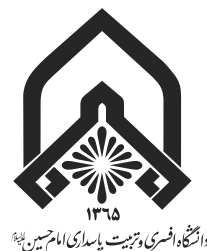


دو فصلنامه علمی
پژوهش در مهندسی نگهداشت دفاعی
نشریه دانشکده علوم و مهندسی دفاعی



اعضای هیأت تحریریه

پرفسور سید محمد سید حسینی استاد تمام دانشگاه علم و صنعت ایران

پرفسور مجتبی حسینی استاد تمام دانشگاه لرستان

دکتر علیرضا معینی دانشیار دانشگاه علم و صنعت ایران

دکتر احمد منصوریان دانشیار مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

دکتر مسعود مصدق خواه دانشیار دانشگاه امام حسین (ع)

دکتر سید ضیاءالدین قاضی زاده فرد دانشیار دانشگاه امام حسین (ع)

دکتر اردشیر احمدی دانشیار دانشگاه امام حسین (ع)

دکتر محسن شاهرزایی دانشیار دانشگاه امام حسین (ع)

دکتر نقی شجاع دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه

داوران این شماره (به ترتیب حروف الفبا)

سید عظیم حسینی، سید محمد امین حسینی پور، سعید رضائی، زهرا شیرازی،
علیرضا صفائی، علی غلام نتاج، فرشید فرخی زاده، عبدالرحمن کشوری،
سید اسماعیل میرحیدری

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

قیمت نسخه چاپی: ۱,۵۰۰,۰۰۰ ریال

دفتر نشریه: تلفن: ۷۷۱۰۵۰۳۳ داخلی ۱۰۴ - دورنگار: ۷۷۱۰۵۰۳۲

نشانی: تهران، بزرگراه شهید بابایی، بعد از پل لشکرک، دانشگاه افسری و
تربیت پاسداری امام حسین علیه السلام، دانشکده علوم و مهندسی.

تارنمای شبکه: dmej.ihuo.ac.ir

رایانامه: 2qdmej@gmail.com, dmej@ihuo.ac.ir

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

دو فصلنامه علمی

پژوهش در مهندسی نگهداری و تعمیرات دفاعی

دوره ۷، شماره ۱۰، پاییز و زمستان ۱۴۰۴

صاحب امتیاز و ناشر: دانشکده علوم و مهندسی

شاپای چاپی: ۷۳۱۷-۲۶۷۶

شاپای الکترونیکی: ۰۸۶۱-۲۷۱۷

شماره پروانه انتشار: ۸۶۴۹۱

مدیر مسئول: دکتر مهرداد نجفی نوکاشتی

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 اسماعیل میرحیدری

ویراستار انگلیسی: دکتر علی قربان گراوند

حروفچین و صفحه آرا: احمد غینری

مشاورین علمی

دکتر احمد بیطرف

دکتر بیتا تبریزیان

دکتر سیدایوب حسینی

دکتر محسن دزفولی

دکتر رضا رادفر

دکتر سعید رضائی

دکتر عباس طلوعی اشلقی

دکتر سعید فرخی زاده

دکتر یاسر فیض الهی

دکتر محمد مهدی قلیان

دکتر مرتضی مولایی

دکتر علی کریم زاده مبینی

دکتر رضا مازندرانی

دکتر احمد مهربان

دکتر حسن یزدانی



با عرض سلام و آرزوی توفیق خدمت دوستان عزیز و همکاران محترم سخن آغاز می‌کنم.

انتشار هر شماره نشریه علمی، به سان 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 شماره دهم 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 به عنوان 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.»

نکته دوم: با توجه به اهمیت موضوع خودکفایی در امر تعمیر و نگهداری به خصوص 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 شماره هفتم دوفصلنامه مهندسی نگهداشت دفاعی را با همکاری اساتید و خبرگان موضوع تهیه نماییم تا بدین‌وسیله در اشاعه و ترویج علوم گام مثبتی برداشته و سهیم باشیم.

نکته سوم: علی‌رغم همه مشکلات و کمبودها در انتشار نشریه، سعی مسئولان و هیئت تحریریه معطوف به انتشار نشریه‌ای علمی، تخصصی در حوزه نگهداشت دفاعی بوده است تا ضمن به‌کارگیری پژوهشگران جوان، از تجارب اساتید و بزرگان این رشته نیز کمال استفاده برده شود. هرچند قضاوت دقیق و همه‌جانبه درباره نشریه را زود هنگام می‌دانیم، اما خوشحالیم که به‌مرور دوفصلنامه جایگاه مناسبی را در میان پژوهشگران دانشگاه و صنعت یافته و تا حدی توانسته است خلأ نشریه‌ای اختصاصی در حوزه نگهداری و تعمیرات را پر نماید. البته متصدیان نشریه به بسیاری از نقایص و کاستی‌های واقف بوده و معترف‌اند که تا نقطه مطلوب و قابل قبول فاصله بسیار داریم. یکی از مشکلات اساسی در هر شماره، تهیه مقالات مناسب و دارای حداقل استانداردهای علمی است. بدیهی است که با شناخته شدن تدریجی نشریه در بین پژوهشگران موضوعی و همچنین مشوق‌های پژوهشی به‌مرور شاهد رفع این مشکل باشیم، اما باید اذعان کرد انتشار نشریه تخصصی آن‌هم در محدوده‌ای از تاریخ و نیز اجتناب از تاخیر تا حد زیادی دست ما را بسته است، هرچند ما ظرفیت و توان علمی جامعه پژوهشگران عرصه نگهداری و تعمیرات را بسیار بیشتر از این می‌دانیم و آرزو می‌کنیم که با مساعدت پژوهشگران بتوانیم ویژه‌نامه‌های تخصصی در هر یک از ابعاد موضوع منتشر کنیم. در پایان ضمن استقبال گرم و صمیمانه از مساعدت علمی محققان نام‌آشنا، تلاشمان را بیشتر در جهت شناسایی پژوهشگران و نویسندگان جوان و کم‌ادعا و تشکل علمی این طیف قرار داده‌ایم. با این امید که روز به روز بر غنای این رشته افزوده گردد.



۱. مقاله باید پژوهشی و حاصل تحقیق نویسنده در زمینه مهندسی نگهداشت دفاعی باشد.
۲. مقاله‌های ارسالی به نشریه، نباید پیش از این در هیچیک 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 صاحب‌نظر 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 A4 و در قالب Word و با قلم Nazanin B ۱۱ 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 پایان نامه‌ها 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 موردنظر 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؛ هم چنین پیشنهادهای بعدی و چشم‌انداز آینده و مسائل باقیمانده درباره موضوع در بخش نتیجه‌گیری مطرح می‌شود. این بخش یک پاراگراف تا یک صفحه باشد.



پیش بینی خرابی الکتروموتورها در تأسیسات ساختمانی با استفاده از یادگیری ماشین و داده کاوی: مطالعه موردی یک مرکز آموزش نظامی

علی ولایتی^۱، فرشید فرخی زاده^{۲*}، علی اصغر جریان^۳

۱. کارشناسی ارشد، گروه سیستم، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.

۲. استادیار، گروه مهندسی نگهداری و تعمیرات، دانشکده علوم و مهندسی، دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع)، تهران، ایران.

۳. مدرس، گروه مهندسی نگهداری و تعمیرات، دانشکده علوم و مهندسی دفاعی، دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع)، تهران، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۸/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵

چکیده

مقدمه: در دنیای امروزی، نگهداری پیشگیرانه از تجهیزات ساختمانی به ویژه الکتروموتورها به دلیل نقش حیاتی آنها در سیستم های آبرسانی، گرمایش و سرمایش، از اهمیت بالایی برخوردار است. با ظهور فناوری های صنعت ۴.۰، استفاده از داده کاوی و یادگیری ماشین برای پیش بینی خرابی ها و بهینه سازی نت پیشگیرانه به یک ضرورت تبدیل شده است.

هدف: پژوهش حاضر با هدف ارائه یک مدل پیش بینانه برای نگهداری پیشگیرانه الکتروموتورها در تأسیسات ساختمانی با استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشین و داده کاوی انجام شده است.

روش تحقیق: این پژوهش از نوع کاربردی-توسعه ای و با روش آمیخته (کیفی-کمی) انجام شده است. داده های مورد استفاده شامل دو بخش اصلی بودند: (۱) داده های ثبت شده در سامانه ۱۳۷ مرکز آموزشی مورد مطالعه شامل ۶۸۴۸ رکورد تعمیرات، و (۲) داده های شبیه سازی شده یک الکتروموتور شامل متغیرهای عملیاتی مانند دما، سرعت چرخش، گشتاور و میزان سایش. پس از پیش پردازش داده ها با پایتون، الگوریتم های مختلف یادگیری ماشین شامل جنگل تصادفی، درخت تصمیم، SVM و رگرسیون لجستیک ارزیابی شدند.

یافته ها: الگوریتم جنگل تصادفی با دقت ۹۹.۶٪ در داده های آزمایشی بهترین عملکرد را نشان داد. این مدل قادر به پیش بینی خرابی های الکتروموتور با دقت بالا و شناسایی الگوهای پنهان در داده های عملیاتی است. نتایج همچنین نشان داد که با استفاده از این روش می توان زمان خرابی های غیرمنتظره را کاهش داد، عمر مفید تجهیزات را افزایش داد و هزینه های نگهداری را بهینه کرد.

نتیجه گیری: پژوهش حاضر نشان می دهد که تلفیق داده کاوی و یادگیری ماشین می تواند به صورت مؤثری برای نگهداری پیشگیرانه الکتروموتورها در تأسیسات ساختمانی به کار رود و منجر به بهبود قابلیت اطمینان، ایمنی و بهره وری سیستم ها شود.

واژه های کلیدی: داده کاوی یادگیری ماشین تجهیزات ساختمان الکتروموتور نت پیشگیرانه پیش بینی خرابی.





۱- مقدمه

در دنیای امروزه، حفظ و نگهداری صحیح تأسیسات و تجهیزات ساختمانی از اهمیت بسیاری برخوردار است. با توجه به پیچیدگی و تعداد زیاد این تجهیزات، استفاده از روش‌های پیشگیرانه می‌تواند به بهبود عملکرد، صرفه‌جویی در هزینه‌ها و کاهش خسارات به شدت کمک کند [۱۵]. نسبت به کل هزینه‌های تولید کالاها، هزینه‌های مربوط به نگهداری و تعمیر ساختمان ۱۵٪ تا ۴۰٪ هزینه‌ها را تشکیل می‌دهند. به‌طور خاص، منبع اصلی از اتلاف در فعالیت‌های نگهداری و تعمیر قرار دارد [۱۶]. این امر تعجب‌آور نیست که با ظهور صنعت ۴٫۰ که چهارمین انقلاب صنعتی است، یکی از حوزه‌هایی که در آن سرمایه‌گذاری‌های زیادی انجام می‌شود و تحقیقات بسیاری وجود دارد، دقیقاً حوزه نگهداری و تعمیر باشد. هدف این است که بتوان وضعیت سلامت دستگاه‌ها و اجزای حیاتی آن‌ها را استنباط کرده و از این اطلاعات برای برنامه‌ریزی زمانی که باید با جایگزینی یا تعمیرات مداخله کرد، استفاده کرد [۱۹]. فناوری‌های صنعت ۴٫۰ به‌منظور اجرای راه‌حلی برای چنین مشکلاتی مناسب هستند. طرح کلی به شرح زیر است: استفاده از داده‌های موجود و حسگرهای نصب‌شده روی دستگاه‌ها برای جمع‌آوری اطلاعات مربوط، ارتباط این اطلاعات به‌صورت زمان واقعی با یک مرکز تجمیع، تجزیه و تحلیل و استفاده از مدل‌های یادگیری تجهیز برای استخراج اطلاعات مفید درباره وضعیت سلامت دستگاه‌ها که برای پشتیبانی از تصمیمات و برنامه‌های نگهداری و تعمیر به کار گرفته خواهد شد [۲۲]. با این حال، برخی از مشکلات که در حین اجرای واقعی این سیستم‌ها پیش می‌آیند، به خوبی شناخته شده‌اند. این مشکلات شامل موارد زیر است: (۱) درصد بالای نویز در داده‌های جمع‌آوری‌شده؛ وجود نویز در داده‌های جمع‌آوری‌شده در سیاق تولید صنعتی، یکی از چالش‌های اصلی است. این نویز می‌تواند تأثیر منفی بر دقت و قابلیت پیشگیرانه مدل‌های یادگیری تجهیز داشته باشد. (۲) هزینه محاسباتی موردنیاز برای برنامه‌های یادگیری تجهیز بر روی حجم زیادی از داده: اجرای برنامه‌های یادگیری تجهیز بر روی حجم بالایی از داده‌ها ممکن است هزینه محاسباتی زیادی داشته باشد. این مسئله می‌تواند محدودیت‌هایی را برای سازمان‌ها ایجاد کند. (۳) نیاز به داده‌های تاریخی با ارتباط با وضعیت سلامت نسبی: برای انجام یادگیری تجهیز، نیازمند داده‌های تاریخی با ارتباط به وضعیت سلامت نسبی وجود دارد. همچنین، وابستگی زیادی به عامل انسانی وجود دارد که باید صحت این برچسب‌گذاری را تصدیق کند [۲۶].

مسئله‌ای که در زمینه به‌کارگیری داده‌کاوی و یادگیری ماشین برای نت پیشگیرانه تأسیسات و تجهیزات ساختمان مطرح است، عملکرد غیرمنظم و قطعی در فرایندهای نت است. اغلب در شرایط فعلی، این فرایندها بر اساس برنامه‌های زمان‌بندی‌شده و با استفاده از روش‌های سنتی انجام می‌شوند که ممکن است باعث عدم تشخیص به‌موقع مشکلات و نیازهای تعمیراتی شود و در نتیجه به افزایش هزینه‌ها و خسارات بیشتر منجر شود [۲۷]. به‌طورکلی، مسائلی مانند عدم تشخیص به‌موقع مشکلات، برنامه‌ریزی نامناسب تعمیرات، هزینه‌های اضافی ناشی از عدم پیش‌بینی نیازهای تعمیراتی، افزایش خطرات ایمنی و کاهش بهره‌وری در عملکرد تجهیزات و تأسیسات مطرح می‌شوند. این مسائل منجر به تأخیر در تعمیرات، افزایش هزینه‌ها، ایجاد خطرات بیشتر برای ایمنی ساختمان و کاهش عمر مفید تجهیزات می‌شود. این موضوع به‌عنوان یکی از چالش‌های اساسی در مدیریت و اداره ساختمان‌ها و تجهیزات صنعتی مطرح است [۱۵].

بنابراین به‌طورکلی در زمینه نت پیشگیرانه تأسیسات و تجهیزات ساختمان، مشکلاتی وجود دارد که عبارت‌اند از: عدم شناسایی به‌موقع، برنامه‌ریزی نامناسب تعمیرات، هزینه‌های اضافی [۱۹]، افزایش خطرات ایمنی، بهره‌وری پایین، اطلاعات غیرمنظم، کاهش عمر مفید، نبود استانداردها، محدودیت منابع، عدم امکان پیش‌بینی [۲۸].



این چالش نیازمند روش‌هایی است که بتوانند به‌طور مؤثر و کارآمد نگهداری و تعمیرات تجهیزات را برنامه‌ریزی کرده و از عیب‌یابی‌های ناگهانی جلوگیری نمایند [۳۶]. برای حل مشکلات در زمینه نت پیشگیرانه تأسیسات و تجهیزات ساختمان، می‌توان از راهکارهایی استفاده کرد که برخی از آن‌ها عبارت‌اند از: استفاده از داده‌کاوی و تحلیل داده‌ها؛ با تحلیل دقیق داده‌های تاریخی مرتبط با تجهیزات و تأسیسات، می‌توان الگوهای خرابی و نیازهای تعمیراتی را شناسایی و به‌موقع اقدامات پیشگیرانه انجام داد. پیش‌بینی خرابی‌ها: با استفاده از الگوریتم‌های پیشگیرانه، می‌توان به پیش‌بینی خرابی‌ها و مشکلات احتمالی پرداخت و اقدامات مناسب را انجام داد [۱۵]. بهبود برنامه‌ریزی تعمیرات: با استفاده از تحلیل داده‌های تاریخی و الگوریتم‌های هوش مصنوعی، می‌توان برنامه‌ریزی بهینه‌تری برای نت ایجاد کرد و از هدر رفت هزینه‌های زیاد جلوگیری کرد. ایجاد سیستم‌های هوشمند: استفاده از حسگرها و دستگاه‌های جمع‌آوری داده به‌منظور پایش و نظارت بر عملکرد تجهیزات و تأسیسات، می‌تواند به‌طور خودکار به تشخیص مشکلات و ارسال هشدارهای لازم کمک کند. آموزش و آگاهی‌بخشی: آموزش کارکنان در مورد روش‌های بهینه نت پیشگیرانه و ارائه آگاهی‌های لازم در خصوص شناسایی و پیشگیری از مشکلات، می‌تواند به بهبود عملکرد کلی فرایندها کمک کند. لذا با استفاده از این راهکارها، می‌توان بهبود مستمری در عملکرد و کاهش هزینه‌های مربوط به نت پیشگیرانه تأسیسات و تجهیزات ساختمانی داشت [۴۰].

الکتروموتورها به‌عنوان یکی از تجهیزات و تأسیسات ساختمان شناخته می‌شوند که علی‌رغم کارایی و اهمیت بالا در ساختمان‌ها، با چالش‌های متعددی در راستای خرابی و تعمیرات مواجه هستند [۱۰]. مشکلاتی که ممکن است در نگهداری و تعمیر الکتروموتورها در ساختمان‌ها به وجود آید عبارت‌اند از: خرابی ناگهانی: الکتروموتورها ممکن است به‌طور ناگهانی خراب شده و عملکرد آن‌ها متوقف شود که این موضوع می‌تواند منجر به نقصان عملکرد ساختمان و ناراحتی ساکنان گردد. نگهداری ناقص: عدم انجام نت منظم الکتروموتورها می‌تواند باعث کاهش عمر مفید و کارایی آن‌ها شود و درنهایت هزینه‌های اضافی برای تعمیر و تعویض آن‌ها را ایجاد کند. افت کیفیت آب: در صورت ناکافی بودن نت، الکتروموتورها ممکن است به‌مرورزمان باعث افت کیفیت آب شود که این موضوع می‌تواند به مشکلات سلامتی مربوط شود [۲۸]. افزایش مصرف انرژی: الکتروموتورهای کارکرده و ناقص ممکن است به‌صورت نامنظم انرژی را مصرف کنند که این امر باعث افزایش هزینه‌های انرژی ساختمان گردد. نقصان کارایی سیستم: عملکرد نامناسب الکتروموتورها می‌تواند به نقصان کارایی سیستم‌های آبیاری، گرمایش یا سرمایش ساختمان منجر شود که این موضوع ممکن است به مشکلات راحتی و رفاه ساکنان آسیب بزند [۱۱].

همچنین با توجه به اهمیت الکتروموتورها در ساختمان، توجه به این تأسیسات اهمیت ویژه‌ای دارد. اهمیت ویژه الکتروموتورها عبارت‌اند از: (۱) الکتروموتورها به‌عنوان دستگاه‌هایی که آب را از منبعی مثل چاه یا مخزن به سیستم‌های توزیع آب ساختمان انتقال می‌دهند، امکان فراهم کردن آب برای مصرف در ساختمان را فراهم می‌کنند. (۲) الکتروموتورها در سیستم‌های گرمایش و سرمایش ساختمان نقش اساسی دارند، زیرا آب یا مایعات را از طریق سیستم‌های لوله‌کشی به رادیاتورها یا سیستم‌های تهویه مناسب منتقل می‌کنند [۱۰]. (۳) وجود الکتروموتورهای عملی و کارآمد در سیستم‌های آب‌رسانی، گرمایش و سرمایش، به‌راحتی استفاده و رفاه ساکنان ساختمان کمک می‌کند. (۴) الکتروموتورها به حفظ شرایط بهداشتی و بهداشت آب در ساختمان‌ها کمک می‌کنند، زیرا به تأمین آب تمیز و مناسب برای مصارف مختلف می‌پردازند. (۵) الکتروموتورها در سیستم‌های آبیاری محیط‌هایی مانند باغ‌ها، فضای سبز و حیاط‌ها نقش مهمی دارند و به حفظ زیبایی و بهبود محیط زندگی کمک می‌کنند. [۱۲]؛ بنابراین، انجام پژوهش در این زمینه به





سازمان‌ها و صنایع کمک می‌کند تا عملکرد خود را بهبود بخشند، هزینه‌ها را کاهش دهند و به نحوه‌ای مسئولیت‌پذیرانه و انسانی‌تر به منابع محیط‌زیست نگرسته و به ایمنی و اطمینان از تجهیزات و تأسیسات خود افزوده شوند. بهبود این مسائل نیازمند استفاده از روش‌های نوین و کارا است، اما بررسی میدانی و پیشینه پژوهش حاکی از آن است که مطالعات در این زمینه با محدودیت‌های متعددی مواجه بوده است؛ به‌طوری‌که پژوهش‌های داخلی در زمینه نت الکتروموتورها و با استفاده از هوش مصنوعی انجام نشده و لذا با توجه به مسائل بیان‌شده، انجام نت پیشگیرانه الکتروموتورها بر اساس استفاده از داده‌کاوی و یادگیری ماشین می‌تواند به بهبود عملکرد، کاهش هزینه‌ها و افزایش عمر مفید آن‌ها کمک کند. هوش مصنوعی مانند داده‌کاوی و یادگیری ماشین است تا با تحلیل داده‌های تاریخی و پیش‌بینی الگوهای خرابی، امکان ارائه برنامه‌های نت پیشگیرانه و بهینه‌سازی فرآیندهای مربوطه فراهم شود. در این راستا سؤال اصلی که پژوهش حاضر به دنبال پاسخگویی به آن است عبارت است از: چگونه می‌توان با استفاده از داده‌کاوی و یادگیری ماشین به نت پیشگیرانه تأسیسات و تجهیزات ساختمان پرداخت؟

۲- مبانی نظری و پیشینه شناسی تحقیق

۲-۱- داده‌کاوی

داده‌کاوی فرآیندی است که در آن اطلاعات موجود در مجموعه‌های بزرگ داده‌ها (مانند پایگاه‌های داده، فایل‌های متنی، وب‌سایت‌ها و غیره) به دنبال الگوها، روابط، قوانین یا ترکیبات مخفی و مفید می‌گردد. این فرآیند با استفاده از روش‌های آماری، هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و الگوریتم‌های متنوعی انجام می‌شود [۱۳]. هدف اصلی داده‌کاوی، استخراج اطلاعات قابل‌استفاده و مفیدی از داده‌های بزرگ و پیچیده است که می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های آینده و بهبود عملکرد کسب‌وکارها، سازمان‌ها یا سیستم‌های مختلف کمک کند. ازجمله روش‌های متداول داده‌کاوی می‌توان به خوشه‌بندی، تحلیل روابط، تشخیص الگوها، پیش‌بینی و تصمیم‌گیری اشاره کرد [۱۴].

داده‌کاوی فرایند تجزیه و تحلیل حجم عظیمی از مجموعه داده‌ها و استخراج اطلاعات مفید از آن‌ها برای کمک به سازمان‌ها برای حل مشکلات، پیش‌بینی روندها، کاهش خطرات و یافتن فرصت‌های جدید است؛ درواقع داده‌کاوی مانند استخراج واقعی است؛ زیرا در هر دو معدن‌چیان برای یافتن منابع و عناصر ارزشمند در ذخایر حاوی این عناصر ارزشمند کاوش می‌کنند. داده‌کاوی هم‌چنین ایجاد روابط و یافتن الگوها، ناهنجاری‌ها و هم‌بستگی در داده‌ها برای حل مسائل مختلف را شامل است. داده‌کاوی گاهی نیز کشف دانش در داده نامیده می‌شود [۱].

بنابراین به‌طورکلی، داده‌کاوی فرآیندی است که در آن اطلاعات موجود در مجموعه‌های بزرگ داده‌ها (مانند پایگاه‌های داده، فایل‌های متنی، وب‌سایت‌ها و غیره) به دنبال الگوها، روابط، قوانین یا ترکیبات مخفی و مفید می‌گردد. هدف اصلی داده‌کاوی، استخراج اطلاعات مفید و قابل‌استفاده از داده‌های بزرگ و پیچیده است. این فرآیند با استفاده از فنون متنوعی ازجمله آمار، هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، الگوریتم‌های داده‌کاوی و الگوریتم‌های دیگر انجام می‌شود. داده‌کاوی برای شناسایی الگوهای مخفی، پیش‌بینی رویدادها، کشف روابط میان داده‌ها، دسته‌بندی اطلاعات و تصمیم‌گیری‌های بهتر به کار می‌رود [۲].

داده‌کاوی معمولاً از چهار مرحله اصلی تشکیل شده است: تعیین اهداف، جمع‌آوری و آماده‌سازی داده‌ها، استفاده از الگوریتم‌های داده‌کاوی و ارزیابی نتایج. فرآیند داده‌کاوی معمولاً شامل چندین مرحله است که عبارت‌اند از:





- ۱) تعریف مسئله: در این مرحله، مسئله کسب و کار یا سؤال‌های مرتبط تعریف می‌شوند. مشکل باید به خوبی درک شود تا اطمینان حاصل شود که فرآیند داده‌کاوی با اهداف و اهداف سازمان همسو است [۱۷].
- ۲) آماده‌سازی داده‌ها: در این مرحله داده‌ها جمع‌آوری، پاک‌سازی، یکپارچه‌سازی و به قالبی تبدیل می‌شوند که می‌توان از آن برای تجزیه و تحلیل استفاده کرد. این مرحله بسیار مهم است زیرا کیفیت داده‌های مورد استفاده در تجزیه و تحلیل می‌تواند به طور قابل توجهی بر نتایج تأثیر بگذارد.
- ۳) کاوش داده‌ها: در این مرحله از فنون تحلیل داده‌های اکتشافی برای شناسایی الگوها، روندها و روابط در داده‌ها استفاده می‌شود. هدف دستیابی به درک عمیق‌تر از داده‌ها و شناسایی متغیرهایی است که ممکن است در مدل‌های پیش‌بینی مفید باشند [۱۸].
- ۴) ساخت مدل: در این مرحله از الگوریتم‌های آماری و یادگیری ماشین برای ساخت مدل‌های پیش‌بینی استفاده می‌شود. مدل‌ها بر روی زیرمجموعه‌ای از داده‌ها آموزش داده می‌شوند و با استفاده از زیرمجموعه‌ای متفاوت از داده‌ها اعتبارسنجی می‌شوند تا اطمینان حاصل شود که دقیق و قابل اعتماد هستند.
- ۵) ارزیابی مدل: در این مرحله، عملکرد مدل‌ها با استفاده از معیارهایی ارزیابی می‌شود. هدف انتخاب بهترین مدل برای مشکل موجود است [۳].
- ۶) استقرار: در این مرحله، مدل انتخاب شده در فرآیند کسب و کار یا پروژه تحقیقاتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این کار ممکن است شامل ایجاد یک رابط کاربری، تنظیم فرآیندهای خودکار یا سایر وظایف مورد نیاز برای عملیاتی کردن مدل باشد.
- ۷) نظارت و نگهداری: در این مرحله مدل از نظر دقت و عملکرد در طول زمان پایش می‌شود. ممکن است به روزرسانی‌ها و بهبودهایی در مدل انجام شود تا اطمینان حاصل شود که مؤثر و مرتبط باقی می‌ماند [۲۰].

۲-۲- یادگیری ماشین

یادگیری ماشین یک زیرشاخه از هوش مصنوعی است که به ماشین‌ها و سیستم‌های کامپیوتری امکان می‌دهد از داده‌ها یاد بگیرند و بدون نیاز به برنامه‌ریزی صریح، الگوها و روابط را شناسایی کنند و تصمیم‌هایی را بگیرند [۲۷]. در فرآیند یادگیری ماشین، الگوریتم‌ها و مدل‌هایی به ماشین‌ها ارائه می‌شود تا از طریق تحلیل داده‌ها و تجربیات خود، قابلیت تشخیص الگوها، پیش‌بینی و تصمیم‌گیری را به دست آورند. این فرآیند بر مبنای ریاضیات، آمار، اصول بهینه‌سازی و نظریه احتمال استوار است. یادگیری ماشین می‌تواند در موارد مختلفی از جمله تشخیص الگوها در داده‌های پزشکی، پیش‌بینی رفتار مشتریان در بازاریابی، تصویربرداری پزشکی، خودران‌سازی در خودروها و موارد دیگر مورد استفاده قرار گیرد [۳۶].

یادگیری ماشین فرایند کشف الگوریتم‌هایی است که تجربه‌های حاصل از داده‌ها را بهبود می‌بخشند. یادگیری ماشین طراحی، مطالعه و توسعه الگوریتم‌هایی است که به ماشین‌ها اجازه می‌دهد بدون دخالت انسان یاد بگیرند و وظایف مشخصی را انجام دهند. یادگیری ماشین ابزاری است برای هوشمندتر کردن ماشین‌ها و حذف عنصر انسانی (اما نه حذف خود انسان؛ که این اشتباه است) [۲۱]. ارتباط یادگیری ماشین با داده‌کاوی این است که داده‌کاوی از جمله فعالیت‌هایی است که در فرآیند یادگیری ماشین برای استخراج الگوها، روابط و اطلاعات مفید از داده‌ها استفاده می‌شود. یادگیری ماشین به عنوان یک روش فعال در داده‌کاوی، مدل‌ها و



پیش‌بینی خرابی الکتروموتورها در تأسیسات ساختمانی با استفاده از یادگیری ماشین و داده‌کاوی: مطالعه موردی یک مرکز آموزش نظامی

الگوریتم‌هایی را برای تحلیل و استخراج دانش از داده‌های بزرگ و پیچیده ارائه می‌دهد. به این ترتیب، یادگیری ماشین به عنوان یکی از ابزارهای اصلی داده‌کاوی مورد استفاده قرار می‌گیرد تا الگوها و اطلاعات مفیدی که در داده‌ها پنهان شده‌اند، شناسایی و بهره‌برداری شوند [۴].

کاربردهای یادگیری ماشین بسیار گسترده و متنوع هستند و در اکثر صنایع و حوزه‌های علمی و فناوری مورد استفاده قرار می‌گیرند. برخی از مهم‌ترین کاربردهای یادگیری ماشین عبارت‌اند از:

- ❖ پیش‌بینی و پیش‌بینی: استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی رویدادها، مثل پیش‌بینی رفتار مشتریان، پیش‌بینی میزان فروش، پیش‌بینی قیمت‌ها و غیره.
- ❖ تصویربرداری و شناسایی الگوها: استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای تشخیص الگوها و شناسایی اشیاء در تصاویر و ویدئوها، مانند تشخیص چهره، شناسایی اشیاء و سوژه‌ها و غیره [۲۸].
- ❖ دسته‌بندی و تقسیم‌بندی: استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین برای دسته‌بندی داده‌ها به دسته‌های مختلف، مانند تشخیص اسپم ایمیل‌ها، تشخیص بیماری‌ها، دسته‌بندی محصولات و غیره.
- ❖ بهبود عملکرد سیستم‌ها: استفاده از یادگیری ماشین برای بهبود عملکرد سیستم‌ها و مواردی مانند خودران‌سازی خودروها، سیستم‌های هوشمند خانه، سیستم‌های پیشنهاددهنده، موتورهای جستجو و غیره.
- ❖ ترجمه ماشینی: استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای ترجمه خودکار متون و محتواها به زبان‌های مختلف، مانند ترجمه ماشینی متون وب‌سایت‌ها، مقالات علمی، متون تجاری و غیره [۲۳].

کاربردهای داده‌کاوی نیز بسیار گسترده و متنوع هستند و در اکثر صنایع و حوزه‌های کاربردی مورد استفاده قرار می‌گیرند. برخی از کاربردهای مهم داده‌کاوی عبارت‌اند از:

- پیش‌بینی و تحلیل رفتار مشتریان: استفاده از داده‌کاوی برای پیش‌بینی رفتارهای مشتریان، تحلیل الگوهای خرید، شناسایی مشتریان پتانسیل و بهبود استراتژی‌های بازاریابی.
- تصمیم‌گیری مبتنی بر داده: استفاده از داده‌کاوی برای ارائه اطلاعات تصمیم‌سازی به مدیران و تصمیم‌گیران در سازمان‌ها، مانند شناسایی الگوهای موفقیت، پیش‌بینی عملکرد و بهبود فرآیندهای کسب‌وکار.
- کشف الگوها و روابط: استفاده از داده‌کاوی برای شناسایی الگوها، روابط و اطلاعات مخفی در داده‌های بزرگ و پیچیده، مانند کشف الگوهای مرتبط با بیماری‌ها در داده‌های پزشکی یا روابط میان عوامل مؤثر در تحولات اقتصادی [۳۶].
- پیش‌بینی و تحلیل مالی: استفاده از داده‌کاوی برای پیش‌بینی روندهای مالی، تحلیل سرمایه‌گذاری‌ها، شناسایی ریسک‌ها و فرصت‌های سرمایه‌گذاری.

بهبود عملکرد و کارایی سیستم‌ها: استفاده از داده‌کاوی برای بهبود عملکرد سیستم‌ها و فرآیندهای کسب‌وکار، مانند بهبود عملکرد سامانه‌های مدیریت مشتریان، بهبود فرآیندهای تولید و مدیریت زنجیره تأمین و غیره [۲۵].



۲-۳- نت پیشگیرانه تجهیزات ساختمان

نت پیشگیرانه به مجموعه اقداماتی اشاره دارد که به منظور جلوگیری از وقوع خرابی و مشکلات در تجهیزات و تأسیسات صورت می‌گیرد. در این روش، نت به صورت پیشین و پیشگیرانه انجام می‌شود به طوری که مشکلات و خرابی‌های محتمل در تجهیزات و تأسیسات شناسایی و از پیش رفع شوند [۴۰]. این روش از تحلیل داده‌های تاریخی، استفاده از مدل‌های پیش‌بینی، آزمون و تعمیر قبل از وقوع خرابی، استفاده از فناوری‌های مبتنی بر حسگر و مانیتورینگ وضعیت تجهیزات و دستگاه‌ها و تعیین بازه‌های مناسب برای نت بهره می‌برد. این روش باعث کاهش هزینه‌های تعمیرات ناگهانی، افزایش عمر مفید تجهیزات، افزایش بهره‌وری و کاهش خطرات احتمالی مرتبط با خرابی‌ها می‌شود [۱۱].

به گفته استانداردهای بریتانیا، نگهداری ترکیبی از تمامی اقدامات فنی، اداری و مدیریتی در طول دوره عمر یک دارایی است که قصد دارد آن را در یک وضعیتی که بتواند عملکرد مورد نیاز را انجام دهد، حفظ یا به آن بازگرداند. رویکردهای مدیریت نگهداری می‌توانند به سه گروه اصلی زیر تقسیم شوند:

- نگهداری اصلاحی: همچنین به عنوان نگهداری واکنشی یا نگهداری تا شکست شناخته می‌شود که شامل مداخله پس از بروز خرابی است. به تجهیزات این امکان داده می‌شود تا زمانی که خراب شود، عمل کند [۱۰].
- نگهداری پیشگیرانه: شامل انجام عملیات بازرسی و نگهداری درحالی‌که تجهیزات هنوز در حال اجرا هستند به منظور کاهش احتمال خرابی‌هاست. نگهداری پیشگیرانه می‌تواند یا بر اساس زمان (مانند برنامه زمانی) یا بر اساس استفاده (به عنوان مثال، هر ۱۰۰ کیلومتر) باشد. این رویکرد به کاهش تعداد خرابی‌ها کمک می‌کند، اما باعث انجام بازرسی‌های غیرضروری و همچنین بروز خرابی‌های برنامه‌ریزی نشده می‌شود که هزینه نگهداری را افزایش می‌دهد.
- نگهداری پیش‌بینی: این رویکرد بر اساس استفاده از داده‌های نظارت بر شرایط برای پیش‌بینی وضعیت سلامت آینده دستگاه است. این رویکرد هدفش پیش‌بینی زمان، مکان و کدام اجزاء ممکن است با خرابی مواجه شوند است [۵].

مطالعات نتایج جالبی را با بهینه‌سازی دوره‌های بازرسی نشان دادند. با این حال، خرابی‌های برنامه‌ریزی نشده همچنان روی می‌دهند. تحقیقات مختلف بر روی اتخاذ فنون نگهداری صنعتی مانند تجزیه و تحلیل ارتعاش مکانیکی برای نظارت بر نصب‌های ساختمان با استفاده از تبدیل فوری و منطق فازی یا فنون شبیه‌سازی برای شناسایی خطا تمرکز کردند؛ به طور مشابه، مدل‌های آماری ازجمله رگرسیون خطی و غیرخطی برای شناسایی و تشخیص خطا در واحدهای HVAC استفاده شد. با این حال، هزینه بالای مدل‌سازی و شبیه‌سازی، همچنین محدودیت در تعمیم مدل‌ها بر روی نصب‌های مشابه، استفاده از این فنون در حوزه مدیریت تسهیلات را محدود کرده است [۶].

نگهداری و تعمیر اصلاحی پس از شناسایی یک خطا انجام می‌شود، به عبارت دیگر، یک مداخله فقط زمانی انجام می‌شود که یک خطا از دستگاه رخ دهد به همین دلیل به عنوان نگهداری و تعمیر واکنشی نیز تعریف می‌شود [۱۵]. این ساده‌ترین استراتژی برای استفاده است و یکی از کم‌هزینه‌ترین استراتژی‌هایی است که می‌توان پیاده‌سازی کرد. با این حال، هزینه‌های این استراتژی مربوط به زمان توقف دستگاه‌ها هستند بنابراین، این امر منجر به توقف تولید و کاهش کلی در بهره‌وری می‌شود. علاوه بر این، امکان برنامه‌ریزی مداخلات نیز وجود ندارد، زیرا خلل می‌تواند در هر زمان فعالیتی رخ دهد. در نهایت، رویکرد اصلاحی نیازمند است که تمام قطعات یکی اجزای اصلی، یا حداقل آن‌هایی که برای تولید حیاتی هستند، همیشه در انبار موجود باشند [۷].



استراتژی‌های نت در واقع روش‌ها و برنامه‌هایی هستند که برای حفظ و بهبود عملکرد و عمر مفید تجهیزات، دستگاه‌ها و ساختارها مورد استفاده قرار می‌گیرند. این استراتژی‌ها به منظور جلوگیری از خرابی‌ها، کاهش هزینه‌ها، بهبود بهره‌وری و افزایش عمر مفید تجهیزات اجرا می‌شوند [۲۹]. در زیر به برخی از استراتژی‌های مهم نت اشاره می‌شود:

- نگهداری پیشگیرانه: در این روش، تجهیزات به طور منظم و برنامه‌ریزی شده بررسی و تعمیر می‌شوند تا از خرابی و خطرات احتمالی جلوگیری شود. این موارد شامل تعویض قطعات فرسوده، تنظیم و تعمیرات دوره‌ای و مداوم و آزمایش‌های روتین است.
- نگهداری اصلاحی: در این روش، تعمیرات و تغییرات لازم بر روی تجهیزات به صورت پاسخ به خرابی‌ها و مشکلات انجام می‌شود. هدف اصلی این روش، بازیابی سریع تجهیزات به حالت عادی و ادامه عملکرد آن‌هاست. این روش مبتنی بر تجزیه و تحلیل علل ریشه‌ای خرابی تجهیزات است.
- نگهداری پیش‌بینانه یا پیش‌بینی‌گر: در این روش، با استفاده از فنون مانیتورینگ و حسگرها، داده‌های عملکرد تجهیزات جمع‌آوری و تحلیل می‌شوند تا با پیش‌بینی خرابی‌های آتی و نیازمندی‌های تعمیراتی، تعمیرات برنامه‌ریزی شده و به موقع انجام شود [۲۶].
- نگهداری مبتنی بر شرایط: در این روش، تعمیرات بر اساس شرایط و وضعیت فعلی تجهیزات انجام می‌شود. عواملی مانند حسگرها، نشانگرها و سیستم‌های مانیتورینگ برای تشخیص وضعیت تجهیزات استفاده می‌شوند و تعمیرات فقط در صورت نیاز انجام می‌شوند.
- نت مبتنی بر قابلیت اطمینان: در این روش، تمرکز بر روی نت تجهیزاتی است که برای فرآیندها و عملکرد کلی سازمان حیاتی هستند. با تحلیل ریسک و تأثیرات خرابی‌ها، برنامه‌ریزی برای تعمیرات بهینه و راهبردهای نگهداری تعیین شده و اجرا می‌شود.
- نگهداری مشارکتی: در این روش، مشارکت و همکاری بین گروه‌های مختلف در فرآیند نت ترویج می‌یابد. گروه‌های تولید، نگهداری، تعمیرات و مهندسی با همکاری و تبادل اطلاعات، برنامه‌ریزی و انجام فعالیت‌های نت را اجرا می‌کنند [۱۱].
- نگهداری مدیریت‌شده: در این روش، فعالیت‌های نت به صورت مدیریت‌شده و برنامه‌ریزی شده انجام می‌شود. از سیستم‌های مدیریت نت برای برنامه‌ریزی زمان‌بندی تعمیرات، مدیریت قطعات یدکی و ثبت اطلاعات استفاده می‌شود.
- نگهداری مبتنی بر عمر اقتصادی یا نت مبتنی بر چرخه عمر تجهیز: در این روش، نت بر اساس عمر اقتصادی تجهیزات انجام می‌شود. تصمیم‌گیری‌ها بر اساس فنون و مدل‌های تحلیل عمر اقتصادی صورت می‌گیرد و تجهیزات در مراحل مختلف عمر خود (مانند استخدام، بهره‌برداری، خاتمه عمر) تعمیر شده و بهبود می‌یابند.

این استراتژی‌ها می‌توانند به صورت جداگانه یا ترکیبی استفاده شوند و بسته به نیازها و شرایط خاص هر سازمان، استراتژی‌های مناسب تعیین می‌شوند. همچنین، با پیشرفت فناوری، استراتژی‌های نوینی مانند نگهداری مبتنی بر هوش مصنوعی و اینترنت اشیا نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۵].

تأسیسات و تجهیزات ساختمان عبارت‌اند از سامانه‌ها، دستگاه‌ها و تجهیزاتی که برای ارائه خدمات مختلف در ساختمان‌ها استفاده می‌شوند. این موارد شامل انواع سیستم‌های مهم مانند سیستم‌های برقی، آبیاری، گرمایش، سرمایش، تهویه مطبوع، آتش‌نشانی،



امنیتی، لوله‌کشی و سایر تجهیزات مورد نیاز برای فعالیت‌های مختلف ساختمان می‌شود. این تأسیسات و تجهیزات اساسی برای ایجاد شرایط زندگی راحت و ایمن برای ساکنان و کاربران ساختمان فراهم می‌کنند و نقش بسیار مهمی در عملکرد و کارایی ساختمان ایفا می‌کنند [۱۲].

