

## پیشینه پژوهی مطالعات داخلی پایش وضعیت تلمبه‌ها به کمک نت مبتنی بر قابلیت اطمینان و روش AHP

عباس اصغری<sup>۱\*</sup>، سیدمحمد جعفری<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران  
۲- استادیار دانشکده مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

\*ab.asghari@mail.sbu.ac.ir

ارسال: آبان ماه ۱۴۰۱ پذیرش: بهمن ماه ۱۴۰۱

### چکیده

تلمبه‌ها مرکز و محور تصفیه‌خانه‌ها هستند؛ بنابراین مطالعه آن‌ها می‌تواند از اهمیت بالایی برخوردار باشد؛ چراکه خروجی صنعت آب و فاضلاب، به دلیل ارتباطی که با زندگی افراد دارد، بسیار مهم است. از این رو گسترش دانش نگهداری و تعمیرات و پایش وضعیت مربوط به تلمبه‌های تصفیه‌خانه، از زوایای مختلف ضرورت دارد و ارزیابی عملکرد RCM در آن‌ها قابل تأمل است و اطلاع از روش‌هایی که بتوانند راهبرد نگهداری را ارزیابی کنند و در بومی‌سازی کاربرد این رویکرد متناسب با وضعیت و شرایط تجهیز و زمان و مکان انعطاف لازم را نمایش دهند، اهمیت پژوهش در این زمینه را نشان می‌دهد. پژوهش حاضر با روش تحلیل محتوای کیفی با مطالعه منابع و اسناد کتابخانه‌ای بر محور پایش وضعیت تلمبه‌ها به کمک روش RCM و AHP متمرکز است تا مطالعات داخلی مرتبط با این مسأله واکاوی و استخراج شوند و بین پژوهش‌ها مقایسه صورت پذیرد تا خلأ پژوهشی این حیطه نمودار گردد.

کلمات کلیدی: نگهداری و تعمیرات، RCM، تلمبه، روش AHP.

### ۱- مقدمه

نگهداری و تعمیرات در لغت به معنی «حفظ نمودن چیزی» است [۱]. تغییرات نگهداری و تعمیرات که به عللی از جمله اهمیت بیش از پیش نگهداری و تعمیرات بر اثر افزایش قابل توجه تعداد و تنوع فیزیکی کارخانه‌ها، تجهیزات و ساختمان‌ها برمی‌گردد، به تغییر انتظاراتی اعم از رشد سریع آگاهی درباره وسعت تأثیر شکست<sup>۱</sup> (خرابی) تجهیزات بر ایمنی و محیط زیست، رشد آگاهی درباره رابطه میان کیفیت محصول و نت، افزایش فشار برای رسیدن به تجهیزاتی با دسترس‌پذیری بالا و کنترل هزینه‌ها، واکنش نشان می‌دهد؛ به این ترتیب این تغییرات، روش‌ها و مهارت‌های صنعتی را به چالش می‌کشند. از این رو، مدیران و متخصصان و مهندسان باید خود را با روش‌های جدید تفکر و عملیات وفق دهند و به دنبال رویکردهای جدید نگهداری و تعمیرات باشند [۱]. یکی از این رویکردهای جدید، RCM است. نگهداری و تعمیرات (نت) مبتنی بر قابلیت اطمینان<sup>۲</sup> (RCM) درصدد است هدف دست‌یابی به حداکثر قابلیت اطمینان سیستم را با استفاده از روش‌های نگهداری و تعمیرات محقق گرداند [۲].

<sup>1</sup> Failure

<sup>2</sup> Reliability Centered Maintenance (RCM)

در هر صنعتی، تجهیزات بخصوصی از اهمیت نگهداری و تعمیرات بالاتری برخوردارند؛ تلمبه<sup>۱</sup>، تجهیز کلیدی صنایع آب و فاضلاب می‌باشد. چرخه عمر دیرینه این تجهیز، حکایت از این دارد که از اولین وسایلی بوده که بشر برای بهره‌گیری هرچه بیشتر از منابع آب آن را اختراع کرده و به تدریج انواع و اقسام آن را جهت استفاده در شرایط مختلف ابداع نموده‌است [۳].

## ۲- طرح مسأله

اینکه در راهبرد نگهداری، تعمیرات و پایش وضعیت تلمبه به عنوان تجهیز و دارائی فیزیکی مهم و اصلی تصفیه‌خانه‌ها براساس نظرسنجی از مدیران و خبرگان یک سیستم از یک طرف و براساس معیارهای علمی مستخرج از فرآیند RCM از طرف دیگر چه شاخص‌هایی برجسته و چه سلسله‌مراتبی از معیارها و شاخص‌ها و زیرمعیارها و زیرشاخص‌ها رقم می‌خورد، به عنوان یک مسأله و یک نیاز پژوهشی سر بر می‌آورد که طی مرور و بررسی منابع کتابخانه‌ای و پژوهش‌های کاربردی، اهمیت خود را نشان می‌دهد. با توجه به پراکندگی پژوهش‌ها در بانک‌های نمایه‌کننده، مرور و بررسی شماری از آن‌ها در یک نوشتار، قابل اهمیت است. این پرسش که چه پژوهش‌هایی در ارتباط با تأثیر RCM در نگهداری، تعمیر و پایش وضعیت تلمبه‌های تصفیه‌خانه کار شده‌اند، مسأله اصلی نوشتار حاضر است.

با توجه به اینکه RCM تغییرات گسترده‌ای در سازمان ایجاد می‌کند، در راه شروع و سپس پیاده‌سازی RCM موانع و مشکلات متعددی وجود دارد. چند مورد از رایج‌ترین دلایلی که یک کارخانه/ شرکت از بهترین روش‌های نگهداری و تعمیرات پیروی نمی‌کند عبارتند از اینکه: پرسنل نگهداری مهارت‌های لازم را ندارند؛ نیروی کار نگهداری و تعمیرات فاقد نظم و انتظام یا نظارت و خط سیر به منظور دنبال کردن بهترین روش‌های نگهداری و تعمیرات هستند؛ مدیریت از عواقب عدم پیروی از بهترین روش‌ها پشتیبانی و درک نمی‌کند [۴].

همچنین مشکلات رایجی از جمله: عدم کفایت داده‌های شکست تجهیزات؛ نتایج ضعیف تلاش‌های PM؛ عدم خرید/ تطبیع سازمانی؛ تعداد ناکافی نیروها برای برنامه؛ تمرکز کوتاه‌مدت بر تجهیزات؛ نظم سازمانی ضعیف [۵] وجود دارد که منجر به عدم موفقیت RCM می‌گردد.

ارزیابی راهبرد RCM و تأثیر آن در نگهداری، تعمیرات و پایش تلمبه که قلب تصفیه‌خانه آب و فاضلاب محسوب می‌شود، با کاربرد، بومی‌سازی و نتایج حاصل از این روش براساس هفت پرسش اساسی به منصفه ظهور می‌رسد که همراستای با معیارها و شاخص‌های مدیریتی، نیروی انسانی و عوامل فنی و... مورد ارزیابی واقع می‌گردد و در صورت تحقق اهداف و نیل به نتایج مثبت و مفید، به صنعت آب و فاضلاب کمک شایان توجهی می‌کند. هفت پرسش مذکور، به قرار زیر است:

- ۱) کارکردها<sup>۲</sup> و استانداردهای عملکرد مربوطه تجهیز در شرایط عملیاتی موجود چیست؟
- ۲) به چه صورت‌هایی ممکن است تجهیز از انجام کارکردهایش باز ایستد؟
- ۳) چه چیزی باعث وقوع هر کدام از شکست‌های (خرابی‌های) کارکردی می‌شود؟
- ۴) در زمان رخداد هر شکست چه اتفاقاتی روی می‌دهد؟
- ۵) هر شکست از چه نظرهایی اهمیت دارد؟
- ۶) برای پیش‌بینی یا پیش‌گیری از هر شکستی چه می‌توان انجام داد؟
- ۷) اگر نتوان فعالیت پیش‌اقدام<sup>۳</sup> مناسبی پیدا کرد، چه باید کرد؟ [۶].

