

بررسی معیارهای منتخب در استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات و اولویت‌بندی با ابزار AHP: مطالعه موردی وسیله نقلیه ریلی درزین

روح‌الله اسلامی^۱، محمد کشمیری^۲

۱. شرکت گسترش آهن راه
۲. شرکت گسترش آهن راه
EMAIL:Info@gar.ir
Phone: 09355115839

مقدمه و بیان مسأله

به مجموعه فعالیت‌هایی که جهت استمرار کارکرد یک دارایی فیزیکی انجام می‌شود، نگهداری گفته می‌شود. نت یا همان نگهداری و تعمیرات به دلیل هزینه‌های بالا و اجتناب‌ناپذیری که دارد، از دیرباز مورد توجه صاحبان صنایع مختلف بوده است. در بسیاری از شرکت‌ها نت ماهیتی واکنشی داشته است اما امروزه این نوع تفکر به علت عواملی مانند کیفیت محصولات و خدمات، هزینه و ایمنی پذیرفته شده نیست[1]. آمار نشان می‌دهد بخش زیادی از هزینه‌های نت به دلیل استفاده از روش‌های ناکارآمد بوده و با برنامه‌ریزی صحیح می‌توان تا حد زیادی هزینه‌ها را کاهش داد. در بسیاری از محیط‌های صنعتی تغییرات وضعیت دستگاه‌ها و نرخ بالای بهره‌برداری موجب تاثیر منفی بر روی عمر و عملکرد تجهیزات خواهد شد. این تاثیرات با افزایش مدت زمان تعمیرات نسبت به بهره‌برداری کاملاً نمایان خواهد شد. با افزایش مدت نگهداری و تعمیرات، هزینه‌های آشکار و نهان به شدت افزایش می‌یابد. بنابراین تعیین استراتژی مناسب نگهداری و تعمیرات امری کلیدی و حساس می‌باشد[2]. از طرفی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات نیز از تنوع زیادی برخوردار هستند. لذا بایستی با بررسی دقیق این رویکردها به دنبال انتخاب بهترین رویکرد مناسب با شرایط محیط و تجهیزات صنعت مورد بررسی بوده و با انتخاب صحیح استراتژی موجب کاهش هزینه‌های نت شویم. امروزه در صنایع مختلف، مکانیزه شدن بیش از پیش، رو به افزایش بوده و استفاده از دستگاه‌های تمام مکانیزه پیشرفته افزایش یافته است. به دلیل پیچیدگی طراحی این دستگاه‌ها، استفاده از رویکردهای نگهداری و تعمیرات مانند استراتژی نت پیش‌گویانه در دستور کار بسیاری از این صنایع قرار گرفته است. اما با توجه به گستردگی این رویکردها و تفاوت‌های موجود در نیازمندی هر صنعت، نمی‌توان از رویکرد پیش‌گویانه به صورت عمومی بهره گرفت. بطور مثال ممکن است در برخی از صنایع تمرکز بر کاهش هزینه یا افزایش درجه آماده به کاری باشد فلذا برای نیل به این هدف بایستی اقداماتی که بهینه اهداف بوده را انجام داد تا هزینه پیاده‌سازی استراتژی نت کاهش یابد. در پژوهش حاضر تلاش گردیده تا با در نظر گرفتن معیارهای تاثیرگذار بر روند انتخاب استراتژی، روشی جامع جهت انتخاب صحیح و مناسب استراتژی برای صنایع مختلف توسعه داده شود تا با استفاده از آن، استراتژی بهینه انتخاب و متناسب با آن ابزارهای مورد نیاز استفاده گردد[3]. نگهداری و تعمیرات در صنعت ریلی نیز همانند سایر صنایع بسیار پر کاربرد است. تجهیزات این صنعت در دسته‌های زیرساخت(خط آهن، ابنیه فنی، علائم الکتریکی و...)، وسایل نقلیه ریلی(لوکوموتیو، واگن، درزین و...) فعالیت داشته و نگهداری و تعمیرات هر یک از این بخش‌ها و دستگاه مستلزم انتخاب صحیح استراتژی مناسب است [3]. جهت بررسی روش توسعه داده شده، عملیات نگهداری و تعمیرات درزین، یکی از تجهیزات پرکاربرد در صنعت ریلی کشور به عنوان مطالعه موردی، بررسی گردیده است.