نت تأسیسات و تجهیزات ساختمان فرآیندی است که به منظور حفظ و بهبود عملکرد و کارایی تمامی تأسیسات و تجهیزات مورد استفاده در ساختمان‌ها انجام می‌شود. این فرآیند شامل اقداماتی مانند بازرسی دوره‌ای، تعمیرات پیشگیرانه، تعمیرات تعمیرگاهی، تعویض قطعات و تجهیزات فرسوده، تمیزکاری و نگهداری عمومی می‌شود. هدف اصلی این فرآیند از پیشگیری از خرابی‌ها، بهبود عمر مفید تجهیزات، افزایش ایمنی و ایجاد شرایط راحت و بهینه برای ساکنان یا کاربران ساختمان است [۱۵]. از مزایای این فرآیند می‌توان به کاهش هزینه‌های ناگهانی تعمیرات، افزایش بهره‌وری و کاهش خطرات مرتبط با عدم عملکرد تأسیسات و تجهیزات اشاره کرد [۱۴]. الکتروموتور، دستگاهی است که انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند. این دستگاه به طور گسترده در صنایع و تأسیسات مختلف به کار می‌رود و می‌تواند در انواع مختلفی از جمله موتورهای AC و DC، موتورهای القایی و موتورهای بدون جاروبک (براشلس) وجود داشته باشد. از موارد مهم استفاده عملیاتی از الکتروموتور در تأسیسات و تجهیزات ساختمان می‌توان به سیستم‌های تهویه مطبوع، پمپ‌ها، آسانسور و بالابر، ماشین‌آلات صنعتی، تجهیزات روشنایی و تجهیزات برقی خانگی اشاره کرد. استفاده از الکتروموتورها در این زمینه‌ها به بهبود کارایی، کاهش مصرف انرژی و افزایش عمر تجهیزات کمک می‌کند [۱۱].

در ادامه به بررسی خلاصه‌ای از پژوهش‌های انجام شده در این حوزه پرداخته شده است.

جدول ۱. پیشینه پژوهش

پژوهشگران	سال انجام	موضوع پژوهش	نتایج و یافته‌ها
صلاحی و همکاران	۱۴۰۲	ارائه مدل یکپارچه برنامه‌ریزی تولید و زمان‌بندی نت پیشگیرانه با در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترها و اختلال در تسهیلات	نتایج نشان می‌دهند که الگوریتم NSGA-II در مقایسه با الگوریتم MOPSO جواب‌های مناسب‌تری را ارائه می‌کند. هرچند الگوریتم MOPSO نسبت به الگوریتم NSGA-II از نظر زمان حل مسئله از کارایی بیشتری برخوردار است، مقدار این برتری قابل ملاحظه نیست و نمی‌توان آن به عنوان مبنای قطعی مقایسه دو الگوریتم در نظر گرفت.
جوادی و همکاران	۱۴۰۲	طراحی مدل پویای هوشمند نت پیشگیرانه در صنعت نساجی و پوشاک در تعامل با تولید با بهره‌برداری از شبکه عصبی مصنوعی-فازی	می‌توان ادعا نمود که اگر وضعیت «عامل فناوری در نت» خوب باشد یعنی دقیقاً ۰/۹۱۲۹؛ و وضعیت «عامل کارکنان در نت» خوب (کران بالای تابع عضویت خوب) باشد یعنی دقیقاً ۰/۹۲۳۹؛ و وضعیت «عامل محیط کار در نت» نسبتاً خوب باشد یعنی دقیقاً ۰/۸۸۵۹؛ و وضعیت «عامل کیفیت در نت» کاملاً خوب باشد.
مروتی و همکاران	۱۴۰۱	مطالعه مدیریت فرایندهای نت با رویکرد ترکیبی چارچوب طبقه‌بندی فرایندها و داده‌کاوی	داده‌های نه‌ماهه مربوط به گزارش خرابی تجهیزات، برای اطلاع از روند خرابی‌های اتفاق افتاده، بررسی روابط موجود در بین آن‌ها و همچنین کمک به مهندسی مجدد فرایندها، استخراج شده و با استفاده از فنون داده‌کاوی تحلیل شدند. در آخر نیز با توجه به مسائل و مشکلات موجود و همچنین چارچوب طبقه‌بندی فرایندهای نت واحد آموزشی، راهکارهای عملی و متناسب با شرایط دانشگاه از طریق نظرسنجی خبرگان مشخص و با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی اولویت‌بندی شدند.



توکل و مقدم و همکاران	۱۴۰۱	بررسی زمان بندی کار کارگاهی بلادرنگ و نت پیشگویانه پویا با استفاده از یادگیری ماشین	نتایج به دست آمده از روش های دیگر زمان بندی، خروجی های بهتری را از خود نشان می دهد. مدل نت پیشگویانه، با چهار روش مدل سازی یادگیری مورد ارزیابی و کیفیت مدل ها مورد بررسی قرار می گیرد. با انتخاب و اضافه کردن بهترین مدل خرابی ماشین به مدل یادگیری تقویتی زمان بندی، کارهای بلادرنگ وارد شده به کارگاه، به ماشین ها تخصیص داده می شوند. با مقایسه روش مطرح شده و روش های پیشین مشخص شد که بهترین عملکرد را از خود نشان داده است.
سالک و همکاران	۱۴۰۱	مدل سازی داده محور مدت زمان تداوم وقفه در شبکه توزیع برق با در نظر گرفتن نت پیشگیرانه و تحلیل اثر آن	نواوری ها و مشارکت های این پژوهش را می توان: (۱) مدل سازی داده محور زمان تداوم وقفه با استفاده از الگوریتم های مختلف خطی و غیرخطی، (۲) در نظر گرفتن اثر محل استقرار گروه تعمیرات و ترافیک شهری به صورت مدت زمان رسیدن گروه تعمیرات به محل حادثه، (۳) در نظر گرفتن تاریخچه انجام عملیات نگهداری پیشگیرانه در مدل سازی زمان تداوم وقفه و تحلیل حساسیت زمان تداوم وقفه نسبت به عملیات نگهداری پیشگیرانه و (۴) تحلیل تأثیر ویژگی های ورودی بر پیش بینی زمان تداوم وقفه دانست.
گلرخی و همکاران	۱۴۰۰	ارائه چارچوبی برای تدوین سند راهبردی مدیریت نت ساختمان ها و تأسیسات در سازمان های نظامی	الزامات اصلی یک سند راهبردی شامل تعیین استاندارد شرایط ساختمان، نحوه ارزیابی، تعیین برنامه زمان بندی فعالیت های نگهداری و تعمیر مطابق با ارزیابی ها، تعیین سطح خدمات مورد انتظار از دارایی ها، تدوین برنامه فعالیت های نگهداری و نحوه تخصیص و تأمین مالی برای اجرای آن ها. تجزیه و تحلیل داده های جمع آوری شده نشان می دهد که الزامات شناسایی شده در سازمان های کشور نیز حائز اهمیت است و باید در فرآیند تدوین سند راهبردی مدیریت نگهداری و تعمیر مورد توجه قرار گیرد.
ال رافائی و همکاران	۲۰۲۳	پیش بینی فعالیت های نگهداری و تعمیر با استفاده از الگوی متوالی تعمیم یافته و قوانین تداعی در داده کاوی	رویکرد داده کاوی در تعیین توالی نگهداری و تعمیر مؤثر است که زمان خرابی را کاهش می دهد و در نتیجه بهره وری و در دسترس بودن را افزایش می دهد. این مطالعه یک چارچوب داده کاوی برای پیش بینی الگوهای متوالی فعالیت های نگهداری و تعمیر پیشنهاد کرد. چارچوب شامل جمع آوری داده ها، پیش بینی فعالیت های نگهداری و تعمیر با و بدون ویژگی ها و سپس مقایسه بین نتایج پیش بینی بود.
آگوستینی و همکاران	۲۰۲۲	رویکرد یادگیری ماشینی برای نگهداری پیش بینانه در یک سیستم مدیریت ساختمان پیشرفته	یک استراتژی نگهداری و تعمیر پیش بینانه را با استفاده از سیستم های یادگیری ماشین برای کاهش خرابی ها در سیستم های کارخانه فنی مسکونی ارائه می کند که پیشرفت های قابل توجهی را در عملکرد کلی نشان می دهد. ادغام سیستم مدیریت ساختمان با فناوری هایی مانند BIM، AIM، IoT و یادگیری ماشینی می تواند به طور قابل توجهی کارایی نگهداری و تعمیر را افزایش دهد.
استبان و همکاران	۲۰۲۲	داده کاوی در سیستم های نگهداری و تعمیر پیش بینانه: طبقه بندی و بررسی سامانمند	این بررسی اولین طبقه بندی را ارائه می کند که مستلزم مراحل مختلفی است که در هر فرآیند داده کاوی برای حل یک مشکل نگهداری و تعمیر پیش بینانه در نظر گرفته می شود و وظایف نگهداری پیش بینانه را با وظایف اصلی داده کاوی برای حل آن ها مرتبط می کند.



نتایج نشان می‌دهد که انواع و درجه‌های مختلف ساختمان‌های سبز بر اساس فناوری‌های ساختمان سبز متفاوت است. به‌طور خاص، یک ساختمان سبز با درجه بالا تأکید بیشتری بر فناوری‌های ساختمان سبز تهویه مطبوع، کاهش CO ₂ و محیط‌های داخلی دارد. این مطالعه همچنین نشان داد که دقت شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی پایه‌ها و هزینه‌های ساختمان سبز می‌تواند به بالای ۸۰ درصد برسد.	بررسی استفاده از فنون داده‌کاوی برای کشف پذیرش فناوری، درجه‌ها و هزینه‌های پروژه‌های ساختمان سبز	۲۰۲۲	جان و همکاران
یافته‌های اصلی این پژوهش شامل پتانسیل چارچوب برای پیش‌بینی خرابی‌ها، مزایای نگهداری پیش‌بینی‌شده در کاهش خرابی‌ها و هزینه‌ها و اهمیت جمع‌آوری داده‌ها و بهبود مستمر است.	نگهداری و تعمیر پیش‌بینانه در تأسیسات ساختمان: رویکرد مبتنی بر یادگیری ماشین	۲۰۲۱	بابالویی و همکاران
الگوریتم‌های یادگیری ماشین (ANN و SVM) برای پیش‌بینی وضعیت آینده اجزای MEP مورد استفاده قرار گرفتند که منجر به برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیر کارآمد می‌شود. این چارچوب با موفقیت در یک مثال گویا اعمال شد که امکان‌سنجی این رویکرد را نشان می‌دهد.	چارچوب برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیر پیش‌بینانه مبتنی بر داده برای اجزای MEP بر اساس BIM و IoT با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین	۲۰۲۰	چنگ و همکاران

بر اساس پیشینه مورد بررسی، این پژوهش علی‌رغم مورد مطالعه آن که نسبت به پژوهش‌های گذشته با پرداختن به نت پیشگیرانه الکتروموتور دارای نوآوری است، در روش آن یعنی استفاده از داده‌کاوی و یادگیری ماشین در راستای این هدف نیز نوآوری مشاهده می‌شود. موضوع این پژوهش در استفاده از داده‌کاوی و یادگیری ماشین برای نت پیشگیرانه تأسیسات و تجهیزات ساختمان، در تلفیق دو حوزه مهم علم داده و مهندسی ساختمانی و نظام‌های مدیریت تجهیزات است. با استفاده از روش‌های پیشرفته داده‌کاوی و یادگیری ماشین، می‌توان الگوهای پنهان در داده‌های تاریخی مربوط به تأسیسات و تجهیزات را شناسایی کرده و با استفاده از آن‌ها، پیش‌بینی خرابی‌ها و مشکلات احتمالی را انجام داد. این رویکرد نوآورانه کمک می‌کند تا با بهبود برنامه‌ریزی نت، به بهینه‌سازی منابع و هزینه‌ها و بهبود کارایی و عمر مفید تأسیسات و تجهیزات ساختمانی پرداخته شود. این تلفیق بین داده‌کاوی و مهندسی ساختمانی یک دید نوآورانه و شگرف به مدیریت نت در ساختمان‌ها ارائه می‌دهد که می‌تواند به بهبود کیفیت زندگی و ایمنی ساکنان و همچنین بهبود کارایی ساختمان‌ها و صرفه‌جویی در هزینه‌ها منجر شود.

در حوزه نظری، این شکاف معمولاً به وجود آمدن مدل‌ها و تئوری‌هایی اشاره دارد که در حال حاضر در حال توسعه و ارتقاء هستند. برای مثال، در زمینه به‌کارگیری داده‌کاوی و یادگیری ماشین برای نت پیشگیرانه تأسیسات و تجهیزات ساختمان، تئوری‌ها و مدل‌هایی وجود دارد که از آن‌ها برای پیش‌بینی خرابی‌ها، بهینه‌سازی زمان‌بندی تعمیرات و بهبود بهره‌وری استفاده می‌شود؛ اما هنوز نیاز به تحقیقات بیشتری برای توسعه و بهبود این تئوری‌ها وجود دارد. انتقال دانش نظری به عملیات عملی و صنعتی نیز یکی از مواردی است که در حوزه نظری ممکن است شکاف وجود داشته باشد. این شامل ایجاد روش‌ها و الگوریتم‌هایی است که بتوانند دانش نظری را به صورت عملی و کاربردی در نت پیشگیرانه تأسیسات و تجهیزات ساختمان اجرا کنند.

در زمینه تجربی، شکاف ممکن است به مسائلی اشاره کند که در فرآیند اجرای پروژه‌ها و انجام تحقیقات عملی واقع می‌شود. برای مثال، ممکن است به مشکلاتی مانند کمبود داده‌های کافی، عدم دسترسی به تجهیزات یا فناوری‌های لازم و یا مشکلات امنیتی در استفاده از داده‌های حساس اشاره شود. عدم انطباق بین نتایج تجربی و پیش‌بینی‌های مدل‌ها نیز می‌تواند یک شکاف تجربی





مهم باشد. ممکن است مدل‌های طراحی شده در محیط‌های کنترل شده به خوبی عمل کنند، اما در محیط‌های واقعی و در مواجهه با شرایط مختلف، عملکرد آن‌ها قابل انتظار نباشد.

لذا این پژوهش با بررسی این موضوع و ارائه مدل کاربردی، به دنبال پر کردن شکاف‌های پژوهشی موجود در این حوزه می‌باشد.

۳- روش‌شناسی تحقیق

پژوهش حاضر در حوزه خدمات فنی و مهندسی و با موضوع به‌کارگیری داده‌کاوی و یادگیری ماشین برای نت‌پیشگیرانه تأسیسات و تجهیزات ساختمان انجام شده است. این پژوهش از نظر هدف توسعه‌ای-کاربردی بوده و با روش آمیخته انجام شده است. از آنجایی که پیاده‌سازی روش‌های نت‌پیشگیرانه و یادگیری ماشین در ساختمان‌ها هنوز جدید است، تحقیقات تجربی کمی در مورد این موضوع وجود دارد. برای جمع‌آوری داده‌ها و تکمیل پژوهش ادبیات، نویسندگان از مصاحبه حضوری با کارشناسان فعال در مدیریت خدمات مهندسی دانشگاه استفاده کردیم. مصاحبه با چهار کارشناس انجام شد. اهداف مصاحبه‌ها عبارت بودند از: (۱) شناسایی ابزارهای واقعی مورد استفاده در محیط ساختمان، (۲) شناسایی داده‌های موجود و (۳) ارزیابی دیدگاه آن‌ها از چارچوب. از نتایج مصاحبه‌ها در کنار ادبیات تحقیق برای شناسایی فهرست منابع داده در محیط ساختمان استفاده شد. جامعه و نمونه آماری در این پژوهش، داده‌های ثبت شده در سامانه ۱۳۷ دانشگاه است که مربوط به نت تأسیسات و تجهیزات دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع) می‌باشد. در این پژوهش از دو نوع داده استفاده شده است. در نوع اول از داده‌های نت ثبت شده در پایگاه داده دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع) به منظور ارائه گزارش‌های تحلیلی استفاده شده است؛ و نوع دوم شامل داده‌های ثبت شده برای یک الکتروموتور برای پیاده‌سازی الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌شود. با توجه به هدف این پژوهش، نتایج و دستاوردهای به دست آمده می‌تواند برای تجهیزات و تأسیسات دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع) و همچنین مسئولین مربوطه در حوزه خدمات فنی و مهندسی کاربردی باشد. پژوهش حاضر، در دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع) اجرا شده است. بازه زمانی اجرای پژوهش حاضر، از پاییز ۱۴۰۲ لغایت تابستان ۱۴۰۳ است. در این پژوهش از روش‌های تحلیل داده‌های آماری مانند رگرسیون خطی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی خرابی‌ها، بهینه‌سازی برنامه‌های تعمیرات و بهبود عملکرد تجهیزات استفاده می‌شود. چارچوب موردنظر در این پژوهش در پنج مرحله سازماندهی شده است: جمع‌آوری داده، پردازش داده، توسعه مدل، اطلاع‌رسانی خطا و بهبود مدل. داده‌ها از تأسیسات مختلف الکتروموتور و... (HVAC) با استفاده از دستگاه‌های اینترنت اشیا (IoT) و یک سیستم خودکارسازی ساختمان (BAS) جمع‌آوری شد. سپس از داده‌کاوی و یک مدل یادگیری عمیق برای پیش‌بینی شکست‌ها استفاده شد. این چارچوب در پنج مرحله سازماندهی شده است: جمع‌آوری داده، پردازش داده، توسعه مدل، اطلاع‌رسانی خطا و بهبود مدل. لذا چارچوب فرآیندی روش پژوهش حاضر، در شکل زیر ارائه شده است.



شکل ۱. چارچوب فرآیندی پژوهش

۴- یافته‌ها و تجزیه و تحلیل داده‌ها

۴-۱- توصیف داده‌های تحقیق

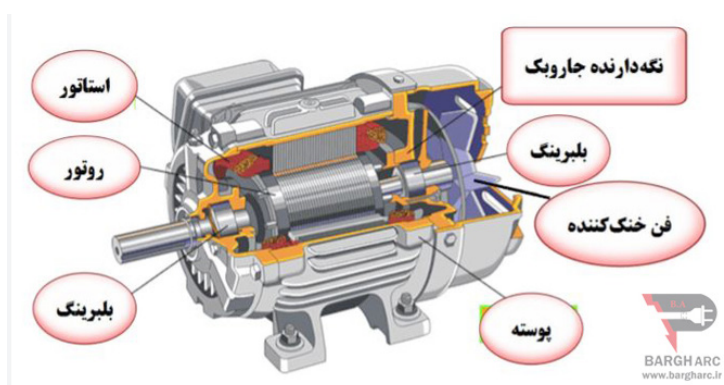
الکتروموتورها یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین دستگاه‌های الکتریکی در صنعت و ساختمان‌ها هستند. این دستگاه‌ها بر اساس اصول مغناطیسی و الکتریکی کار می‌کنند و به دلیل کارایی بالا، قدرت بالا و استفاده از انرژی الکتریسیته، در بسیاری از موارد جایگزینی مناسب برای موتورهای سوختی محسوب می‌شوند. الکتروموتورها در انواع مختلفی با اصول مختلفی ساخته می‌شوند، اما دو نوع اصلی آن‌ها عبارت‌اند از: موتورهای القایی (Induction Motors) و موتورهای جداسدنی (DC Motors).

یکی از انواع مهم الکتروموتور، موتور القایی است. این نوع موتورها بر پایه اصول الکترومغناطیسی عمل می‌کنند. زمانی که جریان الکتریکی از طریق موتور عبور می‌کند، یک میدان مغناطیسی در موتور ایجاد می‌شود. این میدان مغناطیسی باعث حرکت یک شفت در موتور می‌شود که به عنوان خروجی کار مفید محسوب می‌شود. یکی از ویژگی‌های جالب موتورهای القایی این است که نیازی به اتصال مستقیم به منبع برق ندارند. به عنوان مثال، در موتورهای القایی سه فاز، جریان الکتریکی توسط سیم‌های فازی به موتور ارسال می‌شود و به دلیل اصول القایی، موتور به حرکت درمی‌آید. موتورهای القایی دارای مزایای زیادی همچون ساختار ساده، قیمت مناسب، کارایی بالا و نیاز به نگهداری کمتر هستند. این موتورها در بسیاری از کاربردها مانند پمپ‌ها، فن‌ها، کارخانه‌های تولیدی و خودروها استفاده می‌شوند. البته موتورهای جداسدنی (DC Motors) نیز اهمیت زیادی دارند. این موتورها بر پایه اصول الکترومغناطیسی ماهیتی دارند که با تغییر جهت جریان الکتریکی، میدان مغناطیسی و به تبع آن حرکت شفت موتور تغییر می‌کند. این موتورها نیز در بسیاری از



پیش‌بینی خرابی الکتروموتورها در تأسیسات ساختمانی با استفاده از یادگیری ماشین و داده‌کاوی: مطالعه موردی یک مرکز آموزش نظامی

کاربردها مانند دیسک‌های سخت، رله‌ها، رباتیک و صنایع کوچک مورد استفاده قرار می‌گیرند. در کل، الکتروموتورها با توجه به انواع و اصول مختلفی که برای ساخت آن‌ها استفاده می‌شود، نقش بسیار مهمی در توسعه صنعت و فناوری بازی می‌کنند و به عنوان یکی از ابزارهای کلیدی در انتقال و تبدیل انرژی الکتریکی به حرکت مکانیکی شناخته می‌شوند.



شکل ۲. اجزای الکتروموتور

پایگاه داده شامل یک فایل اکسل از داده‌های تعمیرات و تعمیرکاران است که شامل ۶۸۴۸ رکورد می‌شود. این پایگاه داده شامل ۹ فیلد به نام‌های کد برگه، تاریخ ثبت، ساعت ثبت، تعمیرکار، درخواست دهنده، توضیحات تعمیر، انجام، مرجوعی و نیاز به خرید است. در جدول زیر یک نمونه از داده‌ها قابل مشاهده است.

جدول ۲. نمونه داده‌های نت

کد برگه	تاریخ ثبت	ساعت ثبت	تعمیرکار	درخواست دهنده	توضیحات تعمیر	انجام	مرجوعی	نیاز به خرید
۶۹۵۸	۱۴۰۲/۰۹/۰۵	۹:۲۴	مسعود اسدی	مرتضی حیدرلکی	تعویض شیلینگ سرویس بهداشتی	FALSE	FALSE	FALSE
۶۹۵۷	۱۴۰۲/۰۹/۰۵	۷:۱۵	وحید مشایخی	قیطاسی	تعویض ترموستات فن کوئل	FALSE	FALSE	FALSE
۶۹۳۱	۱۴۰۲/۰۹/۰۲	۷:۰۸	رامین پذیرایی	شیخی	خرابی شیر آب	FALSE	FALSE	FALSE
۶۹۵۹	۱۴۰۲/۰۹/۰۵	۹:۳۰	احسان احمدوند	مرتضی حیدرلکی	تعویض لامپ	FALSE	FALSE	FALSE

داده‌های پژوهش از سامانه ۱۳۷ دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع) و برای مطالعه موردی از داده‌های ثبت شده برای یک دستگاه الکتروموتور استخراج شده است. برای آماده‌سازی و پیش‌پردازش داده‌ها از زبان برنامه‌نویسی پایتون که یک زبان سطح بالا است استفاده شده است. همچنین با استفاده از تابع describe خلاصه‌ای از شاخص‌های مهم داده به دست آمده است که جدول زیر را شامل می‌شود.



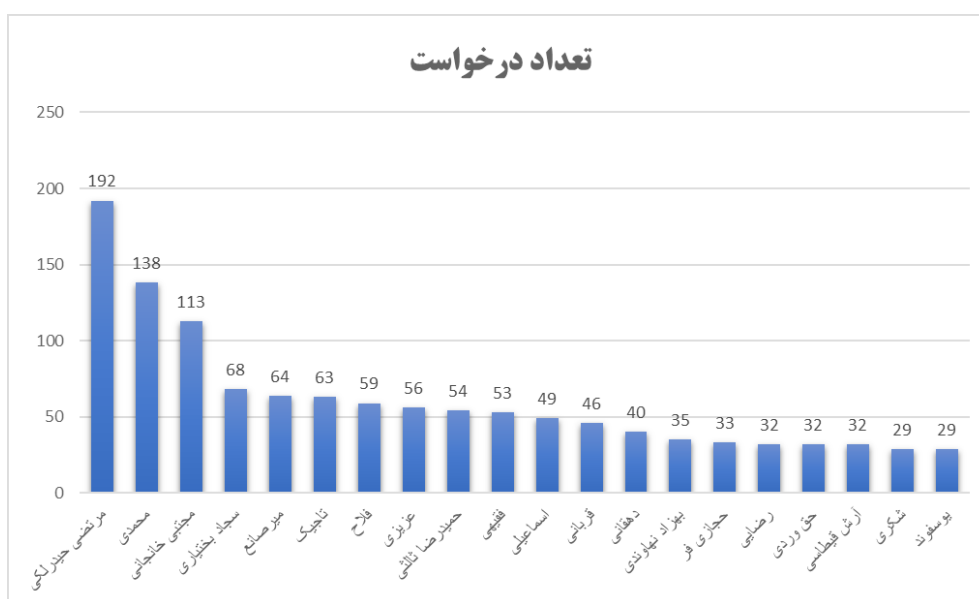
جدول ۳. اطلاعات شاخص‌های مهم

تعداد	تعمیرکاران	درخواست دهندگان	توضیحات	انجام کار	مرجوعی	نیاز به خرید
۶۷۵۲	۶۷۷۵	-	۶۸۴۸	۶۸۴۸	۶۸۴۸	۶۸۴۸
۶۲	۴۷۰	-	۲	۲	۲	۲
حسین سیمایی	مرتضی حیدرلکی	خرابی کولر	True	False	False	False

همان‌طور که در جدول بالا مشاهده می‌کنید تعداد تعمیرکاران منحصربه‌فرد ۶۲ و تعداد درخواست دهندگان منحصربه‌فرد ۴۷۰ نفر است. همچنین فیلدهای انجام کار، مرجوعی و نیاز به خرید به علت ماهیت دودویی تعداد منحصربه‌فرد آن‌ها شامل True/False است. بیشترین تعمیرات توسط آقای حسین سیمایی صورت گرفته است. بیشترین درخواست نیز متعلق به آقای مرتضی حیدرلکی است. همان‌طور که مشاهده می‌کنید بیشترین تعمیرات مربوط به خرابی کولر است از این رو تجهیز انتخابی به منظور پیاده‌سازی مدل یادگیری ماشین از قطعات کولر انتخاب گردیده است.

با بررسی بیشتر فیلد انجام کار که مشخص می‌کند آیا کار مذکور انجام شده است یا خیر مشاهده می‌شود از کل کارها ۴۹۵۳ کار انجام شده و ۱۸۹۵ کار انجام نشده است. نمودار دایره‌ای کارهای انجام شده به همراه درصد انجام کارها در ذیل این پاراگراف قابل مشاهده است. ۷۲ درصد تعمیرات با موفقیت به پایان رسیده است. ۱ نشانه انجام کار و ۰ نشانه عدم انجام کار است. همچنین ۳ درصد قطعات مرجوعی و ۹۷ درصد مرجوعی نبوده‌اند. در مورد قطعات نیاز به خرید نیز ۱۰۷۲ درصد قطعات نیاز به خرید داشته‌اند و ۹۸۰۲۶ درصد قطعات نیاز به خرید نداشته‌اند.

همچنین با شمارش درخواست دهندگان مشاهده می‌شود که بیشترین درخواست از سمت آقای مرتضی حیدرلکی صورت گرفته است. در نمودار زیر بیست نفر پر درخواست داده‌ها قابل مشاهده است.



شکل ۳. بیست نفر پر درخواست



تجزیه و تحلیل و نتایج این مطالعه در مورد استفاده از فنون داده‌کاوی و یادگیری ماشین برای نت پیش‌بینانه تجهیزات و امکانات ساختمان ارائه شده است. به طور خاص، بر روی یک دستگاه الکتروموتور به عنوان مطالعه موردی تمرکز می‌شود. هدف اصلی نشان دادن این است که چگونه این فنون می‌توانند نیازهای نت را پیش‌بینی کنند که به طور بالقوه منجر به صرفه‌جویی در هزینه و افزایش کارایی عملیاتی شود. یک الکتروموتور که معمولاً به عنوان موتور الکتریکی شناخته می‌شود، یک جزء حیاتی در بسیاری از کاربردهای صنعتی و تجاری است. انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند تا وظایف مختلفی را انجام دهد، از رانندگی ماشین‌آلات گرفته تا برق‌رسانی به لوازم خانگی. راندمان، قابلیت اطمینان و طول عمر الکتروموتورها برای عملکرد روان بسیاری از سیستم‌ها حیاتی است و نگهداری آن‌ها را به یک جنبه حیاتی در مدیریت صنعتی تبدیل می‌کند.

داده‌های این تجزیه و تحلیل از مجموعه داده‌های مربوط به نگهداری و تعمیر پیش‌بینی شده به دست آمد. مجموعه داده شامل ویژگی‌های مختلفی است که ویژگی‌های عملیاتی و خرابی تجهیزات را توصیف می‌کند. مجموعه داده اولیه حاوی شناسه‌های منحصر به فرد و شناسه‌های محصول بود که برای تمرکز بر ویژگی‌های مربوطه برای تجزیه و تحلیل حذف شدند.

جدول ۴. ویژگی‌های کلیدی در مجموعه داده

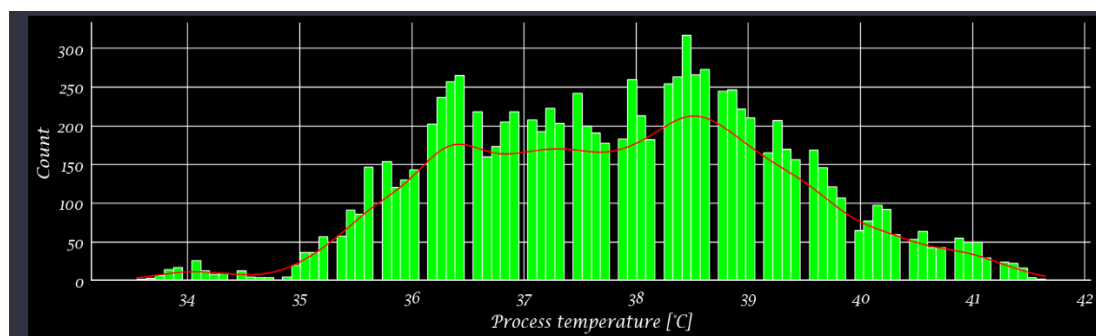
Type	کیفیت تجهیز به عنوان مثال M به معنای Medium است
[Air temperature]K	دمای هوا به کلوین
[Process temperature]K	دمای فرآیند به کلوین
(Rotational speed(rpm	سرعت چرخش موتور
(Torque(Nm	گشتاور
[Tool wear [min	میزان سایش تجهیز
Target	آیا شکست رخ داده است یا خیر؟ (دودویی)
Failure Type	نوع شکست

لازم به ذکر است اهداف شامل دو ستون Target و Failure Type است و نباید یکی از این ستون‌ها جزو ویژگی‌های مدل در نظر گرفته شود. نمونه داده‌ها در جدول زیر قابل مشاهده است.

	Type	Air temperature [K]	Process temperature [K]	Rotational speed [rpm]	Torque [Nm]	Tool wear [min]	Target	Failure Type
5460	M	303.000000	312.400000	1526	36.100000	142	0	No Failure
718	L	297.500000	308.800000	1477	39.000000	127	0	No Failure
2418	L	298.900000	308.300000	1660	34.400000	9	0	No Failure
9614	M	299.100000	310.300000	1441	43.900000	94	0	No Failure
8349	M	298.700000	309.500000	1487	33.600000	183	0	No Failure
3533	L	302.000000	311.000000	1563	36.200000	8	0	No Failure

شکل ۴. نمونه داده‌های الکتروموتور

تجزیه و تحلیل داده‌های اکتشافی (EDA) برای درک توزیع و روابط درون داده‌ها انجام شد. آمار خلاصه و تجسم برای به دست آوردن بینش در مورد ویژگی‌های مجموعه داده استفاده شد. در ابتدای امر با رسم چند نمودار پراکندگی و توزیع داده‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. نمودارهای زیر توزیع پراکندگی تعداد قطعات نسبت به دمای هوا، دمای فرآیند و اختلاف دمای این دو متغیر را نشان می‌دهد.



شکل ۵. پراکندگی قطعات نسبت به دمای فرآیند

با استفاده از توابع محاسباتی زبان برنامه نویسی پایتون جداول زیر تعداد تجهیزات برحسب نوع تجهیز، دچار شکست و یا عدم شکست و نوع شکست به دست آمده است.

جدول ۵. تعداد تجهیزات برحسب نوع تجهیز

تعداد	نوع
۶۰۰۰	(L(Low
۲۹۹۷	(M(Medium
۱۰۰۳	(H(High

تعداد	شکست (دودویی)
۹۶۶۱	۰
۳۳۹	۱

تعداد	نوع شکست
۹۶۵۲	No Failure
۱۱۲	Heat Dissipation Failure
۹۵	Power Failure
۷۸	Overstrain Failure
۴۵	Tool Wear Failure
۱۸	Random Failures

۴-۲- تحلیل آماری داده‌های نت

در این بخش توصیفی از ستون "[Torque [Nm]" (گشتاور) ارائه می‌شود و از دو نمودار مهم یعنی نمودار هیستوگرام و نمودار جعبه‌ای برای بررسی و نمایش توزیع این ویژگی استفاده می‌کند. این تحلیل می‌تواند به درک عمیق‌تر از توزیع داده‌ها و شناسایی ویژگی‌های آماری مهم مانند میانگین، میانه و مد کمک کند.

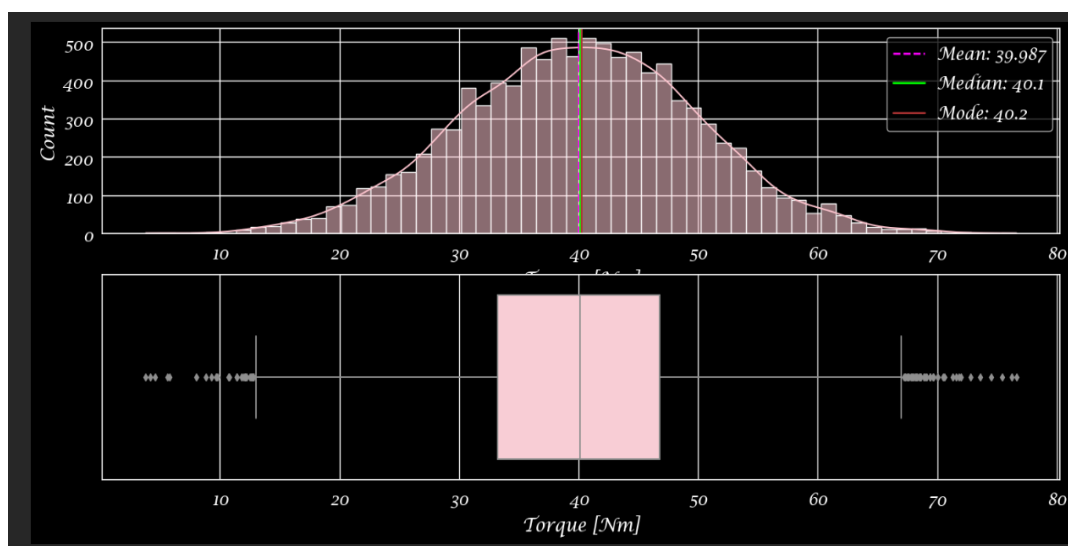


نمودار هیستوگرام با خط چگالی: در قسمت بالای نمودار، هیستوگرام توزیع داده‌های "Torque [Nm]" به همراه یک خط چگالی تخمینی (Kernel Density Estimate) رسم شده است. هیستوگرام نشان می‌دهد که داده‌ها چگونه در طول محور گشتاور توزیع شده‌اند. همچنین سه خط عمودی به رنگ‌های مختلف برای نمایش میانگین (Mean)، میانه (Median) و مد (Mode) در این نمودار رسم شده‌اند:

- میانگین: با خط نقطه‌چین مغناطیسی (Magenta) نمایش داده شده است و موقعیت متوسط گشتاور را نشان می‌دهد.
- میانه: با خط سبز لیمویی (Lime) نشان داده شده و نشان‌دهنده مقداری است که نیمی از داده‌ها کمتر از آن و نیمی بیشتر از آن قرار دارند.
- مد: با خط قهوه‌ای (Brown) مشخص شده و بیشترین تکرار را در داده‌ها نشان می‌دهد.

این اطلاعات کمک می‌کنند تا بتوان فهمید توزیع داده‌ها به چه صورت است (نرمال، چوله به راست یا چوله به چپ) و آیا میانگین، میانه و مد نزدیک به هم هستند یا تفاوت قابل توجهی دارند.

در بخش پایین، یک نمودار جعبه‌ای برای ویژگی "Torque [Nm]" رسم شده است. نمودار جعبه‌ای ابزار مناسبی برای نمایش محدوده بین چارکی (IQR)، نقاط بیرونی (Outliers) و چارک‌های اول و سوم است. این نمودار اجازه می‌دهد که به سرعت داده‌های دارای نقاط پرت یا عدم تقارن شناسایی شوند و توزیع داده‌ها را در بازه‌های مختلف نشان می‌دهد. این تحلیل به طور مستقیم به بررسی و تفسیر توزیع یک ویژگی مهم در داده‌ها می‌پردازد. نمودار هیستوگرام و جعبه‌ای به عنوان ابزارهای بصری، کمک می‌کنند تا به سرعت ویژگی‌های کلیدی توزیع داده‌ها را شناسایی کرده و از این اطلاعات برای تصمیم‌گیری‌های بعدی در مراحل مدل‌سازی استفاده کرد. برای مثال، اگر داده‌ها چوله باشند یا نقاط پرت زیادی داشته باشند، ممکن است نیاز به پیش‌پردازش داده‌ها و تعدیل آن‌ها قبل از استفاده در مدل‌های یادگیری ماشین باشد.



شکل ۶. نمودار هیستوگرام و جعبه‌ای گشتاور



الگوریتم‌های یادگیری ماشین مجموعه‌ای از فنون و روش‌ها هستند که به سیستم‌ها این امکان را می‌دهند تا از داده‌ها یاد بگیرند و بدون برنامه‌ریزی صریح، تصمیم‌گیری کنند. این الگوریتم‌ها به‌طور گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف، از جمله تحلیل داده، پیش‌بینی و شناسایی الگوها استفاده می‌شوند. انواع الگوریتم‌های یادگیری ماشین:

(۱) یادگیری با نظارت (Supervised Learning)

(۲) یادگیری بدون نظارت (Unsupervised Learning)

(۳) یادگیری نیمه نظارت (Semi-supervised Learning)

(۴) یادگیری تقویتی (Reinforcement Learning)

۳-۴- جنگل تصادفی

الگوریتم جنگل تصادفی (Random Forest) یکی از فنون پیشرفته یادگیری ماشین است که برای حل مسائل طبقه‌بندی و رگرسیون استفاده می‌شود. این الگوریتم به‌عنوان یک روش یادگیری گروهی (Ensemble Learning) شناخته می‌شود و از ترکیب چندین درخت تصمیم برای بهبود دقت پیش‌بینی و کاهش خطر بیش‌برازش (Overfitting) استفاده می‌کند. جنگل تصادفی شامل مجموعه‌ای از درختان تصمیم است که به‌صورت تصادفی از زیرمجموعه‌های مختلف داده‌ها و ویژگی‌ها ساخته می‌شوند. هر درخت تصمیم به‌طور مستقل پیش‌بینی می‌کند و در نهایت، پیش‌بینی نهایی بر اساس رأی‌گیری (Voting) بین درختان انجام می‌شود. اجزای جنگل تصادفی عبارت‌اند از: درختان تصمیم: هر درخت تصمیم به‌صورت مستقل ساخته می‌شود و از یک زیرمجموعه تصادفی از داده‌ها و ویژگی‌ها استفاده می‌کند. رأی‌گیری: برای طبقه‌بندی، کلاسی که بیشترین رأی را از درختان دریافت کند به‌عنوان نتیجه نهایی انتخاب می‌شود. در رگرسیون، میانگین پیش‌بینی‌های درختان محاسبه می‌شود.

عملکرد الگوریتم جنگل تصادفی به‌صورت زیر است:

- نمونه‌برداری تصادفی: از مجموعه داده اصلی، نمونه‌های تصادفی (با جایگزینی) انتخاب می‌شود. این فرآیند به نام «بگینگ» (Bagging) شناخته می‌شود.
- ساخت درختان تصمیم: برای هر نمونه انتخاب‌شده، یک درخت تصمیم ساخته می‌شود. در این مرحله، به‌جای استفاده از تمام ویژگی‌ها، تنها یک زیرمجموعه تصادفی از ویژگی‌ها برای تقسیم کردن در گره‌ها انتخاب می‌شود.
- رأی‌گیری یا میانگین‌گیری: پس از ساخت تمام درختان، برای طبقه‌بندی، رأی‌گیری انجام می‌شود و برای رگرسیون، میانگین پیش‌بینی‌های درختان محاسبه می‌شود.

مزایای جنگل تصادفی عبارت‌اند از: دقت بالا: جنگل تصادفی معمولاً دقت بالاتری نسبت به یک درخت تصمیم منفرد دارد و می‌تواند به‌خوبی با داده‌های پیچیده و غیرخطی کار کند. کاهش خطر بیش‌برازش: با استفاده از چندین درخت تصمیم و رأی‌گیری، خطر بیش‌برازش به‌شدت کاهش می‌یابد. قابلیت کار با داده‌های گم‌شده: جنگل تصادفی می‌تواند با داده‌های ناقص به‌خوبی کار کند و به‌طور طبیعی از داده‌های گم‌شده صرف‌نظر کند. تفسیر ویژگی‌ها: این الگوریتم می‌تواند اهمیت ویژگی‌ها را محاسبه کند و به شناسایی ویژگی‌های تأثیرگذار کمک کند. معایب آن نیز شامل: پیچیدگی محاسباتی: ساخت و آموزش چندین درخت تصمیم ممکن است زمان‌بر و نیازمند منابع محاسباتی بیشتری باشد. کاهش قابلیت تفسیر: در مقایسه با درختان تصمیم، جنگل تصادفی کمتر



قابل تفسیر است و درک نحوه تصمیم‌گیری مدل دشوارتر است. مدل‌های بزرگ: در صورت وجود تعداد زیادی از درختان، مدل ممکن است به شدت بزرگ شود و زمان پیش‌بینی را افزایش دهد.