<sup>1</sup> Pumps

<sup>2</sup> Functions

<sup>3</sup> Proactive

**۳- هدف**

هدف از این پژوهش، مرور و واکاوی مطالعات داخلی مرتبط با ارزیابی تأثیر راهبرد RCM بر نگهداری، تعمیر و پایش وضعیت تلمبه تصفیه خانه آب و فاضلاب و امکان‌سنجی این رویکرد در نت تلمبه تصفیه خانه است و یکی از روش‌هایی که بتوان در کنار کاربرگ‌ها و معیارهای علمی، شاخص‌های مدیران یا کارکنان و متخصصان را مدنظر قرار داد و به تأثیر RCM و ارزیابی راهبرد منتج از آن پرداخت، روش تحلیل سلسله مراتبی است.

**۴- اهمیت و ضرورت**

درحالی‌که وابستگی سازمانی ما به تجهیزات فیزیکی افزایش می‌یابد، هزینه‌های مالکیت و عملیات این دارایی‌ها نیز در حال رشد است. برای تضمین بالاترین نرخ بازگشت سرمایه، باید بتوان از دارایی‌های فیزیکی تا زمان مورد نیاز به طور مؤثر استفاده کرد. افزایش رو به رشد هزینه‌های نگهداری و تعمیر از یک طرف، رشد انتظارات جدید از نگهداری و تعمیرات از طرف دیگر، اهمیت تصمیم‌های مربوط به راهبرد نگهداری، تعمیر و پایش وضعیت تجهیزات را بیش از پیش نشان می‌دهد [۱]. در نتیجه به دلیل اهمیت دارایی‌های فیزیکی و تحقق اهداف سازمان، فرآیند RCM برای تعیین آنچه باید انجام شود تا ادامه فعالیت دارائی فیزیکی تضمین شود، مطرح می‌گردد.

با توجه به اینکه اکنون صنعت پمپ و پمپاژ یکی از اولویت‌های توسعه‌ای کشورها واقع شده، هرچه اقتصاد و رفاه اجتماعی رونق می‌گیرد و سطح بهداشت، سلامتی و محیط زیست مورد توجه جوامع واقع می‌گردد، هر قدر بهینه‌سازی انرژی در رده‌بندی اولویت‌ها رفعت می‌یابد و هر قدر آب، این مایه حیات اهمیت خود را در چرخه حیات بیشتر جلوه‌گر می‌سازد، موضوع پمپ و پمپاژ نیز سقف اهمیت خود را بر زندگی بشر گسترش بیشتری می‌دهد [۳]. بنابر پیش‌گفته‌ها، پژوهش حاضر به واکاوی و مرور پژوهش‌هایی می‌پردازد که حول محور ارزیابی راهبرد منتج از اجرای RCM در نت و تأثیر این روش بر اهداف سازمان، شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها و شناسایی معیارهای مؤثر با روش سلسله مراتبی قرار دارند.

**۵- داده‌ها**

نمونه پژوهش‌های به کارگیری، ارزیابی یا مطالعه نت مبتنی بر قابلیت اطمینان در تجهیزات مختلف یا انواع صنایع به قرار زیر است: در پایان‌نامه میرمهدی (۱۳۹۰) با عنوان «انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات با رویکرد RCM (موردکاوی اجرای نگهداری و تعمیرات با رویکرد RCM در شرکت سایپا دیزل)»، اهدافی چون ارائه یک مدل خبره-فازی در RCM و بهبود شرایط در شرکت سایپا دیزل پس از اجرای RCM مدنظر بوده است. روش مورد استفاده، روش‌های مدرن حل مسأله به عنوان ابزارهای پشتیبانی مانند سلسله مراتبی، سلسله مراتبی-فازی، منطق فازی، یک سیستم خبره-فازی جهت انتخاب راهبرد بهینه در RCM بوده است. در این پژوهش، بنابر مشکلی که در برآورده نشدن انتظارات صنایع در حل مسائل حوزه نت حتی با انتخاب استراتژی RCM به دلایلی مثل: زمان‌بر بودن تجزیه و تحلیل خرابی در RCM، نبود دیتای کامل برای تصمیم‌گیری یک استراتژی بهینه در مورد عملکرد سیستم، دخیل بودن فاکتورهای غیرمهندسی در نت شامل مدیریت و عوامل انسانی، وابسته بودن کیفیت برنامه‌های RCM به تجربه و مهارت آنالیزکننده‌ها، وجود دارد و به منظور افزایش نقش تجربیات افراد با سطح معلومات متفاوت جهت آنالیز و برخورداری از تصمیم‌گیری گروهی برای انتخاب استراتژی بهینه، یک مدل فازی (محاوره‌ای) در RCM، (RCM-FUZZY) براساس استاندارد جامعه مهندسی خودرو آمریکا (SAE) برای شرکت خودروساز داخلی (سایپا دیزل) ارائه شده است [۷].

نصیری و همکاران (۱۳۹۹) در مقاله «نگاه سیستمی در اعمال روش RCM بر سیستم حفاظت دیستانس خطوط»، مفهوم نگاه سیستمی در مسأله RCM و جایگزینی آن بر نگاه تجهیز محور برای حل مشکل را ارائه کرده و از فرایند مارکوف و الگوریتم بهینه‌سازی میگو برای محاسبات قابلیت اطمینان و یافتن فواصل زمانی بهینه بین وظایف نگهداری و تعمیرات استفاده کرده‌اند. افزایش قابلیت اطمینان سیستم و کاهش هزینه به‌عنوان اهداف بهینه‌سازی در نظر گرفته شده‌اند. روش پیشنهادی با بهره‌گیری از

داده‌های حقیقی دو سیستم حفاظتی دیستانس پیاده‌سازی و تست شده است. مهمترین مشکل در پیاده‌سازی RCM در این گونه سیستمها، ماهیت عملکرد نهان سیستم‌های حفاظتی است که مقاله حاضر توانسته ضمن رفع این مشکل، ماهیت رفتاری عملکرد نهان در سیستمهای حفاظتی را مدل کند. به این منظور در این مقاله، مفهوم نگاه سیستمی به جای نگاه تجهیزاتی در فرایند اعمال RCM پیشنهاد گردید. با استفاده از این مفهوم، ماهیت عملکرد نهان سیستم حفاظتی مدنظر قرار گرفته شده و همچنین، تأثیر کلیه تجهیزات موجود در سیستم حفاظتی در کنار یکدیگر بر قابلیت اطمینان مشاهده شده و برای هر تجهیز برنامه نگهداری و تعمیرات ارائه شده است. اعمال روش پیشنهادی بر داده‌های واقعی دو سیستم حفاظت دیستانس خط در دو پست مختلف و مقایسه برنامه نگهداری و تعمیرات به دست آمده با سوابق پیشین شبکه، نشان داد روش پیشنهادی به خوبی تأثیر تجهیزات بر قابلیت اطمینان را در نظر گرفته و برنامه‌ای با قابلیت اطمینان بالا و هزینه کمتر ارائه کرده است که قابلیت بالای روش پیشنهادی در کاربردهای واقعی شبکه برق را نشان می‌دهد [۸].

صفی پور و محمدی‌زاده (۱۳۹۷) در مقاله «بررسی سیستم‌های پشتیبانی نگهداری و تعمیرات ماشین‌آلات پروژه‌های راهسازی و ساختمانی»، به بررسی موردی روش RCM در یک دوره یک‌ساله در شرکت جهاد نصر سیرجان می‌پردازند. هدف کلی این پژوهش بررسی سیستم نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان برای ماشین‌آلات راهسازی با شناسایی و ثبت چالش‌ها و راهکارهای ممکن و قابل کاربرد است. برای رسیدن به این هدف کلی، اهداف ویژه‌ای مدنظر است که تقریباً همراستای کتاب روش‌های بومی‌سازی RCM در صنعت ایران است که آن هم از سوی مجموعه شرکت‌های OPTIM تهیه گردیده است. از جمله آن اهداف: انجام ممیزی فنی، عارضه‌یابی، آموزش، مشاوره و راهبری RCM (طراحی و پیاده‌سازی)، بسترسازی RCM، بهینه‌سازی، طراحی و تدوین و اجرای فعالیت‌های پیش‌اقدام، تأمین مواد و قطعات، برنامه‌ریزی و اجرای فعالیت‌های اصلاحی مبتنی بر عمر (تعمیرات اساسی و نوسازی). حاصل این پژوهش نشان می‌دهد که استقرار RCM یک پایگاه جامع اطلاعات در مورد ماشین‌آلات، نگهداری و تعمیرات آنها در یک مجموعه باعث کارآمدی کارهای محوله به هر دستگاه شده و همکاری و هماهنگی بین مجموعه نیز حفظ می‌شود. از دیگر دستاوردهای RCM می‌توان به کیفیت بهتر، افزایش راندمان و کارایی، افزایش عمر تجهیزات و ایجاد انگیزه و کارگروهی اشاره کرد. در تحقیقاتی که توسط واحد نگهداری و تعمیرات مجتمع مس سرچشمه (سال ۱۳۹۲) بر روی کرین مسقف پالایشگاه انجام شد، درصد افزایش قابلیت اطمینان در این مجتمع ۲/۷۸ درصد بوده است که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت [۹].