پیشینه پژوهش

در گذشته با توجه به اینکه ماشین‌آلات و تجهیزات از طراحی نسبتاً ساده‌ای برخوردار بوده و این ویژگی، کار با آن‌ها و تعمیراتشان را آسان می‌نموده، لزوم استفاده از نت برنامه‌دار احساس نمی‌شده است و از نت اضطراری یا واکنشی استفاده می‌شده است. در این رویکرد امکان برنامه‌ریزی بهینه منابع و از بین بردن ریسک‌های عیوب وجود نداشته و احتمال بروز مجدد خرابی وجود دارد[2]. هر انقلاب صنعتی موجب تغییرات گسترده‌ای در تکنولوژی و صنایع شده است. مدیریت نگهداری و تعمیرات نیز از این قاعده مستثنی نیست. استراتژی‌های نت از واکنشی به سمت وضعیت‌نگر حرکت کرده‌اند. پس از جنگ جهانی دوم با افزایش اتوماسیون، مسأله از کار افتادگی ماشین‌آلات از اهمیت بیشتری برخوردار گشت. با توسعه مفهوم نت برنامه‌ریزی شده، نت پیش‌گیرانه نیز تکامل یافت. در این رویکرد بر اساس برنامه‌ریزی از پیش تعیین شده که بر اساس کارکرد یا مدت زمان ایجاد شده، اقدام به بازرسی تجهیزات خواهد شد که موجب کاهش احتمال خرابی‌ها و زمان خرابی خواهد شد. با استفاده از این استراتژی با کمترین هزینه عمر تجهیزات افزایش یافته و قابلیت اطمینان دستگاه‌ها را افزایش خواهد داد. بطور میانگین ۱۲ درصد صرفه‌جویی در هزینه‌ها را شامل خواهد شد[5]. مطابق با برنامه‌ریزی انجام شده، بایستی فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات فارغ از وضعیت سلامت آن‌ها انجام شود. بنابراین تعداد قابل توجهی از قطعات و تجهیزاتی که سالم هستند نیز بایستی بازرسی، سرویس و یا تعویض گردند. از آن‌جایی که هزینه تعویض برخی از قطعات بسیار بالا بوده است و با تعویض هر یک از آن‌ها هزینه‌های گزافی به سازمان‌ها تحمیل می‌گردد، بنابراین هزینه‌های این استراتژی نت بسیار بالا می‌باشد و سازمان‌ها به دنبال یافتن راهکاری جهت جلوگیری از این اتلاف زمان و هزینه هستند [۶]. پیش از هر خرابی، علائم و آثاری در عملکرد و وضعیت دستگاه نمایان خواهد شد و این علائم آغازی بر روند نزولی عملکرد و سلامت دستگاه‌ها می‌باشند. با گذشت زمان و عدم اقدام به موقع، تجهیزات دچار خرابی‌های زیان‌باری خواهند شد. بنابراین می‌توان با پیش وضعیت تجهیزات در هر لحظه از عملکرد مناسب دستگاه‌ها اطمینان حاصل کرده و پیش از خرابی دستگاه‌ها اقدام به عملیات نت کرد[4]. انقلاب صنعتی چهارم موجب توجه بسیاری از صاحبان صنایع به استراتژی‌های وضعیت‌نگر گردید؛ استراتژی‌هایی نظیر: نت پیش‌گویانه، نت اصلاحی و نت پیش اقدامانه به عنوان نسل جدید استراتژی‌های وضعیت‌نگر به دنبال جلوگیری از خراب شدن تجهیزات با آنبالیز کردن الگوهای در دسترس جهت پیش‌بینی خرابی‌های آینده است. بیشتر خرابی‌ها ارتباطی با مدت زمان کارکرد تجهیزات نداشته بنابراین بیشتر خرابی‌ها بر این اساس غیرقابل پیش‌بینی هستند. اگر بتوان وقوع خرابی را پیش‌بینی کرد، با هزینه کمتر امکان حفظ شرایط مطلوب وجود دارد. در این رویکرد از نت، قطعه می‌تواند عمر کامل خود را سبزی کرده و تا زمان بروز خرابی به کار خود ادامه دهد. بنابراین می‌توان با پیش شرایط و شناسایی خرابی‌های احتمالی، هزینه‌های گزاف ناشی از بازرسی و تعویض قطعات سالم را کاهش داده و از خرابی‌های آینده نیز جلوگیری به عمل آورد[4]. استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات وضعیت‌نگر را می‌توان به سه دسته تقسیم نمود:

- پیش‌گویانه
- پیش‌اقدامانه
- اصلاحی.

