگین عناصر بردار سازگاری محاسبه می‌شود.

گام ۴: محاسبه‌ی شاخص ناسازگاری^۳ (II): شاخص ناسازگاری به صورت زیر حساب می‌شود.

$$II=(\lambda_{max}-n)/(n-1)$$

گام ۵: محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری (IR): به این منظور، به ترتیب زیر عمل می‌شود:

$$IR=II/IRI$$

IRI (شاخص ناسازگاری تصادفی^۴) مقداری است که از جدول مربوطه استخراج می‌شود. جدول ناسازگاری تصادفی، بر اساس شبیه‌سازی به دست آمده است. جدول (۲) شاخص ناسازگاری از شبیه‌سازی به دست آمده است.

جدول ۲- شاخص ناسازگاری تصادفی

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
IRI	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵
n	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
IRI	۱/۴۹	۱/۵۱	۱/۵۴	۱/۵۶	۱/۵۷	۱/۶	۱/۶۲	۱/۶۵	۱/۶۸
n	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
IRI	۱/۷	۱/۷۲	۱/۷۵	۱/۷۷	۱/۸	۱/۸۱	۱/۸۵	۱/۸۶	۱/۸۷

در این جدول n تعداد مقایسه زوجی و IRR شاخص ناسازگاری تصادفی می باشد. در صورتی که نرخ ناسازگاری کوچک‌تر یا مساوی (۰,۱) باشد، در مقایسات زوجی، سازگاری وجود دارد می توان کار را ادامه داد در غیر این صورت، تصمیم گیرنده باید در مقایسات زوجی تجدیدنظر کند.

¹ Weighted Sum Vector

² Consistency Vector

³ Inconsistency Index

⁴ Inconsistency Random Index (IRI)



۹- تجزیه و تحلیل داده‌ها

مقایسه‌های دودویی معیارهای اصلی نسبت به هدف

جدول ۳- مقایسه دودویی معیارهای اصلی $CR=0,047$

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	Σ
C_1	(1,1,1)	(1,1,355,1,682)	(0,669,0,76,0,904)	(0,50,667,1)	(1,1,5,2)	(0,707,0,816,1)	(4,876,6,098,7,585)
C_2	(0,595,0,738,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,225,1,565,1,88)	(1,1,5,2)	(0,841,0,904,1)	(5,660,6,706,7,880)
C_3	(1,107,1,316,1,495)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0,795,0,841,0,904)	(0,639,0,816,1,189)	(1,1,1)	(5,541,5,973,6,888)
C_4	(1,1,5,2)	(0,532,0,639,0,816)	(1,107,1,189,1,257)	(1,1,1)	(1,107,1,612,2,115)	(1,316,1,655,1,968)	(6,061,7,595,9,157)
C_5	(0,50,667,1)	(0,50,667,1)	(0,841,1,225,1,565)	(0,473,0,620,0,904)	(1,1,1)	(1,1,5,2)	(4,314,5,678,7,469)
C_6	(1,1,225,1,414)	(1,1,107,1,189)	(1,1,1)	(0,508,0,604,0,76)	(0,50,667,1)	(1,1,1)	(5,008,5,602,6,363)

$$\sum \sum M_j = (31.46, 37.65, 45.04)$$

$$\sum \sum M_j^{-1} = (0.022, 0.026, 0.032)$$

برای هریک از سطرهای ماتریس مقایسات زوجی مقدار S_k که خود یک عدد مثلثی است، محاسبه می‌شود:جدول ۴- محاسبه S_i برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسات زوجی

S_1	0,108	0,162	0,241
S_2	0,125	0,178	0,205
S_3	0,123	0,159	0,209
S_4	0,135	0,202	0,291
S_5	0,096	0,151	0,237
S_6	0,111	0,149	0,202

لازم به ذکر است: مقیاس‌های فازی ذکر شده در جدول فوق، پس از مصالحه بین تیم خبره مشخص شده است. پس از محاسبه S ها باید درجه بزرگی آن‌ها را نسبت به هم به دست آورد:





جدول ۵- محاسبه درجه آزادی S_i ها نسبت به یکدیگر

$V(S1 \geq S2) = 0.877$	$V(S1 \geq S3) = 1$	$V(S1 \geq S4) = 0.728$	$V(S1 \geq S5) = 1$	$V(S1 \geq S6) = 1$
$V(S2 \geq S1) = 1$	$V(S2 \geq S3) = 1$	$V(S2 \geq S4) = 0.831$	$V(S2 \geq S5) = 1$	$V(S2 \geq S6) = 1$
$V(S3 \geq S1) = 0.968$	$V(S3 \geq S2) = 0.811$	$V(S3 \geq S4) = 0.635$	$V(S3 \geq S5) = 1$	$V(S3 \geq S6) = 1$
$V(S4 \geq S1) = 1$	$V(S4 \geq S2) = 1$	$V(S4 \geq S3) = 1$	$V(S4 \geq S5) = 1$	$V(S4 \geq S6) = 1$
$V(S5 \geq S1) = 0.921$	$V(S5 \geq S2) = 0.804$	$V(S5 \geq S3) = 0.936$	$V(S5 \geq S4) = 0.669$	$V(S5 \geq S6) = 1$
$V(S6 \geq S1) = 0.877$	$V(S6 \geq S2) = 0.723$	$V(S6 \geq S3) = 0.889$	$V(S6 \geq S4) = 0.561$	$V(S6 \geq S5) = 0.981$

جدول ۶- محاسبه وزن نهایی معیارها

	وزن نرمال نشده	وزن نرمال شده
C_1	0.728	0.1646
C_2	0.831	0.1878
C_3	0.635	0.1435
C_4	1	0.2260
C_5	0.669	0.1512
C_6	0.561	0.1269
$=\Sigma$	2.51	1

$$C4 > C2 > C1 > C5 > C3 > C6$$

۱۰- بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر در دو مرحله متفاوت انجام شد. در گام نخست، ۶ معیار انتخاب بهینه راهبردی نگهداری و تعمیرات سبز با مطالعه متون علمی و کسب نظر خبرگان صنایع نظامی استخراج شد و مبنای تهیه پرسشنامه قرار گرفت. پس از جمع‌آوری داده‌ها معیارهای مزبور بومی‌سازی شد؛ سپس در گام دوم، پس از انتخاب معیارهای اصلی، برای اولویت‌بندی آن‌ها از روش FAHP استفاده شد. این پژوهش با رویکرد شناسی مؤلفه‌ها و همچنین با توجه به اهمیت روزافزون مباحث زیست‌محیطی و نیز توجه بیشتر جامعه به این مورد و همچنین الزامات و قوانین مبنی بر مدنظر قرار دادن ملاحظات زیست‌محیطی توسط صنایع نظامی و دفاعی، می‌تواند زمینه مساعدی برای اجرای نگهداری و تعمیرات سبز در صنایع، به‌ویژه صنعت نظامی و دفاعی، ایجاد کند. نتایج تحقیق حاکی از آن است که در صنایع نظامی به ترتیب معیارهای استفاده از فناوری، تجهیزات و ماشین‌آلات دارای آلودگی کمتر برای محیط‌زیست رتبه اول، معیار کنترل میزان تولید گازهای خطرناکی چون آمونیاک و





CO₂ رتبه دوم و معیار برنامه‌های آموزشی محیط‌زیست برای کارکنان و مدیران رتبه سوم را کسب کردند. یک صنعت سبز واقعی باید ایمنی و سلامت شغلی را در کلیه مراحل و فرآیندهای تولید اعم از طراحی اولیه، ساخت، نگهداری، بازیافت و دفع مواد زائد و اخذ گواهینامه‌های استاندارد مورد توجه قرار دهد.

۱۱- پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی

- بررسی فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات سبز و تأثیر آن بر عملکرد سازمان،
- انتخاب راهبردها بر بهبود در عملکرد نگهداری و تعمیرات سبز در صنعت نظامی با کمک مدل ANP فازی.