در برخی پژوهش‌های مربوط به RCM به تدریج روش‌های و مدل‌های مختلفی برای اهدافی مثل تعیین راهبرد، ارائه الگوی نگهداری و تعمیرات، تبیین شاخص‌ها و عوامل و کارکردهای نگهداری، تعمیرات و پایش وضعیت مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفته که از جمله آن‌ها موارد زیر است:

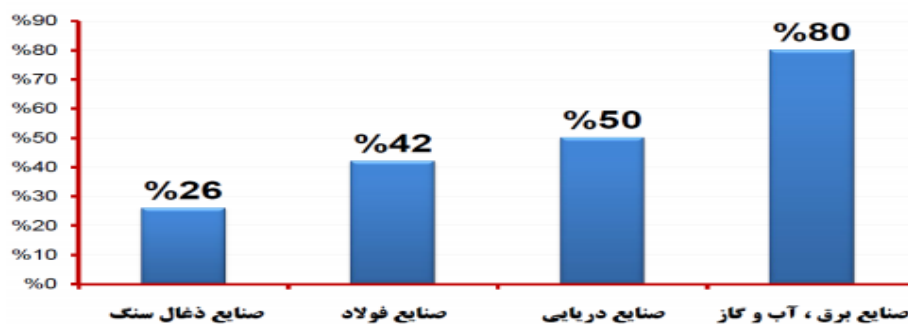
رعیتی و مقتدر (۱۳۹۵) در مقاله «بکارگیری نت مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) جهت تعیین راهبرد نت تجهیزات در حفاری مکانیزه مترو با دستگاه حفار TBM (مطالعه موردی: خط ۷ متروی تهران)» با این پرسش کلیدی که: چه شاخص‌هایی جهت ارزیابی RCM در خصوص حفاری مکانیزه با دستگاه TBM در سازمان قطار شهری تهران باید مورد توجه قرار گیرد، به شناسایی عوامل کلیدی در ارزیابی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان در سازمان قطار شهری تهران با استفاده از روش آنالیز شانون جهت وزن دهی به شاخص‌ها، و در نهایت ارائه پیشنهاداتی جهت استقرار RCM با استفاده از تحلیل FMEA در حفاری مکانیزه خط ۷ متروی تهران پرداخته‌اند. روش این پژوهش در بخش نخست، روش پیمایشی بوده و سپس روش تصمیم‌گیری چند معیاره که خود یک روش ریاضی و کمی است، استفاده شده است [۱۰].

جدول ۱- نتایج حاصل از وزن‌دهی و رتبه‌بندی شاخص‌های ارزیابی RCM [۱۰]

رتبه	وزن	شاخص‌ها
۱	۰,۴۰۳	دسترسی به اطلاعات دستگاههای ماشین آلات حفاری
۲	۰,۳۴۲	برنامه های آموزشی کافی و مناسب
۳	۰,۰۸۴	میزان آشنایی با نت RCM
۴	۰,۰۸۰	تشویق کارکنان به ارائه ایده های جدید جهت پیاده سازی RCM
۵	۰,۰۵۲	احساس نیاز به استقرار RCM
۶	۰,۰۴۲	امکان تغییر در طراحی تجهیزات
۷	۰,۰۳۹	حمایت دائم مدیریت ارشد
۸	۰,۰۳۱	وجود فرهنگ کار گروهی در پرسنل
۹	۰,۰۱۸	مشارکت پرسنل در پروژه RCM
۱۰	۰,۰۰۹	میزان آشنایی سازمان با تجهیزات نت

اصغری قراخیلی و فتوحی فیروزآباد (۱۳۹۷) در مقاله «تدوین تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان تجهیزات شبکه انتقال برق بصورت مساله تصمیم‌گیری چندشاخصه و با کمک فرآیند سلسله مراتبی»، اشاره می‌کنند که در مسیر تکامل الگوهای پیشنهادی جهت تعمیر و نگهداری در دو دهه اخیر روش تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان مطرح گردیده است که با توجه به فضای نوظهور حاکم بر صنعت برق بسیار کارا و مناسب می‌باشد. در این مقاله با ارائه یک مدل تصمیم‌گیری چندشاخصه با در نظر گرفتن همزمان شاخصهای تاثیرگذار نظیر قابلیت اطمینان، هزینه نگهداری و تعمیر، شاخص رقابت‌پذیری بازار و تلفات انرژی که توسط فرآیند سلسله مراتبی، وزن تاثیرگذاری آنها تعیین می‌گردد به شناسایی و اولویت‌بندی تجهیزات بحرانی موجود در شبکه انتقال جهت تخصیص مطلوب منابع پرداخته می‌شود. طی واکاوی با روش AHP در این مقاله، با بکارگیری منطق مستحکم موجود در روش RCM دیدگاه سیستماتیک و کل محور جایگزین دیدگاه جزء محور شده که موجب بهبود شاخصهای با اهمیت در کل سیستم گردیده است. استفاده از منطق RCM باعث تصمیم مسأله و لحاظ شاخصهای با اهمیت شبکه انتقال نظیر هزینه قطعی، تلفات و رقابت‌پذیری شده است که موجب ایجاد سازوکاری مطلوب جهت تقویت نگاه چندبعدی و همه‌جانبه گردیده است. با توجه به نقش حیاتی شبکه انتقال در کارایی بازار برق، عدم در نظر گرفتن این موضوع در کلیه فرآیندهای تصمیم‌گیری بخش انتقال، غفلت نادرستی تلقی خواهد شد. در این مقاله به صورت ویژه به ارتباط شاخص رقابت‌پذیری در فرآیند تعیین تجهیزات بحرانی و تدوین استراتژی بهینه تعمیر و نگهداری پرداخته شده است [۱۱].

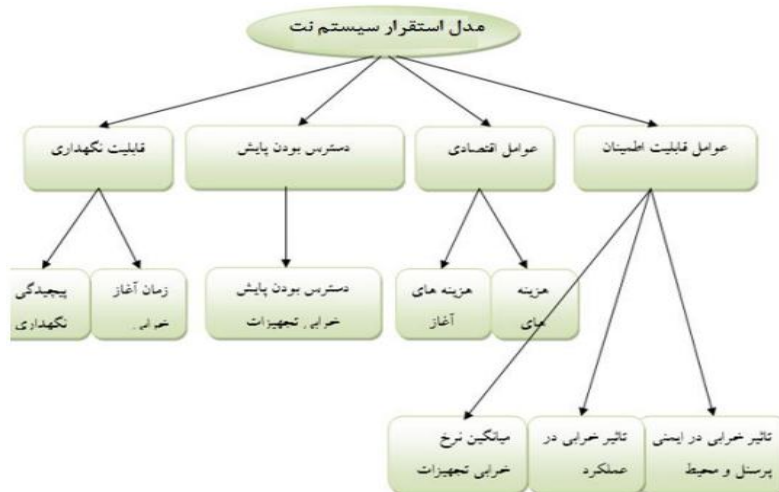
در پایان‌نامه یوسفی (۱۳۹۶) با عنوان «ارائه مدل استقرار نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان RCM برای ماشین آلات پروژه‌های راه»، به منظور طراحی مدل ذکر شده در عنوان، ابتدا با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و مصاحبه با خبرگان و دریافت نظرات آنان با پرسش‌نامه، شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مرتبط با استقرار سیستم نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان RCM برای ماشین آلات پروژه‌های راه شناسایی شد. در این پژوهش ابتدا از درصد هزینه‌های نگهداری و تعمیرات صنایع و سازمان‌های مختلف ایرانی نمایی کلی ارائه می‌شود:



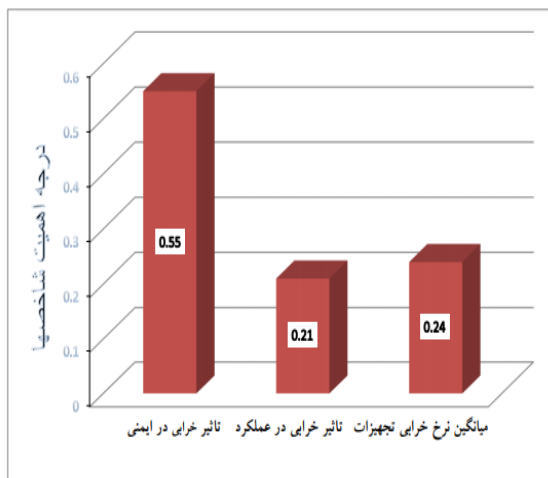
شکل ۱- هزینه سالیانه نگهداری و تعمیرات به کل هزینه‌های شرکت در سازمان‌های ایرانی [۱۲]

این پژوهش که به دنبال ارائه یک مدل برای انتخاب و استقرار استراتژی مناسب نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) برای ماشین آلات عمرانی بوده (جهت تحقق این هدف کلی و اهداف جزئی آن یعنی تعیین ابعاد، مؤلفه‌ها، شاخص‌ها و روابط بین ابعاد و مؤلفه‌ها و شاخص‌ها در یک مدل نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان)، از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) جهت افزایش صحت و دقت نتایج بهره گرفته شده است.

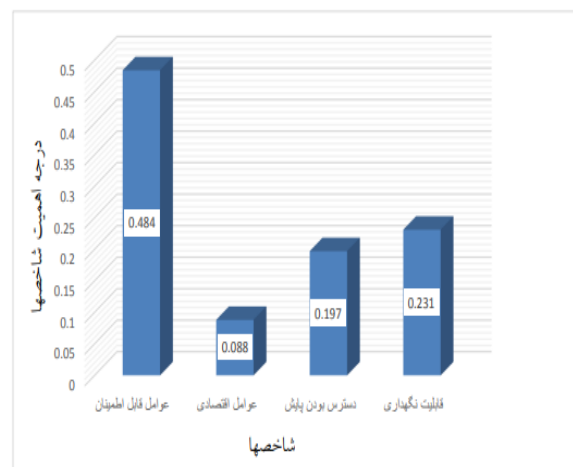
قلمرو مکانی این پایان‌نامه، پروژه‌های راه‌سازی (آزادراه تهران-شمال) و قلمرو زمانی آن، خرداد تا آذر سال ۱۳۹۶ بوده است. براساس تجزیه و تحلیل نظر خبرگان و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، درجه اهمیت هر یک از این شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها تعیین گردید که شاخص عوامل قابلیت اطمینان دارای بیشترین درجه اهمیت (۰/۴۸۴) و شاخص عوامل اقتصادی از کمترین درجه اهمیت (۰/۰۸۸) برخوردار بودند [۱۲].



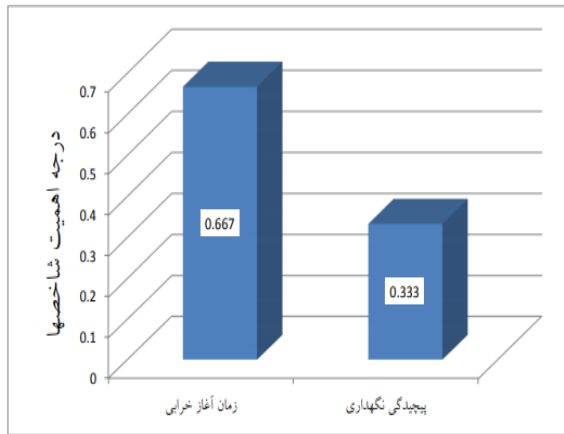
شکل ۲- مدل استقرار سیستم نت در پژوهش [۱۲]



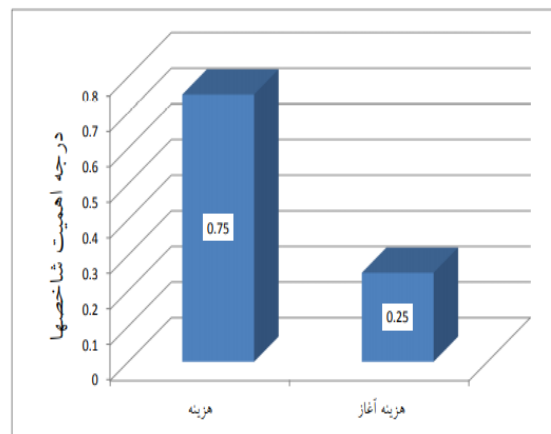
شکل ۴- وزن زیرشاخص‌های عوامل قابل اطمینان [۱۲]



شکل ۳- وزن شاخص‌های اصلی [۱۲]



شکل ۶- وزن زیرشاخص‌های قابلیت نگهداری [۱۲]



شکل ۵- وزن زیرشاخص‌های عوامل اقتصادی [۱۲]

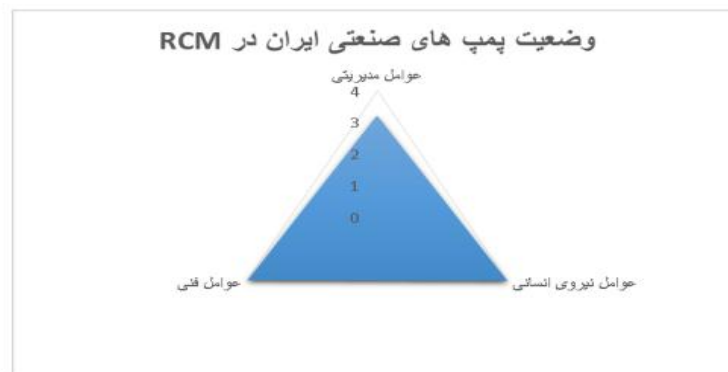
پایان‌نامه صیادمنش (۱۳۹۰) نیز تحت عنوان «انتخاب روش نگهداری و تعمیرات مناسب با رویکرد نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان در شرکت سایپا دیزل» به شناسایی کارکردها، شکست‌های کارکردی، حالات و اثرات شکست در شرکت سایپا دیزل می‌پردازد. این پایان‌نامه از دو کاربرد اطلاعات و تصمیم‌گیری RCM برای انتخاب فعالیت نگهداری و تعمیرات مناسب برای هر یک از حالات خرابی تجهیز مورد نظر استفاده می‌کند. براساس پرسش‌هایی از جمله اینکه: روش نگهداری و تعمیرات مناسب برای هر یک از حالات خرابی با رویکرد نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان در شرکت سایپا دیزل چیست؟ و فواصل زمانی مناسب برای هر یک از فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات انتخاب شده چگونه است؟، اهداف این پایان‌نامه انتخاب روش نگهداری و تعمیرات مناسب با رویکرد نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان در شرکت سایپا دیزل و تعیین فعالیت و فواصل زمانی مناسب برای هر یک از فعالیت‌های انتخاب شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از یک سیستم پشتیبان تصمیم‌حاکمی از این است که فرایند انتخاب فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات به طور صحیح انجام گرفته است [۱۳].

بهرام‌کیا و حسونی‌زاده (۱۳۹۵) در مقاله «بررسی و مقایسه پمپ‌های سانتریفوژ Overhung و Bearings Between با حلزونیه‌های تک و دو مجرای از دیدگاه نیروهای وارده و نت (مطالعه موردی تعمیرات پمپ‌های تصفیه‌خانه آب شهید منجری و شهید محمدی اهواز)»، از منظر «نگهداری و تعمیرات» به بررسی دو نوع تلمبه نام‌برده پرداخته و آماری از میزان خرابی این تلمبه‌ها در تصفیه‌خانه‌های آب اهواز، ارائه کردند. نهایتاً مشخص گردید چه نوع تلمبه‌ای و به چه علت، برای استفاده در تصفیه‌خانه‌های آب با توجه به حساسیت امر آبرسانی در تصفیه‌خانه‌ها و در شرایط مختلف، مناسب‌تر است و می‌بایست هنگام خرید هر کدام از دو نوع پمپ علاوه بر ظرفیت مورد نیاز به چه نکات دیگری توجه داشت تا بالاترین راندمان را در بهره‌برداری انتظار داشت [۱۴].