در استراتژی پیش‌گویانه به استفاده از تجهیزات و ابزارهای لازم سعی بر پیش تجهیزات شده تا با استفاده از اطلاعات و تحلیل اطلاعات اقدام به پیش‌بینی وضعیت و خرابی‌های آتی کرد. استراتژی نگهداری و تعمیرات پیش اقدامانه با تمرکز بر آماده به کاری دستگاه‌ها تلاش بر این دارد تا از وقوع خرابی‌ها جلوگیری نماید. در این رویکرد با انجام آزمایشات و بررسی‌های لازم پیش از خرید تجهیزات و در حین استفاده از آن‌ها تلاش می‌شود تا با بررسی ریشه‌ای عوامل خرابی، از وقوع این خرابی‌ها جلوگیری شود. طول عمر مفید تجهیز را افزایش دهد. استراتژی اصلاحی به عنوان یکی از رویکردهای وضعیت‌نگر به دسته ای از فعالیت‌ها اطلاق می‌شود که به هنگام خرابی یا از دست دادن حد مطلوب عملکردی انجام می‌شود. این فعالیت‌ها موجب توقف کارکرد تجهیزات گشته و با هدف بهبود یا بهسازی تجهیزات انجام می‌شد. بطور مثال با کاهش تعداد تولید یک دستگاه صنعتی، این تجهیز از خط تولید خارج، بهسازی و مجدد نصب خواهد شد. این استراتژی برای تجهیزات و ماشین‌آلات در حال استفاده و مستهلک پیشنهاد گردیده است [7]. با توجه به نیاز متفاوت هر یک از واحدهای صنعتی به استراتژی نت مناسب حوزه فعالیت، بایستی با توجه به تجهیزات مورد استفاده در آن صنعت اقدام به انتخاب استراتژی نت کرد.