جنگل تصادفی در زمینه‌های مختلفی کاربرد دارد، از جمله: پزشکی: تشخیص بیماری‌ها و پیش‌بینی نتایج درمان. مالی: ارزیابی ریسک اعتباری و شناسایی تقلب. بازاریابی: شناسایی مشتریان هدف و پیش‌بینی رفتار خرید. اکولوژی: طبقه‌بندی گونه‌ها و تجزیه و تحلیل زیستگاه‌ها. الگوریتم جنگل تصادفی به عنوان یک ابزار قدرتمند در یادگیری ماشین، به دلیل دقت بالا، کاهش خطر بیش‌برازش و قابلیت کار با داده‌های پیچیده، در بسیاری از زمینه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این حال، توجه به معایب آن و استفاده از فنون بهینه‌سازی می‌تواند به بهبود عملکرد این الگوریتم کمک کند.

در این بخش، مدل جنگل تصادفی برای تحلیل و پیش‌بینی بر روی داده‌های آزمون مورد استفاده قرار گرفته است. جنگل تصادفی یکی از الگوریتم‌های قدرتمند یادگیری ماشین است که بر پایه ترکیب چندین درخت تصمیم (Decision Trees) عمل می‌کند. این مدل به دلیل قابلیت‌های پیشرفته‌اش در تعمیم و قدرت پیش‌بینی بالا به طور گسترده‌ای در مسائل دسته‌بندی و رگرسیون مورد استفاده قرار می‌گیرد. تحلیل عملکرد مدل جنگل تصادفی با استفاده از دقت، گزارش طبقه‌بندی و ماتریس سردرگمی این امکان را می‌دهد که به طور جامع‌تری عملکرد مدل خود را ارزیابی کنید. این تحلیل‌ها به شناسایی نقاط قوت و ضعف مدل کمک کرده و به بهبود بهینه‌سازی مدل‌های یادگیری ماشین شما یاری می‌رساند. با استفاده از این اطلاعات، می‌توانید تصمیمات بهتری برای بهبود عملکرد مدل‌های خود اتخاذ کنید و قابلیت‌های پیش‌بینی آن‌ها را ارتقاء دهید.

نتایج عددی ارزیابی الگوریتم جنگل تصادفی در جدول زیر قابل مشاهده است. همچنین ماتریس سردرگمی الگوریتم در شکل زیر ارائه شده است.

جدول ۶. نتایج عددی ارزیابی الگوریتم جنگل تصادفی

Training Accuracy	%۱۰۰,۰
Model Accuracy Score	%۹۹,۶

Classification Report				
	precision	recall	score-f1	support
۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱۹۲۱
۱	۰,۹۰	۰,۹۵	۰,۹۲	۱۹
۲	۱,۰۰	۰,۷۸	۰,۸۸	۹
۳	۰,۸۸	۰,۹۴	۰,۹۱	۱۶
۴	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۳
۵	۰,۹۷	۰,۹۷	۰,۹۷	۳۲
accuracy			۱,۰۰	۲۰۰۰
macro avg	۰,۷۹	۰,۷۷	۰,۷۸	۲۰۰۰
weighted avg	۰,۹۹	۱,۰۰	۱,۰۰	۲۰۰۰





توضیحات جدول:

Training Accuracy: دقت مدل در داده‌های آموزشی

Model Accuracy: دقت مدل در داده‌های آزمایشی

Support: تعداد نمونه‌ها در هر کلاس

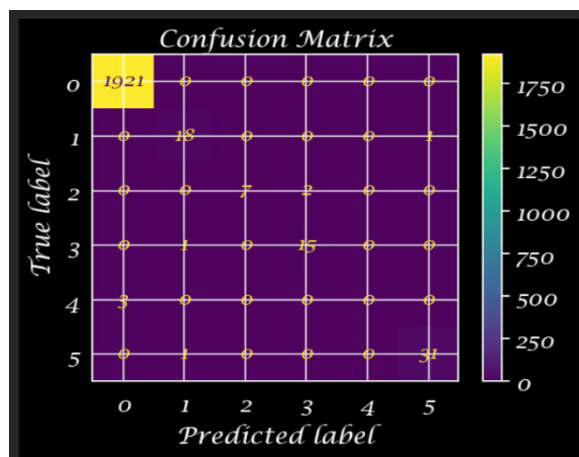
F1-Score: میانگین هماهنگ دقت و یادآوری

Recall: نسبت نمونه‌های درست شناسایی شده به کل نمونه‌های واقعی

Precision: نسبت نمونه‌های درست شناسایی شده به کل نمونه‌های پیش‌بینی شده

Macro Avg: میانگین ساده مقادیر Precision، F1-Score، Recall بدون توجه به تعداد نمونه‌ها

Weighted Avg: میانگین وزنی مقادیر Precision، F1-Score، Recall با توجه به تعداد نمونه‌ها



شکل ۷. ماتریس سردرگمی الگوریتم جنگل تصادفی

ساخت و مقایسه عملکرد

برای ارزیابی و مقایسه مدل‌های مختلف یادگیری ماشین، نتایج دقت مدل‌ها بر روی داده‌های آموزشی و آزمون در جدول زیر جمع‌آوری شده است. این مقایسه کمک می‌کند تا تصویری واضح از عملکرد هر مدل نسبت به دیگر مدل‌ها داشته باشید و بتوانید تصمیم بهتری درباره انتخاب مدل مناسب برای مسئله خود بگیرید.

جدول ۷. نتایج دقت مدل‌ها بر روی داده‌های آموزشی و آزمون

	Model	Training Accuracy	Model Accuracy Score
۱	SVM	۹۶٫۷۲	۹۶٫۲۰
۲	Logistic Regression	۹۶٫۶۴	۹۶٫۰۵
۳	Random Forest	۱۰۰٫۰۰	۹۹٫۶۰
۴	Decision Tree	۱۰۰٫۰۰	۹۹٫۱۰



مقایسه دقت‌های آموزشی و مدل برای هر یک از مدل‌های یادگیری ماشین به شما این امکان را می‌دهد که مدل مناسب را برای مسئله خود انتخاب کنید. مدل‌هایی که دقت آموزشی و دقت مدل بالاتری دارند، معمولاً عملکرد بهتری در یادگیری و پیش‌بینی دارند، اما باید توجه داشته باشید که دقت آموزشی بالا ممکن است نشان‌دهنده بیش‌برازش باشد. همچنین، برای انتخاب بهترین مدل، علاوه بر دقت، تحلیل‌های دیگر مانند گزارش طبقه‌بندی و ماتریس سردرگمی نیز باید مدنظر قرار گیرد. این مقایسه و تحلیل به شما کمک می‌کند تا تصمیمات بهتری برای انتخاب مدل و بهینه‌سازی عملکرد آن بگیرید.

نتایج پیش‌بینی الگوریتم جنگل تصادفی

در این بخش، به تحلیل پیش‌بینی‌های مدل جنگل تصادفی پرداخته شده است. این تحلیل به منظور ارزیابی دقت و عملکرد مدل در پیش‌بینی برچسب‌های کلاس بر روی داده‌های آزمون انجام شده است. برای این منظور، پیش‌بینی‌های مدل با برچسب‌های واقعی مقایسه شده و نتایج به صورت جدول ارائه شده‌اند. این الگوریتم بهترین نتیجه را داشته و از آن برای پیش‌بینی داده‌های جدید استفاده شده است.

۱) ایجاد جدول مقایسه: برای بررسی دقت پیش‌بینی‌های مدل جنگل تصادفی، یک جدول مقایسه از دو ستون اصلی تهیه شده است:

❖ برچسب‌های واقعی (Actual): این ستون شامل برچسب‌های اصلی داده‌های آزمون است که به عنوان مرجع برای مقایسه با پیش‌بینی‌های مدل استفاده می‌شود.

❖ پیش‌بینی‌های مدل (Predicted): این ستون شامل پیش‌بینی‌هایی است که مدل جنگل تصادفی برای داده‌های آزمون تولید کرده است.

با مقایسه این دو ستون، می‌توان مشاهده کرد که مدل در پیش‌بینی برچسب‌ها تا چه اندازه دقیق عمل کرده است.

۲) مشاهده نمونه‌های تصادفی: برای تحلیل دقیق‌تر، نمونه‌هایی تصادفی از جدول مقایسه نمایش داده شده‌اند. این روش به شما این امکان را می‌دهد که به طور تصادفی و بدون بررسی تمام داده‌ها، نمونه‌هایی را که مدل به درستی یا به طور نادرست پیش‌بینی کرده است، بررسی کنید. این تحلیل می‌تواند به شناسایی الگوهای خاص یا مشکلات مدل کمک کند.

۳) تحلیل نتایج: با بررسی و تحلیل جدول مقایسه، می‌توان به نکات زیر پی برد:

❖ عملکرد مدل: تحلیل پیش‌بینی‌های مدل نسبت به برچسب‌های واقعی، ارزیابی دقیقی از دقت مدل را ارائه می‌دهد و نشان می‌دهد که مدل در پیش‌بینی درست برچسب‌ها چگونه عمل کرده است.

❖ شناسایی مشکلات: نمونه‌هایی که مدل به طور نادرست پیش‌بینی کرده است می‌تواند نشان‌دهنده مشکلات خاص یا نقاط ضعف مدل باشد. این اطلاعات می‌تواند به بهبود مدل و بهینه‌سازی آن کمک کند.

❖ الگوهای خاص: تحلیل داده‌ها ممکن است نشان دهد که مدل به برخی ویژگی‌ها یا الگوهای خاص حساس است که می‌تواند به شناسایی و رفع مشکلات مدل کمک کند.

بررسی و تحلیل پیش‌بینی‌های مدل جنگل تصادفی از طریق مقایسه برچسب‌های واقعی و پیش‌بینی‌های شده، اطلاعات دقیق و مفیدی را درباره عملکرد مدل فراهم می‌آورد. این تحلیل به شناسایی نقاط قوت و ضعف مدل کمک کرده و به بهبود و بهینه‌سازی



مدل‌های آینده یاری می‌رساند. استفاده از جدول مقایسه و ویژگی‌های بصری برای تحلیل دقیق‌تر داده‌ها و نتایج، فرآیند ارزیابی مدل را تسهیل کرده و به تحلیلگران کمک می‌کند تا نتایج را به طور مؤثرتری بررسی کنند.

جدول ۴-۱۴. جدول مقایسه مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده

ردیف	Actual	Predicted
۸۱۴۶	۰	۰
۳۱۳۰	۰	۰
۸۸۱۵	۰	۰
۲۱۰۸	۰	۰
۷۳	۰	۰

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

با توجه به اهمیت تأسیسات ساختمانی و کاربردهای فراوانی که هوش مصنوعی در زمینه نت پیشگیرانه این تجهیزات مانند الکتروموتور دارد و شکاف‌ها و محدودیت‌های مطالعاتی موجود در این حوزه، پژوهش حاضر به دنبال پاسخ‌گویی به این سؤال است که چگونه می‌توان با استفاده از داده‌کاوی و یادگیری ماشین به نت پیشگیرانه تأسیسات و تجهیزات ساختمان پرداخت؟ این سؤال، شروعی برای جست‌وجوی ادبیات پژوهش بود و پس از بررسی خیل عظیمی از پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه متغیرهای پژوهش، مشخص شد پژوهش‌های محدودی در حوزه متغیرهای این پژوهش انجام شده و شکاف‌های مطالعاتی در این حوزه مشاهده می‌گردد و همچنین پژوهش‌هایی که به نت پیشگیرانه در الکتروموتور و با روش یادگیری ماشین و داده‌کاوی پردازد انجام نشده است. تدوین مبانی و بررسی پیشینه پژوهش، شروعی بر به‌کارگیری روش پژوهش در راستای تحلیل داده‌ها و بررسی یافته‌های پژوهش بود. به‌طور کلی روش انجام پژوهش در این مطالعه به این صورت است که ابتدا داده‌های پژوهش جمع‌آوری شده و پس از آن به پیش‌پردازش داده‌ها پرداخته شد. در ادامه از طریق روش‌های یادگیری ماشین و داده‌کاوی به ساخت مدل، ارزیابی مدل و بهبود مدل پرداخته شده و تلاش شده تا اجرای مدل‌ها با شبیه‌سازی در محیط واقعی انجام شود. به‌نوعی که با تحلیل داده‌های پژوهش از طریق الگوریتم‌های یادگیری ماشین و داده‌کاوی، مدل بهینه نت پیشگیرانه الکتروموتور مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت مدلی بهینه در این حوزه ارائه شده است.

در این پژوهش از دو نوع داده استفاده شده است. نوع اول که از داده‌های نت ثبت شده در پایگاه داده دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع) به‌منظور ارائه گزارش‌های تحلیلی استفاده شده است. نوع دوم شامل داده‌های ثبت شده برای یک الکتروموتور برای پیاده‌سازی الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌باشد. علت اینکه از دو نوع داده استفاده شده است برمی‌گردد به نوع داده‌های ثبت شده در پایگاه داده نت دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع). اساساً این داده‌ها کمی نبوده و برای پیاده‌سازی الگوریتم‌های یادگیری ماشین مناسب نیستند؛ از این رو از داده‌های مناسب برای یک تجهیز خاص (الکتروموتور) برای پیاده‌سازی الگوریتم‌ها استفاده شده است. لذا در این پژوهش ما بر روی داده‌های مربوط به الکتروموتور کار کردیم که این داده‌ها، داده‌های شبیه‌سازی می‌باشند که به ازای هر داده آموزشی متغیرهایی ذخیره شده‌اند که برخی ویژگی‌ها، ویژگی‌های آموزشی را بیان می‌کنند و برخی متغیرها دیگر متغیرهایی هستند که به دنبال پیش‌بینی آن‌ها هستیم و در نهایت عملکرد الکتروموتور را نشان می‌دهند.



داده‌های پایگاه داده نت، اطلاعات جامعی از تعمیرات انجام‌شده، تاریخ، ساعت، تعمیرکار و درخواست دهنده ارائه دادند که مورد تحلیل قرار گرفت تا الگوهای کلیدی شناسایی شوند. نتایج حاکی از این بودند که اکثر تعمیرات در زمان‌های مشخصی از روز صورت می‌گیرد و برخی افراد بیشترین درخواست‌ها و تعمیرات را داشته‌اند.

به کمک الگوریتم تحلیل، مؤلفه‌های اصلی داده‌ها را از فضای اصلی چندبعدی به یک فضای جدید تصویر کردیم و نشان دادیم که اگر فقط تعدادی ویژگی‌های داده‌ها در فضای جدید را در نظر بگیریم، حدود ۹۹ درصد اطلاعات را حفظ کرده‌ایم. این ویژگی‌ها در فضای جدید در واقع هرکدام ترکیب خطی تمامی ویژگی‌ها در فضای اصلی هستند و تناظر یک‌به‌یک بین دو فضا وجود ندارد. این روش به ما کمک می‌کند تا بتوانیم داده‌ها با ابعاد بالا را در فضای جدید با ابعاد کمتر بدون از دست دادن اطلاعات زیاد ترسیم کنیم و دید خوبی نسبت به داده‌ها به دست آوریم.

در ادامه الگوریتم‌های مختلفی را روی داده‌های مجموعه آموزشی در فضای اصلی آموزش دادیم و بعد بر روی داده‌های مجموعه آزمایشی اعمال کردیم تا مقادیر متغیرهای هدف یا همان ویژگی‌های اصلی ذکرشده در بالا را پیش‌بینی کنیم. داده‌های مجموعه آزمایشی در مرحله آموزش الگوریتم توسط الگوریتم دیده نشده بودند. هر الگوریتم دارای ابر پارامترهای مختص به خود است که این ابر پارامترها می‌بایستی به درستی به روش اعتبارسنجی از روی داده‌های اعتبارسنجی تعیین شوند و در بخش مربوط به هر الگوریتم این ابر پارامترها را معرفی کرده و نتایج داده‌های اعتبارسنجی را به منظور انتخاب ابر پارامترها نشان دادیم. بر اساس پژوهش‌های قبلی که بر روی داده‌های تجهیزات ساختمانی اعمال شده است، میانگین دقت پیش‌بینی حدود ۸۵ درصد است که با انتخاب صحیح هاپر پارامترها این میزان را به میزان بالاتری ارتقاء دادیم. علاوه بر این در الگوریتم دیگر نیز میانگین دقت پیش‌بینی را با انتخاب صحیح هاپر پارامترها به پیش‌بینی صحیح بالا رساندیم. همچنین در این مطالعه ما به تحلیل مؤلفه‌های اصلی پرداختیم که در مطالعات پیشین به آن پرداخته نشده بود.

در زمینه استفاده از داده‌کاوی و یادگیری ماشین، چندین الگوریتم پرکاربرد مانند درخت تصمیم، جنگل‌های تصادفی، ماشین‌های بردار پشتیبان و شبکه‌های عصبی مورد ارزیابی قرار گرفتند. این الگوریتم‌ها کمک کردند تا پیش‌بینی‌های دقیق‌تری از وقوع خرابی‌ها و نیاز به تعمیرات الکتروموتورها انجام شود. نتایج نشان داد که با استفاده صحیح از این روش‌ها، می‌توان به طور مؤثر خرابی‌های غیرمنتظره را کاهش داد، طول عمر تجهیزات را افزایش داد و هزینه‌های نگهداری بهینه‌سازی شده را به دست آورد. به طور خلاصه، پژوهش نشان‌دهنده پتانسیل بالای داده‌کاوی و یادگیری ماشین در بهبود فرآیندهای نت الکتروموتورها به عنوان یکی از اجزای حیاتی تأسیسات ساختمانی است. این یافته‌ها می‌توانند به عنوان مبنایی برای توسعه بیشتر و پیاده‌سازی عملی در سایر تأسیسات و تجهیزات مشابه مورد استفاده قرار گیرند؛ بنابراین به طور کلی نتایج به دست آمده در این پژوهش عبارت‌اند از:

- (۱) دسته‌بندی اطلاعات مربوط به نت الکتروموتور؛
- (۲) تعیین عوامل مهم در پایش طول عمر الکتروموتور؛
- (۳) استفاده از پارامترهای اثرگذار برای تعیین مدت زمان مناسب برای چک کردن پارامترهای فنی دستگاه و نیز احتمال بالای نیاز به تعمیر دستگاه در مدت زمان بیشتر از مقدار پیش‌بینی شده؛
- (۴) ارائه مدل پیشنهادی برای اولین بار با رویکرد برد-برد و تعریف برنامه نت پیشگیرانه برای تجهیزات پیچیده‌ای که وارانتهی برایشان در نظر گرفته شده با تغییری که در تابع هدف اعمال شده است.





با بررسی، تحلیل و مقایسه انجام شده، می‌توان به نکات زیر پی برد:

- ❖ عملکرد مدل: تحلیل پیش‌بینی‌های مدل نسبت به برچسب‌های واقعی، ارزیابی دقیقی از دقت مدل را ارائه می‌دهد و نشان می‌دهد که مدل در پیش‌بینی درست برچسب‌ها چگونه عمل کرده است.
- ❖ شناسایی مشکلات: نمونه‌هایی که مدل به‌طور نادرست پیش‌بینی کرده است می‌تواند نشان‌دهنده مشکلات خاص یا نقاط ضعف مدل باشد. این اطلاعات می‌تواند به بهبود مدل و بهینه‌سازی آن کمک کند.
- ❖ الگوهای خاص: تحلیل داده‌ها ممکن است نشان دهد که مدل به برخی ویژگی‌ها یا الگوهای خاص حساس است که می‌تواند به شناسایی و رفع مشکلات مدل کمک کند.

بررسی و تحلیل پیش‌بینی‌های مدل جنگل تصادفی از طریق مقایسه برچسب‌های واقعی و پیش‌بینی‌شده، اطلاعات دقیق و مفیدی را درباره عملکرد مدل فراهم می‌آورد. این تحلیل به شناسایی نقاط قوت و ضعف مدل کمک کرده و به بهبود و بهینه‌سازی مدل‌های آینده یاری می‌رساند. استفاده از جدول مقایسه و ویژگی‌های بصری برای تحلیل دقیق‌تر داده‌ها و نتایج، فرآیند ارزیابی مدل را تسهیل کرده و به تحلیلگران کمک می‌کند تا نتایج را به‌طور مؤثرتری بررسی کنند.

راه‌حل پیشنهادی نشان داده شده به ما اجازه می‌دهد تا ناهنجاری‌هایی را که روی دستگاه رخ می‌دهد شناسایی و طبقه‌بندی کنیم. این نیاز به داشتن یک مجموعه داده از قبل در شروع را حذف می‌کند و به شما امکان می‌دهد بدون نیاز به آن شروع کنید و فقط تشخیص ناهنجاری را انجام دهید و طبقه‌بندی را به‌عنوان خطاهایی که واقعا در دستگاه رخ می‌دهد معرفی کنید و از آن‌ها برای تشخیص در دفعات بعد استفاده کنید. محدودیت‌های اصلی که با آن مواجه می‌شویم، زمان مورد نیاز برای آموزش در مراحل آزمایشی پیشرفته است که در آن چارچوب داده‌ای کامل از نظر کلاس‌ها و ورودی‌ها وجود دارد. درواقع، طبقه‌بندی کننده باید هر بار که کل مجموعه داده‌ها را افزایش یا اصلاح می‌کند، دوباره آموزش داده شود. به همین دلیل، منطقی است که از یک چارچوب داده تولیدشده با انتخاب ویژگی استفاده کنیم. به این ترتیب می‌توان مقدار کمی از داده‌های ذخیره‌شده و سرعت آموزش خوب الگوریتم را حفظ کرد؛ بنابراین فرض بر این است که در سناریوهای واقعی، این عملیاتی است که باید فقط به‌صورت دوره‌ای، در پس‌زمینه یا در زمان‌هایی که ماشین‌ها در حال تولید نیستند، انجام شود و خود را به استفاده از مدل‌های تشخیص ناهنجاری به‌عنوان طبقه‌بندی کننده در طول فرآیند محدود کنند. به علاوه، وابستگی شدید به عامل انسانی همچنان باقی است. درواقع این کاربران هستند که طبقه‌بندی را انجام می‌دهند.

سیستم توسعه‌یافته ثابت کرده است که می‌تواند ناهنجاری‌ها را طبقه‌بندی و تشخیص دهد، بنابراین عملکردهای تشخیصی را ممکن می‌سازد. پس از آزمایش ترکیب‌های مختلف برای استخراج و انتخاب ویژگی‌ها، بهترین روش پیش‌پردازش داده‌های خام با توجه به مدل یادگیری ماشینی مورد استفاده، به‌ویژه در مورد طبقه‌بندی و تشخیص ناهنجاری، ارزیابی شد. تمام داده‌هایی که استفاده شد، از یک مدل واقعی و نه از شبیه‌سازی می‌آیند. حسگر قرارگرفته بر روی دستگاه، مقادیر فیزیکی را در حین کارکرد دستگاه جمع‌آوری کرده است که درواقع به حالت خرابی رسیده است. با توجه به فنون تجزیه و تحلیل داده‌ها و تشخیص ناهنجاری، یک رویکرد داده محور بر اساس الگوریتم‌های یادگیری ماشین انتخاب شد. طبقه‌بندی کننده‌ها درواقع دقت بسیار خوبی در تمایز بین حالت‌ها نشان داده‌اند، اما آن‌ها باید بر روی مجموعه داده کاملی از همه خطاها آموزش ببینند تا شناسایی شوند. استفاده موازی از مدل‌های تشخیص ناهنجاری امکان غلبه بر این محدودیت را فراهم می‌کند، زیرا آن‌ها می‌توانند تشخیص دهند که ورودی جدید در





هیچ‌یک از کلاس‌های خطای شناخته‌شده قرار نمی‌گیرد. راه‌حل پیشنهادی دقیقاً مبتنی بر این مفهوم از یادگیری پیشرو است که از شناسایی یک ناهنجاری عمومی با دانستن تنها وضعیت عملکرد عادی شروع می‌شود و به کارگران نگهداری و تعمیر اجازه می‌دهد تا مجموعه عیوب شناخته‌شده را همان‌طور که روی ماشین‌ها رخ می‌دهند، افزایش دهند.

سیستم نگهداری و تعمیر پیش‌بینانه توسعه‌یافته در این پژوهش پتانسیل بهبود قابل‌توجه راندمان و قابلیت اطمینان الکتروموتورها در تأسیسات و تجهیزات ساختمان را دارد. با استفاده از فنون داده‌کاوی و یادگیری ماشین، این سیستم می‌تواند ناهنجاری‌ها را شناسایی کرده و خرابی‌های احتمالی را پیش‌بینی کند، امکان نگهداری و تعمیر پیشگیرانه و کاهش زمان خرابی را فراهم می‌کند. پیاده‌سازی این سیستم می‌تواند مزایای متعددی را به همراه داشته باشد از جمله: کاهش زمان خرابی: با پیش‌بینی خرابی‌های بالقوه، می‌توان نگهداری و تعمیر را به‌طور پیشگیرانه برنامه‌ریزی کرد، زمان خرابی را کاهش داد و تأثیر آن بر عملیات ساختمان را به حداقل رساند. بهره‌وری بهبود یافته: سیستم برنامه‌های نگهداری و تعمیر را بهینه می‌کند و زمان و منابع مورد نیاز برای فعالیت‌های نگهداری و تعمیر را کاهش می‌دهد. صرفه‌جویی در هزینه: با کاهش زمان توقف و بهینه‌سازی برنامه‌های نگهداری و تعمیر، سیستم می‌تواند به کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیر و افزایش طول عمر الکتروموتورها کمک کند. قابلیت اطمینان افزایش یافته: سیستم تضمین می‌کند که دارایی‌های حیاتی به‌طور منظم نگهداری می‌شوند و قابلیت اطمینان کلی تأسیسات و تجهیزات ساختمان را افزایش می‌دهد. ایمنی پیشرفته: با شناسایی خرابی‌ها و ناهنجاری‌های احتمالی، سیستم می‌تواند به جلوگیری از حوادث کمک کند و محیط کاری امن‌تری را برای کارکنان نگهداری و تعمیر و ساکنان ساختمان تضمین کند.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، می‌توان مقایسه‌ای را میان نتایج این پژوهش و برخی پژوهش‌های گذشته انجام داد. پژوهشی که دقیقاً با این روش‌ها و در تجهیزات مشابه با این موضوع پردازد انجام نشده و این پژوهش کاملاً نو می‌باشد؛ اما می‌توان نتایج حاصل از این پژوهش را به نوع غیرمستقیم با پژوهش‌های زیر همخوان دانست. توکلی مقدم و همکاران (۱۴۰۱) به بررسی زمان‌بندی کار کارگاهی بلادرنگ و نت پیشگویانه پویا با استفاده از یادگیری ماشین پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده از روش‌های دیگر زمان‌بندی، خروجی‌های بهتری را از خود نشان می‌دهد. مدل نت پیشگویانه، با چهار روش مدل‌سازی یادگیری مورد ارزیابی و کیفیت مدل‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. با انتخاب و اضافه کردن بهترین مدل خرابی ماشین به مدل یادگیری تقویتی زمان‌بندی، کارهای بلادرنگ وارد شده به کارگاه، به ماشین‌ها تخصیص داده می‌شوند. با مقایسه روش مطرح‌شده و روش‌های پیشین مشخص شد که بهترین عملکرد را از خود نشان داده است. مروتی و همکاران (۱۴۰۱) به مطالعه مدیریت فرایندهای نت با رویکرد ترکیبی چارچوب طبقه‌بندی فرایندها و داده‌کاوی پرداختند. بدین منظور ابتدا واحد فناوری اطلاعات دانشگاه با سایر سازمان‌های مشابه مقایسه شد و فرایندهای مربوط به نت تجهیزات رایانه‌ای مستندسازی شدند. در ادامه داده‌های نه‌ماهه مربوط به گزارش خرابی تجهیزات، برای اطلاع از روند خرابی‌های اتفاق افتاده، بررسی روابط موجود در بین آن‌ها و همچنین کمک به مهندسی مجدد فرایندها، استخراج شده و با استفاده از فنون داده‌کاوی تحلیل شدند. راد و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی توسعه رویکردهای داده‌کاوی به‌منظور برنامه‌ریزی نت پیشگویانه خودروهای سبک دفاعی پرداختند. با اتکا به اصول داده‌کاوی و از طریق نرم‌افزار اس. پی. اس. اس. مادلر به گروه‌بندی خودروها بر اساس فواصل بین خرابی (کیلومتر) با الگوریتم درخت سی. اند. آر. پرداخته شد و الگوی نت پیشگیرانه‌ای ارائه شد که بر اساس خصوصیات فیزیکی و تابع عمر سیستم بوده و در نهایت باعث افزایش عمر سیستم و کاهش هزینه نت می‌گردد. ال‌رافائی و همکاران (۲۰۲۳) به پیش‌بینی فعالیت‌های نگهداری و تعمیر



با استفاده از الگوی متوالی تعمیم یافته و قوانین تداعی در داده کاوی پرداختند. نتایج نشان داد که چارچوب پیشنهادی به طور مؤثر فعالیت های نگهداری بعدی و برنامه ریزی نگهداری پیشگیرانه را بر اساس ویژگی های محصول پیش بینی می کند. در نتیجه، رویکرد داده کاوی در تعیین توالی نگهداری و تعمیر مؤثر است که زمان خرابی را کاهش می دهد و در نتیجه بهره وری و در دسترس بودن را افزایش می دهد. این مطالعه یک چارچوب داده کاوی برای پیش بینی الگوهای متوالی فعالیت های نگهداری و تعمیر پیشنهاد کرد. چارچوب شامل جمع آوری داده ها، پیش بینی فعالیت های نگهداری و تعمیر با و بدون ویژگی ها و سپس مقایسه بین نتایج پیش بینی بود.

با توجه به نتایج و مطالعات حاصل از این پژوهش، در ادامه پیشنهادهایی جهت بهبود عملکرد در حوزه مورد مطالعه ارائه شده است. با اجرای این پیشنهادها، می توان همواره از وجود یک سیستم نگهداری و تعمیر پیش بینانه که کارایی، قابلیت اطمینان و مقرون به صرفه بودن تأسیسات و تجهیزات ساختمان را بهبود بخشد و در حال بهبود مستمر باشد، اطمینان حاصل کرد.

- جمع آوری و یکپارچه سازی داده ها: ایجاد یک سیستم جامع جمع آوری داده ها که داده ها را از منابع مختلف مانند حسگرها، سوابق نگهداری و تعمیر و مشخصات تجهیزات یکپارچه می کند. اطمینان از کیفیت و سازگاری داده ها برای بهبود دقت مدل های پیش بینی اهمیت دارد.

- تجزیه و تحلیل هزینه - منفعت: انجام یک تحلیل هزینه - فایده برای تعیین کمیت مزایای مالی نگهداری و تعمیر پیش بینی شده در مقایسه با رویکردهای سنتی نگهداری و تعمیر واکنشی.

- برنامه آزمایشی و مقیاس بندی: شروع با یک برنامه آزمایشی تا سیستم نگهداری و تعمیر پیش بینانه در مقیاس کوچک آزمایش شود و سپس افزایش آن برای پوشش تجهیزات و امکانات بیشتر.

- نظارت بر وضعیت: اجرای فنون پایش وضعیت، مانند آنالیز ارتعاش، پایش دما و نظارت بر فشار برای شناسایی ناهنجاری ها و پیش بینی خرابی های احتمالی در الکتروموتورها.

- الگوریتم های یادگیری ماشین: از الگوریتم های یادگیری ماشینی مانند درخت های تصمیم گیری، جنگل های تصادفی و شبکه های عصبی برای تجزیه و تحلیل داده ها و پیش بینی خرابی های تجهیزات استفاده شود. استفاده از فنون یادگیری عمیق برای تجزیه و تحلیل داده های پیچیده تر نیز کاربرد دارد.

- استراتژی های نگهداری پیش بینانه: توسعه مستمر استراتژی های نگهداری پیش بینانه بر اساس نتایج تحلیل داده ها و مدل های یادگیری ماشین. این ممکن است شامل برنامه ریزی نگهداری، تعویض قطعات، یا تنظیم شرایط عملیاتی برای جلوگیری از خرابی باشد.

- سیستم های مانیتورینگ و هشدار بی درنگ: اجرای سیستم های نظارت و هشدار بی درنگ برای آگاه کردن کارکنان نگهداری و تعمیر از مشکلات احتمالی که امکان اقدام سریع برای جلوگیری از خرابی و کاهش هزینه های نگهداری و تعمیر را فراهم می کند.

- همکاری و اشتراک دانش: تقویت همکاری بین کارکنان نگهداری و تعمیر، مدیران تأسیسات و تحلیلگران داده برای اطمینان از مؤثر بودن سیستم نگهداری و تعمیر پیش بینانه و پاسخگویی به نیازهای همه ذینفعان.





- بهبود مستمر: به‌روزرسانی و اصلاح مداوم سیستم نگهداری پیش‌بینانه بر اساس داده‌های جدید، بازخورد کارکنان نگهداری و تعمیر و پیشرفت‌های یادگیری ماشین و تجزیه و تحلیل داده‌ها.
- امنیت سایبری و حفاظت از داده‌ها: تضمین امنیت و یکپارچگی سیستم نگهداری پیش‌بینانه با اجرای اقدامات امنیت سایبری قوی و حفاظت از داده‌های حساس.

جهت پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود که به محدودیت‌های پژوهش نیز توجه شود. پیشنهادهایی جهت مطالعه محققین ارائه می‌شود: استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری به منظور بهبود روش‌های یادگیری ماشین؛ ترکیب روش پیشنهادی و مدل‌های بهینه‌سازی برنامه زمان‌بندی نت برای افزایش دقت روش‌ها و ارائه برنامه عملیاتی مبتنی بر وضعیت؛ ادغام سیستم‌های نگهداری پیش‌بینانه با دستگاه‌های اینترنت اشیا و محاسبات لبه‌ای برای بهبود پردازش داده‌های بلادرنگ و کاهش تأخیر؛ کاربرد سیستم‌های چندعاملی و هوش ازدحامی برای بهینه‌سازی استراتژی‌های نگهداری پیش‌بینانه و بهبود هماهنگی وظایف نگهداری و تعمیر.

معمولاً هر محقق برای شروع و ادامه کار پژوهشی خود با موانع و محدودیت‌هایی مواجه خواهد شد و در انجام این پژوهش، مشکلات و محدودیت‌های چندی قابل بیان است که به آن‌ها اشاره می‌شود: محدودیت در دستیابی به داده‌های باکیفیت و در دسترس؛ پیچیدگی سیستم‌ها و تجهیزات ساختمانی؛ مقیاس‌پذیری و تعمیم‌پذیری؛ توسعه مدل‌هایی که می‌توانند به انواع ساختمان‌ها، اندازه‌ها و پیکربندی‌های تجهیزات مختلف مقیاس شوند، می‌تواند یک چالش باشد.



۶- منابع و مآخذ

۱-۶ فارسی

- ۱) جوادی، مریم، فاطمی، شهرام، عزیزی، نجف. (۱۴۰۳). طراحی مدل پویای هوشمند نت پیشگیرانه در صنعت نساجی و پوشاک در تعامل با تولید با بهره‌برداری از شبکه عصبی مصنوعی-فازی. مدیریت مهندسی و رایانش نرم، ۹(۲)، ۶۳-۹۰.
- ۲) صلاحی، صادق، دانشور، زهرا، همایون‌فر، عادل. (۱۴۰۲). ارائه مدل یکپارچه برنامه‌ریزی تولید و زمان‌بندی نت پیشگیرانه با در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترها و اختلال در تسهیلات. چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۳(۱)، ۱۰۵-۱۳۹.
- ۳) فریدنی، فرانک. (۱۴۰۲). نقش صنعت ۴/۰ در بهبود عملکرد زنجیره تأمین با میانجی‌گری چابکی و انعطاف‌پذیری. نشریه علمی رویکردهای پژوهشی نوین مدیریت و حسابداری، ۷(۲۶)، ۸۵۹-۸۷۱.
- ۴) آقاجانی، حسین، رجبی، محمد، کفشگر، فاطمه زهرا. (۱۳۹۹). مطالعه تطبیقی شناسایی و اولویت‌بندی ابعاد فرصت‌ها و چالش‌های مدیریت کیفیت در صنعت ۴ با استفاده از فن BWM. فصلنامه مدیریت راهبردی در سیستم‌های صنعتی (مدیریت صنعتی سابق)، ۱۴(۵۰)، ۱۳۲-۱۴۷.
- ۵) کامران راد، رضا، فرخی زاده، فرشید. (۱۴۰۰). توسعه رویکردهای داده‌کاوی به‌منظور برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات پیش‌گویانه خودروهای سبک دفاعی. علمی‌اندیشه‌آماد، ۲۰(۷۷)، ۱۱۱-۱۳۶. doi:10.22109/lot.10.22.34.96689
- ۶) مروتی شریف‌آبادی، علی، زنجیرچی، آرمان، عباس‌آبادی، ام‌البنین. (۱۴۰۱). مدیریت فرایندهای نت با رویکرد ترکیبی چارچوب طبقه‌بندی فرایندها و داده‌کاوی. چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۲(۲)، ۱۷۵-۱۹۸.
- ۷) سربی، زهرا، شکوه‌یار، مهتاب، حقیقت‌منفرد، جلال. (۱۴۰۰). سیاست‌گذاری نت پیشگویانه در مراکز فراوری نفت و گاز. فصلنامه مطالعات مدیریت راهبردی، ۱۲(۴۸)، ۶۵-۸۳.
- ۸) توکلی مقدم، هاند، ذگردی، سید حسام‌الدین، ناصری، امین. (۱۴۰۱). زمان‌بندی کار کارگاهی بلادرنگ و نت پیشگویانه پویا با استفاده از یادگیری ماشین. تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، ۷(۳)، ۴۹۶-۵۱۵.
- ۹) فلاح‌پور، علی، راعی، حسن، توکلی، حسین. (۱۴۰۳). پیش‌بینی نگهداشت وجه نقد با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین نظارت‌شده در شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران. مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار.

۲-۶ انگلیسی

- 10) Manea, E., Milităru, C., & Manea, M. G. (2021). Assessments regarding the planning and control of activities and resources for ship repair and maintenance works. Scientific Bulletin "Mircea cel Batran" Naval Academy, 24(1), 201-210.
- 11) Constantin, A., Nițecu, C., Stănescu, M., & Roșu, L. (2011). Operation Improvement of an Irrigation Water Supply Floating Pumping Station in Constantza County. "OVIDIUS" UNIVERSITY ANNALS-





- CONSTANTZA Year XIII–Issue 13, 7.
- 12) Zheng, R., & Zhou, Y. (2021). Comparison of three preventive maintenance warranty policies for products deteriorating with age and a time-varying covariate. *Reliability Engineering & System Safety*, 213, 107676.
 - 13) Wu, C., Pan, R., Zhao, X., & Wang, X. (2024). Designing preventive maintenance for multi-state systems with performance sharing. *Reliability Engineering & System Safety*, 241, 109661.
 - 14) Indriartiningtias, R., Ibrahim, U. F., & Anna, I. D. (2024). Preventive Maintenance Policy to Improve the Effectiveness of XYZ Machine. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 517, p. 05025). EDP Sciences.
 - 15) M, Manfre. (2020). Creation of a Machine Learning model for the Predictive Maintenance of an engine equipped with a rotating shaft. Master Degree Thesis, Electronic Engineering Master Degree, Sistemi Elettronici Course.
 - 16) Liu, Y., Zhang, Q., Ouyang, Z., & Huang, H. Z. (2021). Integrated production planning and preventive maintenance scheduling for synchronized parallel machines. *Reliability Engineering & System Safety*, 215, 107869.
 - 17) Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of cleaner production*, 252, 119869.
 - 18) Peres, R. S., Jia, X., Lee, J., Sun, K., Colombo, A. W., & Barata, J. (2020). Industrial artificial intelligence in industry 4.0–systematic review, challenges and outlook. *IEEE access*, 8, 220121–220139.
 - 19) Xu, X., Lu, Y., Vogel–Heuser, B., & Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0–Inception, conception and perception. *Journal of manufacturing systems*, 61, 530–535.
 - 20) Khang, A., Abdullayev, V., Hahanov, V., & Shah, V. (Eds.). (2024). *Advanced IoT Technologies and Applications in the Industry 4.0 Digital Economy*. CRC Press.
 - 21) Rath, K. C., Khang, A., & Roy, D. (2024). The Role of Internet of Things (IoT) Technology in Industry 4.0 Economy. In *Advanced IoT Technologies and Applications in the Industry 4.0 Digital Economy* (pp. 1–28). CRC Press.
 - 22) Al–Refaie, A., Abu Hamdieh, B., & Lepkova, N. (2023). Prediction of maintenance activities using generalized sequential pattern and association rules in data mining. *Buildings*, 13(4), 946.
 - 23) Kalathas, I., & Papoutsidakis, M. (2021). Predictive maintenance using machine learning and data mining: A pioneer method implemented to Greek railways. *Designs*, 5(1), 5.





- 24) Ruschel, E., Santos, E. A. P., & Loures, E. D. F. R. (2020). Establishment of maintenance inspection intervals: an application of process mining techniques in manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31, 53–72.
- 25) Martinez, P., Mohamed, E., Mohsen, O., & Mohamed, Y. (2020). Comparative study of data mining models for prediction of bridge future conditions. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 34(1), 04019108.
- 26) Tian, Z., Lu, Z., & Lu, Y. (2024). Investigation into Data Mining for Analysis and Optimization of Direct Maintenance Costs in Civil Aircraft Operations. *International Journal of Informatics and Information Systems*, 7(1), 28–36.
- 27) Nakhaei, A., Zadeh, M. K., & Bagheri, R. (2024, February). Hemodialysis Arteriovenous Fistula Survival: Analysis of Medication Impact during the Maintenance Phase Using Data Mining. In 2024 20th CSI International Symposium on Artificial Intelligence and Signal Processing (AISP) (pp. 1–6). IEEE.
- 28) Arafat, M. Y., Hossain, M. J., & Alam, M. M. (2024). Machine learning scopes on microgrid predictive maintenance: Potential frameworks, challenges, and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 190, 114088.
- 29) Angeles, E., & Kumral, M. (2020). Optimal inspection and preventive maintenance scheduling of mining equipment. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 20(4), 1408–1416.
- 30) Lu, Y. J., Lee, W. C., & Wang, C. H. (2023). Using data mining technology to explore causes of inaccurate reliability data and suggestions for maintenance management. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 83, 105063.
- 31) Jiang, Y., Yang, G., Li, H., & Zhang, T. (2023). Knowledge driven approach for smart bridge maintenance using big data mining. *Automation in Construction*, 146, 104673.
- 32) Ni, F., Zang, H., & Qiao, Y. (2024, January). Smartfix: Leveraging machine learning for proactive equipment maintenance in industry 4.0. In The 2nd International scientific and practical conference “Innovations in education: prospects and challenges of today” (January 16–19, 2024) Sofia, Bulgaria. International Science Group. 2024. 389 p. (p. 313).
- 33) Gupta, P., Gurulakshmi, A. B., Nijhawan, G., Praveen, P., Tyagi, L. K., & Hussien, R. A. (2024). A review on Machine Learning Enhanced Predictive Maintenance for Electric Vehicle Power Electronics: A Pathway to Improved Reliability and Longevity. In E3S Web of Conferences (Vol. 505, p. 03017). EDP Sciences.
- 34) Chakroun, A., Hani, Y., Elmhamedi, A., & Masmoudi, F. (2024). A predictive maintenance model for health assessment of an assembly robot based on machine learning in the context of smart plant. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 1–19.