فرآیند FMEA در پایان‌نامه قاسمی میقانی (۱۳۸۵) تحت عنوان «به‌کارگیری و پیاده‌سازی FMEA برای پمپ‌های مورد استفاده در یک مجتمع پالایشگاهی» در مورد تلمبه‌ها مورد مطالعه واقع شده است. مسأله این پژوهش، بررسی ریشه‌های خرابی یک تلمبه گریز از مرکز با سرویس LPG با به‌کارگیری فرایند FMEA و نگاهی چندجانبه و علت‌گرا بوده است. در این پژوهش، پس از جمع‌آوری و بررسی آمار خرابی ۳۶۸ تلمبه در یک دوره ۸ ساله از واحد ایزوماکس مجتمع پالایش نفت اراک، تلمبه دارای بیشترین آمار خرابی به عنوان نمونه مطالعاتی انتخاب شد. بعد از بررسی مستندات مربوط به فعالیت‌های تعمیراتی تلمبه مورد مطالعه، حالت اصلی خرابی آن ناشی از مکانیکال سیل آن برآورد شد. لذا تمامی فعالیت‌ها متوجه ریشه‌یابی علل ناشی مکانیکال سیل تلمبه مذکور به عنوان یک مشکل فراگیر در خانواده تلمبه‌های صنعت نفت تمرکز یافت و علل خرابی در ۶ گروه از دلایل شامل: دلایل عملیاتی، دلایل مربوط به نگهداری و تعمیرات، سیستم پایپینگ، طراحی تلمبه، خواص سیال و طراحی مکانیکال سیل، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت [۱۵].

یکی از نمونه مطالعاتی که براساس فرآیند RCM روی تلمبه‌ها صورت گرفته، پایان‌نامه شاملو (۱۳۹۴) تحت عنوان «ارزیابی سیستم نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) با رویکرد (ELECTRE) (مطالعه موردی: پمپ‌های صنعتی ایران)»

است. هدف این پژوهش، شناسایی عوامل و شاخص‌های ارزیابی مبتنی بر قابلیت اطمینان در شرکت پمپ‌های صنعتی ایران با استفاده از روش الکترو، روش آنتروپی شانون جهت وزن‌دهی به شاخص‌ها و در نهایت ارائه پیشنهاداتی جهت استقرار RCM در شرکت پمپ‌های صنعتی بوده است. بدین منظور، جامعه آماری پژوهش، ۱۵۰ نفر از خبرگان شرکت بودند که با استفاده از فرمول کوکران تعداد اعضای نمونه به ۸۵ نفر رسید. قلمرو مکانی، شرکت پمپ‌های صنعتی ایران واقع در هشتگرد البرز و قلمرو زمانی، دوره ۶ ماهه شامل مهر تا اسفند سال ۱۳۹۳ بوده است. ابتدا سه عامل اصلی در ارزیابی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان که عبارتند از: عامل مدیریتی، عامل فنی و عامل نیروی انسانی شناسایی شدند. بعد از بررسی ویژگی‌های جمعیت‌شناختی کارکنان از نظر جنسیت، سن، میزان تحصیلات و سابقه خدمت، شاخص‌ها و زیرشاخص‌های شناسایی شده در ارزیابی RCM از طریق پرسش‌نامه معرفی گردید. با روش آنتروپی شانون به وزن‌دهی شاخص‌ها سپس با استفاده از روش ELECTRE به رتبه‌بندی عوامل اصلی در پیاده‌سازی RCM پرداخته شد. رویکرد الکترو، به عنوان روشی که در این پژوهش به کار رفته، به جای رتبه‌بندی گزینه‌ها از مفهوم جدید غیررتبه‌ای استفاده می‌کند. طوری که حتی در صورت عدم ارجحیت ریاضی دو گزینه نسبت به هم، تصمیم‌گیرنده براساس تحلیل ریسک عمل می‌کند. نتایج این پایان‌نامه، سه فرضیه مربوط به سه عامل مدیریتی، فنی و نیروی انسانی را مبنی بر مطلوب بودن عملکرد شرکت در پیاده‌سازی RCM تأیید می‌کند [۱۶].



شکل ۷- وضعیت پمپ‌های صنعتی ایران در پیاده‌سازی RCM در سه بُعد اصلی [۱۶]

بنابر پژوهش مذکور اینکه RCM در دیگر صنایع مرتبط با تلمبه، چگونه و از چه منظر و چه رویکرد و روشی مطالعه، اجرا و ارزیابی شود و چه روش‌هایی برای مطالعه و ارزیابی راهبردهای منتج از اجرای RCM قابل پیشنهاد و بررسی باشد، می‌تواند ضرورت پژوهش‌هایی را نشان دهد که مسأله راهبرد نگهداری و تعمیرات و پایش تلمبه‌ها را با رویکرد RCM اما با روش‌های متفاوت بررسی کنند. زیرا RCM از روشی سیستماتیک و منطقی برای تعیین شواهد عینی جهت انتخاب مناسب‌ترین وظایف نگهداری استفاده می‌کند [۱۷].

اینکه این روش در دیگر تلمبه‌ها و دیگر صنایع چه داده‌ها و نتایج جدیدی در تطبیق با روش‌های اجرا شده دارد نیز خود مسأله قابل تأملی است. حتی روش RCM خود می‌تواند RCM ||، RCM ساده، حالت‌های خرابی و تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی (FMEA) باشد [۱۸].

در جدول زیر که حاصل پژوهشی مربوط به تلمبه‌های تأسیسات آب و فاضلاب است، برخی از مزایا، معایب و کاربردهایشان ذکر شده است:



جدول ۲- تلمبه‌های مصرفی در تأسیسات آب و فاضلاب [۱۹]

نوع تلمبه	مزایا	معایب	کاربرد
سانتریفیوژ	ساختمان ساده‌ای داشته و از مواد گوناگون ساخته می‌شوند. قیمت ارزان واحد پمپ نسبت به یک کیلو وات قدرت مفید تولیدی وصل مستقیم به موتور الکتریکی به دلیل عمل در سرعت‌های بالا (با افزایش سرعت ابعاد پمپ کوچکتر می‌شود). دبی یکنواخت و دائم هزینه ی پایین تعمیرات آن انتقال سیالات با مواد معلق ابعاد کوچکتر نسبت به پمپهای دیگر با ظرفیت مشابه هزینه ی نگه داری به نسبت کم راندمان بالا	در فشارهای بالا کاربرد ندارد. راندمان بالا فقط در شرایط معین راه‌اندازی آن نیاز به آماده سازی دارد. در صورت از کار افتادگی پمپ، سیال میتواند به قسمت مکش درون پمپها جاری شود. (لذا بهتر است که در خروجی این پمپها از شیر یک طرفه استفاده نمود). عدم کاربرد برای سیالات با ویسکوزیته (غلظت) بالا	در فشارهای بالا از پمپ‌های چند مرحله ای استفاده می‌شود. برای سیالات با ویسکوزیته ی پایین در اکثر صنایع و رسانشهای ساختمانی و صنایع شیمیایی و نفت برای مایعات مختلفی با مواد معلق گوناگون
پیستونی (ضربه‌ای)	بازده در حدود ۶۰ تا ۸۵ درصد امکان گرفتنی کم با تغییر ارتفاع تلمبه زنی مقدار بده جریان چندان تغییری نمی‌کند	اگر در پمپ مخزن هوای فشرده تعبیه نشود دچار مشکل می‌شود.	برای چاه‌های کم عمق برای ارتفاع تلمبه زنی زیاد (در کارهای فاضلاب به ویژه انتقال لجن)
تلمبه پیچوار	عدم امکان گرفتنی در مورد فاضلاب خام جلوگیری از در هم شکسته شدن توده‌های به هم چسبیده شده لجن حاوی باکتری در حین انتقال سهولت در بازدید و نگه داری صرفه جوئی در مخارج اولیه به علت عدم لزوم بنای آبگانه	عدم کاربرد در ارتفاع تلمبه زنی بالا	انتقال از حوض ته نشینی نهائی به حوض هوادهی زمانی که ارتفاع تلمبه زنی کم باشد.
بالابر هوایی	در دبی‌های کم جایگزین پمپ می‌شود.	بازده ی کم و در حدود ۱۵ درصد کاربرد محدود در آب و فاضلاب	انتقال فاضلاب از سطحی پائین تر از شبکه فاضلاب انتقال لجن در تأسیسات بزرگ
انسدادناپذیر	به حداقل رسیدن گرفتنی در پمپ دارای ساختمانی ساده تر از سانتریفیوژ	بازده ی آن در ظرفیت‌های کم تا ۴۰ درصد تقلیل می‌یابد.	انتقال مایعاتی که حاوی مواد جامد و یا رشته‌ای شکل نظیر طناب، مو، پارچه، چوب، لاستیک و ... هستند نظیر فاضلاب خام یا لجن