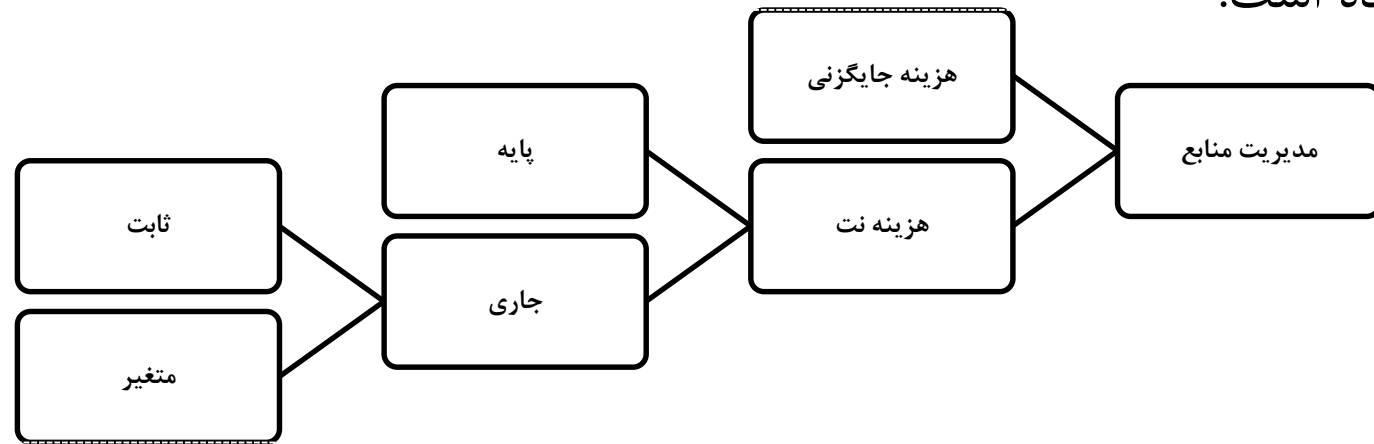
روش تحقیق

جهت انتخاب و به‌کارگیری استراتژی بهینه در حوزه نگهداری و تعمیرات، معیارها و شاخص‌های متفاوتی با توجه به ملاحظات هر یک از صنایع تعریف و مورد استفاده قرار گرفته است. در این بخش ابتدا با بررسی معیارهای مورد نظر صنایع مختلف، به معرفی معیارها و شاخص‌های کلیدی جهت مقایسه استراتژی‌های نت پرداخته شده است. سپس روش پیشنهادی نمره‌دهی هر یک از این معیارها معرفی شده تا بتوان با استفاده از روش حاصله جهت انتخاب صحیح استراتژی استفاده نمود. در انتها جهت بررسی روش معرفی شده، تعیین استراتژی نت درزین به عنوان مطالعه موردی تعیین شده و با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی به هر یک از معیارها وزن داده شود و با استفاده از روش تعریف شده استراتژی نت مناسب را تعیین کرد. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته بر روی دغدغه‌ها و عوامل تاثیرگذار بر روی استراتژی نت انتخاب شده توسط صنایع متفاوت، ۴ معیار:

- مدیریت منابع
- مشخصات عملکردی
- درجه آماده به کاری
- اهمیت تجهیزات

به عنوان معیارهای اصلی در انتخاب رویکرد نت، انتخاب شده‌اند.

مدیریت منابع یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های صنایع می‌باشد. این شاخص را می‌توان به دو بخش هزینه‌های جاری و هزینه نت تقسیم‌بندی نمود. هزینه نت شامل هزینه‌های پایه نت و هزینه جاری است. در شکل ۱ نحوه این دسته‌بندی نمایش داده شده است.



شکل ۱. دسته‌بندی هزینه نگهداری و تعمیرات تجهیزات

مشخصات عملکردی تجهیزات مورد بازرسی نیز از اهمیت بسیار بالای برخوردار است. مشخصات عملکردی به ترکیبی از مشخصاتی مانند طراحی تجهیز، شدت حوادث ایمنی به هنگام خرابی و طول عمر مفید تجهیزات در نظر گرفته شده است. تجهیزات از منظر مشخصات عملکردی به چهار دسته حیاتی، حساس، مهم و عادی تقسیم می‌شوند[۸].

به نسبت زمانی که دستگاه در حال فعالیت بوده به مدت زمان تعمیرات همان تجهیز را درجه آماده به کاری گفته می‌شود. با توجه به دشواری محاسبه درجه آماده به کاری به صورت مستقیم، می‌توان با استفاده از محاسبه قابلیت استفاده دستگاه، نسبتی منطقی در درجه آماده به کاری را بدست آورد.

با توجه به گستردگی استراتژی‌های نت و همچنین هزینه‌های متفاوت هر یک از آن‌ها، یکی از شاخص‌هایی که می‌توان با توجه به آن استراتژی نت مورد نظر را انتخاب نمود، شاخص حساسیت یا اهمیت تجهیزات است. روش‌های گوناگونی جهت نمایش حساسیت تجهیزات معرفی شده‌اند. در این پژوهش حساسیت تجهیزات تابعی از احتمال خرابی و خسارت بوجود آمده ناشی از خرابی است. جهت نمره‌دهی به این پارامترها از طیف لیکرت ۵ تایی استفاده خواهد شد[11]. همچنین در شکل ۳ طیف لیکرت مورد استفاده جهت محاسبه حساسیت تجهیزات نمایش داده شده و با توجه نتیجه محاسبه نهایی تجهیزات در سه درجه کم به رنگ سبز، متوسط به رنگ نارنجی و زیاد به رنگ قرمز تقسیم بندی می‌شوند.