- 35) Mistry, D., & Hough, J. (2024). Data-Driven Approach to State of Good Repair: Predicting Rolling Stock Service Life with Machine Learning for State of Good Repair Backlog Reduction and Long-Range Replacement Cost Estimation in Small Urban and Rural Transit Systems. *Transportation Research Record*, 03611981241235197.
- 36) Theissler, A., Pérez-Velázquez, J., Kettelgerdes, M., & Elger, G. (2021). Predictive maintenance enabled by machine learning: Use cases and challenges in the automotive industry. *Reliability engineering & system safety*, 215, 107864.
- 37) Arena, S., Florian, E., Zennaro, I., Orrù, P. F., & Sgarbossa, F. (2022). A novel decision support system for managing predictive maintenance strategies based on machine learning approaches. *Safety science*, 146, 105529.
- 38) Liao, H. Y., Boregowda, K., Cade, W., & Behdad, S. (2021, August). Machine Learning to Predict Medical Devices Repair and Maintenance Needs. In *International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference* (Vol. 85413, p. V005T05A012). American Society of Mechanical Engineers.
- 39) Abidi, M. H., Mohammed, M. K., & Alkhalefah, H. (2022). Predictive maintenance planning for industry 4.0 using machine learning for sustainable manufacturing. *Sustainability*, 14(6), 3387.
- 40) Ren, Y. (2021). Optimizing predictive maintenance with machine learning for reliability improvement. *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part B: Mechanical Engineering*, 7(3), 030801.
- 41) Zhao, X., Cai, J., Mizutani, S., & Nakagawa, T. (2021). Preventive replacement policies with time of operations, mission durations, minimal repairs and maintenance triggering approaches. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 819–829.
- 42) Zhang, Z., Tang, Q., & Chica, M. (2021). Maintenance costs and makespan minimization for assembly permutation flow shop scheduling by considering preventive and corrective maintenance. *Journal of Manufacturing Systems*, 59, 549–564.





نقش هوش مصنوعی در نگهداری پیش‌بینانه تجهیزات صنعتی

علی حمیده^{۱*}، محمد طهماسبی^۲

۱. دکترای زبان انگلیسی، دانشکده زرهی نرسا، دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع).

۲. دانشجوی دکتری فناوری اطلاعات و ارتباطات، دانشکده زرهی نرسا، دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع)

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۲۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۹/۱۸

چکیده

نگهداری پیش‌بینانه در محیط‌های صنعتی به عنوان یک استراتژی کلیدی برای بهینه‌سازی عملکرد و کاهش زمان‌های تعطیلی، به طور فزاینده‌ای اهمیت یافته است. این رویکرد به سازمان‌ها کمک می‌کند تا با مدیریت مؤثر فرسودگی و خرابی ماشین‌آلات، کارایی عملیاتی خود را افزایش دهند. در این راستا، هوش مصنوعی (AI) به عنوان یک فناوری نوآورانه، نقش حیاتی در ارتقاء دقت پیش‌بینی خرابی‌ها و بهینه‌سازی برنامه‌های نگهداری ایفا می‌کند. این مقاله به بررسی تأثیر هوش مصنوعی بر نگهداری پیش‌بینانه می‌پردازد و بر الگوریتم‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق تمرکز دارد. با تحلیل پیاده‌سازی این الگوریتم‌ها در محیط‌های صنعتی و ارائه مطالعات موردی واقعی، نشان داده می‌شود که ادغام سیستم‌های نگهداری پیش‌بینانه مبتنی بر AI می‌تواند به طور قابل توجهی هزینه‌ها را کاهش دهد، عمر تجهیزات را افزایش دهد و کارایی فرآیندهای تولید را بدون وقفه تضمین کند. همچنین، این مقاله به چالش‌ها و فرصت‌های موجود در پیاده‌سازی هوش مصنوعی در این حوزه نیز اشاره خواهد کرد. نتایج این تحقیق می‌تواند به عنوان یک منبع ارزشمند برای تصمیم‌گیرندگان صنعتی در جهت بهبود استراتژی‌های نگهداری و افزایش بهره‌وری سازمان‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: هوش مصنوعی (AI)، نگهداری پیش‌بینانه، یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، تجهیزات صنعتی.

۱. پست الکترونیک نویسنده مسئول: alihamideg39@gmail.com





۱- مقدمه

با توجه به پیشرفت‌های روزافزون در حوزه فناوری، نقش هوش مصنوعی در نگهداری پیش‌بینانه تجهیزات صنعتی به یکی از موضوعات کلیدی در صنعت تبدیل شده است. این فناوری با استفاده از الگوریتم‌های پیچیده و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده از حس‌گرها، قادر است خرابی‌های احتمالی تجهیزات را پیش‌بینی کرده و برنامه‌ریزی بهینه‌ای برای نگهداری آن‌ها ارائه دهد. پیش‌بینی خرابی تجهیزات صنعتی به دلیل غیرقابل پیش‌بینی بودن مدت زمان عملیات و چالش‌های مربوط به شناسایی حالت‌های خرابی و محل خرابی همچنان یک مشکل بزرگ است. با شناخت حالت‌ها و محل خرابی از پیش تعریف شده، امکان پیش‌بینی زمان خرابی وجود دارد. عملکرد تصادفی تجهیزات، شامل شناسایی زمان خرابی و برنامه‌ریزی نگهداری، می‌تواند به سادگی پیش‌بینی شود. این مفهوم می‌تواند به حوزه نگهداری پیش‌بینانه و پیش‌بینی عیب تعمیم یابد.

نگهداری پیش‌بینانه به معنای استفاده از داده‌ها و الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای پیش‌بینی زمان نیاز به نگهداری و تعمیر ماشین‌آلات است. این رویکرد به سازمان‌ها کمک می‌کند تا از خرابی‌های ناگهانی جلوگیری کنند و هزینه‌های تعمیر را کاهش دهند. با این حال، چالش‌هایی مانند کیفیت داده‌ها، نیاز به زیرساخت‌های مناسب و آموزش نیروی کار وجود دارد که باید مورد توجه قرار گیرد تا نتایج مطلوب حاصل شود.

هدف این مطالعه بررسی تأثیرات هوش مصنوعی بر نگهداری پیش‌بینانه تجهیزات صنعتی و شناسایی روش‌های مؤثر برای پیاده‌سازی این فناوری در سازمان‌ها است. همچنین ارائه راهکارهایی برای غلبه بر چالش‌های موجود در این زمینه هدف دیگر این مطالعه می‌باشد.

در این مطالعه سعی خواهد شد به سؤالات زیر پاسخ داده شود.

- ۱) چگونه می‌توان از هوش مصنوعی برای پیش‌بینی خرابی تجهیزات استفاده کرد؟
- ۲) چه الگوریتم‌ها و مدل‌هایی برای بهینه‌سازی برنامه‌های نگهداری پیش‌بینانه مؤثرتر هستند؟
- ۳) چالش‌های اصلی پیاده‌سازی سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در نگهداری تجهیزات چیست و چگونه می‌توان بر آن‌ها غلبه کرد؟

۲- پیشینه

یک مطالعه اولیه رویکردی را برای شناسایی و تشخیص عیوب در یک نیروگاه سیکل ترکیبی توسعه داد. این سیستم از یک روش مبتنی بر قانون استفاده کرد که در یک پایگاه داده برای ارائه وظایف تشخیصی ذخیره می‌شد. این سیستم، انحراف وضعیت عملکردی نیروگاه را شناسایی کرده و آن را با داده‌های عملیاتی قبلی خود برای تعیین خطا مقایسه می‌کرد. این نمونه‌ای از سیستم تشخیص عیب بود درحالی‌که تشخیص شامل شناسایی محل خطا و تجهیزات آسیب دیده نیز می‌شود. در همان سال، محققین یک ابزار مبتنی بر هوش مصنوعی را برای تشخیص عیب در رباتیک با هدف تعیین مؤثر و دقیق مکان و علل خرابی‌ها و خطاها در سیستم‌های رباتیک توسعه دادند. سیستمی که با استفاده از خودکارسازی ایجاد شده و یک ردیاب انتقال برای تعیین محل خطا در مدل استفاده می‌شد. این رویکرد نسبتاً موفق بود زیرا قادر به تشخیص دقیق عیوب بود و مقایسه‌ای در مورد شدت و فراوانی خطا در مقایسه با عملکرد عادی دستگاه را انجام می‌داد [۱۴].





تاکنون، پرکاربردترین و موفق‌ترین کاربردهای هوش مصنوعی در نگهداری و تعمیر، حول محور تشخیص عیب و تشخیص عملکرد غیرعادی در یک سیستم متمرکز شده‌اند. عیب و نقص در بخشی از سیستم است که سیستم را از انجام عملکرد خود باز می‌دارد. وظیفه تشخیص عیب یک حوزه مهم در نگهداری و تعمیر است. تشخیص خطا خود به تنهایی یک کار استدلالی پیچیده است؛ زیرا شامل وظایف تشخیص وضعیت زمانی که سیستم به درستی کار نمی‌کند، تعیین محل خطا و شناسایی نوع خطا است. رویکردهای مختلفی برای تشخیص وجود دارد. پیشینه نشان می‌دهد استدلال مبتنی بر مدل برای تشخیص عیب معمولاً مورد استفاده قرار گرفته است که در آن مدلی از سیستم برای شبیه‌سازی عملکرد آن سیستم استفاده می‌شود و برای تعیین تفاوت‌ها با سیستم واقعی مقایسه می‌شود. روش‌های دیگر عبارت‌اند از سیستم‌های مبتنی بر قانون، یادگیری ماشین و روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی و عوامل هوشمند. مقایسه و اثربخشی این روش‌ها با پشتیبانی هوش مصنوعی حوزه جالبی خواهد بود؛ زیرا شواهد کمی برای پیشنهاد مؤثرترین روش وجود دارد [۵].

طبق مطالعه لی و همکاران (۲۰۲۰) نقص تجهیزات چرخنده مانند موتور، پمپ و دمنده معمولاً به‌طور مؤثری نظارت نمی‌شود. ناحیه قرارگیری این تجهیزات معمولاً کوچک و دور از دید بصری است که باعث می‌شود شناسایی نقص اجزا دشوار باشد. بسیاری از خرابی‌ها قبل از اینکه به سطح خارجی تجهیزات برسند، در داخل آن‌ها رخ می‌دهند. این بدان معناست که نقص ممکن است برای مدت طولانی قبل از بروز مشکل جدی باقی بماند. همچنین، بسیاری از ماشین‌ها با سرعت بالا کار می‌کنند و در مکان‌هایی نصب شده‌اند که دسترسی به آن‌ها دشوار است. بازسازی یک قطعه از تجهیزات هزینه زیادی در بردارد؛ بنابراین نگهداری به موقع که می‌تواند زمان متوسط قبل از خرابی را افزایش دهد، بسیار سودآور است. ادغام هوش مصنوعی در بخش‌های مختلف، کارایی عملیاتی را به‌ویژه در نگهداری و تعمیر تجهیزات تخصصی متحول کرده است. صنایع به‌طور فزاینده‌ای بر فناوری‌های پیشرفته برای افزایش بهره‌وری و کاهش زمان خرابی تکیه می‌کنند. هوش مصنوعی به عنوان ابزاری محوری در استراتژی‌های نگهداری و تعمیر پیش‌بینی شده ظاهر شده است. این رویکرد نه تنها خرابی‌های غیرمنتظره را به حداقل می‌رساند، بلکه برنامه‌های نگهداری و تعمیر را نیز بهینه می‌کند و طول عمر ماشین‌آلات حیاتی را افزایش می‌دهد.

هوش مصنوعی شامل طبیف وسیعی از فناوری‌ها، از جمله یادگیری ماشینی، پردازش زبان طبیعی و بینایی کامپیوتری است که می‌تواند حجم وسیعی از داده‌های تولید شده توسط تجهیزات تخصصی را تجزیه و تحلیل کند. با استفاده از این فناوری‌ها، سازمان‌ها می‌توانند بینش‌هایی درباره عملکرد و سلامت تجهیزات به دست آورند و اجازه مداخلات به موقع را قبل از تشدید مسائل فراهم کنند [۱۳]. کاربرد هوش مصنوعی در نگهداری و تعمیر به‌ویژه در بخش‌هایی مانند تولید، هوافضا، مراقبت‌های بهداشتی و انرژی که قابلیت اطمینان تجهیزات در آن‌ها اهمیت دارد، بسیار مهم است.

تغییر از شیوه‌های سنتی نگهداری و تعمیر واکنشی به مدل‌های پیش‌بینانه نشان‌دهنده تغییر اساسی در نحوه رویکرد سازمان‌ها به مدیریت تجهیزات است. تجزیه و تحلیل مبتنی بر هوش مصنوعی نظارت و تشخیص را در زمان واقعی تسهیل می‌کند و گروه‌های نگهداری و تعمیر را قادر می‌سازد تا تصمیمات مبتنی بر داده اتخاذ کنند. این نه تنها کارایی عملیاتی را افزایش می‌دهد بلکه به صرفه‌جویی در هزینه و بهبود نتایج ایمنی کمک می‌کند [۱۷]. با وجود نتایج امیدوارکننده مرتبط با استراتژی‌های نگهداری و تعمیر مبتنی بر هوش مصنوعی، چندین چالش وجود دارد. مسائل مربوط به کیفیت داده‌ها، تفسیرپذیری مدل‌ها و آمادگی سازمانی معمولاً موانع اجرایی هستند. همچنین الگوریتم‌ها و داده‌های مورد استفاده برای پیش‌بینی باید شفاف باشند [۶].



به‌طور خلاصه، پیشینه نشان می‌دهد که ادغام هوش مصنوعی در سیستم‌های نگهداری و تعمیر پیش‌بینانه می‌تواند مدیریت تجهیزات تخصصی را به‌طور قابل‌توجهی افزایش دهد. با توجه به اینکه صنایع رویکردهای خودکار و داده‌محور را بیشتر مورد توجه قرار می‌دهند، درک کاربردها، چالش‌ها و جهت‌گیری‌های آینده هوش مصنوعی در نگهداری و تعمیر برای بهینه‌سازی عملکرد دارایی‌ها و تضمین پایداری عملیاتی بسیار مهم خواهد بود. یوکار و همکاران (۲۰۲۴) نقش تحول‌آفرین هوش مصنوعی (AI) را در تقویت استراتژی‌های نگهداری و تعمیر پیش‌بینانه در صنایع مختلف بررسی کردند. این مطالعه بر مؤلفه‌های کلیدی مانند زمینه‌سازی داده‌ها، الگوریتم‌های یادگیری ماشین و فنون تجسم که امکان پیش‌بینی دقیق خرابی تجهیزات را دارند، تأکید دارد. نویسندگان بر اهمیت قابلیت اطمینان در سیستم‌های هوش مصنوعی برای اطمینان از قابلیت اطمینان و ایمنی در عملیات نگهداری و تعمیر تأکید می‌کنند. علاوه بر این، این مقاله روندهای آینده در نگهداری و تعمیر پیش‌بینانه مبتنی بر هوش مصنوعی از جمله ادغام تجزیه و تحلیل پیشرفته و پتانسیل رو به رشد بازار، پیش‌بینی کاهش قابل توجه در زمان خرابی و هزینه‌های نگهداری و تعمیر و درعین حال بهبود بهره‌وری عملیاتی و استانداردهای ایمنی را مورد بحث قرار می‌دهد. به‌طور کلی، این مقاله بر نقش محوری هوش مصنوعی در متحول کردن شیوه‌های نگهداری و تعمیر با تسهیل تصمیم‌گیری فعال بر اساس تجزیه و تحلیل داده‌های زمان واقعی تأکید می‌کند.

۳- اصول نگهداری پیش‌بینانه

در چندین صنعت و سیستم‌های فنی با عملکردهای توزیع شده و دارای نقش همپوشانی، یک شکست یا خرابی می‌تواند زنجیره‌ای از خرابی‌ها ایجاد کند که منجر به خسارات قابل توجهی از نظر زمان و هزینه می‌شود؛ بنابراین، نگهداری پیش‌بینانه خود یک حوزه علمی مهم است. نگهداری پیش‌بینانه عملی است برای تعریف زمان بعدی برای تعویض تجهیزات صنعتی به منظور جلوگیری از مشکلات جدی، تعمیرات بزرگ و خرابی‌های غیرمنتظره. با الهام گرفتن از نگهداری پیش‌بینانه، خرابی‌هایی که ناشی از توزیع تصادفی حرکات و بارهای ماشین هستند عمدتاً دوره‌های خرابی را دنبال می‌کنند که با یک دوره نهفتگی همراه است. چنین خرابی‌هایی می‌توانند بر اساس عاملی که باعث آن‌هاست تقسیم شوند: وضعیت فیزیکی (سایش)، عملیات و عوامل انسانی. استراتژی برای انجام نگهداری این دارایی‌ها معمولاً شامل نگهداری پیشگیرانه پایه‌ای است، مانند تعویض ماشین پس از سایش، روانکاری با فرکانس انتخاب شده در زمان راه‌اندازی و بازرسی در ابتدای توقف [۴].

یک راه حل برای کم کردن محدودیت‌های رویکردهای کلاسیک، نگهداری پیش‌بینانه است. اصل اساسی نگهداری پیش‌بینانه (PdM) شامل «بررسی وضعیت تجهیزات به‌طور منظم از نظر عملکردی است که قادر به اندازه‌گیری عملکرد پس از یک پارامتر مشخص، مانند صدا، دما، لرزش و سایش زاویه‌ای باشد.» رایج‌ترین سازمان‌هایی که فنون PdM در آن‌ها قابل اعمال هستند عبارت‌اند از: سازمان بین‌المللی استانداردسازی (ISO/TC۱۵۴)؛ هر انجمن فنی دیگری مانند IEEE، CIGRE، VDE، SEM، و DIN. به علاوه، در زمینه ماشین‌ها، به‌ویژه در فناوری‌های مبتنی بر مسیر، توصیه‌هایی برای کاربرد فناوری‌های PM ارائه می‌دهد که به دو مرحله اصلی تقسیم می‌شوند: فناوری‌های مربوط به مسیر علائم خرابی، بروز آسیب یا نزدیک شدن به هر دو؛ و فناوری‌های تجزیه و تحلیل لرزش RMBD مکمل، روانکاری و نگهداری برای تعیین وضعیت صحیح تجهیزات [۱۶].



۴- فنون هوش مصنوعی برای نگهداری پیش بینانه

نگهداری پیش بینانه در مدیریت فرایندها و تجهیزات صنعتی برای بهینه سازی بهره وری ضروری است. هوش مصنوعی می تواند با شناسایی خرابی های تجهیزات و ارائه هشدارهای به موقع نقش کلیدی در بهبود این فرآیند ایفا می کند. این فناوری سیستم های نگهداری سنتی را به سیستم های هوشمندتر تبدیل کرده، هزینه ها را صرفه جویی کرده و هوش سیستم ها را افزایش می دهد. روش ها یا الگوریتم های یادگیری ماشین به طور قابل توجهی برای پیشبرد فرآیند نگهداری پیش بینانه اهمیت پیدا کرده است. این روش ها ظرفیت یادگیری خودکار از داده ها و انجام پیش بینی ها یا تصمیم گیری ها بر اساس داده ها را دارا هستند [۲]. یک ویژگی اساسی فنون یادگیری ماشین، توانایی آن ها در انجام وظایف به طور خودمختار به منظور بهبود تجربه است. این قابلیت ها به سه نوع تقسیم می شوند: یادگیری بدون نظارت، یادگیری تحت نظارت و یادگیری تقویتی. یادگیری تقویتی برای موضوع نگهداری پیش بینانه مناسب نیست. از سویی یادگیری تحت نظارت می تواند برای تشخیص خرابی استفاده شود. در زمینه نگهداری پیش بینانه، تشخیص ناهنجاری به عنوان یک فن مناسب شناخته شده است که قادر به استفاده از برجسب برای رفتار عادی است. مدل های یادگیری عمیق برای استخراج ویژگی ها و استفاده از آن ها برای طبقه بندی بیشتر پیشنهاد شده اند. این فنون در توسعه تشخیص خرابی ماشین آلات سیار مهم بوده اند [۱].

۵- الگوریتم های یادگیری ماشین

در نگهداری پیش بینانه، الگوریتم های یادگیری ماشین برای آموزش از داده های موجود، معمولاً داده های سری زمانی (حس گر) استفاده می شوند تا پارامترهای مدل را برای نمایندگی رفتار عملیاتی فرآیند یا سیستم یاد بگیرند. سپس پارامترهای مدل در زمان اجرا برای مقایسه مداوم عملکرد واقعی با رفتار عملیاتی یاد گرفته شده استفاده می شوند که این امکان را فراهم می کند تا انحراف از حالت عادی شناسایی شود و به این ترتیب، هشدارها یا پیش بینی های مرتبط با خرابی ها یا کاهش عملکرد احتمالی تولید شود [۳]. رویکردهای اصلی برای نگهداری پیش بینانه تجهیزات صنعتی شامل یادگیری تحت نظارت و یادگیری بدون نظارت است. یادگیری تحت نظارت شامل استخراج ویژگی ها از داده های آموزشی و تفسیر آن ها به منظور پیش بینی خرابی ها/نقص ها است. یادگیری بدون نظارت از خودآموزی یا تشخیص ناهنجاری برای شناسایی انحرافات از عملیات عادی استفاده می کند [۱۲]. در حال حاضر، به دلیل افزایش حجم و تنوع داده های کلان، اکثر سیستم های نگهداری پیش بینانه مبتنی بر الگوریتم های یادگیری ماشین هستند. از یادگیری تقویتی، پالایه کردن مشارکتی، بگینگ، تقویت تا ماشین بردار پشتیبان، این الگوریتم ها کارایی پیش بینی بهتری را نسبت به فنون تحلیلی صرف به ویژه در ارتباط با سیستم های غیر ایستا نشان داده اند. علاوه بر توانایی شناسایی یک سیستم معیوب، الگوریتم های یادگیری ماشین همچنین در تعیین اینکه کدام یک از اجزای متعدد احتمالاً بیشترین تأثیر را بر محصول نهایی دارند، کمک می کنند و این امکان را برای پاسخ مؤثرتر در برابر خرابی فراهم می آورد. این جنبه باعث می شود که الگوریتم های یادگیری ماشین در حال حاضر کارآمدترین و پرمصرفترین راه حل در نگهداری پیش بینانه تجهیزات صنعتی باشند [۸].

۶- مدل های یادگیری عمیق

یادگیری عمیق یک زیرمجموعه از یادگیری ماشین است که در نگهداری پیش بینانه استفاده می شود. این روش برای روابط پیچیده و عملیات بزرگ بهترین است. شبکه های یادگیری عمیق می توانند شامل مدل های تحت نظارت، بدون نظارت یا تقویتی باشند. این مدل ها شامل مدل های پیش خور، بازگشتی و توجه هستند [۱۰]. در بیشتر موارد، منطقی است که اهداف را با استفاده از مدل های



یادگیری عمیق که بر روی داده‌های ورودی به هدف آموزش دیده‌اند، طبقه‌بندی کنیم. شبکه‌های بازگشتی برای مدل‌سازی داده‌های توالی یا سری زمانی، مانند سیگنال‌های داخلی یا خارجی از ماشین‌آلات بزرگ شامل حسگرهای هوشمند استفاده می‌شوند. الگوریتم‌های یادگیری نیز با مدل‌های بدون نظارت و تقویتی برای خوشه‌بندی رکوردهای ورودی به کلاس‌های مشابه به کار می‌روند. گاهی اوقات منطقی است که از مدل‌های یادگیری عمیق بر اساس یک پارادایم مشابه تحت نظارت حتی زمانی که هیچ پارامتر هدف واحد واضحی برای تشخیص وجود ندارد استفاده کنیم. به عنوان مثال، در یک خودرو، ممکن است عملیات زیادی در حدود نرمال وجود داشته باشد و هم پوشانی آن‌ها را می‌توان با استفاده از هر مفهوم یادگیری تحت نظارت به عنوان کلاس «سالم» برای شناسایی یک مشکل جدید طبقه‌بندی کرد. به عنوان مثال، جمع ویژگی‌های دمای محیطی و داخلی کاسه‌نمد، رطوبت جهانی، بافت کاغذ، سرعت نوار تغذیه V، جریان سیال، سرعت چرخش و علائم خطا در یک سیلندر خاص امری غیرعادی است [۹].

۷- پیاده‌سازی هوش مصنوعی در محیط‌های صنعتی

با توجه به چالش‌های مربوط به قطعات خراب و زمان‌های تعطیلی خارج از برنامه، صنایع و شرکت‌ها به طور فزاینده‌ای به استفاده از هوش مصنوعی برای مقابله با چالش‌ها و نگهداری پیش بینانه و تشخیص به موقع ناهنجاری‌ها در تجهیزات خود علاقه‌مند شده‌اند. فناوری‌های هوش مصنوعی ممکن است فرصت‌های زیادی را در نگهداری در محل تجهیزات در محیط‌های صنعتی مختلف ایجاد کنند، هرچند که پیاده‌سازی این فناوری‌ها ممکن است چالش برانگیز به نظر برسد. برای بهره‌برداری از فرصت‌ها و کاهش برخی از چالش‌های مرتبط با چنین فنون هوش مصنوعی در یک محیط صنعتی عملی، باید تعدادی از الزامات برآورده شوند [۱۱]. پذیرش عملی هوش مصنوعی در کنار استراتژی‌های نگهداری هوشمند به عنوان نگهداری شناختی قلمداد می‌شود که از مفهوم نگهداری هوشمند برای انجام عملیات نگهداری مبتنی بر دانش پشتیبانی می‌کند. با استفاده از هوش مصنوعی، ابزارها و دستیاران نگهداری مبتنی بر چت/خودمختار چنین عملکردهایی را به دست می‌آورند. علاوه بر این، هوش مصنوعی کارایی بالایی در تحلیل پیش بینانه مانند تشخیص استراتژیک پیشگیرانه انواع مختلف تجهیزات ماشین‌کاری در صنایع تولید و پردازش، طراحی خدمات نگهداری هوشمند و فناوری دوقلوی دیجیتال نشان داده است. این ابزارها همچنین، یک سیستم پشتیبانی هوش مصنوعی دستیار را بر اساس تحلیل و قضاوت کارشناسان آن‌ها هدایت می‌کند تا عملیات نگهداری را بهینه کند [۱۱].

۸- مطالعات موردی و کاربردهای واقعی

بسیاری از مقالات علمی مدل‌های مختلف هوش مصنوعی را برای نگهداری پیش بینانه پیشنهاد کرده‌اند، اما هنوز مشخص نیست که هوش مصنوعی چگونه واقعا به نگهداری پیش بینانه در صنعت کمک می‌کند. در اینجا به طور مختصر مطالعات موردی واقعی را ارائه می‌شود که پیاده‌سازی موفق مدل‌های هوش مصنوعی در نگهداری تجهیزات صنعتی را نشان می‌دهد [۱۱]. در مورد «پروژه اورگارد»، مکانیسم موفق به تفصیل توصیف شده است که اطلاعات پیشین و مدل‌های آماری مبتنی بر هوش مصنوعی را برای پیش بینی زمان تعویض موتورهای بالگرد ترکیب می‌کند. در مجموع ۱۲۱ لامپ برای ۶۸۰۱ فرود نصب شد (زمان پرواز). الگوریتم زمان باقی‌مانده برای هفتاد و نه لامپ را تعیین کرد که از این تعداد، دو لامپ بدون هشدار سوختند. در این آزمایش میدانی، الگوریتم ما نتایج امیدوارکننده‌ای نشان داد. تجربیات مدیران دو واحد در محیط‌های شرکتی اورگارد می‌تواند توسط کاپیتان خلاصه شود که اظهار داشت: «زمانی که این سیاست‌های RCM تنظیم شوند و تعویض‌های رقابتی وسایل نقلیه پیش بینی شوند، نیاز به نگهداری دوره‌ای کمتر و دلایل بیشتری





برای تعویض واحدها بر اساس وضعیت به جای تحلیل ریسک وجود دارد. ممکن است افزایش درآمد حاصل شود زیرا وسیله نقلیه معامله شده گزینه‌ای با کمترین هزینه است که در آن همه وسایل نقلیه با شرایط مکانیکی خوب موجود هستند؛ حتی اگر فقط یک یا دو وسیله نقلیه وجود داشته باشد، که این‌گونه نباشند. نتیجه یک استراتژی نگهداری ساده‌تر است که فهم آن آسان است و انتقال دانش در مورد زمان تعویض وسایل نقلیه اکنون می‌تواند به عنوان مجموعه‌ای از قوانین کسب و کار برای برنامه‌ریزی مجدد نگهداری، تعویض وسایل نقلیه و گزینه‌های تجاری نهاده شود» [۱۵]. در FedCom، الگوریتم موفق با استفاده از ترکیب زمان، رویداد و پیش‌بینی چالشی در زمینه برنامه نگهداری روتور کرافت برای نظارت بر سلامت بلب‌رینگ و سیستم‌های روانکاری پیشنهاد شده است [۷].

۹- تجزیه و تحلیل

مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی، به‌ویژه یادگیری ماشین، می‌تواند به شناسایی الگوهای خرابی و پیش‌بینی زمان مناسب برای تعمیرات کمک کند. بر اساس نتایج یک پژوهش، روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در مقایسه با روش‌های آماری سنتی، توانایی بیشتری در پردازش داده‌های ناقص و متناقض دارند. این ویژگی به آن‌ها اجازه می‌دهد تا به‌طور مؤثرتری از داده‌ها برای پیش‌بینی خرابی‌ها استفاده کنند.

در مقایسه با روش‌های آماری، الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند الگوهای پیچیده‌تری را شناسایی کنند. به عنوان مثال، در یک مطالعه مشخص شد که مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی نسبت به مدل‌های کلاسیک آماری، دقت بالاتری در پیش‌بینی خرابی‌ها دارند. این امر ناشی از توانایی آن‌ها در یادگیری از داده‌ها بدون نیاز به فرضیات اولیه خاص است.

با وجود مزایای ذکرشده، چالش‌هایی نیز وجود دارد. یکی از چالش‌ها، کیفیت داده‌ها است. در بسیاری از موارد، داده‌های جمع‌آوری شده ممکن است ناقص یا نادرست باشند که می‌تواند بر دقت پیش‌بینی تأثیر بگذارد. همچنین، پیاده‌سازی سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی نیازمند زیرساخت‌های مناسب و آموزش نیروی کار است.

تحقیقات انجام شده در کشورهای مختلف نشان‌دهنده تفاوت‌هایی در سطح توسعه و کاربرد هوش مصنوعی هستند. به عنوان مثال، مطالعه‌ای که توسط گروه دیده‌بان هوش مصنوعی پارت انجام شده است، نشان می‌دهد که ایران نسبت به کشورهای پیشرفته‌ای مانند آمریکا و چین در زمینه تحقیقات هوش مصنوعی جایگاه پایین‌تری دارد. این عدم تعادل می‌تواند بر توانایی کشور در بهره‌برداری از فناوری‌های نوین تأثیر بگذارد.

۱۰- نتیجه‌گیری

کاربرد هوش مصنوعی در نگهداری پیش‌بینانه در حال ایجاد تحولی شگرف در نحوه مدیریت تجهیزات توسط صنایع است. ابزارهای مبتنی بر هوش مصنوعی ارائه دهنده قابلیت برتر تشخیص خرابی‌ها، بهینه‌سازی برنامه‌های نگهداری و پیش‌بینی خرابی‌های احتمالی تجهیزات با دقت بیشتری نسبت به روش‌های سنتی هستند. با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق، صنایع می‌توانند نیازهای نگهداری و تعمیرات را پیش‌بینی کرده، زمان‌های تعطیلی غیرمنتظره را کاهش دهند و عمر عملیاتی تجهیزات خود را افزایش دهند. پیاده‌سازی‌های واقعی نشان داده‌اند که هوش مصنوعی نه تنها کارایی را بهبود می‌بخشد؛ بلکه صرفه‌جویی قابل توجهی در هزینه‌ها نیز ایجاد می‌کند. با ادامه تکامل فناوری‌های هوش مصنوعی، ادغام آن‌ها در نگهداری پیش‌بینانه برای صنایعی که به دنبال حفظ مزیت رقابتی در عصر صنعت هستند، به‌طور فزاینده‌ای ضروری خواهد شد.



مفهوم «سیستم‌های خودآگاه» به‌عنوان نسل آینده سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی قادر خواهند بود رفتار و عملکرد خود را تجزیه و تحلیل کنند و به‌نوبه خود قادر به مهار یا بهبود عملکرد خود خواهند بود. این مفهوم گام بعدی برای تجزیه و تحلیل پیش‌بینی هوش مصنوعی است. برنامه‌های یادگیری ماشین نه تنها پیش‌بینی می‌کنند که چه زمانی مشکل نگهداری و تعمیر رخ می‌دهد، بلکه به‌طور خودکار برنامه خود را برای جلوگیری از این مشکل تنظیم می‌کنند، زیرا می‌دانند که ادامه کار دستگاه هزینه‌بر است و می‌دانند که چه کند تا فرآیند را به‌طور موقت متوقف کند. سیستم‌های خودآگاه در حال حاضر به‌طور گسترده مورد استفاده قرار نمی‌گیرند یا مؤثر نیستند، اما این یکی دیگر از گرایش‌های قوی برای برنامه‌های هوش مصنوعی است و تأثیر زیادی بر بخش نگهداری و تعمیر در بهبود تجهیزات و فرآیندهای سطوح بالاتر خواهد داشت؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد هوش مصنوعی در تمام زمینه‌های صنعت تولید در حال افزایش است و با گذشت زمان به رشد و گسترش خود ادامه خواهد داد. بر اساس آنچه تاکنون در این حوزه انجام شده روند رشد هوش مصنوعی شامل تجزیه و تحلیل پیش‌بینانه، یادگیری ماشین و داده‌کاوی بوده است.

به‌طور کلی، استفاده از هوش مصنوعی در نگهداری پیش‌بینانه تجهیزات صنعتی می‌تواند منجر به افزایش کارایی و کاهش هزینه‌ها شود. با این حال، برای بهره‌برداری کامل از این فناوری، نیازمند توجه ویژه به کیفیت داده‌ها و زیرساخت‌های لازم می‌باشد. تحقیقات بیشتر در این زمینه می‌تواند به شناسایی بهترین شیوه‌ها و الگوریتم‌ها کمک کند تا سازمان‌ها بتوانند از مزایای هوش مصنوعی بهره‌مند شوند.



۱۱- منابع و مراجع

- 1) Achouch, M., Dimitrova, M., Ziane, K., Sattarpanah Karganroudi, S., Dhouib, R., Ibrahim, H., & Adda, M. (2022). On predictive maintenance in industry 4.0: Overview, models, and challenges. *Applied Sciences*, 12(16), 8081.
- 2) Ali, A., & Abdelhadi, A. (2022). Condition-Based Monitoring and Maintenance: State of the Art Review. *Applied Sciences*, 12(2), 688. <https://doi.org/10.3390/app12020688>
- 3) Ayvaz, S., & Alpay, K. (2021). Predictive maintenance system for production lines in manufacturing: A machine learning approach using IoT data in real-time. *Expert Systems with Applications*, 173, 114598.
- 4) Bouabdallaoui, Y., Lafhaj, Z., Yim, P., Ducoulombier, L., & Bennadji, B. (2021). Predictive maintenance in building facilities: A machine learning-based approach. *Sensors*, 21(4), 1044.
- 5) Brito, L. C., Susto, G. A., Brito, J. N., & Duarte, M. A. (2022). An explainable artificial intelligence approach for unsupervised fault detection and diagnosis in rotating machinery. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 163, 108105.
- 6) Chen, J. C., Chen, T. L., Liu, W. J., Cheng, C. C., & Li, M. G. (2021). Combining empirical mode decomposition and deep recurrent neural networks for predictive maintenance of lithium-ion battery. *Advanced Engineering Informatics*, 50, 101405.
- 7) Cheng, W., Wang, Y., Peng, Z., Ren, X., Shuai, Y., Zang, S., & Wu, J. (2021). High-efficiency chaotic time series prediction based on time convolution neural network. *Chaos, Solitons & Fractals*, 152, 111304.
- 8) Çınar, Z. M., Abdussalam Nuhu, A., Zeeshan, Q., Korhan, O., Asmael, M., & Safaei, B. (2020). Machine learning in predictive maintenance towards sustainable smart manufacturing in industry 4.0. *Sustainability*, 12(19), 8211.
- 9) Hu, J., Wang, X., Zhang, Y., Zhang, D., Zhang, M., & Xue, J. (2020). Time series prediction method based on variant LSTM recurrent neural network. *Neural Processing Letters*, 52, 1485–1500.
- 10) Indrakumari, R., Poongodi, T., & Singh, K. (2021). Introduction to deep learning. *Advanced Deep Learning for Engineers and Scientists: A Practical Approach*, 1–22.
- 11) Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. (2022). Artificial intelligence applications for industry 4.0: A literature-based study. *Journal of Industrial Integration and Management*, 7(01), 83–111.
- 12) Kumar, P., & Hati, A. S. (2021). Review on machine learning algorithm based fault detection in induction motors. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 28(3), 1929–1940.





- 13) Li, X., Zhang, W., Ding, Q., & Sun, J. Q. (2020). Intelligent rotating machinery fault diagnosis based on deep learning using data augmentation. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(2), 433–452.
- 14) Liu, J., Shi, D., Li, G., Xie, Y., Li, K., Liu, B., & Ru, Z. (2020). Data-driven and association rule mining-based fault diagnosis and action mechanism analysis for building chillers. *Energy and Buildings*, 216, 109957.
- 15) Moon, H. (2021). *Constructing the Modern Warrior: The US Army and Gender* (Doctoral dissertation, The College of William and Mary).
- 16) Tiddens, W., Braaksma, J., & Tinga, T. (2022). Exploring predictive maintenance applications in industry. *Journal of quality in maintenance engineering*, 28(1), 68–85.
- 17) Valipour Parkouhi, S., Safaei Ghadikolaie, A., & Fallah Lajimi, H. (2023). Classification of Critical Success Factors in Smart Manufacturing Implementation from the Perspective of Stakeholders and Components of Technology: A Systematic Literature Review. *Industrial Management Journal*, 15(2), 180–222.
- 18) Zhang, W., Lu, Q., Yu, Q., Li, Z., Liu, Y., Lo, S. K., & Zhu, L. (2020). Blockchain-based federated learning for device failure detection in industrial IoT. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(7), 5926–5937.





ارائه چارچوبی به منظور به کارگیری مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM)

در مدیریت دارایی های ساختمانی

حمزه سلطانی^{۱*}، سامان همدانی^۲، سعید رمضانی^۳

۱- پژوهشگر گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.

۲- استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۱۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۱۱/۱۵

چکیده

مدیریت دارایی های ساختمانی با چالش هایی مانند هزینه های بالای نگهداشت، پراکندگی اطلاعات و ناکارآمدی فرآیندها مواجه است. با افزایش تعداد ساختمان ها و نیاز به نگهداشت منظم، بهینه سازی این فرآیندها ضروری است. رویکرد مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) به عنوان ابزاری جامع، امکان تجسم دقیق ساختمان ها و اجزای آن ها را فراهم کرده و می تواند مدیریت دارایی ها را بهبود بخشد. با این حال، الگویی کاربردی برای استفاده بهینه از BIM در این حوزه وجود ندارد. این پژوهش در پی ارائه چنین الگویی است. این تحقیق از نوع کاربردی-توصیفی است و از روش های کتابخانه ای و میدانی برای جمع آوری داده ها استفاده شده است. در بخش کتابخانه ای، ادبیات مرتبط با BIM و مدیریت دارایی ها بررسی شد و معیارهای کلیدی شناسایی گردید. در بخش میدانی، داده ها از طریق پرسشنامه ها و با مشارکت کارشناسان حوزه مدیریت دارایی ها و BIM جمع آوری شد. جامعه آماری شامل دارایی های ساختمانی دفاعی کشور در استان تهران بود و نمونه گیری به صورت هدفمند انجام شد. داده ها با روش های آماری تحلیل و روایی و پایایی پرسشنامه ها تأیید گردید. یافته ها نشان می دهد برای به کارگیری BIM در مدیریت دارایی ها، ۵ مرحله اصلی و ۴۶ معیار وجود دارد. این مراحل شامل استراتژی و برنامه ریزی، مدیریت اطلاعات تجهیزات، تعیین الزامات، بهینه سازی برنامه ها و منابع و اندازه گیری عملکرد و بهبود مستمر است. استفاده از BIM می تواند بهره وری را افزایش، هزینه ها را کاهش، دقت اطلاعات را بهبود و عمر مفید دارایی ها را افزایش دهد. همچنین، این فناوری هماهنگی بین گروه ها و تصمیم گیری های مدیریتی را تسهیل می کند.

واژه های کلیدی: مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM)، مدیریت دارایی های ساختمانی، بهره وری، کاهش هزینه، دقت اطلاعات، نگهداری دارایی ها.

۱. ایمیل نویسنده مسئول: h.soltanali@ihu.ac.ir





۱- مقدمه

در دنیای امروز، مدیریت دارایی های ساختمانی به یکی از مهم ترین و پیچیده ترین وظایف سازمان ها تبدیل شده است. با توجه به هزینه های بالای ساخت، نگهداشت و تعمیرات ساختمان ها، بهینه سازی این فرآیندها می تواند تأثیر بسزایی در کاهش هزینه ها و افزایش بهره وری داشته باشد. استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان به عنوان یک فناوری نوین، امکان مدیریت دقیق تر و کارآمدتر دارایی های ساختمانی را فراهم می کند؛ بنابراین، پژوهش در زمینه ارائه الگویی برای به کارگیری BIM در مدیریت دارایی های ساختمانی از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

یکی از دلایل اصلی اهمیت این پژوهش، نقش حیاتی BIM در جمع آوری، تجزیه و تحلیل و به روزرسانی اطلاعات مرتبط با ساختمان ها است. این فناوری با ارائه یک مدل دیجیتال جامع از ساختمان، می تواند تمامی اطلاعات مرتبط با طراحی، ساخت و نگهداشت را در یک مکان متمرکز کند. این امر نه تنها موجب افزایش دقت و صحت اطلاعات می شود، بلکه ارتباط و هماهنگی بین گروه های مختلف را نیز بهبود می بخشد. با توجه به این مزایا، پژوهش در زمینه تدوین الگویی برای استفاده بهینه از BIM می تواند به بهبود فرآیندهای مدیریتی کمک کند و از هدر رفت منابع جلوگیری کند.