نظری و همکاران (۱۳۸۴) در مقاله خود به بررسی تأثیر نت پیشگیرانه در نگهداری و تعمیر تجهیزات و تأسیسات آب و فاضلاب گرگان پرداخته‌اند. نتیجه پژوهش مذکور کاهش هزینه‌های تعمیرات تکراری، کاهش هزینه‌های استهلاک، استفاده حداکثر از سرمایه موجود و کاهش هزینه‌های دستمزد مربوط به تعمیر را نشان می‌دهد [۲۰].

رشید (۱۳۹۸) در پایان‌نامه خود به بررسی و مطالعه خرابی‌های تلمبه دوغاب پرداخته است. از روش SPSS برای تحلیل بهره گرفته است. نتایج حاصل تحقق هدف کاهش توقفات اضطراری در تلمبه و افزایش اطمینان کارکرد آن و مدل درست نگهداری را نشان می‌دهد [۲۱].

هاشم‌زاده و واحدی آزاد (۱۳۹۱)، در مقاله‌ای تحت عنوان «تعیین شاخص‌های ارزیابی سطح کیفیت فرآیندهای نگهداری و تعمیرات ماشین آلات» به شناسایی و ارائه شاخص‌هایی که بتواند فرایند نت را پایش نماید پرداختند. در این تحقیق شاخص‌های پیشنهادی اثر گذار در سطح کیفیت فرآیندهای نت از سه منظر مطابقت با خواسته‌های مشتری، شاخص‌های فرآیند نت و شاخص‌های خروجی‌های فرآیند مورد توجه قرار گرفته است و نتیجه به کار گیری آن در فرآیند نگهداری و تعمیرات شرکت پارس خودرو، مبنی کارایی این روش جهت ارزیابی سطح کیفیت فرآیند نگهداری و تعمیرات می‌باشد [۲۲].

توکلی مقدم و همکاران (۱۳۹۰)، در پژوهشی با عنوان «استفاده از تصمیم گیری چند معیاره فازی در مدل کارت امتیازی متوازن برای بهبود عملکرد صنایع فولادی ایران»، در ایجاد ارتباط میان راهبرد سازمان‌ها با شاخص‌های عملکردی کوشیدند. پژوهشگران هدف از انجام تحقیق را، توسعه رویکردی نوین از کارت امتیازی متوازن بر اساس روش تاپسیس فازی، به منظور ارزیابی راهبرد و بهبود عملکرد صنایع فولادی مورد مطالعه در ایران اعلام نمودند. نتایج پژوهش آنان نشان می‌دهد روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه فازی، از قبیل تاپسیس فازی، می‌تواند توسط یک روش ساختارمند، در طراحی کارت امتیازی متوازن با موفقیت به کار گرفته شوند. به علاوه، مدل پیشنهادی آن‌ها با ارائه راهکارهای اصولی حاصل از سیستم بازخورد تقریباً تمام شاخص‌های تعریف شده را بهبود بخشیده و بر عملکرد سازمان‌های مورد مطالعه در تمامی ابعاد تاثیر مثبتی داشته است [۲۳].



شکل ۸- ماتریس سلسله مراتبی [۲۳]

خدادادی (۱۳۹۳) در پایان‌نامه خود تحت عنوان «تحلیل و بررسی چگونگی اولویت بندی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی» کوشیده که با تلفیق دو روش تحلیل عاملی و تحلیل سلسله مراتبی به اولویت‌بندی راهبرد-های نگهداری و تعمیرات شرکت پتروشیمی اراک پرداخت. به این صورت که ابتدا شاخص‌هایی را با پرسش‌نامه گردآوری نموده و سپس با روش درخت سلسله مراتبی به وزندهی و اولویت‌بندی شاخص‌های تصمیم‌گیری و تأثیرگذار پرداخته است. نمونه معیارهای انتخاب راهبرد نگهداری و تعمیرات در این پایان‌نامه به این قرار است: کیفیت خدمات، زمان نصب و راه‌اندازی تجهیزات، هزینه نرم‌افزار، امنیت تجهیزات، امکانات نرم‌افزاری، کیفیت تولیدات، رضایت مشتری، دستمزد پرسنل، هزینه و امکانات سخت‌افزاری، آموزش پرسنل، بازدهی تجهیزات و پرسنل، خرابی محصولات، قابلیت اطمینان، نیروی انسانی ماهر، استهلاک تجهیزات، صدمات پرسنل، اثرات محیطی، ریسک، طول زمان بیکاری دستگاه‌ها، موجودی قطعات یدکی و قابلیت پذیرش توسط کارکنان. نمونه معیارهای انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات در این پایان‌نامه به قرار زیر است [۲۴]:

جدول ۳- معیارهای انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات [۲۴]

کیفیت خدمات	زمان نصب و راه اندازی تجهیزات
هزینه نرم افزار	امنیت تجهیزات
امکانات نرم افزاری	کیفیت تولیدات
رضایت مشتری	دستمزد پرسنل
هزینه سخت افزاری	آموزش پرسنل
بازدهی تجهیزات و پرسنل	خرابی محصولات
قابلیت اطمینان	نیروی انسانی ماهر
استهلاک تجهیزات	صدمات پرسنل
امکانات سخت افزاری	اثرات محیطی
ریسک	طول زمان بیکاری دستگاه ها
موجودی قطعات یدکی	قابلیت پذیرش توسط کارکنان

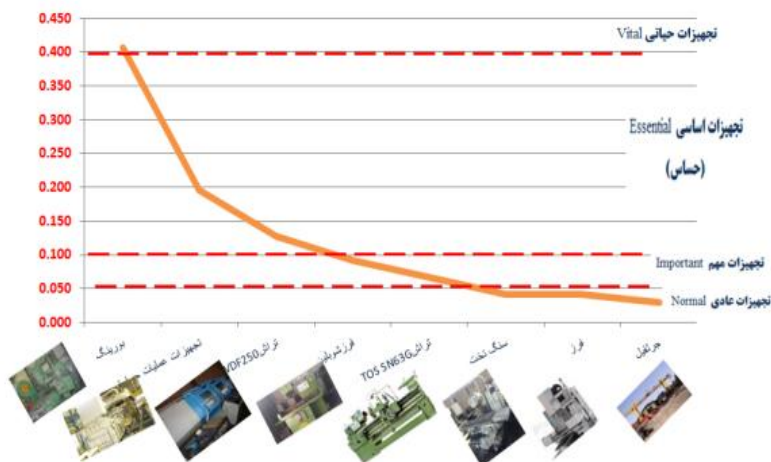
به طور کلی دورنمایی از دیگر پژوهش‌هایی که از روش AHP در زمینه نگهداری و تعمیرات بهره گرفته‌اند، در مقاله «ارائه یک روش برای اولویت بندی دارایی‌ها در یک سازمان صنعتی با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره AHP» قابل مشاهده است. از میان پژوهش‌هایی که به اولویت بندی تجهیزات پرداخته‌اند، می‌توان به پژوهش «تعیین و رتبه بندی عوامل کلیدی موفقیت مدیریت دانش در نگهداری و تعمیرات با رویکرد AHP (مورد کاوی معاونت آماد و پشتیبانی ناجا)» اشاره کرد که به حوزه نت مربوط می‌شود.