حساسیت تجهیزات				
۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵
۲۰	۱۶	۱۲	۸	۴
۱۵	۱۲	۹	۶	۳
۱۰	۸	۶	۴	۲
۵	۴	۳	۲	۱

شکل ۲. معیار حساسیت جهت انتخاب استراتژی نت

با توجه به معیارهای تعیین شده، جهت تعیین استراتژی نت درزین ابتدا براساس جداول معرفی شده اقدام به تعیین ویژگی‌های درزین شده است. سپس با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی پرسشنامه‌ای تهیه و توسط ۱۷ نفر از متخصصین زمینه نت اقدام به وزن‌دهی به معیارها شده است و در نهایت با توجه به وزن معیارها، وزن هر یک از استراتژی‌ها جهت عملیات نگهداری و تعمیرات درزین تعیین گردیده است.

یافته ها

در این بخش به بررسی و مقایسه پنج استراتژی نام برده شده در پیشینه تحقیق پرداخته شده و نتایج حاصل از این مقایسه، مورد بحث واقع شده است. در انتها یافته‌های حاصل از مطالعه موردی صورت گرفته بر روی درزین مورد بررسی قرار گرفته‌اند. با توجه به معیارهای مشخص شده، نتایج مقایسه استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات بر اساس دو معیار مدیریتی منابع و درجه آماده به‌کاری در جدول ۱ و مقایسه بر اساس اهمیت و مشخصات عملکردی در جدول ۲ نمایش داده شده است.

جدول ۱: مقایسه استراتژی‌های نت براساس معیار مدیریت منابع و درجه آماده به کاری									
ردیف	استراتژی	معیار مدیریت منابع				درجه آماده به کاری			
		ارزش (هزینه) جایگزینی				هزینه نت جاری			
		بسیار بالا (۵)	بالا (۴)	متوسط (۳)	کم (۲)	هزینه نت جاری ثابت	هزینه نت جاری متغیر	بسیار بالا (۵)	بسیار کم (۱)
۱	نت واکنشی	●	●	●	●	●	●	●	●
۲	نت پیش‌گیرانه	●	●	●	●	●	●	●	●
۳	نت پیش‌گویانه	●	●	●	●	●	●	●	●
۴	نت پیش‌اقدامانه	●	●	●	●	●	●	●	●
۵	نت اصلاحی	●	●	●	●	●	●	●	●

جدول ۲: مقایسه استراتژی‌های نت براساس معیار حساسیت و مشخصات عملکردی						
ردیف	استراتژی	مشخصات عملکردی				
		تجهیزات حیاتی (Vital)				حساسیت تجهیزات (اهمیت)
		تجهیزات حساس (Essential)	تجهیزات مهم (Important)	تجهیزات عادی (Normal)	زمان متوسط	
۱	نت واکنشی	●	●	●	●	●
۲	نت پیش‌گیرانه	●	●	●	●	●
۳	نت پیش‌گویانه	●	●	●	●	●
۴	نت پیش‌اقدامانه	●	●	●	●	●
۵	نت اصلاحی	●	●	●	●	●

یافته‌ها

با بررسی نتایج پرسشنامه‌های تکمیل شده توسط متخصصین خطوط ریلی جهت تعیین وزن هر یک از معیارها، نتایجی به دور از انتظار حاصل گردید. در این وزن‌دهی معیار مشخصات عملکردی و مدیریت منابع به عنوان دو معیار با بالاترین وزن مشخص گردیده‌اند. نتایج این وزن‌دهی به صورت کامل در جدول ۳ مشاهده می‌شود.

جدول ۳: نتایج حاصل از وزن‌دهی به معیارهای انتخاب استراتژی نت درزین

ردیف	معیار	وزن
۱	مشخصات عملکردی تجهیزات	۴۳.۶
۲	حساسیت اهمیت تجهیزات	۱۳.۸
۳	مدیریت منابع	۳۰.۲
۴	درجه آماده به کاری تجهیزات	۱۳.۳

با توجه به وزن‌دهی صورت گرفته و با توجه به جداول ۱ و ۲، استراتژی نت پیش‌گیرانه بهینه بوده و نیازی به تغییر استراتژی نگهداری و تعمیرات درزین نمی‌باشد.