علاوه بر این، اهمیت این پژوهش در توانایی آن در کاهش هزینه ها و افزایش عمر مفید ساختمان ها نهفته است. استفاده مؤثر از BIM می تواند به شناسایی و پیشگیری از مشکلات پیش از وقوع آن ها کمک کند و زمان و هزینه های نگهداشت و تعمیرات را به حداقل برساند. این امر به ویژه در سازمان هایی که دارای تعداد زیادی ساختمان و دارایی های ساختمانی هستند، از اهمیت بیشتری برخوردار است. تدوین یک الگوی جامع برای به کارگیری BIM می تواند به این سازمان ها کمک کند تا با بهره وری بیشتر و هزینه های کمتر، دارایی های خود را مدیریت کنند.

در نهایت، این پژوهش می تواند به ایجاد استانداردها و بهترین شیوه ها برای استفاده از BIM در مدیریت دارایی های ساختمانی کمک کند. با توجه به پیچیدگی ها و چالش های موجود در این زمینه، تدوین یک الگوی استاندارد و کاربردی می تواند به سازمان ها در بهبود فرآیندهای مدیریتی و افزایش کارایی کمک کند. به این ترتیب، پژوهش حاضر می تواند به عنوان یک مرجع مهم برای سازمان ها و مدیران دارایی های ساختمانی در سراسر جهان مورد استفاده قرار گیرد و به بهبود عملکرد کلی این حوزه کمک کند.

علاوه بر توضیحات فوق، باید توجه داشت که در سطح کلان سازمان ها، به ویژه سازمان های دفاعی که دارای تعداد زیادی دارایی ساختمانی هستند، اسناد راهبردی و اهداف بلندمدتی وجود دارد که بر اهمیت بهبود مدیریت دارایی ها تأکید می کنند. این اسناد بالادستی مانند برنامه های توسعه و استراتژی های نگهداشت و بهره برداری از ساختمان ها، نیازمند ابزارها و روش های نوین برای دستیابی به اهداف تعیین شده هستند. پژوهش حاضر با ارائه الگویی برای به کارگیری BIM در مدیریت دارایی های ساختمانی، می تواند به تحقق این اهداف و استراتژی ها کمک کند و به عنوان یک ابزار کارآمد در بهبود فرآیندهای مدیریتی و افزایش کارایی در سطح کل سازمان مورد استفاده قرار گیرد. به این ترتیب، پژوهش ما نه تنها به حل مسائل جاری کمک می کند، بلکه با تطابق با اسناد بالادستی و اهداف راهبردی، به ارزش و اهمیت بیشتری دست می یابد.

با توجه به موارد مطرح شده در این مقاله بر آنیم که به سؤال ذیل پاسخ دهیم:

مدل مناسب برای به کارگیری BIM در مدیریت دارایی های ساختمانی چیست؟





۲- مبانی نظری و پیشینه شناسی تحقیق

۲-۱- اصول مدیریت دارایی

مدیریت دارایی بر مبنای دو اصل ذیل پایه‌گذاری شده است:

- ۱) برآورده سازی نیازها و انتظارات کلیه ذی نفعان؛
 - ۲) برآورده سازی نیازهای کوتاه مدت صنعت با لحاظ نمودن پایداری و مسائل محیط زیستی در بلندمدت.
- رگولاتورها^۱ خواستار آن هستند که شرکت‌های توزیع، از شبکه برق به صورت اقتصادی، کارا و پایدار بهره‌برداری و نگهداری نموده و در صورت لزوم آن را توسعه دهند، بدین منظور شرکت‌های توزیع باید بین موارد ذیل تعادل و توازن مناسبی برقرار شود[۱].

۱) دارایی‌ها و هزینه‌های شبکه

۲) دارایی‌ها و عملکرد شبکه

۳) استراتژی‌های بلندمدت آتی

۴) دارایی‌ها و ریسک شبکه

اهداف اصلی مدیریت دارایی در شرکت‌های توزیع برق را می‌توان در موارد ذیل خلاصه نمود.

تعادل میان هزینه، عملکرد و ریسک

هم‌راستا نمودن اهداف سازمانی با تصمیمات سرمایه‌گذاری

تهیه و تدوین برنامه‌های چندساله دارایی

رگولاتورها از شرکت‌های توزیع برق انتظار دارند تا فرآیندهای مدیریت دارایی خود را طوری طراحی نمایند که منتج به انتخاب سببی از پروژه‌ها گردد که این سبب کلیه معیارهای ریسک و عملکرد را با کمترین هزینه در بین سبدهای دیگر دارا باشد. انتخاب سبب پروژه بهینه می‌بایست با در نظر گرفتن محدودیت بودجه، آنالیز چرخه عمر و عدم قطعیت پروژه‌ها صورت پذیرد. پیشنهاد شده است که برای افزایش کارایی، در شرکت‌های توزیع برق فعالیت‌های مدیریت دارایی میان مالک دارایی، مدیر دارایی و ارائه‌دهندگان خدمات دارایی به صورت ذیل تقسیم‌بندی شود[۲]:

۱) مالک دارایی مسئول تعیین معیارهای مالی، فنی، عملکرد و ریسک دارایی‌ها می‌باشد.

۲) مدیر دارایی مسئولیت ترجمه معیارهای مذکور را به برنامه دارایی بر عهده دارد.

۳) ارائه‌دهندگان خدمات دارایی مسئول اجرای برنامه دارایی و ارائه بازخورد عملکرد و هزینه واقعی می‌باشند.

۴) در این تقسیم‌بندی، مالکان دارایی بر روی استراتژی، مدیران دارایی بر برنامه‌ریزی و بودجه‌بندی و ارائه‌دهندگان خدمات دارایی بر بهره‌برداری و اجرای بهینه برنامه‌های دارایی تمرکز دارند. مالک دارایی، ارزش، استراتژی و اهداف کسب‌وکار را در قالب اهداف عملکرد، دامنه مجاز ریسک و محدودیت بودجه تعیین می‌نماید. مدیران دارایی بهترین روش دستیابی به اهداف را تعیین کرده و بر مبنای آن برنامه دارایی چندساله را تهیه می‌نمایند[۳].

1. Regulators (نهاد های ناظر)





۲-۲- مدل سازی اطلاعات ساختمان

مدل سازی اطلاعات ساختمان مجموعه ای از فناوری ها، فرآیندها و سیاست ها است که ذینفعان متعددی را قادر می سازد تا به طور مشترک، یک تسهیلات را در فضای مجازی طراحی کنند. این یک فرایند مبتنی بر مدل سه بعدی هوشمند است که معمولاً نیاز به یک برنامه اجرای BIM برای مالکان، معماران، مهندسان و پیمانکاران یا متخصصان ساخت و ساز دارد [۴].

BIM علاوه بر ایجاد ارتباط هوشمند بین اجزاء مختلف طراحی، امکان بررسی سناریوهای مختلف طراحی را برای تمام گروه ها، به صورت مجازی ارائه می نماید. به عنوان مثال یکی از سناریوها، می تواند چرخش مدل ساختمان و بررسی تغییرات میزان مصرف انرژی آن، برحسب زوایای مختلف تابش خورشید باشد. همین طور گروه های دیگر طراحی مشتمل بر سازه و تأسیسات نیز قادرند با اعمال تغییراتی در مدلشان، اثرات این سناریوها را برای معماری پروژه ببینند؛ و بالاخره، پیمانکاران در حین طراحی و توسعه مدل ساختمان، مواردی از قبیل توالی اجرا، کارایی، ساخت و نصب را به صورت مجازی تجربه کنند [۵].

به طور کلی سیستم مدل سازی اطلاعات ساختمان را این گونه می توان معرفی نمود که: BIM، به نقشه های دوبعدی و مشخصات مربوط به آن ها، اجزای مدل سازی سه بعدی با ویژگی خاص اضافه می نماید. آن ویژگی خاص این است که هر عضو طراحی شده در BIM علاوه بر دارا بودن ماهیت فیزیکی سه بعدی آن، آرایه ای از اطلاعات مربوط به فعالیت ها و وظایف مختلف مدیریت ساخت را با خود دارد. این اطلاعات، مربوط به کل چرخه حیات پروژه از مراحل اولیه تا پایان آن بوده و شامل موارد زیر می باشد.

۲-۲-۱- نحوه کار مدل سازی اطلاعات ساختمان

مدل سازی اطلاعات ساختمان یا همان BIM را می توان در طول چرخه عمر پروژه برای ایجاد وضوح و کارایی در ساخت و ساز ساختمان استفاده کرد:

○ برنامه ریزی BIM :

می تواند با اجازه دادن به کاربران برای استفاده از واقعیت ضبط و داده های دنیای واقعی، برنامه ریزی پروژه را آگاه، راهنمایی و ساده کند تا درک کند که واقع ساختمان در محیط طبیعی خود چگونه ظاهر می شود [۶].

○ طراحی:

مرحله طراحی می تواند پیچیده ترین فرآیند ساخت باشد که به طراحی مفهومی، تجزیه و تحلیل و مستندات گسترده نیاز دارد. داده های BIM می توانند مدلی جامع را ارائه دهند که می تواند ساخت و ساز را سازمان دهی کند و اطلاعات مهمی در مورد عملکرد یک طرح ارائه دهد [۷].

○ ساخت و ساز:

مشخصات BIM و اسناد مشترک می توانند تا حد زیادی ساخت و ساز را در این مرحله راهنمایی و ساده کنند.

○ بهره برداری:

وقتی نوبت به عملیات و نگهداری می رسد، مدل های BIM و اطلاعات دارایی غنی از اطلاعات می توانند از عملیات، نگهداری و تعمیر، نوسازی، تمدید و حتی تخریب پشتیبانی کنند [۸].





۲-۲-۲- تاریخچه BIM

مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) به عنوان تحولی در صنعت ساخت و ساز، جایگزین روش های سنتی طراحی دوبعدی و نرم افزارهای CAD شده است. BIM با ارائه مدل های سه بعدی هوشمند، امکان مدیریت اطلاعات پروژه را در تمام مراحل چرخه عمر ساختمان فراهم می کند.

۲-۲-۳- کاربرد BIM در چرخه عمر پروژه

◀ BIM در مراحل مختلف پروژه، از برنامه ریزی تا بهره برداری و تخریب، کاربرد دارد:

- برنامه ریزی: استفاده از داده های واقعی برای شبیه سازی محیط پروژه.
- طراحی: ایجاد مدل های جامع برای تحلیل و بهینه سازی طرح.
- ساخت و ساز: تسهیل فرآیند ساخت با استفاده از مدل های دقیق.
- بهره برداری: پشتیبانی از مدیریت و نگهداری ساختمان.

◀ مزایای BIM

- بهبود همکاری بین ذینفعان پروژه.
- کاهش خطاها و صرفه جویی در زمان و هزینه.
- افزایش دقت در برنامه ریزی و اجرای پروژه.
- امکان تجزیه و تحلیل پیشرفته (مانند 4D برای زمان بندی و 5D برای هزینه ها).

◀ سطوح BIM

- سطح ۱: استفاده از نقشه های دوبعدی CAD.
- سطح ۲: همکاری بین ذینفعان با استفاده از مدل های سه بعدی.
- سطح ۳: همکاری کامل با استفاده از یک مدل مشترک در محیطی یکپارچه.

۲-۳- پیشینه پژوهش

عابدینی و مکنون در سال ۱۳۹۳ پژوهشی با عنوان لزوم به کارگیری BIM در ساختمان های استراتژیک انجام دادند. صنایع معماری، مهندسی و ساخت و ساز (AEC) از دیرباز به دنبال فن های کاهش هزینه های پروژه، افزایش بهره وری و کیفیت و کاهش زمان تحویل پروژه بوده اند. به کارگیری BIM به معنی مدل سازی اطلاعات ساختمان نتایج ایده آلی را برای مهندسين در فرآیندهای طراحی، برنامه ریزی، مدیریت، اجرا و کنترل پروژه داشته است. BIM نشان دهنده توسعه و استفاده از مدل های N بعدی کامپیوتری برای شبیه سازی، برنامه ریزی، طراحی، ساخت و ساز و بهره برداری از تأسیسات است که کمک می کند تا معماران، مهندسان و سازندگان به تجسم آنچه در پروژه قرار است اتفاق بیافتد بپردازند. در این مقاله لزوم به کارگیری BIM در جهت کاهش زمان و هزینه ترمیم و بهسازی ساختمان های استراتژیک (ساختمان های با درجه اهمیت ویژه) در شرایط بحرانی از قبیل بروز جنگ و زلزله و کاربرد آن در مدیریت توسعه پایدار پرداخته ایم [۹].





نورقاسمی در سال ۱۳۹۳ پژوهشی با عنوان بررسی تأثیر مدل سازی اطلاعات ساختمان در مدیریت هزینه های ساخت پروژه انجام دادند. در سالیان اخیر استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) در بسیاری از کشورهای توسعه یافته رواج فراوانی یافته است؛ به طوری که حتی به کارگیری آن در برخی از پروژه های ساختمانی این کشورها، الزامی شده است. مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) برای طراحی و اجرای بهینه و پایداری پروژه های ساخت و ساز و افزایش تولید، بهره وری، پایداری زیرساخت، کیفیت کاهش هزینه های بازایافت و تکرار در صنعت ساختمان سازی را به همراه داشته است.

برازجانی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی با عنوان پیاده سازی مدل سازی اطلاعات ساختمان و مدیریت ذینفعان در پروژه های ساخت و ساز انجام دادند. مدل سازی اطلاعات ساختمان در دهه گذشته به عنوان جریان کلیدی مرحله ساخت و ساز و تحقیقات مهندسی (عمران- معماری) در دنیا ظهور پیدا کرده است. BIM یک ارائه دیجیتالی از مشخصات و بعد فیزیکی تجهیزات می باشد که به عنوان یک فناوری علاوه بر پروژه های ساختمانی می تواند در دیگر زمینه های ساخت و ساز بکار گرفته شود. به بیان دیگر BIM آمیزه ای از هنر و مهارت با دانش می باشد که به طور کاربردی جهت بهبود و پیشرفت مراحل پروژه از آن بهره گیری می شود. استفاده از BIM را به عنوان یک طرح عملیاتی به منظور هماهنگی و سازمان دهی اقدامات برای دستیابی به هدف و تصمیم سازی می توان بیان کرد چنانچه به طور میانگین ۷۰٪ تا ۸۰٪ هزینه های ساخت و ساز توسط تصمیمات طراحان در مراحل اولیه طراحی تعیین می گردد. [۱]

گودینی و همکاران (۲۰۱۹) پژوهشی با عنوان مفهومی جامع از معماری در مطالعه مجتمع های صنعتی طبق رویکرد تئوری سیستم انجام دادند. در مقاله حاضر اشاره شده است که دانش معماری ما از مجتمع های صنعتی (در مقایسه با سایر ساختمان ها و مجتمع ها) محدود است. جدای از فقدان تحقیقات معماری در مورد مجتمع های صنعتی، چالش اصلی در این زمینه ماهیت تقلیل گرایانه تعاریف معماری آن ها است که در تحقیقات قبلی ارائه شده است. هدف این مقاله ارائه مفهومی جامع از معماری در این مجموعه ها می باشد. این مطالعه بر اساس نظریه سیستم به عنوان یک رویکرد کل نگر و همچنین دسته های اولیه و ثانویه اسمیت کاپون (معنا، عملکرد، فرم، روح، ساخت و زمینه) است. [۱۰]

چو (۲۰۱۷) پژوهشی با عنوان بررسی مدیریت ریسک از طریق BIM و فناوری های مرتبط با BIM علوم ایمنی انجام دادند. مدیریت ریسک در صنعت AEC (معماری، مهندسی و ساخت و ساز) یک موضوع جهانی است. عدم مدیریت کافی ریسک ها نه تنها ممکن است منجر به مشکلاتی در دستیابی به اهداف پروژه شود، بلکه امکان دارد بر برنامه ریزی کاربری زمین و طراحی فضایی شهری در رشد آینده شهرها تأثیر بگذارد. با توجه به توسعه و پذیرش سریع BIM (مدل سازی اطلاعات ساختمان) و فناوری های دیجیتال مرتبط با BIM، استفاده از این فناوری ها برای مدیریت ریسک به یک روند تحقیقاتی رو به رشد تبدیل شده است که منجر به تقاضا برای بررسی کامل وضعیت می شود. این مقاله خلاصه ای از مدیریت ریسک سنتی و بررسی جامع و گسترده ادبیات منتشر شده در مورد آخرین تلاش های مدیریت ریسک با استفاده از فناوری هایی مانند BIM، بررسی خودکار قوانین، سیستم های مبتنی بر دانش، فناوری اطلاعات واکنشی و فعال (فناوری اطلاعات) را ارائه می کند. [۱۱].

وولک و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی با عنوان مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) برای ساختمان های موجود، بررسی ادبیات و نیازهای آینده خودکارسازی در ساخت و ساز انجام دادند. درحالی که فرآیندهای BIM برای ساختمان های جدید ایجاد شده اند، اکثر ساختمان های موجود هنوز با BIM نگهداری، بازسازی یا بازسازی نشده اند. مزایای امیدوارکننده مدیریت کارآمد منابع، انگیزه تحقیق



برای غلبه بر عدم قطعیت وضعیت ساختمان و اسناد ناقص رایج در ساختمان‌های موجود است. با توجه به پیشرفت‌های سریع در تحقیقات BIM، ذینفعان درگیر خواستار یک نمای کلی پیشرفته از پیاده‌سازی و تحقیق BIM در ساختمان‌های موجود هستند [۱۲].

گارویکوا و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی با عنوان جنبه‌های استراتژیک مدیریت دارایی، مروری بر تحقیقات جاری پایداری انجام دادند. تغییرات عمده در محیط رقابتی رشد اخیر در تعداد مقالات دانشگاهی اختصاص داده شده به جنبه‌های استراتژیک مدیریت دارایی را تشویق کرد. سازمان‌ها شروع به درک این نکته می‌کنند که یک رویکرد استراتژیک برای مدیریت دارایی منبعی از مزیت‌های رقابتی پایدار و بقای طولانی مدت در محیط آشفته می‌شود. با این حال، مطالعات موجود عمدتاً در تفسیر استراتژی به صورت موردی خاص هستند و از مبانی نظری و رویکردهای مختلف استفاده می‌کنند. این منجر به سازگاری نظری و روش شناختی کمی در درک یافته‌های فعلی و نحوه طراحی مطالعات آینده می‌شود [۱۳].

پاریکارد و همکاران (۲۰۱۹) مروری بر ادبیات مدیریت دارایی در سیستم‌های چند دارایی مهندسی قابلیت اطمینان و ایمنی سیستم انجام دادند. این مقاله مروری بر ادبیات مدیریت دارایی برای سیستم‌های چند واحدی با تأکید بر دو دسته چند دارایی ارائه می‌کند: ناوگان (سیستمی از دارایی‌های همگن) و پورتفولیو (سیستمی از دارایی‌های ناهمگن). همان‌طور که سیستم‌های دارایی پیچیده‌تر می‌شوند، محققان از اصطلاحات مختلفی برای اشاره به مشکلات خاص خود استفاده می‌کنند. باهدف تسهیل خوانندگان در جستجوی مطالعات مفید برای علایق خود، این مقاله یک طرح طبقه‌بندی جدید برای سیستم‌های چند واحدی مطابق با ویژگی‌های اساسی مانند تنوع دارایی‌ها و گزینه‌های مداخله ایجاد می‌کند. علاوه بر این، با توجه به تمایز آشکار میان ویژگی‌های تعاملات در سطح اجزاء و در سطح دارایی‌ها، ما سه نوع وابستگی چند جزئی بالقوه (عملکرد، تصادفی و منبع) را انتخاب می‌کنیم و مفاهیم آن‌ها را گسترش می‌دهیم تا برای سیستم‌های چند دارایی قابل اجرا باشند [۱۴].

پدرسان و همکاران (۲۰۱۸) پژوهشی با عنوان بازارهای ناکارآمد برای دارایی‌ها و مدیریت دارایی انجام دادند. ما مدلی را در نظر می‌گیریم که در آن سرمایه‌گذاران می‌توانند مستقیماً سرمایه‌گذاری کنند یا به دنبال مدیر دارایی بگردند، اطلاعات مربوط به دارایی‌ها پرهزینه است و مدیران هزینه‌های درون‌زا را دریافت می‌کنند. کارایی قیمت دارایی‌ها با کارایی بازار مدیریت دارایی مرتبط است: اگر سرمایه‌گذاران بتوانند راحت‌تر مدیران را بیابند، پول بیشتری به مدیریت فعال تخصیص داده می‌شود، کارمزدها کمتر می‌شود و قیمت دارایی کارآمدتر می‌شود. مدیران آگاه پس از پرداخت هزینه‌ها عملکرد بهتری دارند، مدیران ناآگاه عملکرد ضعیفی دارند، درحالی‌که عملکرد مدیران متوسط به تعداد «تخصیص دهنده‌های نويز» بستگی دارد. سرمایه‌گذاران کوچک باید ناآگاه بمانند، اما سرمایه‌گذاران بزرگ و پیشرفته از جستجوی مدیران فعال آگاه سود می‌برند، زیرا هزینه جستجوی آن‌ها نسبت به سرمایه پایین است. از این رو، انتظار می‌رود مدیرانی که سرمایه‌گذاران بزرگ‌تر و پیچیده‌تری دارند، عملکرد بهتری داشته باشند [۱۵].

برگر و همکاران (۲۰۲۲) پژوهشی با عنوان مدیریت دارایی در یادگیری ماشینی: وضعیت تحقیق و وضعیت عمل انجام دادند. مؤلفه‌های یادگیری ماشین برای سیستم‌های نرم‌افزاری امروزی ضروری هستند و باعث می‌شوند تا هنگام توسعه سیستم‌های مبتنی بر یادگیری ماشین، شیوه‌های مهندسی نرم‌افزار سنتی تطبیق داده شود. این نیاز به دلیل بسیاری از چالش‌های مرتبط با توسعه اجزای یادگیری ماشین مانند مدیریت دارایی، آزمایش و وابستگی مشخص می‌شود. اخیراً بسیاری از ابزارهای مدیریت دارایی برای رسیدگی به این چالش‌ها در دسترس قرار گرفته‌اند. درک حمایتی که چنین ابزارهایی برای تسهیل تحقیق و تمرین در ساخت ابزارهای مدیریتی جدید با پشتیبانی‌های بومی برای یادگیری ماشین و دارایی‌های مهندسی نرم‌افزار ارائه می‌دهند، ضروری است [۱۶].



پرانیتاساری و دی (۲۰۲۱) پژوهشی با عنوان سمینار بین المللی کسب و کار، اقتصاد، علوم اجتماعی و فناوری انجام دادند. یکی از دغدغه های اصلی شرکت تلاش برای رسیدن به سطح سود مطلوب است. این هدف از طریق مدیریت دارایی خوب قابل دستیابی است. مدیریت دارایی خوب نشان می دهد که شرکت قادر است عملکرد مالی خود را به طور کارآمد و مؤثر کنترل کند. هدف این تحقیق تعیین تأثیر مدیریت دارایی بر عملکرد مالی است. رویکردی که برای اندازه گیری مدیریت دارایی اتخاذ می شود، چرخش دارایی ثابت است، درحالی که عملکرد مالی با سودآوری با استفاده از بازده دارایی اندازه گیری می شود [۱۷].

بیرن (۲۰۱۵) پژوهشی با عنوان بانک های بد: پیامدهای شهری شرکت های مدیریت دارایی پژوهش و عمل شهری انجام دادند. شرکت های مدیریت دارایی (AMC)، مانند آژانس مدیریت دارایی ملی و شرکت مدیریت دارایی های ناشی از سازماندهی مجدد بانک، (SAREB)، پاسخ های سیاستی مهمی به بحران های مالی و تملک هستند. در مدیریت بدهی سمی با توجه به پرتفوی عظیم املاک و مستغلات، AMC ها تأثیرات شهری تعیین کننده ای دارند؛ و با این حال، تقریباً هیچ ادبیاتی در مورد بعد شهری آن ها وجود ندارد. این مقاله با ارائه نمای کلی از AMC ها به عنوان پاسخی به بحران های مالی و املاک و با تجزیه و تحلیل ابعاد شهری به این شکاف پاسخ می دهد. درحالی که AMC ها برای نجات بانک ها طراحی شده اند، به دلیل ادغام فزاینده مالی و املاک و مستغلات بر شهرها تأثیر می گذارند. علاوه بر این، AMC ها ادغام املاک و مستغلات و سرمایه جهانی را عمیق تر می کنند. درنهایت، از آنجا که آن ها نوعی مداخله دولت هستند، AMC ها ممکن است برای سیاسی کردن تنش بین ارزش استفاده املاک و ارزش مبادله ای آن عمل کنند [۱۸].

امتر و همکاران (۲۰۲۰) پژوهشی با عنوان توسعه مدل مدیریت دارایی با استفاده از پایش تجهیزات بلادرننگ (RTEM) مطالعه موردی یک شرکت صنعتی انجام دادند. در سطح جهانی، موضوع پیاده سازی سیستم های مدیریت دارایی کارآمد، به دلیل ماهیت پیچیده عملیات، برای اکثر شرکت ها، به ویژه شرکت هایی که در صنعت نفت و گاز فعالیت می کنند، چالشی بوده است. در سال های اخیر با کاهش قیمت نفت، شرایط بازار به قدری رقابتی شده است که حتی چند دقیقه از کار افتادن تجهیزات می تواند منجر به از دست دادن قابل توجه درآمد شود. مطالعه موردی یک شرکت صنعتی با هدف ارزیابی سیستم مدیریت دارایی فعلی آن ارائه شده است [۱۹].

سارینی و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی به بررسی مسائل نگهداری و تعمیر جهت دستیابی به بهترین شیوه های مدیریت نگهداری و تعمیر ساختمان پرداختند. ساختمان ها به تدریج در طول زمان به دلایل متعددی از جمله نقص های مراقبت نشده، آسیب های نادیده گرفته شده و علل طبیعی تخریب می شوند. از این رو، فعالیت های نگهداری و تعمیر برای جلوگیری از فرایند فرسودگی برای اطمینان از عملکرد مستمر ساختمان ها مورد نیاز است. نگهداری و تعمیر فرآیندی سامانمند برای حفاظت از ویژگی ها و منابعی است که در سطوح بهینه برای دستیابی به استانداردها و عملکرد ساختمان کار می کنند. با این وجود، مطالعات قبلی نشان داده اند که شیوه های نگهداری و تعمیر در مالزی به طور مؤثر اجرا نشده و بسیار کمتر از بهترین شیوه های نگهداری و تعمیر انجام شده است. از این رو، این مطالعه با هدف بررسی مسائل مربوط به عملکرد نگهداری و تعمیر ساختمان در مالزی انجام شد. یک مرور ادبیات سامانمند (SLR) برای بررسی مسائل یا عواملی که بر عملکرد نگهداری و تعمیر ساختمان تأثیر می گذارند، انجام شد. [۲۰].

نری و همکاران (۲۰۱۲) پژوهشی با عنوان نگهداری و تعمیر مبتنی بر قابلیت اطمینان: روش های مدیریت و مهندسی انجام دادند. فناوری اطلاعات (IT) می تواند ابزار مهمی برای دستیابی به کارایی و اثربخشی در نگهداری و تعمیر باشد، مشروط بر اینکه از فناوری اطلاعات صحیح و مرتبط استفاده شود. در این مقاله، یک مدل مفهومی برای شناسایی نیازمندی های مدیریت نگهداری و تعمیر فناوری اطلاعات، با کاربرد عملی آن در فرآیندی برای شناسایی نیازمندی های فناوری اطلاعات برای مدیریت نگهداری و





تعمیر، توسعه می‌یابد. این فرآیند در دو مورد واقعی مثال زده شده است. این مقاله پیشنهاد می‌کند که عوامل اهداف، هدف و استفاده در سطح سازمانی و فردی برای شناسایی نیازهای فناوری اطلاعات در نظر گرفته شود. سطح صحیح IT اعمال شده، یعنی فناوری اطلاعات شامل عملکرد صحیح مورد نیاز برای برنامه‌ریزی، انجام و پیگیری فعالیت‌های نگهداری و تعمیر با توجه به وضعیت نگهداری و استراتژی اقتباس شده، به مدیریت موفقیت‌آمیز نگهداری و تعمیر کمک می‌کند [۲۱].

جدول ۱- خلاصه پیشینه پژوهش

ردیف	نویسنده	عنوان	سال	مؤلفه‌های پژوهش	مؤلفه‌های پژوهش حاضر
۱	عابدینی و مکنون	لزوم به‌کارگیری BIM در ساختمان‌های استراتژیک	۱۳۹۳	مدیریتی، محیطی	مالی، محیطی، مدیریتی، منابع انسانی، فناوریانه
۲	نورقاسمی	بررسی تأثیر مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در مدیریت هزینه‌های ساخت پروژه	۱۳۹۶	مالی، مدیریتی	مالی، محیطی، مدیریتی، منابع انسانی، فناوریانه
۳	برازجانی و همکاران	پیاده‌سازی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و مدیریت ذینفعان در پروژه‌های ساخت‌وساز	۱۳۹۷	فناورانه، مدیریتی	مالی، محیطی، مدیریتی، منابع انسانی، فناوریانه
۴	گودینی و همکاران	مفهومی جامع از معماری در مطالعه مجتمع‌های صنعتی براساس رویکرد تئوری سیستم‌ها	۲۰۱۹	محیطی، مدیریتی	مالی، محیطی، مدیریتی، منابع انسانی، فناوریانه
۵	چو	بررسی مدیریت ریسک از طریق BIM و فناوری‌های مرتبط با BIM علوم ایمنی	۲۰۱۷	مدیریتی، فناوریانه	مالی، محیطی، مدیریتی، منابع انسانی، فناوریانه
۶	وولک و همکاران	مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) برای ساختمان‌های موجود - بررسی ادبیات و نیازهای آینده خودکارسازی در ساخت‌وساز	۲۰۱۴	فناورانه، محیطی	مالی، محیطی، مدیریتی، منابع انسانی، فناوریانه
۷	گارویکوا و همکاران	جنبه‌های استراتژیک مدیریت دارایی: مروری بر تحقیقات جاری	۲۰۲۰	مدیریتی، منابع انسانی، محیطی	مالی، محیطی، مدیریتی، منابع انسانی، فناوریانه
۸	پاریکارد و همکاران	مروری بر ادبیات مدیریت دارایی در سیستم‌های چند دارایی	۲۰۱۹	مدیریتی، فناوریانه	مالی، محیطی، مدیریتی، منابع انسانی، فناوریانه
۹	پدرسان و همکاران	بازارهای ناکارآمد برای دارایی‌ها و مدیریت دارایی	۲۰۱۸	مالی، مدیریتی	مالی، محیطی، مدیریتی، منابع انسانی، فناوریانه
۱۰	برگر و همکاران	مدیریت دارایی در یادگیری ماشینی: وضعیت تحقیق و وضعیت عمل	۲۰۲۲	مدیریتی، فناوریانه	مالی، محیطی، مدیریتی، منابع انسانی، فناوریانه
۱۱	پرانیتاساری و دی	تأثیر شایستگی، محیط کار بر مشارکت کاری و رضایت شغلی	۲۰۲۱	محیطی، مدیریتی	مالی، محیطی، مدیریتی، منابع انسانی، فناوریانه
۱۲	بیرن	بانک‌های بد: پیامدهای شهری شرکت‌های مدیریت دارایی	۲۰۱۵	مالی، محیطی	مالی، محیطی، مدیریتی، منابع انسانی، فناوریانه





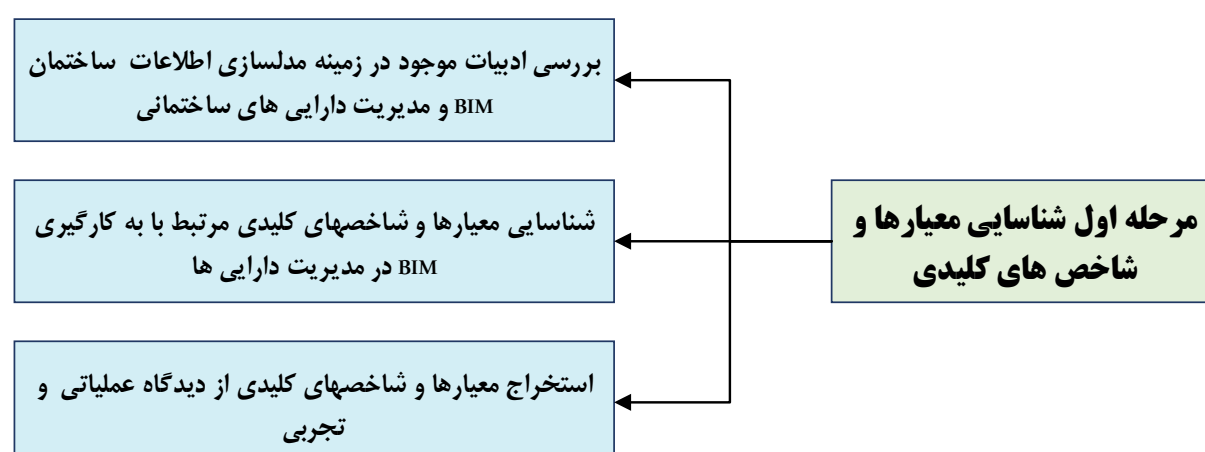
۱۳	امتر و همکاران	توسعه مدل مدیریت دارایی با استفاده از پایش تجهیزات بلادرنک (RTEM) مطالعه موردی یک شرکت صنعتی	۲۰۲۰	منابع انسانی، فناوریانه، مدیریتی	مالی، محیطی، مدیریتی، منابع انسانی، فناوریانه
۱۴	ساربینی و همکاران	بررسی مسائل نگهداری و تعمیر جهت دستیابی به بهترین شیوه های مدیریت نگهداری و تعمیر	۲۰۲۱	منابع انسانی، مدیریتی	مالی، محیطی، مدیریتی، منابع انسانی، فناوریانه
۱۵	نری و همکاران	نگهداری و تعمیر مبتنی بر قابلیت اطمینان: روش های مدیریت و مهندسی	۲۰۱۲	مدیریتی، منابع انسانی	مالی، محیطی، مدیریتی، منابع انسانی، فناوریانه

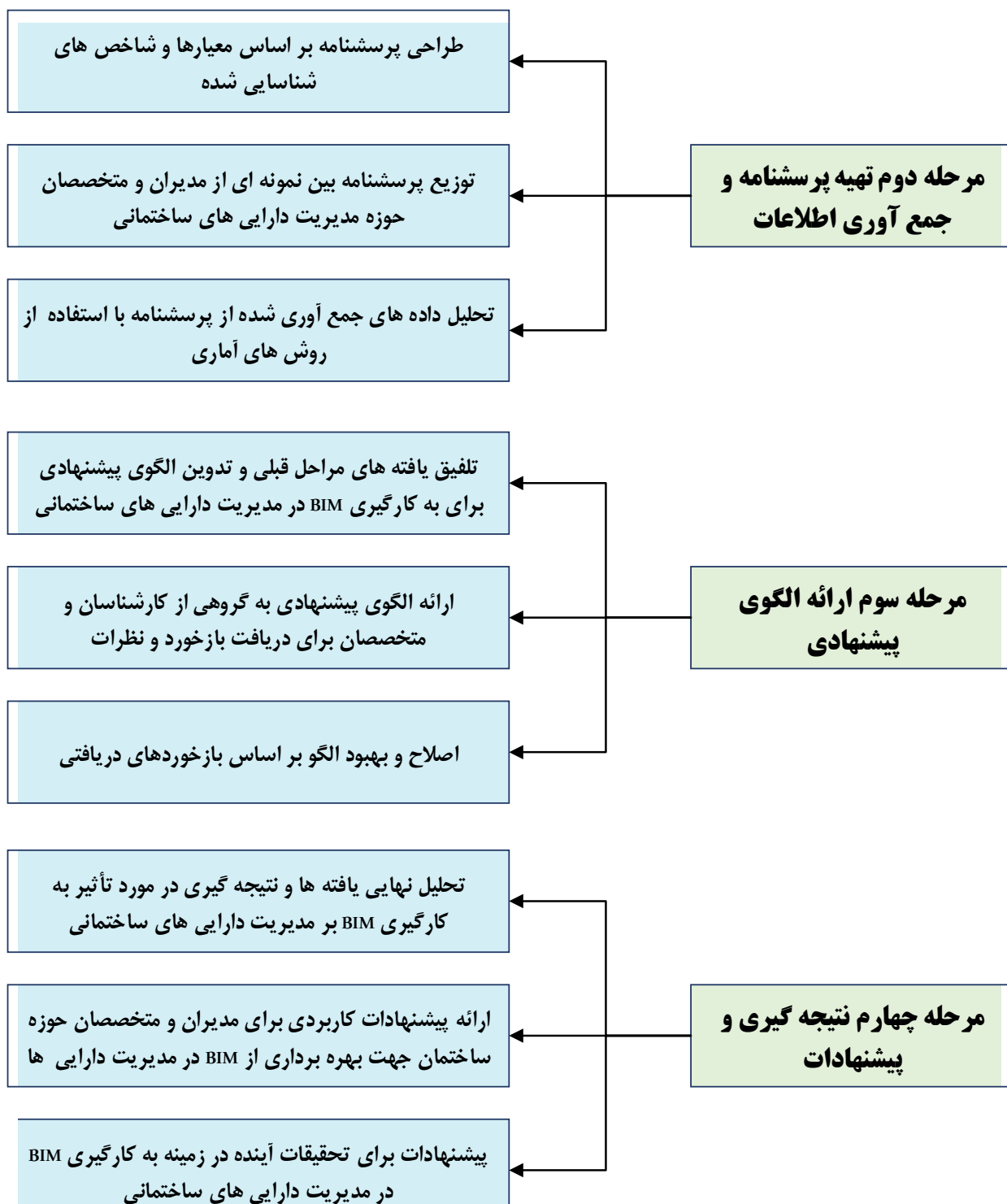
۳- روش شناسی تحقیق

جهت رسیدن به پاسخ سؤال مقاله حاضر طبق روش تحقیق ذیل عمل شد:

در این تحقیق ابتدا حوزه مورد بررسی برای مسئله موجود تعیین می شود و سپس با توجه به مستندات و تحقیقات پیشین، اطلاعات مورد نیاز جمع آوری می گردد. با توجه به سؤالات و اهداف تحقیق، مدل مورد نظر با کمک اطلاعات به دست آمده طراحی شده و شاخصه مورد نیاز برای مسئله با بررسی مطالعات پیشین تعیین می گردد و این اطلاعات در مدل سازی اطلاعات ساختمانی وارد می شود تا بتوان به ارزیابی ساختمان های مورد نظر پرداخت.

این پژوهش در حوزه کاربردی - توصیفی قرار دارد و هدف اصلی آن ارائه الگویی برای به کارگیری مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) در مدیریت دارایی های ساختمانی است. روش های به کاررفته در این پژوهش شامل دو بخش اصلی کتابخانه ای و میدانی است. در بخش کتابخانه ای، به بررسی و تحلیل منابع علمی، مقالات، کتاب ها و مستندات مرتبط با موضوع پرداخته شده است. در بخش میدانی نیز از پرسشنامه ها و مصاحبه ها برای جمع آوری داده های مورد نیاز استفاده شده است. چارچوب کلی تحقیق حاضر به شرح شکل ۱ است.





شکل ۱- چارچوب و روند اجرایی پژوهش



۳-۱- ساختار و مشخصات پرسشنامه

دو پرسشنامه طراحی شده در این پژوهش به ترتیب شامل ۷ و ۵۵ سؤال است که با استفاده از معیارهای به دست آمده در فصل دوم از قبیل عوامل مالی، مدیریتی، فناوریانه، محیطی و منابع انسانی مرتبط با به کارگیری BIM در مدیریت دارایی های ساختمانی به انتخاب معیارهای مناسب جهت تدوین الگو پیشنهادی کمک می کند. پرسشنامه اول در خصوص به دست آوردن مراحل اصلی الگو بوده که شامل ۷ سؤال خواهد بود. پس از مشخص شدن نتایج به سراغ پرسشنامه دوم که در خصوص معیارهای هر یک از مراحل پرسشنامه قبلی است خواهیم رفت.

هر سؤال دارای دو بخش است. در بخش اول، پاسخ دهنده باید با انتخاب یکی از دو گزینه «بله» یا «خیر» مشخص کند که آیا عامل مورد نظر در سازمان یا پروژه مورد بررسی وجود دارد یا خیر. در پرسشنامه دوم که شامل ۵۵ سؤال بود، در صورتی که پاسخ دهنده گزینه «بله» را انتخاب کند، باید میزان تأثیرگذاری عامل را با استفاده از طیف لیکرت (از خیلی کم تا خیلی زیاد) مشخص کند. این ساختار به محققان امکان می دهد تا نه تنها وجود یا عدم وجود عوامل را شناسایی کنند، بلکه میزان تأثیرگذاری آن ها را نیز اندازه گیری نمایند. همچنین در صورتی که خبرگان مصاحبه شونده موضوعی را جهت اضافه کردن به مراحل و معیارها در نظر داشته باشند، در این پرسشنامه ها قابلیت اضافه کردن برای آن ها در نظر گرفته شده است.

جامعه آماری این پرسشنامه شامل ۳۰ نفر از متخصصین حوزه ساختمان در قسمت های مختلف شامل مهندس عمران، سازه، نقشه برداری، مکانیک، برق و ... بوده که ۱۶ نفر از این تعداد زن و ۱۴ نفر بوده اند. از طرفی میزان تحصیلات این افراد در مقاطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری به ترتیب ۱۰، ۱۱ و ۹ نفر بوده اند. همچنین تمامی مصاحبه شوندگان در شهر تهران بوده و در پروژه های عمرانی مرتبط با سازمان مشغول به کار بوده اند.

هدف از این پرسشنامه ها، جمع آوری اطلاعات دقیق و جامع در مورد عوامل مختلف تأثیرگذار بر به کارگیری BIM در مدیریت دارایی های ساختمانی است. این اطلاعات به محققان کمک می کند تا الگوی پیشنهادی را با دقت بیشتر و بر اساس داده های واقعی تدوین و بهبود بخشند. با تحلیل دقیق داده های جمع آوری شده، می توان به بینش های ارزشمندی دست یافت که به بهبود فرآیندهای مدیریتی و فناوریانه کمک می کند.

۳-۱-۱- بررسی روایی پرسشنامه

روایی^۱ از واژه «روا» به معنی جایز و درست گرفته شده است. روایی به معنی صحیح و درست بودن است. بدون آگاهی از روایی یا اعتبار ابزار اندازه گیری، نمی توان به دقت داده های حاصل از آن اطمینان داشت. ابزار اندازه گیری ممکن است برای اندازه گیری یک خصیصه ویژه، دارای اعتبار باشد در حالی که برای سنجش همان خصیصه بر روی جامعه دیگر از هیچ اعتباری برخوردار نباشد. روش های متعددی برای آزمون روایی از قبیل روایی محتوا، روایی ملاکی و روایی سازه وجود دارد. روایی محتوایی به این مطلب اشاره دارد که نمونه سؤال های مورد استفاده در یک آزمون تا چه حد معرف کل سؤال های ممکن است که می توان از محتوا یا موضوع مورد نظر تهیه کرد. از روش تعیین روایی محتوایی یک آزمون که از قضاوت متخصصان در موضوع مورد مطالعه بهره می گیرد، برای مشخص شدن این موضوع استفاده می شود که سؤال های آزمون تا چه میزانی معرف محتوا و اهداف برنامه یا حوزه محتوایی هستند؛ بنابراین





پس از دریافت نظرات خبرگان بر اساس فرمول لاوشه^۱ در رابطه (۱)، روایی هر یک از سؤالات، با توجه به تعداد نظرات مثبت و نقطه برش ۰/۶ بررسی و در نهایت هر یک از آن‌ها تأیید یا حذف می‌شوند [۲۱].

$$CVR = \frac{N_e - \frac{N}{2}}{\frac{N}{2}} \geq 0.6 \quad (1)$$

CVR: ضریب روایی سؤال‌های پرسش‌نامه (این مقدار بیش‌تر از ۰/۶ آن مورد تأیید است).