این پژوهش یکی از مشکلاتی را که امروزه از دغدغه‌های مهم صنایع دفاعی کشور در حوزه نگهداری و تعمیرات است و توجه تمامی مسئولین و کارشناسان بهره‌بردار را به خود جلب نموده، تعیین استراتژی‌های مناسب نگهداری و تعمیرات برای تجهیزات/ ماشین آلات دانسته است. یکی از دلایل مهم این روند، وضعیت بد تامین قطعات و استراتژی‌های نامناسب بر مبنای اولویت بندی اشتباه تجهیزات/ ماشین آلات موجود است. از جهتی با توجه به گستردگی این بخش و تعداد زیاد تجهیزات/ ماشین آلات، انجام فرآیند تعمیرات و نگهداری همه آنها به صورت یکسان و با دوره تناوب استاتیک اصلاً مقرون به صرفه نمی‌باشد. راهکار اساسی و تأثیرگذار بر این مشکلات بهره برداری و تعمیرات، "اولویت بندی" تجهیزات/ ماشین آلات برای برنامه ریزی تعمیرات و نگهداری است. در این مقاله با استفاده از مفاهیم روش تصمیم گیری سلسله مراتبی (AHP)، یک روش کیفی- کمی سازگار با شرایط سازمان هدف، جهت تعیین تجهیزات/ ماشین آلات کلیدی معرفی شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که توجه به نگهداری و تعمیرات در شرایط تحریم به طور چشم گیری در حال رشد می‌باشد و این نشان دهنده به روز بودن آگاهی مدیران فعال در این حوزه است [۲۵].

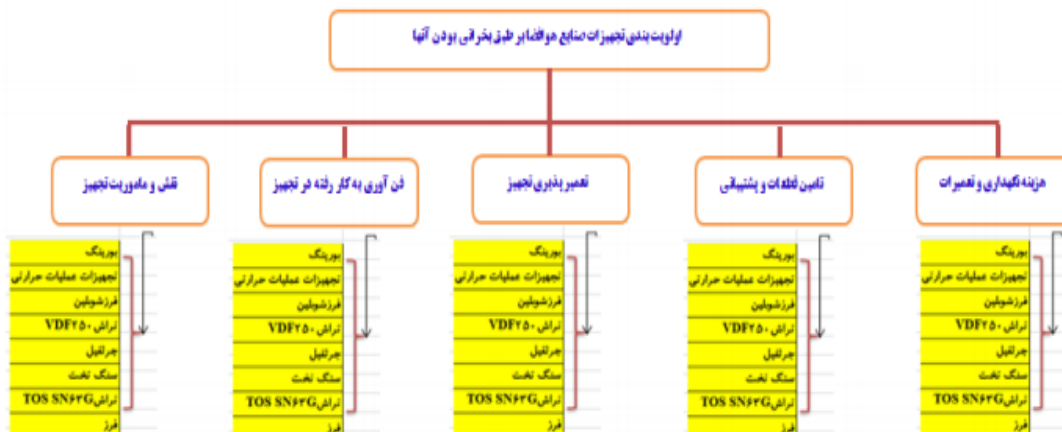
جدول و شکل رتبه بندی تجهیزات مقاله مذکور در ذیل آورده شده است:

جدول ۴- رتبه‌بندی تجهیزات [۲۵]

اولویت تجهیز	رتبه بندی تجهیزات	طبقه بندی تجهیزات
بوردینگ	1	تجهیزات حیاتی Vital
تجهیزات عملیات حرارتی	2	تجهیزات اساسی Essential (حساس)
تراش VDF۲۵۰	3	
فرزشویلین	4	تجهیزات مهم Important
تراش TOS SN۶۳G	5	
سنگ تخت	6	تجهیزات عادی Normal
فرز	7	
جرمیل	8	



شکل ۹- رتبه‌بندی تجهیزات [۲۵]



شکل ۱۰- تصمیم‌گیری سلسله مراتبی وضعیت بحرانی تجهیزات [۲۵]

### ۳- نتیجه‌گیری

با بررسی و مقایسه پژوهش‌های داخلی ذکر شده، می‌توان نمای کلی و اجمالی آن‌ها را در جدول ذیل مشاهده کرد:

جدول ۵- مقایسه و بررسی کلی مشترکات نزدیک‌ترین پژوهش‌های داخلی

روش سلسله مراتبی	تجهیز/صنعت	موضوع/زمینه	پژوهش‌ها
-	برق	RCM	نصیری و همکاران (۱۳۹۹): مقاله «نگاه سیستمی در اعمال روش RCM بر سیستم حفاظت دیستانس خطوط»
-	ماشین آلات راه سازی و ساختمانی	RCM	صفی پور و محمدی زاده (۱۳۹۷): مقاله «بررسی سیستم‌های پشتیبانی نگهداری و تعمیرات ماشین‌آلات پروژه‌های راه‌سازی و ساختمانی»
تکنیک آنترپوی شانون و تصمیم‌گیری چندمعیاره	تجهیز خط مترو	RCM	رعیتی و مقتدر (۱۳۹۵): مقاله «بکارگیری نت مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) جهت تعیین استراتژی نت تجهیزات در حفاری مکانیزه مترو با دستگاه حفار TBM (مطالعه موردی: خط ۷ متروی تهران)»
تحلیل سلسله مراتبی AHP	برق	RCM	اصغری قراخیلی و فتوحی فیروزآباد (۱۳۹۷): مقاله «تدوین تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان تجهیزات شبکه انتقال برق بصورت مساله تصمیم‌گیری چندشاخصه و با کمک فرآیند سلسله مراتبی»
تحلیل سلسله مراتبی AHP	ماشین آلات راه سازی	RCM	پایان‌نامه یوسفی (۱۳۹۶): «ارائه مدل استقرار نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان RCM برای ماشین‌آلات پروژه‌های راه»
سلسله مراتبی و سلسله مراتبی فازی	خودروسازی	RCM	پایان‌نامه میرمهدی (۱۳۹۰): «انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات با رویکرد RCM (موردکاوی اجرای نگهداری و تعمیرات با رویکرد RCM در شرکت سایپا دیزل)»
-	خودروسازی	RCM	پایان‌نامه صیادمنش (۱۳۹۰): «انتخاب روش نگهداری و تعمیرات مناسب با رویکرد نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان در شرکت سایپا دیزل»
-	پمپ تصفیه خانه آب	نت	بهرام‌کیا و حسونی زاده (۱۳۹۵): «بررسی و مقایسه پمپ‌های سانترفیوژ Overhung و bearings Between با حلزونیهای تک و دو مجرای از دیدگاه نیروهای وارده و نت (مطالعه موردی تعمیرات پمپ‌های تصفیه‌خانه آب شهید منجری و شهید محمدی اهواز)»
سلسله مراتبی با رویکرد Electre	پمپ‌های صنعتی	RCM	پایان‌نامه شاملو (۱۳۹۴): «ارزیابی سیستم نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) با رویکرد (ELECTRE) (مطالعه موردی: پمپ‌های صنعتی ایران)»
تحلیل عاملی و سلسله مراتبی	شرکت پتروشیمی	نت	پایان‌نامه خدادادی (۱۳۹۳): «تحلیل و بررسی چگونگی اولویت بندی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی»

همان‌طور که ملاحظه شد، جنبه نوآوری و تازگی پژوهش حاضر در این است که در زمینه تأثیر نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان در رابطه با تجهیز تلمبه، در تصفیه خانه آب و فاضلاب، به یک خلأ پژوهشی می‌پردازد و به کمک روش AHP با سلسله مراتب شاخص‌های نگهداری و اهداف مورد انتظار یک مجموعه ارتباط برقرار می‌سازد.

بنابراین با توجه به محدودیت‌های ذکر شده برای فرایند RCM در صنایع، برای افزایش بهره‌وری، کارایی و بهینه‌سازی نت در مورد پمپ‌ها، روش تحلیل سلسله مراتبی که شاخص‌هایی را براساس شرایط و عوامل و وضعیت موجود یک سیستم و تجهیز برآورد می‌کند، جای کار و ارزیابی دارد تا بتوان استراتژی منتج از ارزیابی RCM در نگهداری و تعمیر و پایش وضعیت پمپ‌ها را با این روش مورد بررسی قرار داد.