نتیجه گیری

با توجه به یافته‌های مسأله مورد بررسی، نتایج زیر حاصل گردیده است:

- استراتژی‌های وضعیت‌نگر به رفع عیوب استراتژی‌های نسل اول و دوم پرداخته و در هر صنعت با توجه به اهمیت و تناسب معیارها با نیاز صنعت می‌توان از رویکردهای وضعیت‌نگر استفاده کرد.
- در بسیار از مقالات و کتب، نت واکنشی و نت اصلاحی به واسطه شباهت، انجام عملیات به هنگام توقف تجهیزات، یکسان در نظر گرفته می‌شوند ولی درنت اصلاحی با پیش وضعیت اقدام به بهسازی تجهیزات خواهد شد. بنابراین نت اصلاحی را می‌توان در دسته استراتژی‌های وضعیت‌نگر قرار داد.
- در دسته‌ای از تجهیزات با اهمیت کم و تعداد خرابی بالا، علاوه بر استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مرسوم می‌توان از استراتژی جدیدی برای آموزش افراد کم تجربه نیز استفاده کرد.
- با توجه به مستهلک بودن درزین‌های مورد استفاده، بایستی این دسته از تجهیزات بهسازی شده و انتخاب استراتژی نت اصلاحی، مورد انتظار می‌باشد. ولی با توجه به اینکه افزایش طول عمر(ادامه کارکرد) و هزینه بهسازی نیز حائز اهمیت است، وزن این معیارها بالا بوده و استراتژی نت پیش‌گیرانه به عنوان استراتژی بهینه انتخاب گردیده است.
- می‌توان نتایج وزن‌دهی را در چند خوشه قرار داد که هر یک از آن‌ها به منزله یک اقلیم جغرافیایی هستند. بطور مثال نظرات کارشناسان استان آذربایجان و یزد به هنگام انتخاب معیارها متفاوت بوده و هر یک از افراد درون خوشه رفتار مشابهی به یکدیگر نشان می‌دهند.
- در تجهیزاتی که از طراحی خاص استفاده شده است، می‌توان روش مذکور را در سطوح مختلف نیز پیاده‌سازی کرد. بطور مثال استراتژی پیشنهادی در نگهداری و تعمیر درزین به عنوان استراتژی کل تجهیز بوده و می‌توان برای قطعات خاص آن، از استراتژی متفاوتی استفاده کرد.
- با توجه به معیارها و دسته‌بندی صورت گرفته بر روی استراتژی‌های وضعیت‌نگر می‌توان استراتژی‌های نوظهور را نیز با توجه به روش ارائه شده دسته‌بندی کرد. بطور مثال رویکردهای دوقلو دیجیتال را می‌توان به عنوان استراتژی نت وضعیت‌نگر با رویکرد پیش‌گویانه در نظر گرفت.

مراجع

- [1] M. Bevilacqua & M. Braglia", "The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection ", Reliability Engineering and System Safety, pp. ۸۲-۹۱, ۲۰۰۷.
- [2] T. Ekin", "Integrated maintenance and production planning with endogenous uncertain yield ", Reliability Engineering and System Safety, pp. ۱۰۰۱, ۲۰۱۷.
- [۳] ج. بوذری، توصیه‌های ایمنی برای راهبران درزین، تهران: مرکز تحقیقات و آموزش راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۹۰.
- [4] P. Poor, D. Zenisek و J. Basl", "Historical Overview of Maintenance Management Strategies ", Proceedings of International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Pilsen, ۲۰۱۹.
- [5] H. P. Bloch و F. K. Geitner, Machinery Failure Analysis and Troubleshooting, Butterworth-Heinemann, ۲۰۱۳.
- [۶] ن. ام‌راللهی بیوکی، "انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات سیستم‌های سیگنالیگ توسط تکنیک تحلیل سلسله مراتبی AHP"، در: کنفرانس ملی نگهداری و تعمیرات، تهران، ۱۳۹۷.
- [۷] بوذری، ج. (۱۳۹۰). توصیه‌های ایمنی برای راهبران درزین. تهران: مرکز تحقیقات و آموزش راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران.
- [8] Drahnovski, J. (۲۰۱۲). Equipment categorizations as a basis toimprove the organization of maintenance. Reaserch Papers Faculty of Technology Slovak University of Technology , ۲۵-۲۱.