Ne: تعداد افرادی که جواب مثبت به سؤال پرسش‌نامه داده‌اند.

N: تعداد کل پرسش‌نامه‌های دریافت شده.

برای اطمینان از روایی پرسشنامه، از شاخص نسبت روایی محتوا استفاده شده است. در این راستا، پرسشنامه به تعدادی از خبرگان و متخصصان در زمینه BIM و مدیریت دارایی‌های ساختمانی ارائه شد و از آن‌ها خواسته شد تا به هر سؤال امتیاز دهند. سپس با استفاده از فرمول CVR^2 (نسبت روایی محتوایی)، روایی هر سؤال محاسبه شد. سؤالاتی که دارای CVR کمتر از ۰/۶ بودند، حذف یا اصلاح شدند تا اطمینان حاصل شود که پرسشنامه دارای روایی مناسب است.

۲-۱-۲- بررسی پایایی پرسشنامه

پایایی^۲، به توانایی هر ابزار برای تولید نتایج سازگار گویند. به عبارتی پایایی به دقت و صراحت ابزار سنجش مربوط می‌شود. پایایی شرط لازم روایی است اما کافی نیست؛ یعنی ابزار سنجش نمی‌تواند دارای روایی باشد مگر اینکه پایا هم باشد. این نوع مفهوم در هر نوع اندازه‌گیری، یک امر اساسی است. اشخاصی که وسایل اندازه‌گیری را به کار می‌برند، باید شیوه‌هایی را برای تعیین این‌که وسایل اندازه‌گیری آن‌ها تا چه حد باثبات و پایا هستند، شناسایی کرده و سپس مورد استفاده قرار دهند؛ بنابراین پایایی به عنوان یک سنج، ثبات و هماهنگی منطقی پاسخ‌ها را در ابزار اندازه‌گیری نشان می‌دهد و به ارزیابی درستی و خوب بودن یک سنج کمک می‌کند. برای تعیین ضریب پایایی یک ابزار اندازه‌گیری، روش‌های مختلفی وجود دارد که می‌توان به پایایی باز آزمون، پایایی به شکل موازی، پایایی دونیمه کردن سؤال‌ها یا بندهای پرسشنامه، پایایی سازگاری منطقی درونی سنج‌ها و پایایی سازگاری منطقی بین سؤال‌ها، اشاره کرد. در این تحقیق با بهره‌گیری از ضریب آلفای کرونباخ (سازگاری منطقی درونی سنج‌ها)، پایایی یا میزان ثبات اطلاعات حاصل می‌گردد و به عبارت دیگر تصدیق نتایج صورت می‌گیرد. برای محاسبه ضریب آلفای کرونباخ بایستی واریانس نمره هر زیرمجموعه از سؤال‌های پرسشنامه و واریانس کل سؤالات را محاسبه نموده و با استفاده از رابطه (۲) ضریب آلفا را محاسبه کرد.

$$\alpha = \frac{n}{n-1} \left(1 - \frac{\sum s_i^2}{S^2} \right) \quad (2)$$

n: تعداد سؤال‌های آزمون (تعداد بخش‌هایی که آزمون به آن تقسیم شده است).

1. Lawshe

2. Content Validity Ratio

3. Reliability



s_1^2 : واریانس سؤال I (واریانس داده های موجود در یک ستون ماتریس داده ها).

s^2 : واریانس کل آزمون، به عبارت دیگر واریانس ستون مجموع در ماتریس داده ها.

هر چه عدد به دست آمده به ۱ نزدیک تر باشد، بیانگر همبستگی زیاد بین سؤالات و قابلیت اعتماد بیش تر پرسش نامه است. قابل ذکر است که آلفای کمتر از ۰/۵ غیر قابل قبول، بین ۰/۵ تا ۰/۵۹ ضعیف، بین ۰/۶ تا ۰/۶۹ متوسط، بین ۰/۷ تا ۰/۷۹ قابل قبول، بین ۰/۸ تا ۰/۸۹ خوب و بیش از ۰/۹ عالی تلقی می شود [۲۱].

برای بررسی پایایی پرسشنامه، از ضریب آلفای کرونباخ استفاده شده است. این ضریب نشان دهنده همسانی درونی سؤالات پرسشنامه است. پرسشنامه به یک نمونه اولیه از جامعه آماری ارائه شد و داده های جمع آوری شده با استفاده از نرم افزار SPSS تحلیل گردید.

۴- یافته ها و تجزیه و تحلیل داده ها

۴-۱- یافته های پرسشنامه اول

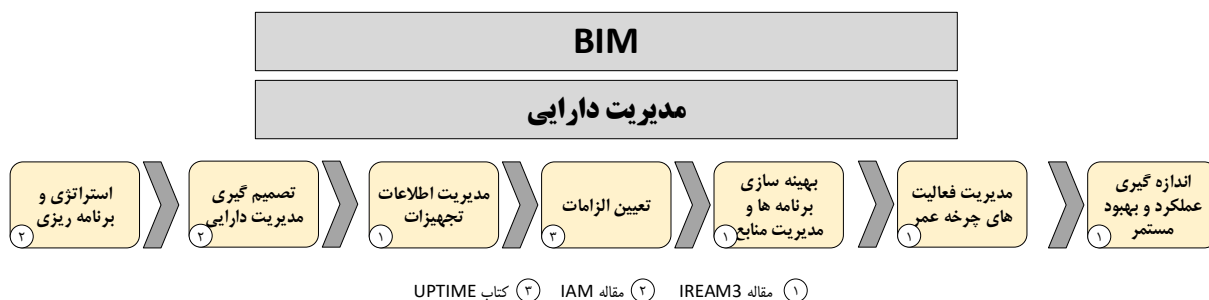
۴-۱-۱- روایی پرسشنامه نخست

در این بخش به سراغ بررسی روایی پرسشنامه مورد استفاده در این پژوهش خواهیم رفت. همان طور که در فصل سوم بیان شد برای بررسی روایی هر یک از سؤالات پرسشنامه اول از ضریب CVR استفاده خواهیم نمود. با توجه به داده های جمع آوری شده از ۳۰ خبره، نتایج حاصل از روایی سؤالات پرسشنامه اول در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- نتایج روایی سؤالات پرسشنامه اول

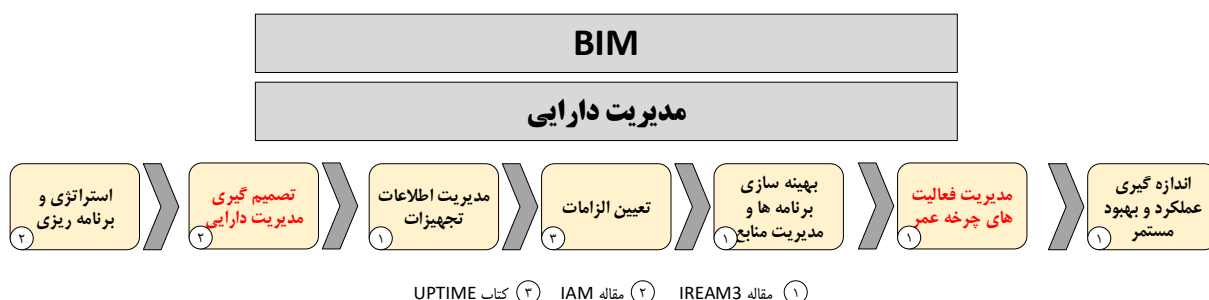
سؤال	تعداد جواب مثبت	تعداد جواب منفی	تعداد کل خبرگان	ضریب روایی سؤال
۱	۲۶	۴	۳۰	۰/۷۳
۲	۲۱	۹	۳۰	۰/۴
۳	۲۷	۳	۳۰	۰/۸
۴	۲۴	۶	۳۰	۰/۶
۵	۲۷	۳	۳۰	۰/۸
۶	۲۲	۸	۳۰	۰/۴۷
۷	۲۵	۵	۳۰	۰/۶۷

همان طور که از داده های جدول فوق پیداست روایی سؤالات ۲ و ۶ به علت کسب ضریب روایی کمتر از ۰/۶ ثابت نشد؛ بنابراین این دو مرحله در تدوین الگو نهایی لحاظ نخواهد شد و از الگو حذف می شود. خروجی پرسشنامه اول که در تعیین مراحل اصلی الگو نقش مهمی داشت در این بخش نشان داده شد (شکل ۲).



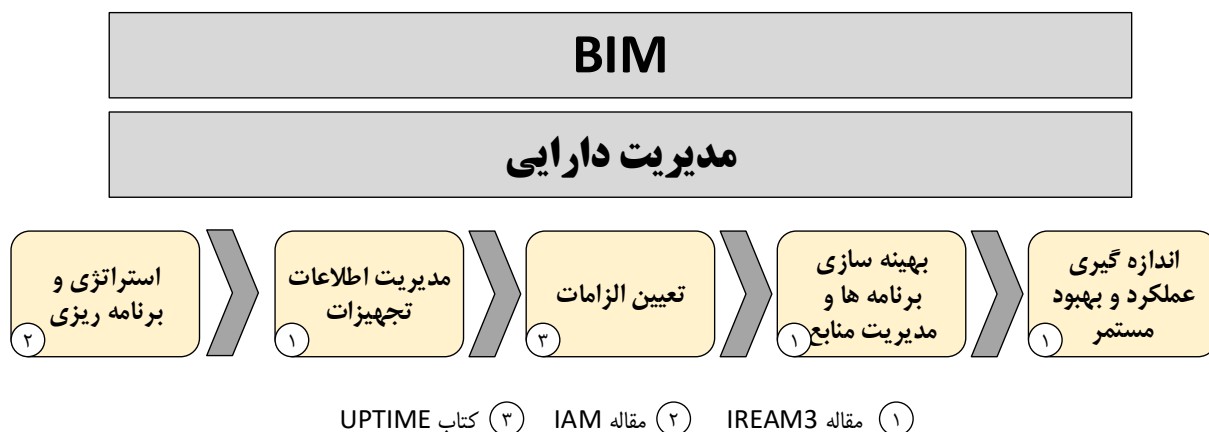
شکل ۲- مراحل پیشنهادی الگو

با توجه به نتایج پرسشنامه مواردی که در شکل زیر با رنگ قرمز نوشته شده اند، روایی آن ها اثبات نشده و می بایست از مراحل اصلی الگو حذف شوند (شکل ۳).



شکل ۳- مراحل حذفی الگو

پس از حذف مواردی که روایی آن ها اثبات نشد، مراحل اصلی الگو مطابق شکل ۴ به دست آمده است.



شکل ۴- مراحل نهایی الگو



۲-۱-۴- پایایی پرسشنامه نخست

در مرحله بعد پایایی مراحلی که روایی آن ها ثابت شد، مورد بررسی قرار می گیرد. طبق مباحث مطرح شده در فصل پیش برای محاسبه پایایی از روش آلفای کرونباخ بهره می جوئیم. طبق فرمول (۲) برای محاسبه آلفای کرونباخ می بایست از واریانس نمره های داده شده به هر سؤال و واریانس کل سؤالات استفاده نماییم. برای محاسبه واریانس به هر گزینه طیف لیکرت یک نمره کمی متناظر مطابق با جدول ۳ اختصاص دادیم.

جدول ۳- نمرات کمی متناظر با هر گزینه طیف لیکرت

طیف لیکرت	خیلی کم	کم	تا حدودی	زیاد	خیلی زیاد
نمره متناظر	۰/۲	۰/۴	۰/۶	۰/۸	۱

پس از نمره دهی خبرگان به هر سؤال که روایی آن در بخش قبل اثبات شد، پایایی پرسشنامه اول را محاسبه نمودیم که در پایان این پرسشنامه دارای ضریب آلفای کرونباخ ۰/۹۶۹ شد و نشان دهنده پایایی عالی آن می باشد.

۲-۴- یافته های پرسشنامه دوم

۱-۲-۴- روایی پرسشنامه دوم

در مرحله بعد معیارهای هر یک از مراحلی که روایی و پایایی آن در پرسشنامه اول تأیید و به عنوان مراحل اصلی الگوی پیشنهادی در نظر گرفته شد، در پرسشنامه بعدی لحاظ شده است که مطابق شکل زیر می باشد. در این بخش و بخش بعدی روایی و پایایی هر یک از این زیرمعیارها مورد بررسی قرار خواهد گرفت (شکل ۵).



BIM

مدیریت دارایی



۱ مقاله IREAM3 ۲ مقاله IAM ۳ کتاب UPTIME ۴ پرسشنامه

شکل ۵- زیر معیارهای مربوط به مراحل اصلی





مطابق با بخش ۱-۲-۴ پس از اجرای پرسشنامه مرحله دوم و بررسی نتایج آن برخی از معیارها که ضریب روایی آن ها کمتر از ۰٫۶ بود، حذف شدند (به علت عدم کسب نمره لازم در روایی) و همچنین برخی موارد از طریق نظر خبرگان به معیارها اضافه شدند؛ که همگی روایی لازم را کسب نموده و در پرسشنامه باقی ماندند. طبق جدول ۴ ضریب روایی هر یک از ۵۵ سؤال مطرح شده در پرسشنامه دوم محاسبه شده است.

جدول ۴- نتایج روایی سؤالات پرسشنامه دوم

سؤال	تعداد جواب مثبت	تعداد جواب منفی	تعداد کل خبرگان	ضریب روایی سؤال
۱	۲۷	۳	۳۰	۰٫۸
۲	۲۲	۸	۳۰	۰٫۴۷
۳	۲۸	۲	۳۰	۰٫۸۷
۴	۲۷	۳	۳۰	۰٫۸
۵	۲۹	۱	۳۰	۰٫۹۳
۶	۲۳	۷	۳۰	۰٫۵۳
۷	۲۱	۹	۳۰	۰٫۴
۸	۲۶	۴	۳۰	۰٫۷۳
۹	۲۶	۴	۳۰	۰٫۷۳
۱۰	۲۶	۴	۳۰	۰٫۷۳
۱۱	۲۶	۴	۳۰	۰٫۷۳
۱۲	۲۵	۵	۳۰	۰٫۶۷
۱۳	۲۷	۳	۳۰	۰٫۸
۱۴	۲۸	۲	۳۰	۰٫۸۷
۱۵	۲۷	۳	۳۰	۰٫۸
۱۶	۲۹	۱	۳۰	۰٫۹۳
۱۷	۲۱	۹	۳۰	۰٫۴
۱۸	۲۴	۶	۳۰	۰٫۶
۱۹	۲۶	۴	۳۰	۰٫۷۳
۲۰	۲۶	۴	۳۰	۰٫۷۳
۲۱	۲۷	۳	۳۰	۰٫۸
۲۲	۲۷	۳	۳۰	۰٫۸
۲۳	۲۹	۱	۳۰	۰٫۹۳
۲۴	۲۸	۲	۳۰	۰٫۸۷
۲۵	۲۷	۳	۳۰	۰٫۸
۲۶	۲۸	۲	۳۰	۰٫۸۷
۲۷	۲۵	۵	۳۰	۰٫۶۷



۰٫۷۳	۳۰	۴	۲۶	۲۸
۰٫۷۳	۳۰	۴	۲۶	۲۹
۰٫۶۷	۳۰	۵	۲۵	۳۰
۰٫۶۷	۳۰	۵	۲۵	۳۱
۰٫۹۳	۳۰	۱	۲۹	۳۲
۰٫۸	۳۰	۳	۲۷	۳۳
۰٫۸۷	۳۰	۲	۲۸	۳۴
۰٫۸۷	۳۰	۲	۲۸	۳۵
۰٫۸	۳۰	۳	۲۷	۳۶
۰٫۲۷	۳۰	۱۱	۱۹	۳۷
۰٫۸	۳۰	۳	۲۷	۳۸
۰٫۳۳	۳۰	۱۰	۲۰	۳۹
۰٫۴۷	۳۰	۸	۲۲	۴۰
۰٫۷۳	۳۰	۴	۲۶	۴۱
۰٫۶۷	۳۰	۵	۲۵	۴۲
۰٫۶	۳۰	۶	۲۴	۴۳
۰٫۷۳	۳۰	۴	۲۶	۴۴
۰٫۶۷	۳۰	۵	۲۵	۴۵
۰٫۸	۳۰	۳	۲۷	۴۶
۰٫۸	۳۰	۳	۲۷	۴۷
۰٫۲	۳۰	۱۲	۱۸	۴۸
۰٫۵۳	۳۰	۷	۲۳	۴۹
۰٫۸۷	۳۰	۲	۲۸	۵۰
۰٫۹۳	۳۰	۱	۲۹	۵۱
۰٫۷۳	۳۰	۴	۲۶	۵۲
۰٫۷۳	۳۰	۴	۲۶	۵۳
۰٫۷۳	۳۰	۴	۲۶	۵۴
۰٫۶۷	۳۰	۵	۲۵	۵۵

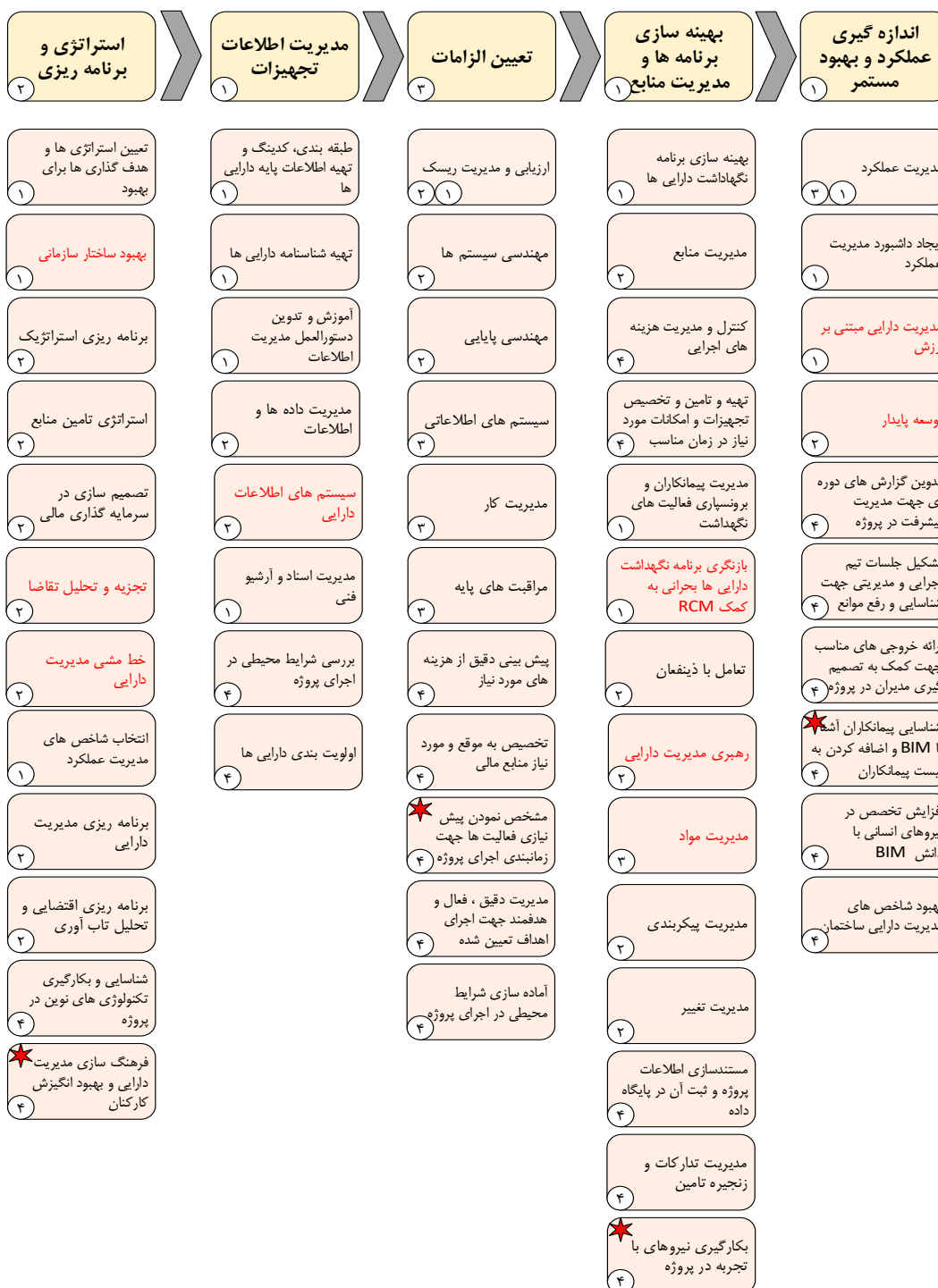
طبق جدول فوق سؤالات ۲، ۶، ۷، ۱۷، ۳۷، ۳۹، ۴۰، ۴۸ و ۴۹ به دلیل کسب ضریب روایی کمتر از ۰٫۶ از الگو حذف و سؤالات ۱۲، ۲۹، ۴۵ و ۵۳ طبق نظر برخی از خبرگان به پرسشنامه اضافه شدند؛ که هر چهار سؤال ضریب روایی قابل قبولی کسب نموده و به الگوی نهایی راه یافتند. موارد مشروح در پاراگراف قبل در شکل زیر آورده شده است که موارد حذف شده با رنگ قرمز و موارد اضافه شده با ستاره قرمز رنگ قابل مشاهده هستند (شکل ۶).





BIM

مدیریت دارایی



۱ مقاله IREAM3 ۲ مقاله IAM ۳ کتاب UPTIME ۴ پرسشنامه

شکل ۶- زیرمعیارهای حذفی و اضافه شده مربوط به هر مرحله



۴-۲-۲- پایایی پرسشنامه دوم

در این بخش به سراغ بررسی پایایی پرسشنامه دوم خواهیم رفت. پایایی را با استفاده از نمرات متناظر داده شده به هر سؤال که در جدول آورده شده است و هم چنین با استفاده از فرمول آلفای کرونباخ محاسبه نمودیم که این ضریب در مورد پرسشنامه دوم عدد ۰/۷۰۴ را به خود اختصاص داد و حاکی از پایایی قابل قبول این پرسشنامه می باشد. نکته قابل توجه این است که معیارهای موجود در پرسشنامه دوم با توجه به میانگین نمرات اخذ شده هر یک، به دو دسته فعالیت های پایه و فعالیت های بستر ساز در نظر گرفته شده اند. در صورتی که ضریب روایی و میانگین نمرات داده شده به هر سؤال بیشتر از ۰/۸ باشد، آن فعالیت پایه ای و در صورتی که ضریب روایی آن بین ۰/۶ تا ۰/۷۹ و میانگین نمرات آن کمتر از ۰/۸ باشد، آن فعالیت بستر ساز در نظر گرفته شده است.

۴-۳- الگوی نهایی شده به کارگیری BIM در مدیریت دارایی ساختمان

با توجه به تحقیق انجام شده جهت رسیدن به پاسخ سؤال مطرح شده الگوی نهایی جهت به کارگیری BIM در مدیریت دارایی ساختمان مطابق شکل (۷) است. با توجه به مدل ارائه شده که جهت به کارگیری BIM در مدیریت دارایی ساختمان می باشد، این مدل شامل ۵ مرحله اصلی به نام های استراتژی و برنامه ریزی، مدیریت اطلاعات تجهیزات، تعیین الزامات، بهینه سازی برنامه ها و مدیریت منابع و اندازه گیری و بهبود عملکرد می باشد. از طرفی مؤلفه های هر مرحله جهت اجرای هر چه بهتر این الگو در دو دسته فعالیت های پایه و بستر ساز در شکل قابل ملاحظه است:

مرحله اول: استراتژی و برنامه ریزی

این مرحله به تدوین استراتژی های کلان برای به کارگیری BIM در مدیریت دارایی های ساختمانی اختصاص دارد. هدف این است که سازمان ها بتوانند با استفاده از فناوری های BIM، فرآیندهای مدیریت دارایی را بهینه سازی کنند و در راستای بهبود بهره وری، کاهش هزینه ها و افزایش طول عمر دارایی های ساختمانی گام بردارند. در این مرحله، باید اهداف بلندمدت و استراتژی های اجرایی در راستای به کارگیری BIM برای تمامی مراحل چرخه حیات ساختمان تدوین و پیاده سازی شوند.

• تعیین استراتژی ها و هدف گذاری ها برای بهبود

در این فعالیت، اهداف کلی و استراتژی های بلندمدت برای به کارگیری BIM در فرآیندهای مدیریت دارایی های ساختمانی تعریف می شود. این اهداف باید شامل ارتقاء کارایی، کاهش هزینه های نگهداشت و بهبود دسترسی به اطلاعات در طول عمر ساختمان باشد. همچنین، این استراتژی ها باید تطابق کاملی با اهداف کلان سازمان در زمینه توسعه پایدار و بهینه سازی منابع داشته باشند.

• برنامه ریزی استراتژیک

این فعالیت به تدوین یک برنامه راهبردی و زمان بندی شده برای به کارگیری فناوری BIM در مدیریت دارایی های ساختمانی اختصاص دارد. برنامه ریزی باید شامل تمام گام ها و اقدامات اجرایی برای پیاده سازی BIM در تمامی جنبه های پروژه های ساختمانی از جمله طراحی، ساخت، نگهداشت و تعمیرات باشد. همچنین، باید مشخص شود که چگونه فناوری BIM می تواند به بهینه سازی فرآیندهای مدیریتی در این حوزه کمک کند.





• استراتژی تأمین منابع

برای پیاده سازی موفق BIM، تأمین منابع مالی، انسانی و فنی بسیار مهم است. در این فعالیت، استراتژی هایی برای تخصیص منابع مورد نیاز برای اجرای پروژه های BIM در مدیریت دارایی های ساختمانی تعریف می شود. این منابع شامل نرم افزارها، سخت افزارها و نیروی انسانی متخصص است که باید به طور مؤثر در اختیار پروژه ها قرار گیرد تا فرآیندهای مدیریت دارایی با استفاده از BIM بهبود یابد.

• تصمیم سازی در سرمایه گذاری مالی

انتخاب پروژه های مناسب برای سرمایه گذاری در زمینه BIM و تحلیل هزینه-فایده برای به کارگیری این فناوری در مدیریت دارایی ها یکی از فعالیت های اساسی در این مرحله است. تصمیم گیری درست در مورد سرمایه گذاری در ابزارهای BIM و ایجاد زیرساخت های لازم می تواند تأثیرات مثبتی بر کاهش هزینه های عملیاتی و نگهداری ساختمان ها در طول زمان داشته باشد.

• انتخاب شاخص های مدیریت عملکرد

در این بخش، معیارهایی برای ارزیابی و اندازه گیری عملکرد پروژه های مبتنی بر BIM در مدیریت دارایی ها انتخاب می شود. این شاخص ها باید به طور دقیق کارایی و اثربخشی استفاده از BIM در مدیریت دارایی های ساختمانی را نشان دهند. برای مثال، می توان از شاخص هایی مانند کاهش زمان تعمیرات، کاهش هزینه های نگهداشت و افزایش دقت در پیش بینی عمر مفید دارایی ها استفاده کرد.

• برنامه ریزی مدیریت دارایی

این فعالیت به طراحی و اجرای برنامه هایی برای مدیریت بهینه دارایی های ساختمانی در طول چرخه حیات آن ها با استفاده از BIM اختصاص دارد. مدیریت دارایی ها در این مرحله شامل نظارت، نگهداری، تعمیرات و ارتقاء دارایی ها به طور پیوسته است تا ارزش دارایی ها حفظ شود.

• برنامه ریزی اقتضایی و تحلیل تاب آوری

تحلیل و ارزیابی شرایط بحران و توانمندی سیستم های مدیریت دارایی های ساختمانی در مواجهه با شرایط اضطراری یا تغییرات محیطی، از جمله فعالیت های این بخش است. با استفاده از ابزارهای BIM، می توان تاب آوری سیستم ها را در برابر تغییرات پیش بینی شده افزایش داد و فرآیندهای واکنش به بحران را بهینه کرد.

• شناسایی و به کارگیری فناوری های نوین در پروژه

این فعالیت به شناسایی و استفاده از فناوری های جدید و نوآورانه در پروژه های ساختمانی برای بهبود مدیریت دارایی ها با استفاده از BIM می پردازد. این فناوری ها می توانند شامل نرم افزارهای پیشرفته، حس گرها و ابزارهای هوشمند باشند که کمک می کنند تا داده های مرتبط با دارایی ها به طور دقیق تر جمع آوری و تجزیه و تحلیل شوند.

• فرهنگ سازی مدیریت دارایی و بهبود انگیزش کارکنان

فرهنگ سازی صحیح در رابطه با اهمیت مدیریت دارایی ها و استفاده از BIM در پروژه های ساختمانی برای ارتقاء انگیزش کارکنان و بهبود همکاری میان گروه های مختلف ضروری است. این فعالیت شامل برگزاری کارگاه های آموزشی، جلسات مشاوره و فراهم کردن منابع لازم برای ارتقاء مهارت های کارکنان در استفاده از BIM است.



BIM

مدیریت دارایی



۱ مقاله IREAM3 ۲ مدل IAM ۳ کتاب UPTIME ۴ پرسشنامه

فعالیت های بستر ساز

فعالیت های پایه

شکل ۷- الگوی به روز شده پس از حذف و اضافه نمودن سؤالات



مرحله دوم: مدیریت اطلاعات تجهیزات

این مرحله به جمع آوری، ذخیره سازی و مدیریت داده ها و اطلاعات مربوط به تجهیزات و دارایی ها اختصاص دارد. استفاده از BIM در این مرحله به سازمان ها کمک می کند تا اطلاعات دقیق و به روز را در دسترس قرار دهند و از آن برای تصمیم گیری های مؤثر در زمینه نگهداری، تعمیرات و بهینه سازی استفاده کنند. این اطلاعات باید در یک پایگاه داده یکپارچه ذخیره شوند تا به راحتی قابل دسترسی و تجزیه و تحلیل باشند.

• طبقه بندی، کدینگ و تهیه اطلاعات پایه دارایی ها

این فعالیت شامل طبقه بندی و کدگذاری دقیق دارایی ها و تجهیزات ساختمانی است که در مدل BIM قرار می گیرند. این اطلاعات پایه شامل مشخصات فنی، نوع دارایی، وضعیت نگهداری و دیگر ویژگی های مرتبط با هر تجهیز می شود. کدگذاری صحیح این اطلاعات باعث سهولت در جست و جو و دسترسی به داده ها در مراحل بعدی می شود.

• تهیه شناسنامه دارایی ها

برای هر دارایی، شناسنامه ای حاوی اطلاعات کامل و به روز تهیه می شود که شامل تاریخچه خرید، وضعیت فعلی، نیازهای نگهداری، عمر مفید و سایر اطلاعات مرتبط با آن است. این شناسنامه ها می توانند در مدل BIM ذخیره شده و به طور مداوم به روزرسانی شوند تا تمامی اطلاعات در دسترس و قابل تجزیه و تحلیل باشد.

• آموزش و تدوین دستورالعمل مدیریت اطلاعات

برای اطمینان از به کارگیری مؤثر BIM در مدیریت اطلاعات دارایی ها، تدوین دستورالعمل های دقیق و استاندارد برای جمع آوری، ذخیره سازی و به روزرسانی اطلاعات ضروری است. علاوه بر این، کارکنان باید آموزش های لازم را برای استفاده از این دستورالعمل ها و ابزارهای BIM دریافت کنند.

• مدیریت داده ها و اطلاعات

در این بخش، مدیریت مؤثر داده ها و اطلاعات جمع آوری شده در مدل BIM مورد توجه است. این فعالیت شامل تعیین فرآیندهای مربوط به ذخیره سازی، به روزرسانی، بازیابی و تجزیه و تحلیل داده ها است تا اطمینان حاصل شود که اطلاعات در هر زمان دقیق و در دسترس هستند.

• مدیریت اسناد و آرشیو فنی

اسناد فنی مربوط به دارایی ها و تجهیزات باید به طور منظم و ساختارمند در سیستم های BIM ذخیره شوند. این اسناد شامل نقشه ها، راهنماها، گزارش ها و دیگر مدارک فنی هستند که برای نگهداری و تعمیرات آینده ساختمان ها مفید خواهند بود. مدیریت صحیح این اسناد باعث تسهیل فرآیندهای تعمیرات و به روزرسانی در آینده می شود.

• بررسی شرایط محیطی در اجرای پروژه

این فعالیت شامل شناسایی و ارزیابی شرایط محیطی است که می تواند بر نحوه نگهداری و بهره برداری از تجهیزات و دارایی ها تأثیر بگذارد. استفاده از مدل BIM برای شبیه سازی این شرایط می تواند به تصمیم گیری های بهتری در راستای انتخاب مصالح و تجهیزات کمک کند.



• اولویت‌بندی دارایی‌ها

در این بخش، دارایی‌ها بر اساس اهمیت و نیاز به نگهداری و تعمیرات اولویت‌بندی می‌شوند. این اولویت‌بندی بر اساس داده‌های BIM و وضعیت فعلی دارایی‌ها انجام می‌شود و به گروه‌های مدیریتی کمک می‌کند تا منابع را به طور بهینه تخصیص دهند و از هزینه‌های اضافی جلوگیری کنند.

• مرحله سوم: تعیین الزامات

این مرحله به شناسایی و تعیین الزامات فنی، مالی و عملیاتی برای به‌کارگیری BIM در پروژه‌های مدیریت دارایی‌های ساختمانی اختصاص دارد. هدف این مرحله این است که همه پیش‌نیازها و شرایط لازم برای اجرای موفقیت‌آمیز پروژه‌ها مشخص شود و از این طریق ریسک‌ها کاهش یافته و فرآیندها بهینه شود. این الزامات باید به طور دقیق شناسایی و مستند شوند تا همه ذینفعان پروژه از آن آگاه باشند.

• ارزیابی و مدیریت ریسک

در این فعالیت، ریسک‌های مرتبط با اجرای BIM در مدیریت دارایی‌های ساختمانی شناسایی و ارزیابی می‌شوند. این ریسک‌ها ممکن است شامل مشکلات فناوریانه، تغییرات در نیازهای بازار، یا مشکلات منابع انسانی باشند. سپس، برنامه‌های مدیریت ریسک برای کاهش این تهدیدها تدوین می‌شود.

• مهندسی سیستم‌ها

این فعالیت شامل تحلیل و طراحی سیستم‌های مختلف مرتبط با به‌کارگیری BIM در مدیریت دارایی‌ها است. هدف این است که سیستم‌ها به طور یکپارچه با مدل BIM کار کنند و اطلاعات به طور مؤثر بین بخش‌های مختلف پروژه جابجا شوند. این مهندسی سیستم‌ها باید به گونه‌ای باشد که نیازهای فعلی و آینده پروژه را برآورده کند.

• مهندسی پایایی

مهندسی پایایی در این مرحله به تحلیل و ارزیابی عمر مفید و پایداری تجهیزات و دارایی‌های ساختمانی در طول زمان اختصاص دارد. استفاده از BIM برای پیش‌بینی نیازهای نگهداری و تعمیرات در طول عمر دارایی‌ها به کاهش هزینه‌ها و بهبود عملکرد کمک می‌کند.

• سیستم‌های اطلاعاتی

این فعالیت شامل طراحی و پیاده‌سازی سیستم‌های اطلاعاتی است که از طریق آن‌ها می‌توان داده‌ها و اطلاعات مدل BIM را مدیریت و پردازش کرد. این سیستم‌ها باید امکان ذخیره‌سازی، بازیابی و تجزیه و تحلیل داده‌ها را فراهم کنند و به طور یکپارچه با دیگر سیستم‌های مدیریت دارایی در سازمان هماهنگ شوند.

• مدیریت کار

در این بخش، فعالیت‌های مربوط به مدیریت و نظارت بر کارهای انجام‌شده در پروژه‌های BIM شناسایی و برنامه‌ریزی می‌شود. این فعالیت‌ها می‌توانند شامل برنامه‌ریزی نیروی کار، تخصیص وظایف و پیگیری پیشرفت پروژه‌ها باشند تا اطمینان حاصل شود که تمامی فرآیندها به درستی انجام می‌شوند.



• مراقبت های پایه

این فعالیت به مراقبت ها و اقدامات پیشگیرانه برای حفظ سلامت و عملکرد دارایی های ساختمانی در بلندمدت می پردازد. از آنجا که مدل BIM اطلاعات دقیق و به روز از دارایی ها فراهم می آورد، مراقبت های پایه می توانند بر اساس این داده ها به طور مؤثرتر انجام شوند.

• پیش بینی دقیق از هزینه های مورد نیاز

این فعالیت به پیش بینی هزینه های دقیق مورد نیاز برای نگهداری، تعمیرات و به روزرسانی دارایی ها می پردازد. استفاده از مدل BIM در اینجا می تواند به شبیه سازی هزینه ها و تخمین دقیق تر آن ها کمک کند و از هدر رفت منابع جلوگیری کند.

• تخصیص به موقع و مورد نیاز منابع مالی

تخصیص منابع مالی به طور به موقع و به اندازه یکی از الزامات اساسی برای اجرای موفقیت آمیز پروژه های مبتنی بر BIM است. در این فعالیت، منابع مالی باید بر اساس اولویت ها و نیازهای پروژه تخصیص یابد تا فرآیندهای نگهداری و بهینه سازی دارایی ها به طور مؤثر انجام شوند.

• مشخص نمودن پیش نیازی فعالیت ها جهت زمان بندی اجرای پروژه

این فعالیت شامل شناسایی و تعریف پیش نیازهای هر فعالیت در پروژه است که باید قبل از شروع فعالیت های دیگر انجام شود. این پیش نیازها به گروه اجرایی کمک می کند تا زمان بندی پروژه دقیق تر و کارآمدتر باشد و هیچ یک از فرآیندها به تأخیر نیفتد.

• مدیریت دقیق، فعال و هدفمند جهت اجرای اهداف تعیین شده

در این فعالیت، برنامه ریزی دقیق برای اجرای اهداف تعیین شده در تمامی مراحل پروژه انجام می شود. مدیریت فعال و هدفمند باعث می شود که تمامی فعالیت ها در راستای اهداف BIM پیش بروند و هیچ گونه انحرافی از مسیر اصلی ایجاد نشود.

• آماده سازی شرایط محیطی در اجرای پروژه

این مرحله به تحلیل و آماده سازی شرایط محیطی برای اجرای پروژه های مدیریت دارایی های ساختمانی با استفاده از BIM اختصاص دارد. این شرایط محیطی شامل عواملی مانند وضعیت ساخت و ساز، منابع طبیعی و همچنین محدودیت های جغرافیایی و فنی پروژه هستند که باید قبل از شروع به کار در نظر گرفته شوند.

مرحله چهارم: بهینه سازی برنامه ها و مدیریت منابع

این مرحله به بهینه سازی استفاده از منابع در مدیریت دارایی های ساختمانی و برنامه ریزی برای نگهداری و بهینه سازی طول عمر دارایی ها اختصاص دارد. هدف از این مرحله، بهبود استفاده از منابع، کاهش هزینه ها و افزایش کارایی در فرآیندهای نگهداری و تعمیرات است. در اینجا از داده های موجود در مدل BIM برای پیش بینی نیازها و تصمیم گیری های بهینه استفاده می شود.

• بهینه سازی برنامه نگهداشت دارایی ها

این فعالیت شامل بهینه سازی برنامه های نگهداری و تعمیرات دارایی ها است که از طریق مدل BIM انجام می شود. با تجزیه و تحلیل داده های مدل، می توان بهترین زمان ها و روش های نگهداری را پیش بینی کرد تا از آسیب های غیرمنتظره جلوگیری و عمر مفید دارایی ها افزایش یابد.



• مدیریت منابع

در این بخش، منابع مورد نیاز برای اجرای پروژه‌ها و نگهداری دارایی‌ها به طور مؤثر و بهینه مدیریت می‌شوند. این منابع شامل نیروی انسانی، تجهیزات، مواد اولیه و دیگر منابع لازم برای پروژه‌ها هستند. استفاده از BIM برای شبیه‌سازی نیازها و تخصیص منابع به طور بهینه می‌تواند به کاهش هزینه‌ها و زمان‌های اضافی کمک کند.

• کنترل و مدیریت هزینه‌های اجرایی

این فعالیت به کنترل و نظارت بر هزینه‌های اجرایی پروژه‌ها و فرآیندهای نگهداری دارایی‌ها می‌پردازد. در این مرحله، مدل BIM می‌تواند به شبیه‌سازی و پیش‌بینی هزینه‌ها کمک کند تا از هزینه‌های غیرضروری جلوگیری شود و منابع به طور مؤثرتر تخصیص یابند.

• تهیه و تأمین و تخصیص تجهیزات و امکانات مورد نیاز در زمان مناسب

این فعالیت شامل برنامه‌ریزی و تخصیص تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای نگهداری و تعمیرات به طور به موقع است. با استفاده از مدل BIM، می‌توان به طور دقیق پیش‌بینی کرد که چه تجهیزاتی در چه زمانی نیاز هستند و از تأخیر در تأمین آن‌ها جلوگیری کرد.

• مدیریت پیمانکاران و برون‌سپاری فعالیت‌های نگهداشت

در این بخش، پیمانکاران و شرکت‌های برون‌سپاری برای انجام فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات انتخاب و مدیریت می‌شوند. استفاده از BIM می‌تواند به مدیریت قراردادهای و نظارت بر کیفیت کار پیمانکاران کمک کند تا از انجام به موقع و با کیفیت فعالیت‌ها اطمینان حاصل شود.

• تعامل با ذینفعان

تعامل مداوم با ذینفعان مختلف، از جمله گروه‌های اجرایی، پیمانکاران، سرمایه‌گذاران و مالکان، برای هماهنگی در زمینه‌های مختلف پروژه انجام می‌شود. این ارتباطات باید بر اساس داده‌های مدل BIM هدایت شوند تا تصمیمات درست و به موقع اتخاذ شوند.

• مدیریت پیکربندی

این بخش شامل مدیریت تغییرات در ساختار و پیکربندی دارایی‌ها و تجهیزات است. در پروژه‌های مبتنی بر BIM، هرگونه تغییر در دارایی‌ها باید در مدل به روزرسانی شود تا اطلاعات دقیق و به روز در اختیار تصمیم‌گیرندگان قرار گیرد.