از آنجایی که پمپ‌ها مرکز و محور تصفیه‌خانه‌ها هستند، بنابراین مطالعه آن‌ها می‌تواند از اهمیت بالایی برخوردار باشد؛ چراکه در ایران، خروجی صنعت آب و فاضلاب، به دلیل ارتباطی که با زندگی افراد دارد، بسیار مهم است. از این رو گسترش دانش نگهداری و تعمیرات و پایش وضعیت مربوط به پمپ‌های تصفیه‌خانه، از زوایای مختلف ضرورت دارد و ارزیابی عملکرد RCM در آن‌ها قابل تأمل است و روش‌هایی که بتوان استراتژی نگهداری را ارزیابی کرد و در بومی‌سازی کاربرد این رویکرد متناسب با وضعیت و شرایط تجهیز و زمان و مکان انعطاف لازم را نمایند، ظرفیت پژوهش و ضرورت آن را در این زمینه نشان می‌دهد.

#### ۴- مراجع

۱. جان موبری، نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان، ترجمه علی زواشکیانی و رضا آزادگان، چاپ سوم، تهران، آریانا قلم، ۱۳۹۵.
2. John D. Campbell & Andrew K. S. Jardine & Joel McGlynn, Asset management excellence, optimizing equipment life-cycle decisions, CRC Press, Taylor & Francis group, 2011.

۳. سیداحمد نوربخش و حمیده باستانی پاریزی و فرهنگ پیامیار، پمپ و پمپاژ، چاپ هجدهم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۷.
4. Ricky Smith & R. Keith Mobley, Industrial Machinery repair: best maintenance practices pocket Guide, Elsevier science, Butterworth-Heinemann, United States of America, 2003.
5. Terry Wireman, Developing Performance Indicators for maintenance, Industrial Press, New York, 1998.
6. Adolfo Crespo Marquez, The Maintenance Management Framework: Models and Methods for complex systems maintenance, Springer Series in Reliability Engineering, London, 2007.
۷. سید وحید میرمهدی، انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات با رویکرد RCM (موردکاوی اجرای نگهداری و تعمیرات با رویکرد RCM در شرکت سایپا دیزل)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، دانشکده مکانیک، رشته مهندسی ساخت و تولید، ۱۳۹۰.
۸. محمد حسین نصیری، سید یاسر درخشنده و عباس کارگر، «نگاه سیستمی در اعمال روش RCM بر سیستم حفاظت دیستانس خطوط»، نشریه هوش محاسباتی در مهندسی برق، سال ۱۱، شماره ۱، صص ۴۲-۶۲، بهار ۱۳۹۹.
۹. محمد صفی پور و محسن محمدی زاده، «بررسی سیستم‌های پشتیبانی تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات پروژه‌های راهسازی و ساختمانی»، مجله مدیریت توسعه و تحول، شماره ۳۵، صص ۶۷-۷۵، ۱۳۹۷.
۱۰. مرتضی رعیتی و توحید مقتدر، «بکارگیری نت مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) جهت تعیین استراتژی نت تجهیزات در حفاری مکانیزه مترو با دستگاه حفار TBM (مطالعه موردی: خط ۷ متروی تهران)»، سومین کنفرانس بین المللی پژوهش‌های نوین در عمران، معماری و شهرسازی، آلمان، برلین، ۱۹ تیر، ۱۳۹۵.
۱۱. مسعود اصغری قراخیلی و محمود فتوحی فیروزآباد، «تدوین تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان تجهیزات شبکه انتقال برق بصورت مساله تصمیم‌گیری چندشاخصه و با کمک فرآیند سلسله مراتبی»، مجله پژوهش‌های نوین در ریاضی، سال ۴، شماره ۱۶، صص ۳۷-۵۴، زمستان ۱۳۹۷.
۱۲. بهاره یوسفی، ارائه مدل استقرار نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان RCM برای ماشین‌آلات پروژه‌های راه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ایوان کی، دانشکده مهندسی عمران و معماری، رشته عمران گرایش مهندسی و مدیریت، ۱۳۹۶.
۱۳. شادی صیادمنش، انتخاب روش نگهداری و تعمیرات مناسب با رویکرد نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان در شرکت سایپا دیزل، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علامه طباطبایی، دانشکده مدیریت و حسابداری، رشته مدیریت صنعتی گرایش تولید و عملیات، ۱۳۹۰.
۱۴. رضا بهرام کیا و علی‌رضا حسونی زاده، «بررسی و مقایسه پمپ‌های سانتریفوژ Overhung و bearings Between با حلزونی‌های تک و دو مجرای از دیدگاه نیروهای وارده و نت (مطالعه موردی تعمیرات پمپ‌های تصفیه‌خانه آب شهید منجری و شهید محمدی اهواز)»، کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران، دانشگاه تهران، ۲۶ و ۲۷ بهمن، ۱۳۹۵.
۱۵. حمید قاسمی میقانی، به کارگیری و پیاده‌سازی FMEA برای پمپ‌های مورد استفاده در یک مجتمع پالایشگاهی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت، دانشکده مهندسی مکانیک، ۱۳۸۵.
۱۶. بهمن شاملو، ارزیابی سیستم نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) با رویکرد (ELECTRE) (مطالعه موردی: پمپ‌های صنعتی ایران)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد تهران مرکزی، دانشکده مدیریت، گروه مدیریت صنعتی گرایش تولید، ۱۳۹۴.
17. Ricky Smith & Bruce Hawkins, Lean Maintenance: reduce costs, improve quality, and increase market share, Elsevier, United States of America, 2004.
18. Ricky Smith & R. Keith Mobley, Rules of Thumb for Maintenance and Reliability Engineers, Butterworth-Heinemann, Elsevier Inc, 2007.
۱۹. هادی رحیمی فریمانی و مهدی رحیمی فریمانی و ناصر مهرداد، «معیار بهترین نوع پمپ در سامانه‌های انتقال و تصفیه خانه‌های آب و فاضلاب و ارائه راهکارهای لازم برای افزایش کارایی آن‌ها»، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، زاهدان، ۱۷ و ۱۸ اردیبهشت، ۱۳۹۲.

۲۰. علی نظری و علیرضا عسکری و سعید ارجمند نیا تبریز، «تجارب استقرار سیستم نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه PM تاسیسات آب آشامیدنی شهر گرگان»، سومین دوره کنفرانس ملی نگهداری و تعمیرات، ۱۳۸۴.
۲۱. وحید رشید، بررسی قابلیت اطمینان، دسترسی، نگهداری و تعمیر پمپ سانتریفیوژ دوغاب (مطالعه موردی: پمپ دوغاب HM600 مجتمع مولیدن- مس آذربایجان)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه الغدیر، اردیبهشت، ۱۳۹۸.
۲۲. غلامرضا هاشم زاده و مهدی واحدی آزاد، «تعیین شاخص های ارزیابی سطح کیفیت فرآیندهای نگهداری و تعمیرات ماشین آلات»، فصلنامه مدیریت صنعتی، سال هفتم، شماره ۲۱، صص ۱۲۹-۱۴۰، پاییز ۱۳۹۱.
۲۳. رضا توکلی مقدم و سبحان آسیان و محمد همتی، «استفاده از تصمیم گیری چند معیاره فازی در مدل کارت امتیازی متوازن برای بهبود عملکرد صنایع فولادی ایران»، پژوهشنامه بازرگانی، شماره ۶۱، صص ۵۱-۸۰، زمستان ۱۳۹۰.
۲۴. علی خدادادی، تحلیل و بررسی چگونگی اولویت بندی استراتژی های نگهداری و تعمیرات با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه، دانشکده فنی مهندسی، شهریور، ۱۳۹۳.
۲۵. حسن بیگیان و محمدحسین کریمی گوارشکی و غلامرضا توکلی، «ارائه یک روش برای اولویت بندی دارایی ها در یک سازمان صنعتی با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره AHP»، دهمین کنفرانس ملی نگهداری و تعمیرات، ۱۳۹۴.