۱۲- منابع و مآخذ

- [1]. E Alishahi, MP Moghaddam, MK Sheikh-El-Eslami. "An investigation on the impacts of regulatory interventions on wind power expansion in generation planning", Energy Policy 39 (8), 4614-4623(2016).
- [2]. Pollin, R., Heintz, J., Garrett-Peltier, H., The Economic benefits of investing in clean energy, Renewable Sustainable Energy Rev 15, pp. 282-295 (2013).
- [3]. Zhu,Q., J.,Sarkis,. An intersectional comparison of green supply chain management in China: drivers and practices, Journal of Cleaner Production, Vol.14, PP. 472-86 (2014).
- [4]. Wu,G.C., J.H.,Ding, P.S.,Chen. The effects of GSCM drivers and institutional pressures on GSCM practices inTaiwan's textile and apparel industry, International Journal Production Economics, Vol. 135, PP. 618-636 (2012).
- [5]. Mundaca,J., Richter, L., Assessing 'green energy economy' stimulus packages: Evidence from the U.S. programs targeting renewable energy, Renewable and Sustainable Energy Reviews 42, pp. 1174-1186 (2015).
- [6]. E Alishahi, MP Moghaddam, MK Sheikh-El-Eslami,. "A system dynamics approach for investigating impacts of incentive mechanisms on wind power investment", Renewable energy 37 (1), 310-317(2014).
- [7]. Garg, A., & Deshmukh, S. G., Maintenance management: literature review and directions, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 12, No. 3, pp. 205 -238 (2016).
- [8]. Saaty, Thomas L.; "The Analytic Network Process", ISAHp Japan,)2014.(
- [9]. Momeni, M., Fathi, M.R., Zarchi, M.K., & Azizollahi, S., A fuzzy TOPSIS-based approach to maintenance strategy selection: a case study. Middle-East Journal of Scientific Research, 8, PP. 699-706 (2011).
- [10]. Ding, S.H. & Kamaruddin, S.H., Assessment of distance-based multi-attribute group decision making methods from a maintenance strategy perspective. Journal of Industrial Engineering International, 11, PP. 73-85(2015).
- [11]. Güner, H., Mutlu, O., & Kulak, O., Supplier selection in fuzzy environment. 35th Computers and Industrial Engineering. June 19-22, Turkey, Istanbul, 35, PP. 839-844(2005).





- [12]. Ding, S.H. & Kamaruddin, S.H., Assessment of distance-based multi-attribute group decision making methods from a maintenance strategy perspective. *Journal of Industrial Engineering International*, 11, PP. 73–85(2015).
- [13]. Ilangkumaran, M., & Kirubakaran, B. Selection of optimum maintenance strategy based on FAHP integrated with GRA–TOPSIS. *Annals of Operations Research*. PP. 1-29. (2016).
- [14]. Sadeghi, A., & Alborzi Manesh, R., The application of fuzzy group Analytic Network Process to selection of best maintenance strategy- A case study in Mobarakeh steel company, Iran. *Social and Behavioral Sciences*, 62, PP. 1378 – 1383(2012).
- [15]. Özcana, E., Ünlüsoy, S., & Erenb, T., A combined goal programming – AHP approach supported with TOPSIS for maintenance strategy selection in hydroelectric power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, pp. 1410–1423 (2017).
- [16]. Davood Mosaddar, Amir Abass Shojaei, Peyman Sanandaji,. *Increasing Productivity in a Maintenance Management System Using Data Mining Techniques* (2013).



Identification and Prioritization of Selection Criteria for Maintenance Strategy for Military Equipment Using MADM Technique

Mohammad Moghadasi^{1*}, Farshid Farokhizadeh², Umlbanin Ahmadzadeh³, Reza Karami⁴

¹ M.A. in Industrial Management, Management & Accounting, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

² Instructor and Researcher, Faculty of Defense Science & Engineering, Imam Hussein Officers and Guard Training University, Tehran, Iran.

³ M.Sc. in Technology Management, Management and Accounting, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

⁴ M.A. in Chemistry Engineering subdiscipline HSE, Petroleum University of Technology, Abadan, Iran.

Received: 2019/06/20 Accepted: 2019/09/22

Abstract:

Purpose: Maintenance plays a key role in reducing costs, reducing machinery stoppage and increasing production capacity, improving quality and increasing productivity and reliability of machinery and thus achieving organizational goals. The main purpose of this research is to provide a framework for measuring and comparing the greenness of military industries.

Methodology: In order to achieve the goals and answer the research questions, this research was conducted in two steps. In the first step, by studying the scientific literature and acquaintance of experts familiar with environmental issues, green maintenance of military equipment and equipments, optimal indicators of green maintenance and maintenance strategies were identified based on the extracted main dimensions and based on preparation of the first questionnaire. After collecting expert opinions, 6 main criteria for localization were selected. In the second step fuzzy hierarchical analysis process method was used to prioritize these criteria.

Results: The results show that in the military industries, the criteria for using technology, equipment and machinery are less polluting for the environment, the criterion for controlling the production of hazardous gases such as ammonia and CO₂, and the criteria for environmental training programs for employees. And the managers came in third.

Keywords: Green Maintenance, Military Equipment, Multi-criteria Decision Making, Fuzzy Hierarchical Analysis Process Method.