• مدیریت تغییر

این فعالیت شامل مدیریت تغییرات در برنامه‌ها، هزینه‌ها، منابع و دیگر جنبه‌های پروژه است. با استفاده از مدل BIM، تغییرات می‌توانند به طور خودکار شبیه‌سازی و ارزیابی شوند تا تأثیرات آن‌ها بر دیگر بخش‌های پروژه به درستی پیش‌بینی شود.

• مستندسازی اطلاعات پروژه و ثبت آن در پایگاه داده

در این مرحله، تمامی اطلاعات مربوط به پروژه، از جمله جزئیات فنی، تغییرات، پیشرفت‌ها و مشکلات مختلف، در پایگاه داده‌های BIM مستند می‌شوند. این اطلاعات در آینده برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و ارزیابی عملکرد استفاده خواهند شد.





• مدیریت تدارکات و زنجیره تأمین

این فعالیت به مدیریت فرایندهای تأمین و توزیع مواد و تجهیزات مورد نیاز برای نگهداری دارایی ها اختصاص دارد. BIM می تواند در برنامه ریزی بهینه فرایندهای تدارکاتی و نظارت بر زنجیره تأمین کمک کند و از هدر رفت منابع جلوگیری کند.

• به کارگیری نیروهای باتجربه در پروژه

در این بخش، نیروهای باتجربه و متخصص در زمینه BIM به منظور اجرای مؤثرتر پروژه ها و تضمین کیفیت کار انتخاب می شوند. این نیروها باید آشنایی کامل با مدل های BIM و نحوه به کارگیری آن در مدیریت دارایی ها داشته باشند تا فرایندها به درستی و با کیفیت بالا اجرا شوند.

مرحله پنجم: اندازه گیری عملکرد و بهبود مستمر

این مرحله به ارزیابی مستمر عملکرد پروژه ها و فرایندهای مدیریت دارایی های ساختمانی اختصاص دارد. در این مرحله، از داده های به دست آمده از مدل BIM برای سنجش پیشرفت پروژه ها، ارزیابی عملکرد و شناسایی نقاط قوت و ضعف استفاده می شود. هدف این است که با استفاده از اطلاعات به دست آمده، فرایندهای مدیریت دارایی بهبود یافته و کارایی سیستم به حداکثر برسد.

• مدیریت عملکرد

این فعالیت شامل نظارت و ارزیابی عملکرد کلیه فعالیت های پروژه و فرایندهای مدیریت دارایی ها است. با استفاده از مدل BIM، می توان به راحتی پیشرفت ها، مشکلات و نقاط قوت را شناسایی کرده و عملکرد کلی پروژه را ارزیابی نمود. این ارزیابی می تواند به مدیران کمک کند تا تصمیمات بهتری بگیرند و فرایندها را بهبود بخشند.

• ایجاد داشبورد مدیریت عملکرد

در این بخش، داشبوردهای مدیریتی برای نمایش شاخص های کلیدی عملکرد (KPI) پروژه ایجاد می شود. این داشبوردها به مدیران و ذینفعان پروژه کمک می کنند تا در هر زمان وضعیت پروژه را بررسی کنند و از وضعیت عملکرد در بخش های مختلف آگاه شوند. این داشبوردها می توانند به صورت زنده و با استفاده از داده های به روز مدل BIM ساخته شوند.

• تدوین گزارش های دوره ای جهت مدیریت پیشرفت در پروژه

این فعالیت شامل ایجاد گزارش های دوره ای برای ارزیابی پیشرفت پروژه و شناسایی انحرافات از برنامه است. این گزارش ها باید شامل تجزیه و تحلیل داده های BIM و سایر اطلاعات مرتبط با پروژه باشند تا به طور دقیق وضعیت پروژه را نشان دهند و مشکلات به موقع شناسایی و رفع شوند.

• تشکیل جلسات گروه اجرایی و مدیریتی جهت شناسایی و رفع موانع

در این بخش، جلسات منظم با گروه های اجرایی و مدیریتی برای شناسایی مشکلات و موانع موجود در پروژه برگزار می شود. این جلسات به منظور بهبود فرایندها، یافتن راه حل های مناسب برای مشکلات و رفع موانع طراحی می شوند تا پروژه ها به طور مؤثرتر اجرا شوند.





• ارائه خروجی‌های مناسب جهت کمک به تصمیم‌گیری مدیران در پروژه

در این بخش، اطلاعات و تحلیل‌های موجود در مدل BIM به صورت خروجی‌های کاربردی و قابل فهم برای مدیران ارائه می‌شود تا آن‌ها بتوانند بر اساس این داده‌ها تصمیم‌گیری‌های مؤثری انجام دهند. این خروجی‌ها می‌توانند شامل گزارش‌های مالی، پیش‌بینی هزینه‌ها و تجزیه و تحلیل عملکرد باشند.

• شناسایی پیمانکاران آشنا با BIM و اضافه کردن آن‌ها به لیست پیمانکاران

در این فعالیت، پیمانکاران و مشاورانی که آشنایی کافی با مدل BIM دارند، شناسایی و به لیست پیمانکاران پروژه اضافه می‌شوند. استفاده از پیمانکاران باتجربه در BIM می‌تواند به اجرای بهتر پروژه و استفاده بهینه از فناوری کمک کند.

• افزایش تخصص در نیروهای انسانی با دانش BIM

این بخش به افزایش سطح دانش و تخصص نیروهای انسانی در زمینه BIM اختصاص دارد. این فعالیت شامل برگزاری دوره‌های آموزشی و کارگاه‌های تخصصی برای کارکنان است تا آن‌ها بتوانند به طور مؤثر از مدل‌های BIM در فرآیندهای مدیریت دارایی‌ها استفاده کنند.

• بهبود شاخص‌های مدیریت دارایی ساختمان

این فعالیت به بهبود شاخص‌های مدیریت دارایی‌های ساختمانی از طریق تحلیل داده‌های BIM اختصاص دارد. این شاخص‌ها ممکن است شامل هزینه‌های نگهداری، عمر مفید دارایی‌ها و نیازهای تعمیرات و به‌روزرسانی باشند. بهبود این شاخص‌ها به وسیله BIM می‌تواند موجب کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری شود.

در تحلیل این مدل می‌توان گفت یکی از ویژگی‌های کلیدی مدل BIM در مدیریت دارایی، وجود ارتباطات متقابل بین مراحل مختلف این مدل است. این ارتباطات به شکل زنجیره‌ای از وابستگی‌ها و بازخوردها عمل می‌کنند و موجب تقویت عملکرد کلی سیستم می‌شوند.

• وابستگی داده‌ها

اطلاعات تولیدشده در مرحله دوم (مدیریت اطلاعات تجهیزات) به عنوان ورودی اصلی برای تحلیل الزامات در مرحله سوم و برنامه‌ریزی بهینه‌سازی در مرحله چهارم عمل می‌کند. این وابستگی نشان می‌دهد که کیفیت و دقت داده‌ها در مراحل اولیه، موفقیت مراحل بعدی را تضمین می‌کند.

• بازخورد عملکرد

خروجی‌های حاصل از ارزیابی عملکرد در مرحله پنجم، اطلاعات ارزشمندی را برای بازبینی و اصلاح استراتژی‌ها در مرحله اول و بهبود فرآیندهای جاری در مراحل دوم تا چهارم فراهم می‌کند. این بازخوردها سیستم را به صورت مداوم بهبود می‌بخشند.

• هماهنگی تصمیم‌ها

تصمیمات اتخاذشده در یک مرحله، مستقیماً بر نتایج مراحل دیگر تأثیرگذار است. برای مثال، برنامه‌ریزی نگهداشت دارایی‌ها در مرحله چهارم به تحلیل الزامات در مرحله سوم و اطلاعات تجهیزات در مرحله دوم وابسته است.



• افزایش هم افزایی

تعاملات میان مراحل مختلف باعث ایجاد هم افزایی و بهبود کارایی کلی سیستم می شود. این تعاملات از طریق مدل BIM به صورت دقیق و شفاف مدیریت می شوند.

۵- نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری کلی تحقیق

تحلیل مدل BIM نشان داد که این فناوری، یک چارچوب یکپارچه و کارآمد برای مدیریت دارایی ساختمان ها فراهم می کند. مدل پیشنهادی در این تحقیق شامل پنج مرحله کلیدی بود که هر کدام با معیارهای مشخص و فرآیندهای تعریف شده به بهبود مدیریت دارایی ها کمک می کنند. جمع بندی نتایج به شرح زیر است:

- یکپارچگی داده ها

مدل BIM با ارائه یک پلتفرم یکپارچه برای ذخیره سازی، مدیریت و تحلیل داده های مرتبط با دارایی ها، امکان بهبود تصمیم گیری ها و کاهش خطاها را فراهم می کند. ارتباط بین مراحل مختلف مدل نشان داد که جریان اطلاعات دقیق و به موقع، کلید موفقیت این سیستم است. این یکپارچگی باعث می شود که داده های جمع آوری شده از تجهیزات و فرآیندهای مدیریتی به صورت مداوم به روزرسانی شوند و در تمامی مراحل چرخه عمر دارایی مورد استفاده قرار گیرند. این فرآیند نه تنها به کاهش هزینه ها و زمان، بلکه به کاهش ریسک تصمیم گیری های نادرست کمک می کند. در نتیجه، شفافیت داده ها و یکپارچگی اطلاعات یکی از ستون های اساسی موفقیت مدل BIM به شمار می رود.

- بهبود بهره وری

استفاده از BIM در مدیریت دارایی ها منجر به بهبود بهره وری عملیاتی از طریق بهینه سازی منابع، کاهش هزینه های نگهداری و تعمیرات و بهبود زمان بندی فعالیت ها می شود. این فناوری امکان پیش بینی دقیق تر نیازهای نگهداری را فراهم می کند و از وقوع خرابی های غیرمنتظره جلوگیری می نماید. همچنین BIM با شبیه سازی فرآیندها و تحلیل داده ها می تواند بهره وری نیروی انسانی را افزایش داده و تخصیص منابع را بهینه کند. این بهبودها در بهره وری، به کاهش هدررفت منابع و افزایش طول عمر دارایی ها منجر می شود.

- ارزیابی عملکرد و بازخورد

مرحله اندازه گیری عملکرد و بهبود مستمر، به عنوان یکی از نقاط قوت این مدل شناخته شد. امکان ارائه بازخوردهای مبتنی بر داده، به اصلاح و بهینه سازی مداوم فرآیندها کمک می کند. این بازخوردها می توانند برای شناسایی نقاط ضعف، کاهش ریسک ها و اصلاح فرآیندهای مدیریتی مورد استفاده قرار گیرند. علاوه بر این، داده های به دست آمده از این مرحله می توانند به عنوان پایه ای برای تصمیم گیری های آینده و برنامه ریزی استراتژیک مورد استفاده قرار گیرند.

- تعامل ذینفعان

مدل BIM به عنوان یک ابزار ارتباطی مؤثر میان ذینفعان مختلف، شامل گروه های اجرایی، پیمانکاران و مدیران عمل می کند و هماهنگی بیشتری را در اجرای پروژه ها ایجاد می کند. این تعامل باعث تسهیل در جریان اطلاعات میان گروه ها، کاهش تعارضات و



افزایش شفافیت می شود. با استفاده از BIM، تمامی ذینفعان می توانند به اطلاعات به روز و دقیق دسترسی داشته باشند و در فرآیندهای تصمیم گیری مشارکت کنند. این ویژگی، نقش مهمی در بهبود کارایی و کاهش تأخیرات پروژه ایفا می کند.

- چالش های شناسایی شده

در کنار نقاط قوت، چالش هایی نظیر پیچیدگی مدیریت داده ها، نیاز به استاندارد سازی و آموزش ناکافی کاربران شناسایی شد که نیازمند توجه و راهکارهای مؤثر است. علاوه بر این، مقاومت سازمان ها در برابر تغییرات فناوری و هزینه های اولیه بالا نیز از جمله موانع مهم در پیاده سازی BIM به شمار می رود. این چالش ها باید از طریق برنامه ریزی دقیق و ارائه مشوق های مناسب برای پذیرش فناوری برطرف شوند لذا راهکارهای ذیل جهت مقابله با این چالش ها پیشنهاد می گردد:

۱. چالش: پیچیدگی مدیریت داده ها

راهکارها:

- استفاده از پلتفرم های یکپارچه: پیاده سازی نرم افزارهای مبتنی بر ابر (Cloud-Based) برای مدیریت متمرکز داده ها.
- خودکارسازی فرآیندها: توسعه اسکریپت های هوشمند برای خودکارسازی گردش کار.
- دسته بندی داده ها: ایجاد سیستم کدگذاری استاندارد برای طبقه بندی اطلاعات دارایی ها.

۲. چالش: نیاز به استاندارد سازی

راهکارها:

- تدوین دستورالعمل های داخلی: ایجاد پروتکل های سازمانی برای مدل سازی، ذخیره سازی و به روزرسانی داده ها.
- همکاری با نهادهای تخصصی: مشارکت در کمیته های ملی BIM برای هماهنگی با آخرین پیشرفت ها.

۳. چالش: آموزش ناکافی کاربران

راهکارها:

- برگزاری دوره های آموزشی: سطح پایه: آموزش مفاهیم BIM و نرم افزارهای اصلی (Revit, Navisworks)، سطح پیشرفته: دوره های تخصصی مانند BIM برای مدیریت دارایی و تحلیل داده های کلان.
- ایجاد کتابخانه منابع: توسعه بانک اطلاعاتی شامل ویدیوهای آموزشی، راهنماهای کاربردی و نمونه پروژه ها.
- استفاده از مربیان داخلی: آموزش نیروهای باتجربه سازمان به عنوان مربی برای انتقال دانش.

۴. چالش: مقاومت سازمانی در برابر تغییرات

راهکارها:

- اجرای پروژه های پایلوت: شروع با پروژه های کوچک برای نمایش نتایج ملموس.
- حمایت مدیریت ارشد: جلب مشارکت مدیران با ارائه گزارش های تحلیلی از بازگشت سرمایه (ROI) و مزایای بلندمدت.





- تغییر فرهنگ سازمانی: ایجاد سیستم پاداش برای گروه های پیشرو در استفاده از BIM، برگزاری جلسات توجیهی با ذینفعان کلیدی.

۵. چالش: هزینه های اولیه بالا

راهکارها:

- مدل های مالی انعطاف پذیر: عقد قراردادهای مشارکتی با تأمین کنندگان نرم افزار.
- بودجه بندی مرحله ای: تخصیص بودجه بر اساس اولویت ها.
- کاهش هزینه های پنهان: استفاده از داده های موجود به جای شروع از صفر.

۵-۲- پیشنهادات تحقیق

برای بهبود عملکرد مدل BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها و رفع چالش های موجود، پیشنهادهای زیر ارائه می شود:

- افزایش آموزش و ارتقای مهارت ها

برگزاری دوره های آموزشی تخصصی برای گروه های اجرایی و مدیریتی به منظور افزایش دانش و مهارت های مرتبط با BIM ضروری است. این آموزش ها باید شامل مهارت های عملی برای استفاده از نرم افزارها، تحلیل داده ها و مدیریت اطلاعات باشد. همچنین، ارائه گواهینامه های معتبر به شرکت کنندگان می تواند انگیزه بیشتری برای یادگیری ایجاد کند. علاوه بر این، جلسات آموزشی دوره ای و ایجاد منابع آموزشی آنلاین برای دسترسی مداوم به اطلاعات به روز، می تواند نقش مهمی در بهبود عملکرد گروه ها داشته باشد.

- توسعه استانداردهای ملی و بین المللی

تدوین و به کارگیری استانداردهای مشخص برای استفاده از BIM در مدیریت دارایی ها، موجب بهبود هماهنگی و افزایش کارایی سیستم خواهد شد. استانداردهای بومی باید با در نظر گرفتن شرایط خاص هر کشور طراحی شوند تا بهره وری بیشتری داشته باشند. ایجاد چارچوب های استاندارد برای مدیریت داده ها، فرایندها و ابزارها می تواند از بروز خطاها و سردرگمی در استفاده از مدل جلوگیری کند.

- استفاده از فناوری های نو ظهور

ادغام فناوری هایی نظیر هوش مصنوعی، بلاکچین، اینترنت اشیا و واقعیت افزوده با BIM می تواند به بهبود قابلیت های این مدل کمک کند. برای مثال، هوش مصنوعی می تواند در پیش بینی نیازهای نگهداری و تعمیرات و شناسایی الگوهای مخفی در داده ها مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، فناوری بلاکچین می تواند امنیت اطلاعات و شفافیت قراردادها را افزایش دهد و اینترنت اشیا امکان دسترسی لحظه ای به داده های تجهیزات را فراهم کند.

- مدیریت داده های بزرگ (Big Data)

با توجه به حجم بالای داده های تولید شده در مدل BIM، استفاده از ابزارهای تحلیل داده های بزرگ می تواند به کشف الگوهای مخفی و بهبود تصمیم گیری ها کمک کند. این داده ها می توانند برای شبیه سازی سناریوهای مختلف، پیش بینی مشکلات و ارائه راهکارهای بهینه مورد استفاده قرار گیرند. ایجاد زیرساخت های مناسب برای ذخیره و پردازش این داده ها یکی از نیازهای اساسی در این راستا است.





- تمرکز بر پایداری و توسعه پایدار

به کارگیری BIM باید با اهداف توسعه پایدار همسو باشد. طراحی فرآیندهایی که مصرف انرژی و منابع را بهینه کنند و اثرات زیست محیطی را کاهش دهند، باید در اولویت قرار گیرد. شبیه سازی انرژی و استفاده از مصالح سبز در طراحی و ساخت ساختمان ها با کمک BIM می تواند به این اهداف کمک کند.

- توسعه داشبوردهای مدیریت

ایجاد داشبوردهای مدیریتی که اطلاعات کلیدی از عملکرد دارایی ها را به صورت بصری ارائه دهند، می تواند به مدیران در نظارت و تصمیم گیری های سریع تر کمک کند. این داشبوردها باید به صورت پویا طراحی شوند و امکان فیلتر کردن و نمایش اطلاعات بر اساس نیاز کاربران را فراهم کنند.

- بهبود همکاری بین سازمانی

تقویت همکاری میان سازمان های مختلف از طریق به کارگیری مدل BIM به عنوان بستری مشترک، می تواند به بهبود هماهنگی و کاهش تضادها کمک کند. اشتراک گذاری داده ها و فرآیندها در پلتفرم BIM می تواند از دوباره کاری ها و اشتباهات جلوگیری کند و سرعت انجام پروژه ها را افزایش دهد.

- ارزیابی و بازبینی دوره ای

برای حفظ کارایی و اثربخشی مدل BIM، لازم است که فرآیندها و استراتژی های به کارگرفته شده به صورت دوره ای ارزیابی و بازبینی شوند. این ارزیابی ها باید شامل تحلیل عملکرد تجهیزات، دقت داده ها و اثرگذاری فرآیندهای اجرایی باشد. همچنین، استفاده از شاخص های کلیدی عملکرد (KPI) می تواند به بهبود نظارت بر پروژه ها کمک کند.

- پشتیبانی تصمیم گیری با مدل های پیشرفته

استفاده از مدل های تصمیم گیری مبتنی بر BIM، مانند شبیه سازی سناریوها و تحلیل حساسیت، می تواند به مدیران کمک کند تا تصمیمات بهتری در مواجهه با تغییرات محیطی و نیازهای پروژه بگیرند. این ابزارها می توانند به کاهش ریسک ها و بهینه سازی منابع کمک کنند.



۶- منابع و مآخذ

۶-۱- فارسی

- ۱) برازجانی، م، رضایی ر، درویش ع و نوری م. (۱۳۹۷). پیاده سازی مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) و مدیریت ذینفعان در پروژه های ساخت و ساز.
- ۲) گلابچی، م. (۱۳۹۵)، مدل سازی اطلاعات ساختمان، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، تهران
- ۳) سبزه پرور م. (۱۳۹۱)، کنترل پروژه به روش گام به گام، انتشارات ترمه، چاپ اول، تهران
- ۴) بیدختی ش. بررسی عملکردی مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM)، اولین کنفرانس بین المللی و سومین کنفرانس ملی مدیریت ساخت و پروژه، ایران، تهران، ۱۳۹۵
- ۵) قادری س و ف، پیلتن م. مقررات زدایی از صنعت برق: مجزاسازی عرضه از توزیع. بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق.
- ۶) عابدینی، ب و مکنون، ر. (۱۳۹۳). لزوم به کارگیری BIM در ساختمان های استراتژیک، کنفرانس ملی معماری و منظر شهری پایدار، مشهد

۶-۲- انگلیسی

- 7) Azhar, S., Hein, M., & Sketo, B. (2008). Building information modeling (BIM). Benefits, Risks and Challenges.
- 8) Roper, K., & Payant, R. (2014). The facility management handbook. Amacom.. ISBN: 0814432166, 9780814432167.
- 9) Ilter, D., & Ergen, E. (2015). BIM for building refurbishment and maintenance: status and research directions. Structural survey, 33(3), 228-256.
- 10) Goudini, J., & Vafamehr, M. (2019). A Comprehensive Concept of Architecture in the Study of Industrial Complexes Based on Systems Theory Approach. Journal of Iranian Architecture & Urbanism (JIAU), 10(1), 79-93.
- 11) Zou, Y., Kiviniemi, A., & Jones, S. W. (2017). A review of risk management through BIM and BIM-related technologies. Safety science, 97, 88-98.
- 12) Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings-Literature review and future needs. Automation in construction, 38, 109-127.
- 13) Gavrikova, E., Volkova, I., & Burda, Y. (2020). Strategic aspects of asset management: An overview of current research. Sustainability, 12(15), 5955.





- 14) Petchrompo, S., & Parlikad, A. K. (2019). A review of asset management literature on multi-asset systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 181, 181–201.
- 15) Gârleanu, N., & Pedersen, L. H. (2018). Efficiently inefficient markets for assets and asset management. *The Journal of Finance*, 73(4), 1663–1712.
- 16) Idowu, S., Strüber, D., & Berger, T. (2022). Asset Management in Machine Learning: State-of-research and State-of-practice. *ACM Computing Surveys*, 55(7), 1–35.
- 17) Pranitasari, D. (2021). The international seminar on business, economic, social science and technology (ISBEST 4th) 2021–The Influence of Competency, Work Environment on Work Involvement and Job Satisfaction.
- 18) Byrne, M. (2015). Bad banks: the urban implications of asset management companies. *Urban Research & Practice*, 8(2), 255–266.
- 19) Iluore, O. E., Mamudu Onose, A., & Emetere, M. (2020). Development of asset management model using real-time equipment monitoring (RTEM): case study of an industrial company. *Cogent Business & Management*, 7(1), 1763649.
- 20) Sarbini, N. N., Ibrahim, I. S., Abidin, N. I., Yahaya, F. M., & Azizan, N. Z. N. (2021). Review on maintenance issues toward building maintenance management best practices. *Journal of Building Engineering*, 44, 102985.
- 21) Anderson, R. T., & Neri, L. (Eds.). (2012). *Reliability-centered maintenance: management and engineering methods*. Springer Science & Business Media.





پیوست ها

پرسشنامه اول (مراحل)

خیلی زیاد	زیاد	تا حدودی	کم	خیلی کم	خیر	بله	سؤالات
							آیا استراتژی و برنامه ریزی می تواند به عنوان یک مرحله در الگوی به کارگیری BIM برای مدیریت دارایی ساختمان در نظر گرفته شود؟
							آیا تصمیم گیری مدیریت دارایی مناسب است که به عنوان یک مرحله در الگو گنجانده شود؟
							آیا مدیریت اطلاعات تجهیزات می تواند یک مرحله کلیدی در الگوی به کارگیری BIM باشد؟
							آیا تعیین الزامات باید به عنوان یک مرحله در الگوی پیشنهادی برای مدیریت دارایی ساختمان در نظر گرفته شود؟
							آیا بهینه سازی برنامه ها و مدیریت منابع مناسب است که به عنوان یک مرحله در این الگو لحاظ شود؟
							آیا مدیریت فعالیت های چرخه عمر باید به عنوان یکی از مراحل الگو در به کارگیری BIM برای مدیریت دارایی ساختمان تعریف شود؟
							آیا اندازه گیری عملکرد و بهبود مستمر باید به عنوان یک مرحله در الگوی به کارگیری BIM در نظر گرفته شود؟

پرسشنامه دوم (زیرمعیارها)

خیلی زیاد	زیاد	تا حدودی	کم	خیلی کم	خیر	بله	سؤالات
استراتژی و برنامه ریزی							
							آیا تعیین استراتژی ها و هدف گذاری ها برای بهبود می تواند در به کارگیری مؤثر BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها نقش داشته باشد؟
							آیا بهبود ساختار سازمانی در سازمان ها می تواند زمینه را برای به کارگیری بهتر BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها فراهم کند؟
							آیا برنامه ریزی استراتژیک می تواند به پیاده سازی موفق BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها کمک کند؟
							آیا تدوین استراتژی تأمین منابع برای به کارگیری BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها ضروری است؟
							آیا تصمیم سازی در سرمایه گذاری مالی می تواند به کارگیری BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها را بهبود بخشد؟
							آیا تجزیه و تحلیل تقاضا می تواند در بهینه سازی استفاده از BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها مؤثر باشد؟



خیلی زیاد	زیاد	تا حدودی	کم	خیلی کم	خیر	بله	سؤالات
استراتژی و برنامه ریزی							
							آیا تعریف یک خط مشی مشخص برای مدیریت دارایی ساختمان ها با استفاده از BIM ضروری است؟
							آیا انتخاب شاخص های مدیریت عملکرد در موفقیت به کارگیری BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها تأثیر دارد؟
							آیا برنامه ریزی مدیریت دارایی می تواند به کارگیری BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها را تسهیل کند؟
							آیا برنامه ریزی اقتصادی و تحلیل تاب آوری می تواند نقش مؤثری در بهبود به کارگیری BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها ایفا کند؟
							آیا شناسایی و به کارگیری فناوری های نوین می تواند به کارگیری BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها را ارتقا دهد؟
							آیا فرهنگ سازی مدیریت دارایی و بهبود انگیزش کارکنان می تواند به کارگیری BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها را ارتقا دهد؟

خیلی زیاد	زیاد	تا حدودی	کم	خیلی کم	خیر	بله	سؤالات
مدیریت اطلاعات و تجهیزات							
							آیا طبقه بندی و کدینگ اطلاعات دارایی ها در به کارگیری بهتر BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها مؤثر است؟
							آیا تهیه شناسنامه دارایی ها می تواند به پیاده سازی موفق BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها کمک کند؟
							آیا آموزش و تدوین دستورالعمل مدیریت اطلاعات می تواند نقش مؤثری در به کارگیری BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها داشته باشد؟
							آیا مدیریت داده ها و اطلاعات می تواند زمینه را برای استفاده بهتر از BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها فراهم کند؟
							آیا سیستم های اطلاعات دارایی برای به کارگیری بهتر BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها ضروری است؟
							آیا مدیریت اسناد و آرشیو فنی می تواند به کارگیری BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها را تسهیل کند؟
							آیا بررسی شرایط محیطی در اجرای پروژه می تواند به بهبود استفاده از BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها کمک کند؟
							آیا اولویت بندی دارایی ها می تواند به پیاده سازی مؤثر BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها کمک کند؟





خیلی زیاد	زیاد	تا حدودی	کم	خیلی کم	خیر	بله	سؤالات
تعیین الزامات							
							آیا ارزیابی و مدیریت ریسک می تواند در به کارگیری بهتر BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها مؤثر باشد؟
							آیا مهندسی سیستم ها می تواند به کارگیری BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها را بهبود بخشد؟
							آیا مهندسی پایایی باید بخشی از فرآیند به کارگیری BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها باشد؟
							آیا سیستم های اطلاعاتی می توانند به پیاده سازی موفق BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها کمک کنند؟
							آیا مدیریت کار می تواند از به کارگیری BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها بهره مند شود؟
							آیا مراقبت های پایه می تواند به بهبود به کارگیری BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها کمک کند؟
							آیا پیش بینی دقیق هزینه های مورد نیاز می تواند به موفقیت به کارگیری BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها کمک کند؟
							آیا تخصیص به موقع منابع مالی می تواند در پیاده سازی مؤثر BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها نقش داشته باشد؟
							آیا مشخص نمودن پیش نیازهای فعالیت ها جهت زمان بندی اجرای پروژه می تواند به بهبود به کارگیری BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها کمک کند؟
							آیا مدیریت دقیق و فعال می تواند به کارگیری BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها را بهبود بخشد؟
							آیا آماده سازی شرایط محیطی در اجرای پروژه می تواند به پیاده سازی موفق BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها کمک کند؟



خیلی زیاد	زیاد	تا حدودی	کم	خیلی کم	خیر	بله	سؤالات
بهینه سازی برنامه ها و مدیریت منابع							
							آیا بهینه سازی برنامه های نگهداشت دارایی ها می تواند با به کارگیری BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها تسهیل شود؟
							آیا مدیریت منابع می تواند از به کارگیری BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها بهره مند شود؟
							آیا کنترل و مدیریت هزینه های اجرایی می تواند به بهبود به کارگیری BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها کمک کند؟
							آیا استفاده از BIM می تواند تهیه و تخصیص تجهیزات و امکانات را در مدیریت دارایی ساختمان ها بهبود دهد؟
							آیا مدیریت پیمانکاران و برون سپاری فعالیت های نگهداشت می تواند از به کارگیری BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها بهره مند شود؟
							آیا بازنگری برنامه های نگهداشت دارایی های بحرانی با استفاده از BIM و RCM می تواند مؤثر باشد؟
							آیا تعامل با ذینفعان پروژه های ساختمانی می تواند با به کارگیری BIM بهبود یابد؟
							آیا رهبری در مدیریت دارایی ساختمان ها باید بخشی از فرآیند به کارگیری BIM باشد؟
							آیا مدیریت مواد در پروژه های ساختمانی می تواند با استفاده از BIM بهبود یابد؟
							آیا مدیریت پیکربندی می تواند بخشی از فرآیند به کارگیری BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها باشد؟
							آیا مدیریت تغییر در پروژه های ساختمانی می تواند از به کارگیری BIM بهره مند شود؟
							آیا مستندسازی اطلاعات پروژه ها باید بخشی از فرآیند BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها باشد؟
							آیا مدیریت تدارکات و زنجیره تأمین می تواند از به کارگیری BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها بهره مند شود؟
							آیا به کارگیری نیروهای باتجربه در پروژه باید بخشی از فرآیند BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها باشد؟



خیلی زیاد	زیاد	تا حدودی	کم	خیلی کم	خیر	بله	سؤالات
اندازه گیری عملکرد و بهبود مستمر							
							آیا مدیریت عملکرد پروژه های ساختمانی باید با استفاده از BIM پایش شود؟
							آیا ایجاد داشبورد مدیریت عملکرد می تواند به موفقیت به کارگیری BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها کمک کند؟
							آیا مدیریت دارایی مبتنی بر ارزش می تواند در به کارگیری BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها مؤثر باشد؟
							آیا توسعه پایدار می تواند با استفاده از BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها بهبود یابد؟
							آیا تدوین گزارش های دوره ای برای پایش پیشرفت پروژه ها باید بخشی از فرآیند BIM باشد؟
							آیا تشکیل جلسات گروه اجرایی و مدیریتی می تواند به به کارگیری بهتر BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها کمک کند؟
							آیا BIM می تواند خروجی های مناسبی برای کمک به تصمیم گیری مدیران در مدیریت دارایی ساختمان ها ارائه دهد؟
							آیا شناسایی پیمانکاران آشنا با BIM و اضافه کردن آن ها به لیست پیمانکاران می تواند به به کارگیری بهتر BIM در مدیریت دارایی ساختمان ها کمک کند؟
							آیا افزایش تخصص نیروی انسانی در زمینه BIM برای مدیریت دارایی ساختمان ها ضروری است؟
							آیا BIM می تواند به بهبود شاخص های مدیریت دارایی ساختمان کمک کند؟



تلفیق سدسازی و آبخیزداری در چارچوب پدافند غیرعامل و توسعه پایدار منابع آب

فرهاد اماندی^۱

۱. دکترای مهندسی و مدیریت ساخت، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه افسری امام حسین (ع).

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۷/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۱۱/۱۷

چکیده

امنیت آبی در ایران به عنوان کشوری با اقلیم خشک و نیمه خشک، مستلزم تصمیم‌گیری‌هایی است که هم‌زمان منطق اقتصادی و الزامات پدافند غیرعامل را پوشش دهد. این مقاله با رویکرد تحلیلی-تطبیقی سه سبب مداخله سدسازی، آبخیزداری و آبخوانداری (MAR) را ارزیابی می‌کند. چارچوب مطالعه شامل: (۱) تحلیل اقتصادی (هزینه‌های سرمایه‌ای/بهره‌برداری، منافع مستقیم و غیرمستقیم، تحلیل هزینه-فایده)؛ (۲) تحلیل پدافندی با شاخص‌های آسیب‌پذیری، تمرکز/پراکندگی، زمان بازیابی و ظرفیت سخت‌سازی تحت سناریوهای تهدید طبیعی و انسان‌ساخت؛ و (۳) تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA) با وزن‌دهی اقتصادی، پدافندی و اجتماعی-زیست‌محیطی. شواهد بین‌المللی نشان می‌دهد راهکارهای طبیعت‌محور (آبخیزداری و MAR) می‌توانند در کنار زیرساخت‌های خاکستری کار کنند و در کاهش ریسک سیلاب، بهبود کیفیت آب، تقویت ذخایر زیرزمینی و تاب‌آوری شبکه مؤثر باشند. در مقابل، سدها مزیت مقیاس در تنظیم جریان و تولید انرژی دارند، اما به دلیل تمرکز زیرساختی، ریسک سیستمی و هدف‌پذیری بیشتری ایجاد می‌کنند و معمولاً زمان بازیابی در آن‌ها طولانی‌تر است؛ بنابراین نیازمند الزامات سخت‌گیرانه ایمنی و نگهداشت‌اند. یافته‌های مطالعه با اتکا به نمونه‌های مستند تاب‌آوری زیرساخت آب و دستورالعمل‌های ایمنی سد را تأیید می‌کند. بسته‌های سدهای بهینه مقیاس و سخت‌سازی شده در ترکیب با شبکه گسترده آبخیزداری/آبخوانداری، بهترین سازگاری را با قیده‌های اقتصادی، امنیتی و زیست‌محیطی ایران فراهم می‌کند و قابلیت فازبندی و مشارکت‌پذیری اجتماعی بالاتری دارد.

واژه‌های کلیدی: سدسازی؛ آبخیزداری؛ آبخوانداری (MAR)؛ پدافند غیرعامل؛ تاب‌آوری زیرساخت؛ راهکارهای طبیعت‌محور (NBS)؛ تحلیل هزینه-فایده؛ تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA).

۱. پست الکترونیک نویسنده مسئول: f.amandi@yahoo.com





۱- مقدمه

امنیت آبی در ایران به عنوان کشوری با اقلیم خشک و نیمه خشک، در دهه های اخیر به یکی از محوری ترین موضوعات توسعه و پایداری ملی تبدیل شده است. ترکیب نامتوازن عرضه و تقاضای آب، رشد جمعیت، توسعه سریع کشاورزی و صنعت، تغییرات اقلیمی و کاهش بارندگی های مؤثر، شبکه منابع آب کشور را در وضعیت شکننده ای قرار داده است. این شرایط نه تنها بر تولید و اقتصاد ملی اثرگذار است، بلکه ابعاد امنیتی و اجتماعی گسترده ای نیز دارد؛ زیرا هرگونه اختلال در تأمین پایدار آب می تواند زنجیره ای از بحران های وابسته همچون تهدید امنیت غذایی، جابه جایی جمعیت، تنش های منطقه ای و تضعیف زیرساخت های حیاتی را به دنبال داشته باشد. از این منظر، مدیریت منابع آب دیگر صرفاً یک موضوع فنی یا اقتصادی نیست، بلکه بخشی از راهبرد کلان پدافند غیرعامل در کشور محسوب می شود [۱].

در ایران دو رویکرد اصلی در مدیریت منابع آب بیش از سایر گزینه ها مورد توجه و سرمایه گذاری بوده است. نخست، سدسازی به عنوان راهکاری کلاسیک و زیرساختی که با هدف ذخیره سازی و تنظیم جریان های سطحی، تأمین آب شرب و کشاورزی، کنترل سیلاب و تولید انرژی برق آبی طراحی و اجرا می شود. این رویکرد از نیمه قرن بیستم تاکنون، بخش عمده ای از سیاست های آبی کشور را شکل داده و به ساخت ده ها سد بزرگ منجر شده است. دوم، اقدامات آبخیزداری و آبخوانداری که بر مبنای رویکرد طبیعت محور بنا شده و بر فرآیندهای درونزا و پایدار سامانه های اکولوژیکی تکیه دارد. این اقدامات با هدف کاهش روان آب، جلوگیری از فرسایش خاک، افزایش نفوذ آب و تغذیه سفره های زیرزمینی اجرا می شوند و در سال های اخیر به عنوان مکمل یا جایگزینی برای طرح های بزرگ مقیاس مطرح شده اند [۲].

با وجود دستاوردهای هر دو رویکرد، مطالعات میدانی و تحلیلی نشان می دهد که هیچ یک از آن ها به تنهایی پاسخگوی همه نیازها و چالش های امروز کشور نیست. سدها گرچه ظرفیت بالایی در تنظیم منابع آب و تولید انرژی دارند، اما به دلیل تمرکز مکانی و وابستگی شدید سامانه های پایین دست به عملکرد آن ها، در معرض ریسک های سیستمی و تهدیدات پدافندی قرار دارند. وقوع شکست سازه ای، حملات خرابکارانه، حوادث زمین ساختی یا حتی خطاهای بهره برداری می تواند منجر به خسارات اقتصادی و اجتماعی سنگین شود. در مقابل، طرح های آبخیزداری و آبخوانداری به سبب ماهیت پراکنده و مشارکت پذیر، از تاب آوری بالاتری برخوردارند و با هزینه های کمتر، نقش مؤثری در بهبود خدمات اکوسیستمی، تغذیه آبخوان ها و حفظ پایداری محیط زیست ایفا می کنند، ولی توان آن ها در پاسخ به نیازهای کلان شهری و صنعتی محدود است.

با توجه به این شرایط، ضرورت رویکردی تلفیقی و شبکه نگر بیش از پیش احساس می شود؛ رویکردی که بتواند مزایای هر دو دسته اقدامات را در کنار یکدیگر قرار دهد و میان کارایی اقتصادی، پایداری زیست محیطی و تاب آوری پدافندی توازن برقرار سازد. چنین نگاهی تنها با بهره گیری از روش های تحلیلی چندبعدی امکان پذیر است. در این پژوهش، مقایسه تطبیقی طرح های سدسازی و طرح های آبخیزداری-آبخوانداری بر پایه شاخص های اقتصادی و پدافند غیرعامل انجام می شود تا الگوی بهینه ای برای تصمیم گیری ملی و منطقه ای ارائه گردد.

در این چارچوب، تحلیل اقتصادی شامل ارزیابی هزینه های سرمایه گذاری و بهره برداری، منافع مستقیم و غیرمستقیم، ارزش فعلی خالص (NPV)، نرخ بازده داخلی (IRR) و دوره بازگشت سرمایه است. از سوی دیگر، تحلیل پدافندی با شاخص هایی چون آسیب پذیری، تمرکز یا پراکندگی، زمان بازیابی پس از حادثه و ظرفیت سخت سازی زیرساخت انجام می گیرد. در مرحله نهایی، نتایج





این تحلیل‌ها از طریق مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA) با وزن‌دهی اقتصادی، پدافندی و اجتماعی-زیست محیطی تلفیق می‌شود تا تصویری جامع از کارایی و تاب‌آوری هر گزینه به دست آید.

نوآوری اصلی این مقاله در آن است که با رویکردی بین‌رشته‌ای، شاخص‌های اقتصادی و پدافندی را در یک بستر تحلیلی واحد ترکیب می‌کند و نتیجه را نه فقط در قالب مقایسه دو روش، بلکه در چارچوب یک الگوی هیبریدی پیشنهادی، ارائه می‌دهد. این الگو، ترکیب سدهای کوچک و متوسط با شبکه‌های گسترده آبخیزداری و آبخوان‌داری را به عنوان راه‌حلی برای افزایش پایداری و امنیت منابع آب پیشنهاد می‌کند. چنین تلفیقی می‌تواند با کاهش آسیب‌پذیری سامانه، افزایش افزونگی شبکه و توزیع ریسک مالی و پدافندی، به شکل‌گیری زیرساختی پایدار، اقتصادی و مقاوم در برابر تهدیدات کمک کند. [۳]

درنهایت، هدف این مقاله آن است که با تکیه بر داده‌های واقعی و تحلیل تطبیقی جامع، مسیر سیاست‌گذاری آینده در حوزه مدیریت منابع آب کشور را روشن‌تر سازد؛ مسیری که از تمرکز صرف بر سازه‌های عظیم به سوی راهبردهای ترکیبی، مشارکت‌محور و پدافندمحور حرکت می‌کند.

۲- مبانی نظری و تعاریف مفهومی

چارچوب نظری این پژوهش بر پیوند میان «اقتصاد زیرساخت آب»، «راهکارهای طبیعت‌محور» و «پدافند غیرعامل» بنا شده است و بر این پیش‌فرض استوار است که کارایی فنی بدون تاب‌آوری شبکه‌ای و پذیرش اجتماعی، به نتیجه‌ای پایدار منتهی نمی‌شود. در چنین چارچوبی، سامانه منابع آب نه به مثابه مجموعه‌ای از پروژه‌های منفرد، بلکه به عنوان یک شبکه اجتماعی-زیستی-فنی دیده می‌شود که رفتار آن به ساختار توپولوژیک (متمرکز یا پراکنده)، کیفیت حکمرانی و رژیم تهدید وابسته است. از این منظر، تعریف دقیق مفاهیم و شاخص‌ها شرط لازم برای مقایسه معتبر میان گزینه‌هاست.

سدسازی به عنوان زیرساخت خاکستری متمرکز، شامل احداث سازه‌های بزرگ خاکی یا بتنی برای ذخیره و تنظیم جریان، کنترل سیلاب و تولید برق آبی است. سدها به واسطه مقیاس و تمرکز ظرفیت، امکان مدیریت کلان منابع آب را فراهم می‌کنند و با ایجاد مخزن، تغییر در هیدروگراف خروجی و هموارسازی جریان‌ها را ممکن می‌سازند. درعین حال، ماهیت «گره» بودن در شبکه تأمین آب، آسیب‌پذیری سیستم را در برابر خرابی موضعی یا تهدید هدفمند افزایش می‌دهد و پیامدهای شکست می‌تواند به صورت آشناری به پایین دست منتقل شود.