* Corresponding author mail: m.moghadasi1364@gmail.com



The Impact of Using Criticality and Risk Analysis on the Organizations Asset Management

Seyed Ahmad Razavi Al_e Hashem*¹, Saeed Ramezani²

¹ MSc in Industrial engineering, Industrial and systems engineering department, Imam Hossein University, Tehran, Iran.

² PHD Candidate in Industrial engineering, Industrial engineering department,, Iran University of Science & technology, Tehran, Iran.

Received:2019/06/26 Accepted:2019/09/14

Abstract:

The role of asset management (AM) as a strategic enabler contributing to the current competitive business landscape is rapidly evolving. The emergence of the AM professional has transitioned the maintenance engineer from a role whose primary responsibility is repair to that of a strategic value enhancer. This means AM professionals are now tasked with delivering strategic asset value contributions in alignment with their organization's overall business objectives. the discipline of AM has evolved rapidly in the last few years. Unfortunately, some areas of the AM BOK have not kept up with this frenetic pace of change. A notable example is criticality and its continued use and misuse throughout literature. The confusion surrounding criticality is largely due to its synonymous use with risk, as well as the fact that both terms have an identical mathematical expression. This paper discusses the criticality for asset management professionals and points to the need to adopt a risk-based approach. Risk management is also reviewed in international standards and finally a risk-based approach is presented as a solution.

Keywords: Asset Management, Criticality Analysis, Risk Management, Hierarchical Structure

* Corresponding author mail: Razavi1918@gmail.com





Selection of Optimum Maintenance Policy Using the Fuzzy AHP Model

Seyed Abbas Safavi^{*1}, Omid Motamedi², Javad Gholami³, Mohamad Esmail Golrokhi⁴

¹ M.sc in Industrial engineering, Industrial and systems engineering department, Imam Hossein University, Tehran, Iran.

² PHD Candidate in Industrial and systems engineering, Industrial and systems engineering department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

³ PHD Candidate in energy conversion, mechanical engineering department, Iran University of Science & technology, Tehran, Iran.

⁴ M.sc in Industrial engineering, Industrial and systems engineering department, Imam Hossein University, Tehran, Iran.

Received:2019/04/29 Accepted:2019/09/09

Abstract:

By progress of technology and increment of investment in equipment, the importance and complexity of maintenance management has increased so that organizations tend to pay for the establishment of a comprehensive maintenance management system instead of paying for the costs of stopping and repairing the machine. Therefore, in this article, we will determine the optimal policy for establishment of maintenance management system. By identifying various types of accidental, corrective, adaptive and preventive maintenance and defining two scenarios of outsourcing and implementation by the organization. Review the strengths and weaknesses of each of them in 15 criteria have been developed. Then, by using a fuzzy logic, based on the results of the completed questionnaires and the application of the fuzzy AHP model, the simultaneous implementation of preventive, corrective and accidental maintenance systems by the personnel inside the organization has been identified as the optimal model.

Keywords: Maintenance, AHP, Fuzzy Logic.

^{*} Corresponding author mail: Nasir.safavi@gmail.com



Design and Feasibility of a Multi-Purpose Personal Ascender for Load and Person.

Hassan Radmard^{*1}, Mohammad Berahmand²

¹ Faculty Member, Faculty of Defense Science & Engineering, Imam Hussein Officers and Guard Training University, Tehran, Iran.

² M. Sc. Mechanical Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received:2019/04/14 Accepted:2019/08/10

Abstract:

Today with considering the asymmetry of wars and the necessity of speeding operations in the presence and displacement of soldiers, as well as the deployment of military forces in various operating conditions, the availability of modern equipment and the knowledge of their employment are essential. Personal ascender is One of these new warfare equipment. In this work, it has been attempted to design, simulate, and analyze a low-weight system as well as the use of battery as a power source to provide the energy needed to move, step forward to improve and improve relief and auxiliary equipment. In this work, by designing and simulating a gearbox with its crust and other accessories for building an ascender, it has been tried to obtain the information and basic knowledge necessary to build a prototype of a personal ascender.

Keywords: Personal Ascender, Design, Optimization, Emergency Brake, Solidworks, Kiss Soft.

^{*} Corresponding author mail: Hassan.radmard@gmail.com





Preventive Maintenance Multi-Objective Planning of an Equipment Considering Cost, Shutdown Cost and Service Level with Multi-Objective Approach

Ali Sayyah^{1*}, Saeed Ramezani²

¹ Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Qom, Qom, Iran.

² Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Imam Husein University, Tehran, Iran.

Received:2019/03/09 Accepted:2019/05/03

Abstract:

Equipment in their lifecycle degrades due to failures, environmental condition and instances and consequently they become unready for operations. On the other hand the readiness of the equipment has a key role in managers and leaders decisions about the way to use equipment. Currently, for planning a mining project, just the readiness of the equipment is considered based on check lists and their future status is not taken in to account. While having a prediction of the equipment status during project time enable decision makers to plan more precisely and prevent shutdown in production or service procedure. In this research, initially failure behaviour of the equipment is modeled using weibull distribution and reliability of the equipment will be calculated during its life cycle. Afterwards, preventive maintenance planning will be indicated considering two objective namely cost and shutdown minimization under acceptable reliability level of the equipment as service level. The case study results show that the historical data affect maintenance plan significantly.

Key words: Multi-objective Analysis, Reliability, Crash Data, Censored Data, Preventive Maintenance.

* Corresponding author mail: sayyah.ali@qom.ac.ir

Editorial Board

Full Professor of Iran University of Science and Technology	Seyed Mohammad Seyed Hoseini
Associate Professor of Iran University of Science and Technology	Alireza Moini
Associate Professor Lorestan University	Mojtaba Hosseini
Associate Professor Road, Housing and Urban Development Research Center	Ahmad Mansourian
Associate Professor of Imam Hussein University	Massoud Mosadegh khah
Associate Professor of Imam Hussein University	Ardeshir Ahmadi
Associate Professor of Imam Hussein University	Seyedziaedin Ghazizadeh Fard
Associate Professor of Islamic Azad University, Firuzkuh Branch	Naghei Shoja

Count: 500 (Print Version) 500 (Electronic Version)
Print Version Price: 650,000 Rials
Tel: (+98 21) 77105033 – 106 Fax: (+98 21) 77105032
Address: Shahid Babaei Highway, Tehran, Iran, Imam
Hussein Officer and Guard Training University (AS) Faculty
of Defense Science & Engineering.
E-mail: 2qdmelj@gmail.com, dmej@ihuo.ac.ir
Web : dmej.ihuo.ac.ir

All rights Reserved for the Faculty of Defense Science & Engineering.



Imam Hussein Officer and Guard
Training University (AS)

Bi- Quarterly Journal
Research in Defense Maintenance Engineering
Volume 1, Pre-issue 1, Spring and Summer
2019

Published by: Faculty of Defense
Science & Engineering
ISSN: 2676-7317
e-ISSN: 2717-0861
License No: 86491



Managing Editor:
Mohammad Kazem Basiratei
Editor –in-Chief:
Seyed Mohammad Seyed Hoseini
Deputy Editor:
Farshid Farokhizadeh
Editor:
Alireza Sohrabei
Executive Director:
Seyed Esmail Mirhidari
English Text Editor:
Ali Ghorban Gravand
Graphist:
Reza Karami



Advisory Board:

Mehdi Ebrahimi
Bita Tabrizian
Reza Radfar
Hassan Radmard
Saeed Ramezani
Mustafa Zarei
Mohsen Shahrezaei
Abbas Toloie Eshlaghy
Farshid Farokhizadeh
Massoud kassaee
Reza Mazandarani
Ahmad Mehraban
Hassan Yazdani





**Bi- Quarterly
Scientific Journal
Volume 1
Pre-issue1
Spring and Summer 2019**



Preventive Maintenance Multi-Objective Planning of an Equipment Considering Cost, Shutdown Cost and Service Level with Multi-Objective Approach
Ali Sayyah, Saeed Ramezani



Design and Feasibility of a Multi-Purpose Personal Ascender for Load and Person.
Hassan Radmard, Mohammad Berahmand



Selection of Optimum Maintenance Policy Using the Fuzzy AHP Model
Seyed Abbas Safavi, Omid Motamed, Javad Gholami, Mohamad Esmail Golrokhi



The Impact of Using Criticality and Risk Analysis on the Organizations Asset Management/
Seyed Ahmad Razavi Al_e_Hashem, Saeed Ramezani



Identification and Prioritization of Selection Criteria for Maintenance Strategy for Military Equipment Using MADM Technique/
Mohammad Moghadasi , Farshid Farokhzadeh, Umlbanin Ahmadzadeh, Reza Karami