آبخیزداری مجموعه‌ای از اقدامات سازه‌ای و مدیریتی در مقیاس حوضه آبریز است که با هدف کاهش روان‌آب سطحی، کنترل فرسایش و رسوب، افزایش نفوذ و بهبود پوشش گیاهی انجام می‌شود. ابزارهای رایج آن شامل بندهای کوتاه و پله‌ای، تراس‌بندی، پخش سیلاب، مدیریت کاربری اراضی و عملیات بیولوژیک است. آبخیزداری، به جای تمرکز ظرفیت در یک نقطه، «ظرفیت جذب و ذخیره» را در هزاران نقطه کوچک توزیع می‌کند و از این طریق هم‌زمان به کاهش پیک سیلاب، حفاظت خاک و تغذیه تدریجی آبخوان‌ها کمک می‌کند. [۴،۵]

آبخوان‌داری یا تغذیه مدیریت شده آبخوان‌ها (MAR) به فنونی گفته می‌شود که به طور برنامه‌ریزی شده باعث افزایش ورودی آب به سفره‌های زیرزمینی می‌شوند؛ از جمله حوضچه‌های نفوذی، پخش سیلاب در دشت‌های آبرفتی، حفره‌های نفوذ، چاه‌های تزریق و مخازن نفوذی در بالادست. تفاوت MAR با نفوذ طبیعی در «کنترل مکان، زمان و کیفیت آب ورودی» است؛ یعنی امکان هم‌زمانی تغذیه با وقوع بارش‌های پرحجم یا سیلاب‌ها و هدایت هدفمند آب به آبخوان‌های بحرانی. به دلیل ماهیت پراکنده و قابلیت فزاینده، MAR ابزار مهمی برای مدیریت خشک‌سالی‌های چندساله و بازیابی بلندمدت ذخایر زیرزمینی است.



راهکارهای طبیعت محور (NBS1) چتری مفهومی است که آبخیزداری و آبخوانداری در زیر آن قرار می‌گیرند. NBS بر تقویت کارکردهای طبیعی اکوسیستم‌ها برای حل مسائل آب (کاهش سیلاب، بهبود کیفیت، افزایش قابلیت نفوذ و ذخیره) تمرکز دارد و در مقابل زیرساخت‌های صرفاً خاکستری، طیفی از «زیرساخت‌های سبز-خاکستری» را پیشنهاد می‌کند که هم‌افزایی میان سازه و طبیعت را به کار می‌گیرند. [۶]

پدافند غیرعامل در حوزه آب، مجموعه‌ای از تدابیر غیرمسلحانه برای کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها و افزایش تاب‌آوری خدمات حیاتی در برابر تهدیدات طبیعی (سیلاب، خشک‌سالی، زلزله، رانش) و انسان‌ساخت (خرابکاری فیزیکی، حمله سایبری، خطای بهره‌برداری) است. این تدابیر از «سخت‌سازی» اجزای حساس (مانند بدنه سد، سرریزها، سامانه‌های کنترل و ارتباطی) تا «تنوع‌بخشی و افزونگی» منابع، «پراکندگی مکانی ظرفیت»، «تفکیک‌پذیری و ایزوله‌سازی بخش‌ها» و «طراحی برای بازیابی سریع» را دربر می‌گیرد. در این پژوهش، چهار شاخص عملیاتی برای بعد پدافندی به کار می‌رود: آسیب‌پذیری (V) به معنای احتمال و شدت تأثیر یک تهدید بر کارکرد سامانه؛ تمرکز/پراکندگی (C) به عنوان نمایه‌ای از توزیع ظرفیت در فضا و تعداد مسیرهای جایگزین؛ زمان بازیابی (R) به عنوان فاصله زمانی بازگشت سامانه به سطح خدمت قابل قبول پس از حادثه؛ و ظرفیت سخت‌سازی (H) به عنوان میزان امکان‌پذیری و مقرون به صرفگی کاهش ریسک از طریق اقدامات فنی و مدیریتی. مقداردهی این شاخص‌ها تابع نوع پروژه، مکان‌یابی، کیفیت طراحی و رژیم تهدید است. [۷]

در لایه نظری تاب‌آوری، از چارچوب چهارگانه «استحکام، افزونگی، کارآمدی و شتاب بازیابی» استفاده می‌شود. استحکام به توان مقاومت در برابر اخلال‌های پیش‌بینی‌پذیر اشاره دارد؛ افزونگی به وجود مسیرها و ظرفیت‌های جایگزین در صورت از کار افتادن یک مؤلفه؛ کارآمدی به امکان تطبیق و بهره‌برداری ایمن در شرایط محدودیت؛ و شتاب بازیابی به سرعت بازگشت به سطح خدمت. شبکه‌های متمرکز مانند سامانه‌های عظیم سد-شبکه انتقال-تصفیه‌خانه، معمولاً استحکام بالایی در رژیم بهره‌برداری عادی دارند، اما در برابر شکست‌های کم‌احتمال پرهزینه، به دلیل کمبود افزونگی و طولانی بودن مسیر تعمیر، زمان بازیابی بیشتری تجربه می‌کنند. در مقابل، شبکه‌های پراکنده سبز-خاکستری معمولاً افزونگی و قابلیت جداسازی بیشتری دارند و شکست‌های موضعی آن‌ها کمتر به بحران سیستمی تبدیل می‌شود.

در بعد اقتصادی، سنجش کارایی با ترکیبی از سنجه‌های «تحلیل هزینه-فایده» انجام می‌شود. ارزش فعلی خالص (NPV) تفاوت ارزش فعلی منافع و هزینه‌ها را در افق طرح می‌سنجد؛ نرخ بازده داخلی (IRR) نرخ است که NPV را صفر می‌کند؛ و دوره بازگشت سرمایه زمان لازم برای جبران هزینه اولیه از محل منافع خالص است. در پروژه‌های آب، علاوه بر منافع بازارپذیر (تأمین شرب و صنعت، انرژی برق‌آبی)، منافع غیربازاری مانند کاهش خسارت سیلاب، بهبود کیفیت آب، خدمات اکوسیستمی (کاهش فرسایش، افزایش تنوع زیستی، تلطیف اقلیم محلی) و آثار اجتماعی (اشتغال محلی، امنیت غذایی، کاهش مهاجرت) باید تا حد امکان ارزش‌گذاری شوند. از آنجاکه عدم قطعیت‌های اقلیمی و اقتصادی بر جریان‌های هزینه و منفعت اثر می‌گذارند، تحلیل حساسیت و سناریونویسی بخش جدایی‌ناپذیر ارزیابی اقتصادی است. [۸]

در پیوند اقتصاد و پدافند، مفهوم ریسک سیستمی اهمیت می‌یابد؛ یعنی ریسکی که از ساختار اتصال‌یافته شبکه برمی‌خیزد و می‌تواند خسارتی فراتر از ظرفیت پروژه منفرد ایجاد کند. تمرکز ظرفیت در یک یا چند گلوگاه، احتمال وقوع «شکست فاجعه‌آمیز با دامنه





وسیع» را افزایش می دهد؛ درحالی که توزیع ظرفیت در قالب اقدامات متعدد کوچک مقیاس، ریسک را فضایی-اجتماعی توزیع می کند و شدت شکست ها را محدود می سازد. بااین حال، توزیع ظرفیت اگر بدون کفایت در مقیاس کلان و هماهنگی حوضه ای انجام شود، ممکن است از پاسخ گویی به نیازهای بلندمدت شرب و صنعت بازماند؛ بنابراین، پرسش نظری کلیدی این پژوهش تعیین «نقطه بهینه ترکیب» میان ظرفیت متمرکز و ظرفیت پراکنده است.

برای تلفیق سنجه های ناهمگن اقتصادی، پدافندی و اجتماعی-زیست محیطی، از تصمیم گیری چندمعیاره (MCDA) بهره گرفته می شود. MCDA امکان می دهد شاخص های کمی و کیفی با مقیاس های متفاوت، نرمال سازی و وزن دهی شوند و هر گزینه امتیاز تلفیقی بگیرد. وزن ها منعکس کننده ترجیحات سیاست گذار و محدودیت های ملی هستند؛ در این پژوهش، وزن برابر برای اقتصاد و پدافند (هرکدام ۴۰ درصد) نشان دهنده این انگاره هنجاری است که «صرفه اقتصادی بدون تاب آوری و تاب آوری فاقد صرفه اقتصادی» هر دو ناکافی اند. بعد اجتماعی-زیست محیطی (۲۰ درصد) تضمین می کند که پذیرش اجتماعی، عدالت فضایی و خدمات اکوسیستمی به حاشیه نرود. هرچند MCDA ذاتا وابسته به وزن هاست، اما با اجرای تحلیل حساسیت می توان پایداری رتبه بندی ها را در برابر تغییر وزن ها آزمود و ترکیب هایی را برگزید که نسبت به عدم قطعیت ها مقاوم اند. [۹]

در این چارچوب، چند اصطلاح کلیدی دیگر نیز به کار می روند. سخت سازی به مجموعه اقداماتی اطلاق می شود که احتمال وقوع یا پیامد شکست را کاهش می دهند؛ مانند ارتقای پایداری لرزه ای سد، افزایش ظرفیت سرریز، حفاظت سایبری از سامانه های کنترل صنعتی (ICS/SCADA)، یا تأمین برق اضطراری. تنوع بخشی منابع یعنی ایجاد سببی از منابع تأمین (سطحی، زیرزمینی، بازچرخانی، MAR، آب شیرین کن ها) تا اتکا به یک مؤلفه کاهش یابد. حکمرانی چندسطحی به هماهنگی بین نهادهای ملی، استانی و محلی و مشارکت ذی نفعان در طراحی و نگهداشت اشاره دارد؛ عاملی که بر هزینه های چرخه عمر، پایداری بهره برداری و مقبولیت اجتماعی اثر تعیین کننده دارد. مقیاس بهینه نیز مفهومی دوگانه است: از سویی افزایش مقیاس در زیرساخت های متمرکز صرفه های اقتصادی و فنی می آورد و از سوی دیگر می تواند ریسک سیستمی را تشدید کند؛ نقطه بهینه جایی است که مجموع «هزینه اقتصادی-پدافندی» کمینه می شود. [۱۰]

درنهایت، مفهوم زیرساخت سبز-خاکستری ترکیبی، کانون نظری پیشنهاد راهبردی این پژوهش است. این رویکرد به جای تقابل میان سد و طبیعت، بر «طراحی هم افزا» تأکید می کند: استفاده از سدهای کوچک و متوسط در مکان های دارای توجیه اقتصادی-پدافندی، همراه با شبکه گسترده آبخیزداری و MAR برای توزیع ریسک، تغذیه آبخوان ها و کاهش پیک سیلاب، یکپارچه با مدیریت تقاضا، بازچرخانی و ابزارهای مالی نوآورانه برای پایداری چرخه عمر. بر مبنای این چارچوب نظری، مقایسه گزینه ها در ادامه مقاله نه با معیارهای منفرد، بلکه با «منطق شبکه ای اقتصاد-پدافند-اجتماع» انجام می شود تا مسیر طراحی یک بسته هیبریدی متناسب با قیود ایران روشن گردد.

۳- روش شناسی تحقیق

این پژوهش از نوع تحلیل تطبیقی چندمعیاره (Comparative Multi-criteria Analysis) است که به صورت توصیفی-تحلیلی و با رویکرد ترکیبی اقتصاد-پدافند طراحی شده است. هدف، ارزیابی هم زمان کارایی اقتصادی و تاب آوری پدافندی در سه دسته طرح (سدسازی، آبخیزداری و آبخوان داری) و ارائه الگوی تلفیقی (هیبریدی) برای مدیریت منابع آب ایران است.





داده‌ها از منابع آماری وزارت نیرو، سازمان جنگل‌ها و مراتع، بانک جهانی، FAO و گزارش‌های ICOLD گردآوری شد. تحلیل‌ها در سه سطح انجام گرفت:

۱. تحلیل اقتصادی،
۲. تحلیل پدافندی،
۳. تحلیل چندمعیاره و استخراج راهبرد تلفیقی.

۳-۱- تحلیل اقتصادی

تحلیل اقتصادی با هدف سنجش صرفه‌پذیری مالی و پایداری سرمایه‌گذاری در طرح‌ها صورت گرفت. برای هر گزینه، شاخص‌های زیر محاسبه شد:

الف) هزینه‌های سرمایه‌ای و دوره بازگشت

هزینه سرمایه‌ای شامل طراحی، زمین، مصالح، جابه‌جایی جمعیت و احداث زیرساخت‌های جانبی است. دوره بازگشت سرمایه (Payback Period) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$T_p = \frac{C_0}{R - O}$$

که در آن:

C_0 : هزینه اولیه سرمایه‌گذاری (میلیارد ریال)

R : درآمد یا منافع سالیانه (میلیارد ریال)

O : هزینه سالیانه بهره‌برداری و نگهداری

در سدها T_p معمولاً بین ۱۵ تا ۳۰ سال و در طرح‌های آبخیزداری-آبخوان‌داری بین ۵ تا ۱۰ سال است.

ب) هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری

شامل هزینه‌های پایش، رسوب‌زدایی، تعمیرات، حفاظت فیزیکی و مدیریت محلی است. سدها نیازمند نیروی متخصص و تجهیزات پیشرفته بوده و هزینه نگهداری بالاتری دارند، درحالی‌که طرح‌های پراکنده به واسطه مقیاس کوچک و مشارکت جوامع محلی، هزینه کمتری متحمل می‌شوند.

ج) منافع اقتصادی مستقیم و غیرمستقیم

منافع مستقیم سدها: تأمین آب شرب و کشاورزی، تولید انرژی برق‌آبی و کنترل سیلاب.

منافع غیرمستقیم: توسعه منطقه‌ای، اشتغال، افزایش ارزش زمین و امنیت انرژی.

در مقابل، طرح‌های آبخیزداری و آبخوان‌داری منافع غیرمستقیم‌تری دارند از جمله: بهبود کیفیت خاک، تغذیه آبخوان‌ها، افزایش تولید علوفه، بهبود خدمات اکوسیستمی و کاهش خسارات سیلاب.



**د) تحلیل ریسک مالی**

ریسک مالی به صورت ترکیبی از تمرکز سرمایه، احتمال تأخیر، نوسان نرخ ارز و هزینه جبران خسارت شکست در نظر گرفته شد. ضریب ریسک مالی از رابطه زیر در نظر گرفته شده است:

$$R_f = C_e \times \omega_1 + P_d \times \omega_2 + V_r \times \omega_3 + C_r \times \omega_4$$

که در آن:

C_e : ضریب تمرکز سرمایه

P_d : احتمال تأخیر

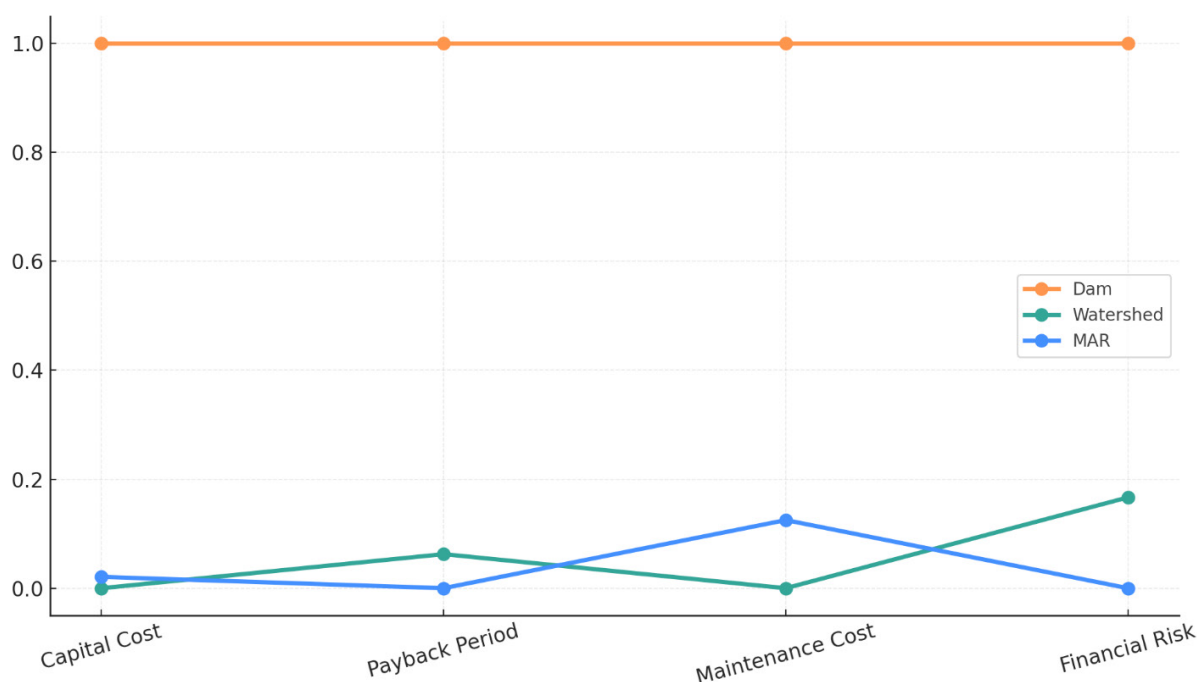
V_r : نوسان نرخ ارز

C_r : هزینه بازبایی پس از شکست

وزن‌های ω_i براساس نظر خبرگان تعیین شدند. مقادیر بالای R_f در پروژه‌های سدسازی مشاهده می‌شود، درحالی‌که اقدامات آبخیزداری-آبخوانداری ریسک توزیع شده‌تری دارند.

جدول ۱- مقایسه اقتصادی طرح‌ها

شاخص اقتصادی	سدسازی	آبخیزداری	آبخوانداری	تحلیل تطبیقی
هزینه سرمایه‌ای (میلیارد ریال در هر میلیون مترمکعب)	۵۰۰۰-۲۵۰۰	۲۵۰-۵۰	۳۵۰-۱۰۰	تفاوت بیش از ده برابر
دوره بازگشت سرمایه (سال)	۳-۱۵	۱۰-۵	۸-۵	کوتاه‌تر در روش‌های طبیعت‌محور
هزینه نگهداری (براساس درصد از CAPEX)	۷-۴٪	۲-۱٪	۲٫۵-۱٪	کمترین در آبخیزداری
منافع مستقیم	آب- برق- کنترل سیلاب	تغذیه سفره- کاهش فرسایش	تثبیت سطح آب زیرزمینی	مکمل یکدیگر
ریسک مالی (نسبی)	بالا (۱٫۰-۰٫۸)	پایین (۰٫۵-۰٫۳)	پایین (۰٫۴-۰٫۲)	پراکندگی ریسک در شبکه محلی



شکل ۱- مقایسه اقتصادی طرح‌ها به صورت نرمال شده با در نظر گرفتن هزینه‌های ساخت، نگهداری، دوره بازگشت و ریسک‌های مالی.

۳-۲- تحلیل پدافندی

در این بخش، چهار شاخص کلیدی برای ارزیابی پدافند غیرعامل و تاب‌آوری زیرساخت‌ها استفاده شد:

آسیب‌پذیری (V): احتمال اختلال شدید در عملکرد سیستم در اثر تهدید.

تمرکز یا پراکندگی (C): نسبت ظرفیت‌های متمرکز به ظرفیت‌های توزیع شده.

زمان بازیابی (R): مدت زمان لازم برای بازگشت به سطح عملکرد پیشین پس از بحران.

ظرفیت سخت‌سازی (H): توان افزایش مقاومت سازه‌ای یا مدیریتی با هزینه معقول [۱۱].

ارزش هر شاخص بین ۰ تا ۱ نرمال شد (۱ نشان‌دهنده وضعیت مطلوب‌تر).

جدول ۲- مقایسه شاخص‌های پدافندی

شاخص پدافندی	سدسازی	آبخیزداری	آبخوان‌داری	تحلیل تفسیری
آسیب‌پذیر	۰٫۳	۰٫۸	۰٫۹	سدها به دلیل تمرکز- آسیب‌پذیرترند
تمرکز یا پراکندگی	۰٫۲	۰٫۹	۰٫۸۵	ساخت‌های توزیع شده ریسک را کاهش می‌دهند
زمان بازیابی	۰٫۳	۰٫۸	۰٫۹	بازسازی سد طولانی‌تر است
ظرفیت سخت‌سازی	۰٫۸	۰٫۶	۰٫۷	سخت‌سازی سد بسیار پرهزینه است



۳-۳- تحلیل چندمعیاره و راهبردهای تلفیقی

برای ترکیب شاخص‌های اقتصادی، پدافندی و اجتماعی-زیست محیطی از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA) استفاده شد.

مراحل اجرای مدل شامل:

۱. نرمال‌سازی شاخص‌ها
۲. اعمال وزن‌ها بر اساس اهمیت نسبی هر معیار
۳. محاسبه امتیاز کل هر گزینه بر پایه رابطه زیر:

$$S_i = \sum_{j=1}^n r_{ij} \times \omega_j$$

که در آن:

: امتیاز نهایی گزینه i

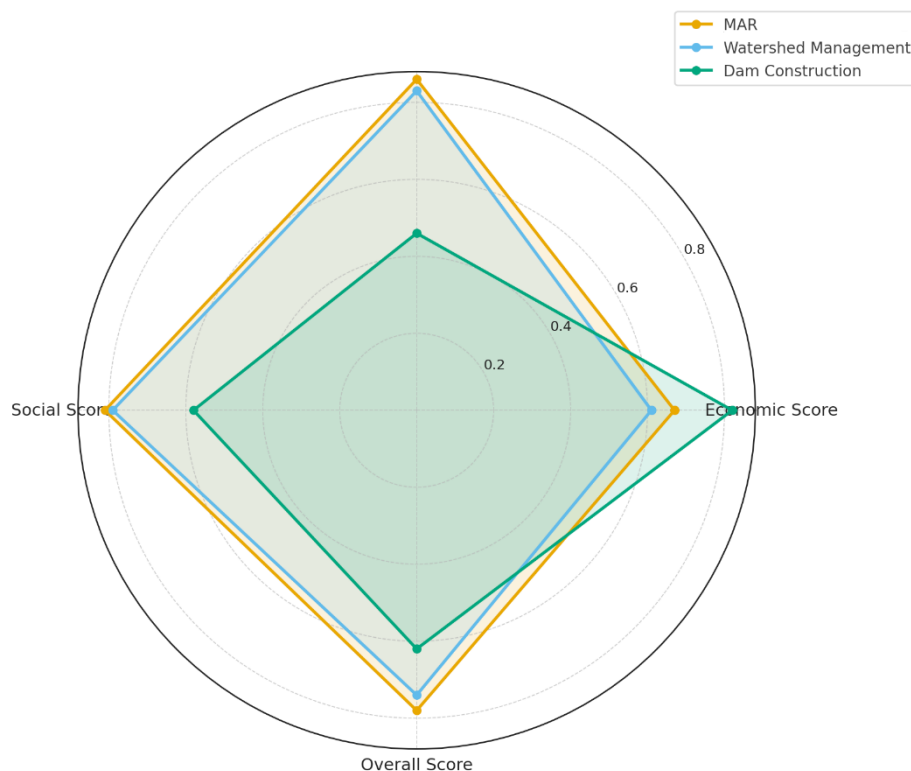
: وزن معیار j

: مقدار نرمال شده معیار j برای گزینه i.

وزن‌ها با استفاده از روش تحلیل AHP و نظر گروهی از ۱۸ کارشناس و با روش پرسشنامه تعیین شده است.

جدول ۳. نتایج مدل MCDA

شاخص پدافندی	سدسازی	آبخیزداری	آبخیزداری	آبخوان‌داری	تحلیل تفسیری
آبخوان‌داری	۰٫۶۷	۰٫۸۶	۰٫۸۱	۰٫۷۸	۱
آبخیزداری	۰٫۶۱	۰٫۸۳	۰٫۷۹	۰٫۷۴	۲
سدسازی	۰٫۸۲	۰٫۴۶	۰٫۵۸	۰٫۶۲	۳



شکل ۲: نتایج مدل MCDA مبتنی بر وزن دهی AHP

نتایج نشان داد که از نظر اقتصادی، سدسازی همچنان برتری نسبی در مقیاس کلان دارد، اما در ابعاد پدافندی و زیست محیطی، آبخیزداری و آبخوانداری به مراتب پایدارترند.

بهینه‌ترین سیاست، رویکرد هیبریدی است که ویژگی‌های هر دو را تلفیق می‌کند:

- ❖ ترکیب سدهای کوچک و متوسط به جای سازه‌های عظیم و پرریسک.
- ❖ شبکه گسترده آبخیزداری و MAR برای تغذیه طبیعی سفره‌ها و کنترل روان‌آب.
- ❖ تنوع‌بخشی منابع مالی و مدیریتی (مشارکت مردمی، صندوق‌های سبز، PPP)
- ❖ افزایش سخت‌سازی فیزیکی و سایبری سدها و افزونگی در شبکه‌های پراکنده.
- ❖ یکپارچه‌سازی حکمرانی آب و پدافند غیرعامل در قالب برنامه ملی تاب‌آوری منابع آب.

۴- نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که مدیریت منابع آب در ایران، در شرایط فعلی که ترکیبی از فشار اقلیمی، اقتصادی و امنیتی را تجربه می‌کند، نیازمند رویکردی تلفیقی و چندبعدی است. بررسی تطبیقی میان طرح‌های سدسازی، آبخیزداری و آبخوانداری آشکار ساخت که هیچ‌یک از این رویکردها به تنهایی قادر به تأمین پایداری بلندمدت منابع آب و تاب‌آوری زیرساختی کشور نیستند. سدها از منظر فنی و اقتصادی توانایی بالایی در ذخیره‌سازی، تنظیم جریان، کنترل سیلاب و تولید انرژی برق‌آبی دارند، اما ماهیت متمرکز آن‌ها باعث افزایش ریسک سیستمی و آسیب‌پذیری شدید در برابر تهدیدات طبیعی و انسان‌ساخت می‌شود. در مقابل، اقدامات



آبخیزداری و آبخوانداری با پراکندگی مکانی، مشارکت‌پذیری اجتماعی و هزینه‌های پایین‌تر، نقش مهمی در ارتقای تاب‌آوری پدافندی، کاهش فرسایش خاک، بهبود کیفیت آب و تغذیه سفره‌های زیرزمینی ایفا می‌کنند، اما به دلیل محدودیت ظرفیت، نمی‌توانند به‌تنهایی پاسخ‌گوی نیازهای کلان شرب و صنعتی باشند.

از دیدگاه اقتصادی، نتایج تحلیل هزینه-فایده نشان داد که طرح‌های آبخیزداری و آبخوانداری به واسطه سرمایه‌گذاری کمتر و بازده سریع‌تر، در شاخص‌های NPV و IRR عملکرد مطلوب‌تری دارند؛ درحالی‌که طرح‌های سدسازی تنها در صورت بهره‌برداری چندمنظوره و با مدیریت کارآمد منابع مالی توجیه اقتصادی پیدا می‌کنند. تحلیل پدافندی نیز بیانگر آن است که شبکه‌های پراکنده طبیعت‌محور به دلیل افزونگی و قابلیت بازیابی سریع‌تر، به میزان قابل توجهی ایمن‌تر از زیرساخت‌های متمرکز سدها هستند. به‌طور میانگین، شاخص تاب‌آوری در اقدامات طبیعت‌محور حدود ۶۰ درصد بالاتر از سدسازی ارزیابی شد و در شاخص زمان بازیابی نیز تفاوت فاحشی وجود داشت؛ به‌گونه‌ای که میانگین زمان بازگشت سامانه در طرح‌های متمرکز چندین برابر طرح‌های پراکنده است.

مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA) که برای تلفیق شاخص‌های اقتصادی، پدافندی و اجتماعی-زیست‌محیطی به‌کار گرفته شد، نشان داد که آبخوانداری با امتیاز کل ۰.۷۸ و آبخیزداری با امتیاز ۰.۷۴ در مقایسه با سدسازی با امتیاز ۰.۶۲ از برتری نسبی برخوردارند. این نتایج تأکید می‌کند که راهکار بهینه نه در کنار گذاشتن سدسازی، بلکه در تلفیق هوشمندانه زیرساخت‌های خاکستری و سبز نهفته است. در این رویکرد، سدهای کوچک و متوسط نقش تنظیم‌کننده جریان و ذخیره پایدار را بر عهده دارند و شبکه گسترده اقدامات آبخیزداری و آبخوانداری از طریق توزیع ریسک، تغذیه آبخوان‌ها و بازسازی ظرفیت اکولوژیک حوضه، پایداری سامانه را تضمین می‌کند.

جمع‌بندی کلی پژوهش نشان می‌دهد که حرکت از الگوی متمرکز و سازه‌محور به سمت الگوی شبکه‌ای و طبیعت‌محور، ضمن حفظ منافع اقتصادی و افزایش امنیت زیربنایی، موجب کاهش چشمگیر ریسک‌های پدافندی و مالی می‌شود. تحقق این گذار نیازمند تغییر در سیاست‌گذاری ملی آب، بازنگری در ساختار سرمایه‌گذاری و پذیرش مفهوم «زیرساخت سبز-خاکستری» در برنامه‌ریزی کلان کشور است. در این مسیر، ایجاد سازوکارهای تأمین مالی پایدار همچون صندوق‌های سبز، مشارکت عمومی-خصوصی و بازار خدمات اکوسیستمی، همراه با تقویت سخت‌سازی فیزیکی و سایبری سدها و توسعه شبکه‌های هشدار و مدیریت بحران در سطح محلی، از اهمیت ویژه برخوردار است.

درنهایت، می‌توان گفت آینده مدیریت منابع آب ایران درگرو تلفیق خرد مهندسی و حکمت بوم‌شناختی است. راه نجات از بحران آب و آسیب‌پذیری زیرساختی، نه در حذف یکی از دو رویکرد، بلکه در هم‌افزایی هدفمند سدسازی، آبخیزداری و آبخوانداری نهفته است؛ رویکردی که می‌تواند با تقویت تاب‌آوری ملی، دستیابی به توسعه پایدار، امنیت زیربنایی و پدافند غیرعامل مؤثر را در سطح کشور تضمین کند.





۵- منابع و مآخذ

۵-۱- فارسی

- ۱) بدیعی ازندهی، مرجان؛ پیشگاهی فرد، زهرا؛ نجفی نخجوان لو، وحید (۱۴۰۱). «امنیتی شدن آب‌های داخلی و تأثیر آن بر امنیت ملی ایران». فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای سیاسی، دوره ۷، شماره ۴.
- ۲) زینتی فخرآباد، محمدمهدی؛ اصغری مقدم، مصطفی (۲۰۲۱). «آینده پژوهی پیامدهای امنیتی بحران منابع آبی در نواحی مرزی ایران». مجله مرزها و سیاست‌های مرزی، دوره ۴، شماره ۳.

۵-۲- انگلیسی

- 3) Keupp, M. M. (Ed.). (2020). The security of critical infrastructures: Risk, resilience and defense. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-41826-7>
- 4) Mudenda, F., Mwangi, H., Gathenya, J. M., Maina, C. W., & Tena, T. M. (2025). Structural and nature-based solutions for resilient watershed systems: a systematic review of watershed modelling approaches and global datasets. *Journal of Water and Climate Change*, 16(6), 2084–2110.
- 5) Santos, E., et al. (2025). Nature-based Solutions for Water Management in Europe: What Works, What Does Not, and What's Next?, *MDPI Water*, 17(15), 2193.
- 6) Hale, S., von der Tann, L., Rebelo, A. J., Esler, K. J., de Lima, A. P. M., Rodrigues, A. F., Latawiec, A. E., Ramírez-Agudelo, N. A., Bosch, E. R., Suleiman, L., ... & others. (2023). Evaluating Nature-Based Solutions for Water Management in Peri-Urban Areas. *MDPI Water*, 15(5), 893. <https://doi.org/10.3390/w15050893>
- 7) Yang, Z., Barroca, B., Mebarki, A., Laffréchine, K., Dolidon, H., & Lilas, L. (2024). Critical infrastructure resilience: a guide for building indicator systems based on a multi-criteria framework with a focus on implementable actions. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 24, 3723–3753. <https://doi.org/10.5194/nhess-24-3723-2024>
- 8) Imig, A., Perosa, F., Hotta, C. I., Klausner, S., Welsh, K., Zheng, Y., & Rein, A. (2024). Technical assessment combined with an extended cost-benefit analysis for the restoration of groundwater and forest ecosystem services – an application for Grand Bahama. *Hydrology and Earth System Sciences*, 28, 5459–5478. <https://doi.org/10.5194/hess-28-5459-2024>
- 9) Digkoglou, P., & Papathanasiou, J. (2024). Application of multiple criteria decision aiding in environmental policy-making processes. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 22(10), 6967–6982. <https://doi.org/10.1007/s13762-024-06101-w>





- 10) Water sector infrastructure systems resilience: A social-ecological-technical system-of-systems and whole-life approach. Cambridge Prisms: Water, 1, e4. <https://doi.org/10.1017/wat.2023.3>
- 11) Yang, Z., Barroca, B., Mebarki, A., Laffréchine, K., Dolidon, H., & Lilas, L. (2024). Critical infrastructure resilience: a guide for building indicator systems based on a multi-criteria framework with a focus on implementable actions. Natural Hazards and Earth System Sciences, 24, 3723–3753. <https://doi.org/10.5194/nhess-24-3723-2024>

Integrated Dam Engineering and Watershed Management within the Framework of Passive Defense and Sustainable Water Resource Development

Farhad Amandi¹

1. Teacher, Passive Defense Engineering Department, Faculty of Science and Engineering, Imam Hossein (AS) Guards Officer Training and Training University, Tehran, Iran.

Received:2025/10/21

Accepted:2026/02/06

Abstract

Water security in Iran, as a country characterized by arid and semi-arid climates, requires decision-making that simultaneously satisfies economic logic and the requirements of passive defense. This paper employs an analytical-comparative approach to evaluate three intervention portfolios: dam construction, watershed management, and managed aquifer recharge (MAR). The study framework includes: (1) economic analysis (capital and operational costs, direct and indirect benefits, and cost-benefit analysis); (2) passive-defense assessment using indicators of vulnerability, concentration versus dispersion, recovery time, and hardening capacity under scenarios of natural and human-made threats; and (3) multi-criteria decision analysis (MCDA) incorporating economic, passive-defense, and socio-environmental weightings. International evidence shows that nature-based solutions (watershed management and MAR) can complement gray infrastructure, contributing effectively to flood-risk reduction, water-quality improvement, groundwater recharge, and network resilience. In contrast, dams offer economies of scale for flow regulation and energy production but, due to their infrastructural centralization, generate higher systemic and targetability risks and typically exhibit longer recovery times; therefore, they require stringent safety and maintenance standards. The findings—drawing on documented cases of water-infrastructure resilience and dam-safety guidelines—confirm that a hybrid package consisting of optimally scaled, hardened dams combined with an extensive watershed/MAR network provides the best alignment with Iran's economic, security, and environmental constraints, while also offering superior phasing flexibility and social participatory potential.

Keywords: Construction; Watershed Management; Managed Aquifer Recharge (MAR); Passive Defense; Infrastructure Resilience; Nature-Based Solutions (NBS); Cost-Benefit Analysis; Multi-Criteria Decision-Making (MCDA).

1. Corresponding Author mail: f.amandi@yahoo.com



A BIM-Enabled Framework for Comprehensive Asset Management in Building Facilities

Hamzeh Soltanali^{*1}, Saeed Bakhtiari², Saeed Ramezani³

^{*1}–Researcher, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Imam Hossein University (IHU), Tehran, Iran.

²–MSc graduated, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Imam Hossein University (IHU), Tehran, Iran

³–Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Imam Hossein University (IHU), Tehran, Iran

Received:2025/03/07

Accepted:2026/02/04

Abstract

Managing building assets faces challenges such as high maintenance costs, scattered information, and inefficient processes. With the increasing number of buildings and the need for regular maintenance, optimizing these processes is essential. Building Information Modeling (BIM) technology, as a comprehensive tool, enables precise visualization of buildings and their components, potentially improving asset management. However, there is no practical framework for the optimal use of BIM in this field. This research aims to provide such a framework. This applied–descriptive study utilizes both library and field methods for data collection. In the library phase, relevant literature on BIM and asset management was reviewed, and key criteria were identified. In the field phase, data was collected through questionnaires completed by experts in asset management and BIM. The statistical population included building assets of a government organization in Tehran, with purposive sampling applied. The collected data was analyzed using statistical methods, and the validity and reliability of the questionnaires were confirmed. The findings reveal that implementing BIM in asset management involves five main stages and 46 criteria. These stages include strategy and planning, equipment information management, requirement definition, program and resource optimization, and performance measurement and continuous improvement. The use of BIM can enhance productivity, reduce costs, improve data accuracy, and extend the useful life of assets. Additionally, this technology facilitates better coordination among teams and supports managerial decision–making.

Keywords: Building Information Modeling (BIM), Building Asset Management, Productivity, Cost Reduction, Information Accuracy, Asset Maintenance.

1. Corresponding Author mail: h.soltanali@ihu.ac.ir



The role of artificial intelligence in predictive maintenance of industrial equipment

Ali Hamideh*¹, Mohammad Tahmasebei²

1. Ph.D. in English, Nezsa Armored School, Imam Hussein (AS) Guards Officer Training and Training University, Tehran, Iran.

1. Ph.D. student in Information & Communication Technology, Nezsa Armored School, Imam Hussein (AS) Guards Officer Training and Training University, Tehran, Iran.

Received:2024/12/08

Accepted:2025/01/12

Abstract

Predictive maintenance is increasingly playing a vital role in industrial environments due to the need to reduce downtime, optimize operational efficiency, and manage machinery wear and tear. Artificial intelligence (AI) as a key technology plays a crucial role in improving predictive maintenance, as it enables more accurate prediction of equipment failures and optimization of maintenance schedules. This paper examines the role of AI in predictive maintenance, focusing on machine learning and deep learning algorithms, their implementation in industrial environments, and real-world case studies that demonstrate their effectiveness. The integration of AI-based predictive maintenance systems significantly reduces costs, extends equipment life, and ensures uninterrupted production processes and efficiency of specialized equipment.

Keywords: Artificial Intelligence (AI), Predictive Maintenance, Machine Learning, Deep Learning, Industrial Equipment.

Predicting Failure of Electric Motors in Building Facilities Using Machine Learning and Data Mining: A Case Study of Military Training Center

Ali Velayati¹, Farshid Farokhizadeh*², Ali Asghar Jaryan³

1. Master , Faculty of Industrial Engineering, Khaje Nasir–din Toosi, Tehran, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Maintenance Engineering, Faculty of Science and Engineering, Imam Hussein Officers
and Guard Training University, Tehran, Iran.

3. Techer, Department of Maintenance Engineering, Faculty of Defense Science and Engineering, Imam Hussein Officers
and Guard Training University, Tehran, Iran.

Received:2024/10/31

Accepted:2025/01/04

Abstract

In Introduction: In today's world, preventive maintenance of building facilities, particularly electric motors, is of paramount importance due to their critical role in water supply, heating, and cooling systems. With the advent of Industry 4.0 technologies, utilizing data mining and machine learning for failure prediction and optimizing preventive maintenance has become a necessity.

Objective: This study aims to develop a predictive model for the preventive maintenance of electric motors in building facilities using machine learning and data mining algorithms.

Methodology: This applied–developmental research employs a mixed–methods approach (qualitative–quantitative). The data consists of two main parts: 1) Records from the maintenance system (137) of Military Training Center, comprising 6,848 repair records, and 2) Simulated operational data for an electric motor, including variables such as temperature, rotational speed, torque, and tool wear. After preprocessing the data using Python, various machine learning algorithms, including Random Forest, Decision Tree, Support Vector Machine (SVM), and Logistic Regression, were evaluated.

Findings: The Random Forest algorithm demonstrated the best performance with an accuracy of 99.6% on the test data. This model can predict electric motor failures with high accuracy and identify hidden patterns in operational data. The results also indicate that this approach can reduce unexpected downtime, extend equipment lifespan, and optimize maintenance costs.

Conclusion: This research demonstrates that integrating data mining and machine learning can be effectively applied for the predictive maintenance of electric motors in building facilities, leading to improved system reliability, safety, and operational efficiency.

Keywords: Data Mining Machine Learning Repairs and Preventive Maintenance Maintenance of Building Facilities and Equipment Electromotor Failure Prediction.

2. Corresponding Author mail: f.farokhi@ihuo.ac.ir





1986
Imam Hussein Officer and Guard
Training University (AS)

Bi- Quarterly Journal

Research in Defense Maintenance Engineering

Volume 7, issue 10, Autumn & Winter 2026

Published by: Faculty of Science & Engineering

ISSN: 2676- 7317

e- ISSN: 2717-0861

License No.: 86491

Director-in-Charge: Mehrdad Najafi Nokashti

Editor-in-Chief: Seyed Mohammad Seyed-Hosseini

Deputy Editor: Farshid Farokhizadeh

Editor: Alireza Sohrabei

Executive Director: Seyed Esmail Mirhidari

English Text Editor: Ali Ghorban Garavand

Graphist: Ahmad Gheinari

Advisory Board

Ahmad Betaraf
Bita Tabrizian
Seyed Ayoub Hosseini
Mohssen Dezfouli
Reza Radfar
Saeed Ramezani
Abbas Toloie Eshlaghy
Saeed Farokhizadeh
Yasser Faizolahy
Mohammad Mehdi Gholeyan
Morteza Molaei
Ali Karimzadeh Meybodi
Reza Mazandarani
Ahmad Mehraban
Hassan Yazdani

Bi- Quarterly Journal of Research in Defense
Maintenance Engineering
Journal of the Faculty of Science & Engineering

Editorial Board

Professor Iran University of Science and
Technology

Seyed Mohammad Seyed-Hosseini

Professor Lorestan University

Mojtaba Hosseini

Associate Professor Iran University of Science
and Technology

Alireza Moini

Associate Professor Road, Housing and Urban
Development Research Center

Ahmad Mansourian

Associate Professor Imam Hussein University

Massoud Mosadegh Khah

Associate Professor Imam Hussein University

Seyed Zia-ud-Din Ghazi-Zadeh Fard

Associate Professor Imam Hussein University

Ardeshir Ahmadi

Associate Professor Imam Hussein University

Mohsen Shahrezai

Associate Professor Islamic Azad University,
Firoozkooh Branch

Naghei Shoja

Reviewers

Seyed Azim Hosseini, Seyed Mohammad Amin Hosseinipour,
Saeed Ramezani, Zahra Shirazi, Alireza Safaei, Ali Gholamataj,
Farshid Farokhizadeh, Abdulrahman Keshvari, Seyed Smail Mirheidari

Count: 500 (Print Version) 500 (Electronic Version)

Price Version Print: 1,500,000 Rials

Tel: (+9821) 77105033-104 Fax: (+9821) 77105032

Address: Shahid Babaei Highway, Tehran, Iran, Imam Hussein
Officer and Guard Training University (AS) Faculty of Science
& Engineering.

Web: dmej.ihu.ac.ir

E-mail: 2qdmej@gmail.com, dmej@ihuo.ac.ir

All rights Reserved for the Faculty of Science & Engineering.

